

Christian Quaritsch, B.Sc

Jahresverbrauchsanalyse von Klimaanlage und PKW-  
Motoren mittels repräsentativer,  
geschwindigkeitsabhängiger Tagesfahrzyklen

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

eines Diplom-Ingenieur

Studienrichtung Maschinenbau

Eingereicht am Institut für Verbrennungskraftmaschinen  
und Thermodynamik der Technischen Universität Graz

Vorstand: Univ.-Prof. DI Dr. Helmut Eichlseder

Betreuer: Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hausberger Stefan

Externe Betreuer: Mag. Dr. Lechner Bernhard

Dipl.-Ing. Brunner Patricia

Graz, 2014



## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

## **Statutory Declaration**

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz,.....

(Unterschrift)

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich alle jenen Menschen danken, die mit mir den Weg durch diese Arbeit bestritten haben.

Aus universitärer Sicht gilt mein besonderer Dank Herrn Prof. Hausberger, der es mir ermöglicht hat, diese Arbeit am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik durchzuführen. Hervorheben möchte ich auch die Betreuung durch Patricia Brunner und Bernhard Lechner von der Forschungsgesellschaft: Das virtuelle Fahrzeug. Vom virtuellen Fahrzeug stammt die Fragestellung zu dieser Arbeit und somit der Grundstein. Durch Frau Dipl.Ing. Brunner und Herrn Mag. Dr. Lechner wurde die Möglichkeit geschaffen, diese Arbeit von Innsbruck aus zu verfassen. Persönliche Gründe wurden auf eine menschlich soziale Art und Weise behandelt, was keine Selbstverständlichkeit ist und mich speziell dankbar macht.

Großer Dank gebührt meinen Freunden die mich durch das Studium begleitet haben. Ihnen und meiner Freundin Marion verdanke ich die schönsten Stunden während der Freizeit von dieser Arbeit.

Den größten Dank sichere ich hier meiner am 8.6.2014 verstorbenen Mutter zu, die mir dieses Studium ermöglichte und mich stets motivierte.

# Kurzfassung

Der Kraftstoffverbrauch einer realen Fahrzeugflotte wird vom Gesetzgeber immer stärkeren Reglementierungen unterworfen. Aus diesem Grund ist es für den Fahrzeughersteller von großer Bedeutung, den Treibstoffverbrauch in einer möglichst frühen Entwicklungsphase ermitteln, um den Einfluss von Maßnahmen abschätzen zu können.

Bei den Berechnungen wird auf die National Household Travel Survey („NHTS“) zurückgegriffen, in der das Mobilitätsverhalten in den USA mit einem umfangreichen Datensatz von rund einer Million Fahrten beschrieben wird. Die explizite Verbrauchsberechnung ist mit einer Million Fahrten nicht durchzuführen. Im Rahmen eines Vorprojektes wurde dieser Datensatz mit statistischen Verfahren untersucht und auf dreizehn repräsentative Kettenfahrten reduziert. Eine Kettenfahrt ist eine Folge von Einzelfahrten innerhalb eines Tages.

Die NHTS liefert allerdings nur die mittlere Geschwindigkeit der Fahrt und die Fahrtdauer, während der Kraftstoffverbrauch von z.B. Motor und Klimaanlage drehzahlabhängig ist. In dieser Arbeit wurden gemessene Geschwindigkeiten von Versuchsfahrzeugen einer realen Fahrzeugflotte in die NHTS integriert. Damit wurden zu der mittleren Geschwindigkeit und der Fahrdauer aus der NHTS Fahrzyklen generiert, auf deren Basis die Motordrehzahl bestimmt wurde. Anschließend wurden durch die Verwendung eines Motormodells und eines Klimaanlagenmodells die energetischen Verbräuche dieser beiden Komponenten, sowohl für Einzelfahrten als auch für Kettenfahrten, bestimmt. Mit den Verbräuchen dieser Komponenten wurden für den Zeitraum eines Jahres, also zwölf Monaten, mit der Temperatur und der mittleren Geschwindigkeit aus der NHTS statistisch die mittleren Jahresverbräuche berechnet. Es wurde untersucht, ob dreizehn repräsentative Kettenfahrten ein gleich gutes Ergebnis liefern können wie 5000 Kettenfahrten. Es wurde ein gut übereinstimmendes Ergebnis mit der Methode von dreizehn Kettenfahrten erzielt. Diesen Kettenfahrten werden Geschwindigkeitsverläufe, Temperatur zum Startzeitpunkt der Fahrt und Triplängen in ein Hertz Auflösung zugeschrieben. Wiederum diese Daten können die Eingangsgrößen für Fahrzeugmodelle und Klimaanlagenmodelle von OEM's darstellen.

# Abstract

The fuel consumption of a real car fleet is strongly influenced by the regulations of the legislative authority. It is therefore of great importance for car manufacturers to establish the fuel consumption at an early stage of development and to be able to estimate the effects of certain measures.

For the calculations the National Household Travel Survey is used. The NHTS describes the mobility behaviour in the USA through the extensive data of around a thousand runs. The explicit consumption calculation of one million runs cannot be carried out. In a pre-project this dataset was statistically investigated and reduced to thirteen chain runs. Chain runs are a series of single runs within one day.

The NHTS however only delivers information on the mean velocity and the duration of a run, whereas the consumption of Engines and ACs is dependent on the engine revolutions. In this Thesis the data of a real car fleet was integrated into the NHTS. Based on the mean velocity and the duration of runs, driving cycles were generated and the motor revolutions were calculated. Afterwards the energy consumption for single runs and chain runs was determined using models of an engine and an AC. For the period of one year with the information of the mean outside temperatures and the mean velocity from the NHTS the mean consumption throughout a year was statistically calculated. It was investigated whether thirteen representative chain runs are able to deliver an equally good result as 5000 chain runs. The calculated result of the method using thirteen chain runs was well coincident with the result of the 5000 chain runs. To those chain runs the velocity profile, outside temperature at the start of the run and the duration of the run were assigned in one Hertz frequency. This data can be seen as the input for car models and AC models.

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	6
1 Einleitung.....	1
2 Berechnung von repräsentativen Kettenfahrten.....	5
3 Fahrzyklen.....	7
3.1. Aktuell verwendete Fahrzyklen .....	7
3.2. Wesenszüge von Fahrzyklen.....	10
4 Materialien.....	13
4.1. National Household Travel Survey.....	13
4.2. Mittlere Monatstemperaturen.....	14
4.3. Motormodell.....	15
4.3.1. Formulierung und Anwendung.....	16
4.4. Klimaanlage.....	17
4.4.1. Funktion von Fahrzeugklimaanlage.....	18
4.4.2. Modell der Klimaanlage.....	19
4.5. Vecept Fahrzeugflotte.....	21
4.6. Google Directions API ©.....	23
5 Methoden.....	24
5.1. Methode zur Generation von Mikrotrips.....	24
5.2. Methoden zur Erzeugung von Fahrzyklen.....	25
5.2.1. Monte-Carlo-Methode.....	25
5.2.2. Markow-Ketten.....	27
5.3. Methode zur Berechnung der Motordrehzahl.....	31
5.4. Methode zur Bestimmung der Kategorie der Straße.....	32
5.4.1. Beispielhafte Bestimmung anhand eines Mikrotrips.....	32
5.5. Methode zur Berechnung des Kraftstoffverbrauches.....	34
5.6. Methode zur Berechnung der Jahresverbräuche.....	35
6 Fahrtenauswertung.....	37
6.1. Bildung des Fahrten-Arrays.....	37
6.2. Verteilungen ausgewählter Fahrparameter.....	38
6.3. Zusammenhänge Einsatzgebiete und Kraftstoffverbrauch.....	39
6.4. Kraftstoffverbräuche der Fahrzeuge.....	40
6.5. Energetische Verbräuche der Klimaanlage.....	42

6.5.1.	Effekt des Klimaanlagenmodells .....	42
6.5.2.	Energieverbrauch der Klimaanlage der Fahrzeuge.....	44
7	Mikrotrip Datenbank.....	47
7.1.	Abgrenzung Mikrotrip – Einzelfahrt.....	47
7.2.	Kategorisierung der Mikrotrips.....	49
7.2.1.	Kategorisierte Mikrotrips zur Verbrauchsanalyse der Klimaanlage .....	49
7.2.2.	Kategorisierte Mikrotrips zur Verbrauchsanalyse des Kraftstoffs.....	50
8	Jahresverbrauchsanalysen.....	52
8.1.	Beispielhafte Auswertung einer Kettenfahrt .....	52
8.1.1.	Auswertung des verbrauchten Kraftstoffs.....	54
8.1.2.	Energetischer Verbrauch der Klimaanlage .....	55
8.2.	Ergebnisse des Kraftstoffverbrauchs des Motors.....	55
8.2.1.	Reduzierte Kettenfahrten .....	55
8.2.2.	Kraftstoffverbrauch bei 5000 Kettenfahrten.....	58
8.3.	Energetischer Verbrauch der Klimaanlage.....	59
8.3.1.	Reduzierte Kettenfahrten mittels Monte Carlo Methode .....	59
8.3.2.	Reduzierte Fahrten mittels Markow Ketten .....	60
8.3.3.	Energetischer Verbrauch der Klimaanlage bei 5000 Kettenfahrten .....	63
9	Zusammenfassung und Ausblick .....	65
	Abbildungsverzeichnis.....	67
	Tabellenverzeichnis.....	69
	Literaturverzeichnis .....	70

# Abkürzungsverzeichnis

<i>a</i>	m/s <sup>2</sup>	Beschleunigung
M	Nm	Moment
N	U/min	Drehzahl
P	kW	Leistung
T	°C	Temperatur
CAP	kW	Evaporator Capacity
COP	-	Coefficient of Performance
<i>D</i>	m	Durchmesser
<i>b</i>	m	Breite
<i>h</i>	m	Höhe, Tiefe
<i>R</i>	m	Radius
CO <sub>2</sub>		Kohlendioxid
R 12		Dichlordifluormethan
R 134a		Tetrafluorethan
R 1234yf		Tetrafluorpropen
GWP		Global Warming Potential
GPS		Global Positioning System
OEM		Original Equipment Manufacturer
API		Application Programmable Interface
OBD		On Board Diagnose System
NEDC		New European Driving Cycle
WLTP		World-Harmonized Light-Duty Vehicle Test Procedure
$\ddot{u}_i$		Getriebeübersetzungsstufe
$a_i$		Achsübersetzungsstufe
P		Wahrscheinlichkeit



# 1 Einleitung

Eines der brisantesten Themen der heutigen Zeit ist der globale Temperaturanstieg. Dieser wird auf den Anstieg der Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre, zurückgeführt. Die Klima beeinflussenden Treibhausgase sind Kohlendioxid, Methan, Lachgas und fluorierte Gase[1]. Rund fünfzehn Prozent des Ausstoßes von Kohlendioxid innerhalb der europäischen Union kann dem Transport zugeschrieben werden [2]. Bei der Verbrennung von Benzin und Diesel entsteht als Verbrennungsprodukt unweigerlich Kohlendioxid. Somit wird das Auto zu einem immer größer werdenden Einflussfaktor im Umweltschutz. Seit dem Weltklimagipfel 1997 in Kyoto ist die Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen für viele Staaten ein vertraglich gebundenes Thema. Automobilhersteller, wie auch andere industrielle Firmen, werden bei Nichteinhaltung der Reduktionsauflagen mit empfindlichen Strafen belegt. Durch die EU-Regelung 443/2009 wird eine Obergrenze von 130 Gramm für Personenkraftwagen pro gefahrenen Kilometer des Gases CO<sub>2</sub> festgelegt. Dieses Ziel wird gestaffelt vom Jahr 2012 bis 2015 verfolgt. Ab dem Jahr 2021 ist die Obergrenze auf 95 Gramm festgesetzt. Die Strafhöhe ist von der Menge des ausgestoßenen CO<sub>2</sub> abhängig. Ab dem Jahr 2012 müssen Hersteller, deren Flottenwerte diese Obergrenze übersteigen, für jedes Gramm über der Grenze eine Strafe zahlen. Der Betrag beträgt fünf Euro für das erste Gramm über der Grenze, fünfzehn für das zweite und fünfundzwanzig für das dritte. Ab dem Jahr 2018 kostet die Automobilhersteller die Überschreitung der Grenze pro Gramm bis zu fünfundneunzig Euro pro verkauftem Automobil. In Tabelle 1.1 sind die Strafhöhen, abhängig von Jahr und überschrittener Menge, aufgelistet.

Tabelle 1.1: Strafhöhen

Jahr	Überschrittene Menge [g/km]	Strafhöhe pro Fahrzeug[€]
2012 - 2015	1	5
2012 - 2015	2	15
2012 - 2015	3	25
2018	1,2,3,...	95, 190, 285,...

Um diesen Beträgen Nachdruck zu verleihen, soll folgendes Beispiel aufgezeigt werden:

Ein Hersteller verkauft im Jahr 2020 300.000 Neuwagen. Der CO<sub>2</sub> Ausstoß beträgt 132 Gramm pro Kilometer. Das entspricht einer überschrittenen Menge von zwei Gramm pro Kilometer, also einer Strafhöhe von 190€ pro angemeldetem Fahrzeug. Insgesamt belaufen sich die Kosten des Herstellers auf 57 Millionen Euro.

Die Bewertung der CO<sub>2</sub> Emission wird bislang auf einem Rollenprüfstand mit einem standardisierten Fahrzyklus durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt ist die Entwicklung seitens des Herstellers bereits weit fortgeschritten und Modifikationen werden dadurch aufwendig. Daher ist es notwendig, schon in einer frühen Phase der Entwicklung den CO<sub>2</sub> Ausstoß von Motoren und Nebenaggregaten abschätzen zu können.

Allein die Bewertung des Kraftstoffverbrauchs am Prüfstand ist für Hersteller zu wenig. Es müssen auch Phänomene berücksichtigt werden, die während des realen Betrieb, des Fahrzeugs auftreten. Die Abbildung des realen Fahrverhaltens ist am Prüfstand mit nur einem einzigen Fahrzyklus nicht möglich. Werden diese Betrachtungen mittels Simulationsrechnung mit einem standardisierten Fahrzyklus durchgeführt, wird ebenfalls das reale Fahrverhalten nicht berücksichtigt. Auch Faktoren wie die Umgebungstemperatur, Sonneneinstrahlung und Pausenzeiten vor Inbetriebnahme des Motors haben Einfluss auf den Verbrauch und werden derzeit kaum berücksichtigt.

Dadurch, dass diese Faktoren variieren, muss eine statistische Herangehensweise gewählt werden. Als Ausgangspunkt dient die National Household Travel Survey [3]. Sie ist eine Sammlung von einer Million Fahrten aus den USA. Sie kann als ein immens großes Fahrtenbuch betrachtet werden. Durch die Verwendung der „NHTS“ entstehen zwei Probleme: Es ist nicht möglich, den Kraftstoffverbrauch für eine Million Fahrten zu berechnen und die Informationen zu den durchgeführten Fahrten sind auf die mittlere Geschwindigkeit und Fahrdauer begrenzt. Die Lösung des ersten Problems erfolgt durch eine Methode, die die Anzahl der zu berechnenden Fahrten reduziert. Dabei werden aus Einträgen der NHTS Kettenfahrten gebildet. Eine Kettenfahrt ist eine Folge einer beliebigen Anzahl von Einzelfahrten. Wird das Fahrzeug über acht Stunden nicht in Betrieb genommen, wird die Kettenfahrt unterbrochen. In Abbildung 1.1 ist die graphische Erklärung zu Kettenfahrt, dargestellt.

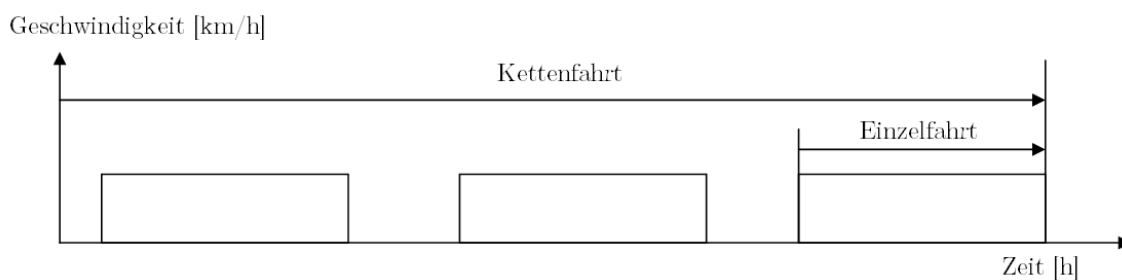


Abbildung 1.1: Kettenfahrt

Einzelfahrten sind einfache Autofahrten, zum Beispiel von der Arbeit nach Hause. Eine genaue Erklärung dieser Methode ist in [4] gegeben. Mit mathematischen Modellen wie der Clusteranalyse wird die Anzahl der Kettenfahrten reduziert, um repräsentative Kettenfahrten zu erhalten. Für ein synthetisches Fahrgastraummodell wurde gezeigt, dass dreizehn Kettenfahrten ausreichen. In dieser Arbeit soll die Vorgangsweise, die auf das Fahrgastraummodell angewandt wurde, auf die beiden größten Verbraucher Motor und Klimaanlage erweitert werden.

Das zweite Problem basiert auf der Tatsache, dass eine mittlere Geschwindigkeit und die Fahrtdauer allein für Verbrauchsberechnungen nicht aussagekräftig sind. Da der jeweilige Verbrauch von Motor oder Klimaanlage unter anderem auch von der Motordrehzahl abhängig ist, werden Geschwindigkeitsverläufe und Motordrehzahlen benötigt. Eine der Aufgaben dieser Arbeit ist es also die Durchschnittsgeschwindigkeiten aus der NHTS durch einen Geschwindigkeitsverlauf zu ersetzen.

Um diese Verläufe zu generieren, finden sich in der Literatur drei Methoden:

- Mikrotrips [5]
- Markowketten [6]
- Clusteranalyse [7]

In dieser Arbeit werden die Methoden Mikrotrips und Markowketten umgesetzt. Als Datenbasis werden die von dreizehn Versuchsfahrzeugen über einen Zeitraum von neun Monaten ausgelesenen Daten der On Board Diagnose Systeme (OBD) der Fahrzeuge verwendet. Das OBD- System ist ein Messsystem, das alle für das Abgas relevanten Parameter erfasst und über eine Schnittstelle zur Analyse bereitstellt. Die Mikrotripmethode basiert darauf, Einzelfahrten in Abschnitte zu unterteilen, an deren Anfang und Ende das Fahrzeug still steht. Durch Aneinanderreihen dieser Mikrotrips können Fahrzyklen generiert werden. Bei der Methode mit Markow-Ketten wird die zukünftige Geschwindigkeit auf Basis von Übergangswahrscheinlichkeiten berechnet. Die Clusteranalyse unterteilt Mikrotrips in Cluster. Aus diesen Clustern werden dann die Mikrotrips gewählt, die wiederum aneinandergereiht werden. Diese Methode fand in dieser Arbeit keine Anwendung.

Auf Basis der vom OBD stammenden Daten und den genannten Methoden werden die Geschwindigkeitsverläufe zu den aus der NHTS stammenden Einzelfahrten generiert. Mit Hilfe dieser Verläufe werden die Verbräuche von Klimaanlage und Motoren berechnet. In [4] wurde geklärt, dass 5000 Kettenfahrten eine repräsentative Stichprobe der NHTS, darstellen. Um den rechnerischen Aufwand einzugrenzen, wird untersucht, ob mit dreizehn speziell gewichteten Kettenfahrten, ein repräsentatives Ergebnis erzielt werden kann. Diese 5000, respektive dreizehn Kettenfahrten beschreiben einen repräsentativen Tagesfahrzyklus, welcher zum Jahresenergieverbrauch multipliziert werden kann. Für Klimaanlage werden die mittleren Monatstemperaturen herangezogen und der Verbrauch jedes Monats, basierend auf der Anzahl der Tage im Monat, bestimmt. Die Summe dieser Verbräuche wird durch die Multiplikation mit dem Faktor zwölf zum Jahresverbrauch. Für den Motor wird der einzelne berechnete Tagesverbrauch über den Faktor 365 zum Jahresverbrauch berechnet.

Kann die Anzahl von dreizehn Kettenfahrten, zu einem repräsentativen Tagesfahrzyklus, bestätigt werden, folgt eine schnelle Betrachtung des energetischen Verbrauchs einer Klimaanlage und eines Motors eines Kraftfahrzeuges. Somit könnten sowohl Automobilhersteller als auch Zulieferer der Automobilindustrie eine rasche Methode nutzen, um den Verbrauch ihrer Fahrzeugkomponenten in einer frühen Entwicklungsphase abzuschätzen. Durch die schnelle Methode und den großen Datensatz der Versuchsfahrzeuge, können eine Vielzahl von möglichen Fahrsituationen simuliert werden. Auch selten auftretende Situationen können berücksichtigt werden und somit können auch potenzielle Fehlerquellen untersucht werden, die anders nicht untersucht würden.

# 2 Berechnung von repräsentativen Kettenfahrten

Aus der NHTS und Wetterdaten von Meteonorm 6.0 [8] wurden die Parameter Abfahrtszeit, Fahrdauer, Pausendauer, Sonneneinstrahlung und Umgebungstemperatur extrahiert. Dazu wurden rund hunderttausend Kettenfahrten generiert. Die Abbildung einer Kettenfahrt wurde in Abbildung 1.1 dargestellt. Die Wetterdatenbank ist in Kapitel 4.2 beschrieben.

Als Samplegröße für eine ausreichende statistische Bewertung des Jahresenergieverbrauchs konnte die Anzahl auf 5000 zufällig ausgewählte Kettenfahrten reduziert werden. Ziel in der in [4] beschriebenen Arbeit ist eine weitere Reduktion dieser Kettenfahrten, um die notwendige Rechenzeit noch weiter zu verringern. Umfangreiche Verbrauchsmodelle der Klimaanlage oder des Motors benötigen für die Berechnung rund ein Zehntel der Echtzeit. Ohne weitere Reduktion der Daten würde daher eine Berechnung rund 250 Tage dauern.

Begonnen wurde mit einer Standardisierung der Daten. Für eine Vergleichbarkeit der Daten wurde mittels MinMax-Skalierung jedem Eintrag des Datensatzes ein Wert zwischen null und eins zugewiesen. Aufgrund des nicht normalverteilten NHTS Datensatzes wurde anschließend eine BoxCox Transformation ausgeführt, die die Verteilung des ursprünglichen Datensatzes in eine Normalverteilung transformiert [4].

Um die Datenreduktion durchzuführen, wurde eine Clusteranalyse angewandt. Clusteranalyseverfahren suchen in einem Datensatz ähnliche Daten und verknüpfen diese zu einem Cluster. Das Zentrum dieses Clusters wird in weiterer Folge als beschreibend für diesen Datensatz angesehen. Die angewandte Methode war das partitionierende K-means-Verfahren. Schlussendlich konnte die Anzahl von dreizehn Kettenfahrten für das verwendete synthetische Fahrgastraummodell als passende Anzahl, zur Erzielung guter Ergebnisse, bestätigt werden.

Die dreizehn repräsentativen Kettenfahrten sind in Tabelle 2.1 angegeben. Man kann erkennen, dass die Kettenfahrten aus zwei bis sechs Einzelfahrten bestehen. Jeder Kettenfahrt wird ein Gewichtungsfaktor, der in Zeile zwei dargestellt ist, zugeschrieben. In dieser Tabelle sind die drei möglichen Straßenkategorien mit den Buchstaben S, A und U abgekürzt. Diese Buchstaben stehen für Stadt, Autobahn und Überland. Jede Einzelfahrt wird durch die gefahrene Distanz, die Dauer, die Straßenkategorie und die Abfahrtszeit definiert.

Tabelle 2.1: Datensatz von repräsentativen Kettenfahrten

Kettenfahrt			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Gewichtung			0.034	0.164	0.145	0.081	0.064	0.064	0.020	0.147	0.041	0.027	0.064	0.042	0.108
Fahrt 1	Start	hh:mm:ss	11:19:03	09:13:06	10:52:36	07:53:36	10:13:01	08:47:06	10:21:20	08:53:34	09:30:11	09:21:35	08:47:10	08:59:38	08:36:24
	Dauer	min	5.8	20.1	9.5	43.8	11.3	24.4	11.9	16.0	10.2	10.4	15.8	9.8	14.5
	Distanz	km	1.6	15.3	4.9	47.3	4.6	19.7	4.5	9.8	2.3	3.2	9.5	2.3	8.1
	Strassenkategorie		U	A	S	A	U	A	U	A	U	U	S	U	S
Fahrt 2	Start	hh:mm:ss	14:22:56	15:52:35	14:50:18	16:28:01	13:28:48	13:34:07	13:24:04	12:15:50	12:21:03	11:36:00	11:29:51	10:54:30	10:51:04
	Dauer	min	6.0	21.5	9.8	47.2	11.7	22.7	5.9	14.9	7.8	7.7	15.0	7.7	13.4
	Distanz	km	1.6	15.4	4.9	48.3	6.1	16.5	1.6	8.5	1.6	1.7	8.9	1.7	7.2
	Strassenkategorie		U	A	U	A	S	A	U	S	U	U	S	U	S
Fahrt 3	Start	hh:mm:ss					15:19:49	16:33:10	14:57:06	14:55:49	14:36:16	13:10:56	13:36:39	12:36:27	12:45:35
	Dauer	min					10.9	26.3	12.5	14.6	7.1	8.7	15.0	7.5	13.8
	Distanz	km					3.8	21.2	4.0	8.5	1.6	1.9	8.1	1.6	7.7
	Strassenkategorie						U	A	U	S	U	U	S	U	S
Fahrt 4	Start	hh:mm:ss								17:11:55	16:22:55	15:12:51	15:51:20	14:10:02	14:30:43
	Dauer	min								16.2	9.6	8.9	14.7	8.8	14.1
	Distanz	km								9.6	1.9	1.8	7.8	1.8	7.2
	Strassenkategorie									S	U	U	S	U	U
Fahrt 5	Start	hh:mm:ss										16:43:49	17:38:35	16:09:21	16:33:23
	Dauer	min										10.7	16.2	9.7	13.5
	Distanz	km										2.7	9.2	2.1	6.2
	Strassenkategorie											U	S	U	U
Fahrt 6	Start	hh:mm:ss												17:35:35	18:07:29
	Dauer	min												10.7	14.7
	Distanz	km												2.6	7.5
	Strassenkategorie													U	S

# 3 Fahrzyklen

Zur Bestimmung von Verbrauch und Emissionen von Fahrzeugen werden Fahrzyklen verwendet, bei denen ein Geschwindigkeitsverlauf und Verlauf der Motordrehzahl vorgegeben wird. In diesem Kapitel werden die wichtigsten aktuellen Fahrzyklen beschrieben. Das Ziel von standardisierten Fahrzyklen ist es, eine vergleichbare Grundlage für die Ermittlung von Emissionen und Verbrauch darzustellen. In Hinsicht auf die größten Automobilindustrien werden die eingesetzten Fahrzyklen im europäischen, amerikanischen und japanischen Raum vorgestellt. Für diese geographischen Räume werden unterschiedliche Fahrzyklen aufgrund der Verkehrssituation, dem Straßennetz und dem Fahrverhalten der Teilnehmer verwendet [9].

## 3.1. Aktuell verwendete Fahrzyklen

In Europa wird zur Bewertung von Fahrzeugemissionen der New European Driving Cycle (NEDC) verwendet. Die Grundzüge dieses Zyklus stammen aus den 1970er Jahren. Abbildung 3.1 zeigt den NEDC. Die Motivation zur Generation des NEDC war die Vergleichbarkeit von Fahrzeugemissionen bei Standardbedingungen zu gewährleisten.

Er wurde synthetisch generiert. Das bedeutet, dass der Zyklus nicht auf real vorgefallenen Fahrsituationen basiert, sondern auf Annahmen, die den Zeitpunkten Geschwindigkeiten zuordnen. In der Abbildung des NEDC sind Phasen eingezeichnet, die der Fahrt in der Stadt oder einer Fahrt auf Überlandstrassen oder Autobahnen entsprechen. Der Stadtanteil wird ECE-15 und der Anteil mit der höheren Geschwindigkeit EUDC genannt.

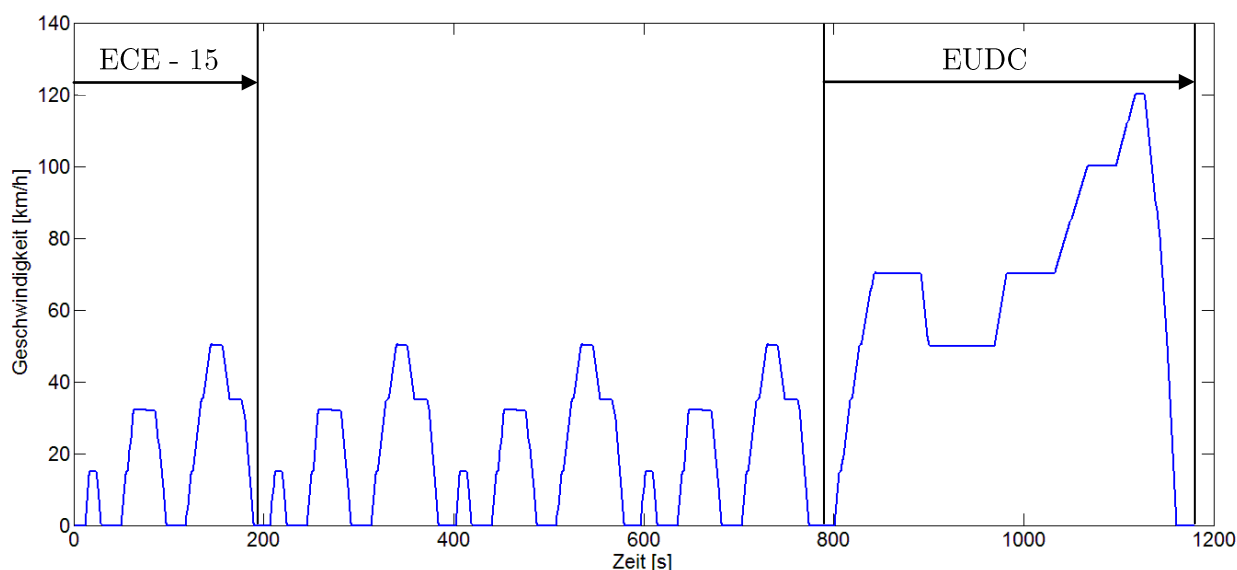


Abbildung 3.1: NEDC

Aufgrund des Verlaufes der Geschwindigkeit des NEDC und der synthetischen Erzeugung wird schon seit längerem an dem realitätsnahen Kraftstoffverbrauch, der aus diesem Zyklus resultiert, gezweifelt. Der Anteil der in der Stadt gefahrenen Phasen ist zu hoch, die Stoppzeiten sind zu häufig und die Beschleunigungen werden zu sacht ausgeführt [10]. Aus Abbildung 3.1 kann man entnehmen, dass der Geschwindigkeitsverlauf eine glatte Kurve mit einigen Phasen konstanter Geschwindigkeit beschreibt. Dieses Verhalten wird nicht als real auftretend betrachtet.

In der Vergangenheit wurde in Europa eine Vielzahl von anderen Fahrzyklen geschaffen, die jedoch nicht verbindlich zur Bewertung von Emissionen und Kraftstoffverbrauch für Hersteller wurden. Als die bekanntesten dieser Zyklen sind die von ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems) für Personenkraftwagen geschaffen zu sehen. Die Motivation für dieses Projekt war die realitätsnahe Bestimmung des Schadstoffausstoßes. In Abbildung 3.2 ist der Artemis Urban Road Cycle dargestellt, also eine Stadtfahrt.

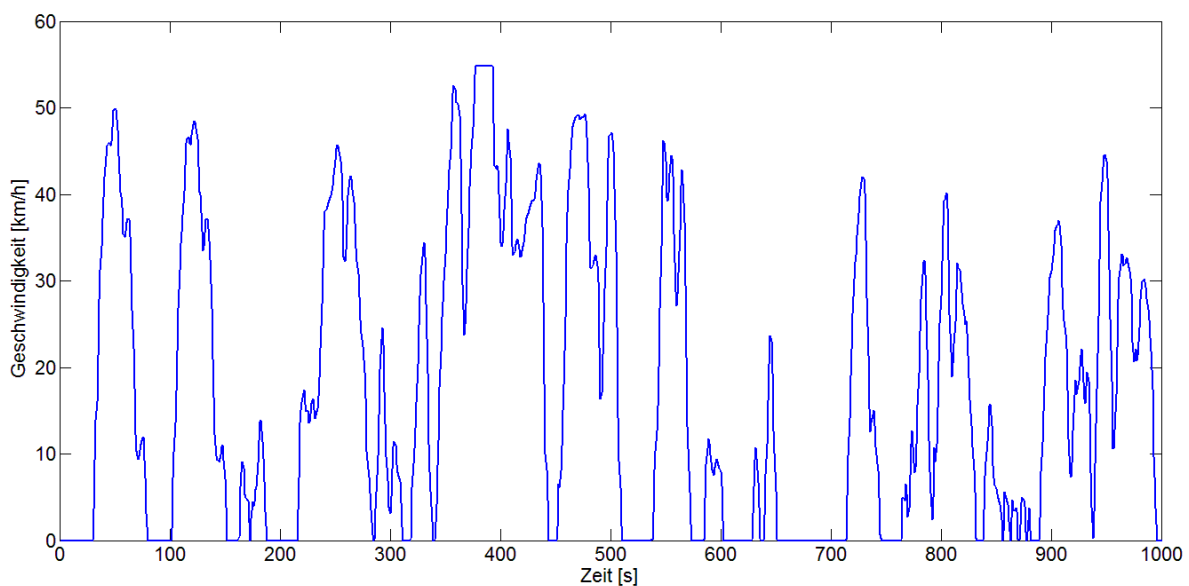


Abbildung 3.2: Artemis Urban Road Cycle

Im Vergleich zum NEDC fällt auf, dass bei diesem Zyklus der Verlauf der Geschwindigkeit überaus unruhig aussieht. Für die Erstellung dieser Zyklen wurden die Daten von 58 mit On Board Systemen ausgestatteten Fahrzeugen verwendet [11].

Im amerikanischen Raum wird der Zyklus FTP-75 verwendet. Auffallend bei diesem Zyklus ist die im Vergleich zu anderen Fahrzyklen lange Fahrdauer von 1874 Sekunden. Dadurch wird versucht, ein möglichst breites Spektrum an realen Fahrsituationen abzudecken. In Abbildung 3.3 ist der amerikanische Zyklus zu sehen.



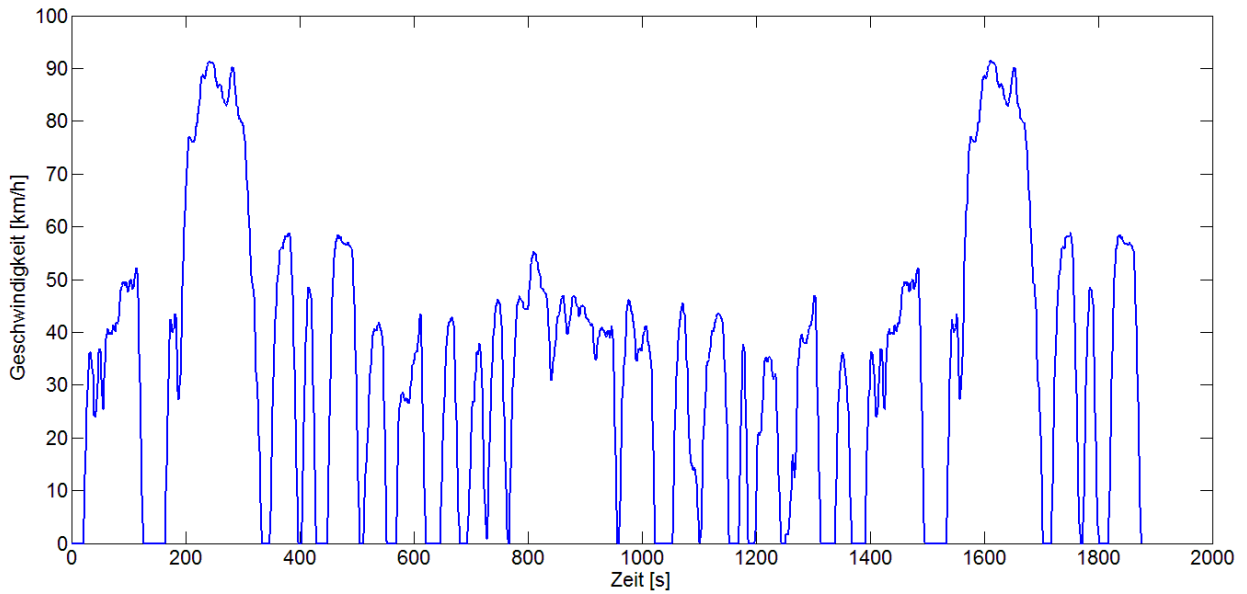


Abbildung 3.3: FTP-75

Für den japanischen Markt ist die Verwendung des JC 08 vorgeschrieben. An diesem Zyklus wird kritisiert, dass er nur in der Lage sei, Fahrten innerhalb von Stadtgebieten adäquat abbilden zu können [9].

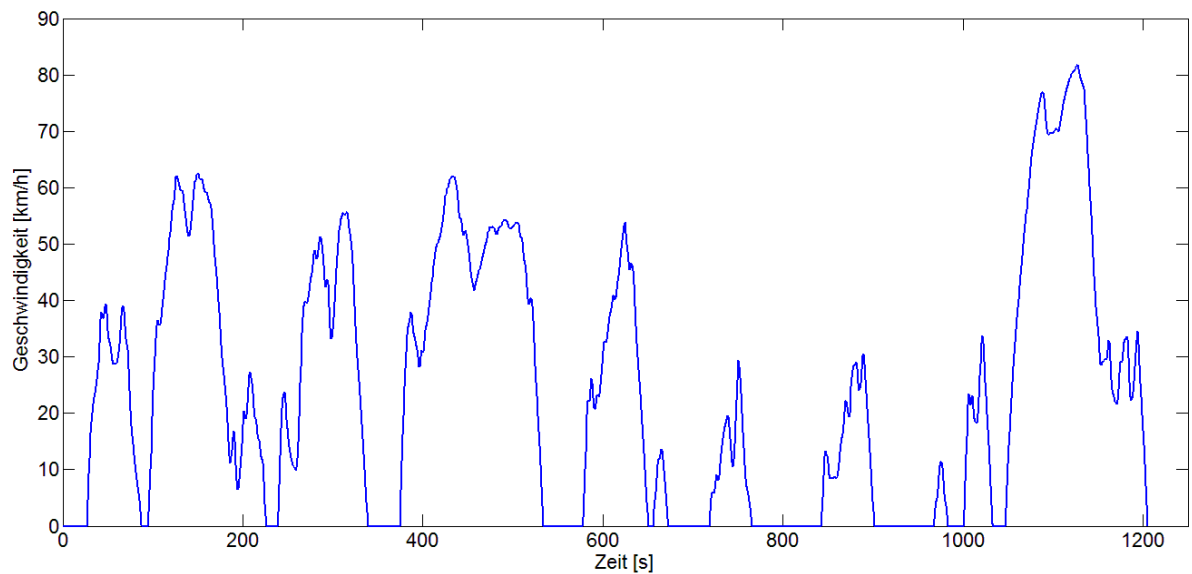


Abbildung 3.4: JC 08 Fahrzyklus

Das aktuelle Projekt zur Generation von Fahrzyklen heißt WLTP, World-Harmonized Light-Duty Vehicle Test Procedure. Dessen Finale Version wird Oktober 2015 erwartet.

Die Datensammlung für den WLTP fand in Europa, den USA, Korea, Japan und Indien statt. Diese Auswahl soll die Möglichkeit schaffen, den Zyklus weltweit einsetzbar zu machen. Dadurch sollen die Kosten für Hersteller und Kunden gesenkt werden.

Als Datenbasis dienen Aufzeichnungen von insgesamt 765.000 gefahrenen Kilometern. Insgesamt wurden für drei Fahrzeugklassen Zyklen, basierend auf Mikrotrips, geschaffen. Die Fahrzeugklassen spezifizieren das Verhältnis von Motorleistung zu Fahrzeuggesamtgewicht [9]. Es wird im Vergleich zum NEDC damit gerechnet, dass durch ein dynamischeres Fahrverhalten der Kraftstoffverbrauch steigen wird und somit die Anforderungen an die Hersteller erhöht werden.

In Abbildung 3.5 ist der generierte Zyklus für Fahrzeuge mit mehr als 34 Kilowatt Leistung pro Tonne Gewicht abgebildet. Die anderen Leistungskategorien sind bis 22 kW pro Tonne Eigengewicht und zwischen 22 und 34 kW Leistung pro Tonne Gewicht.

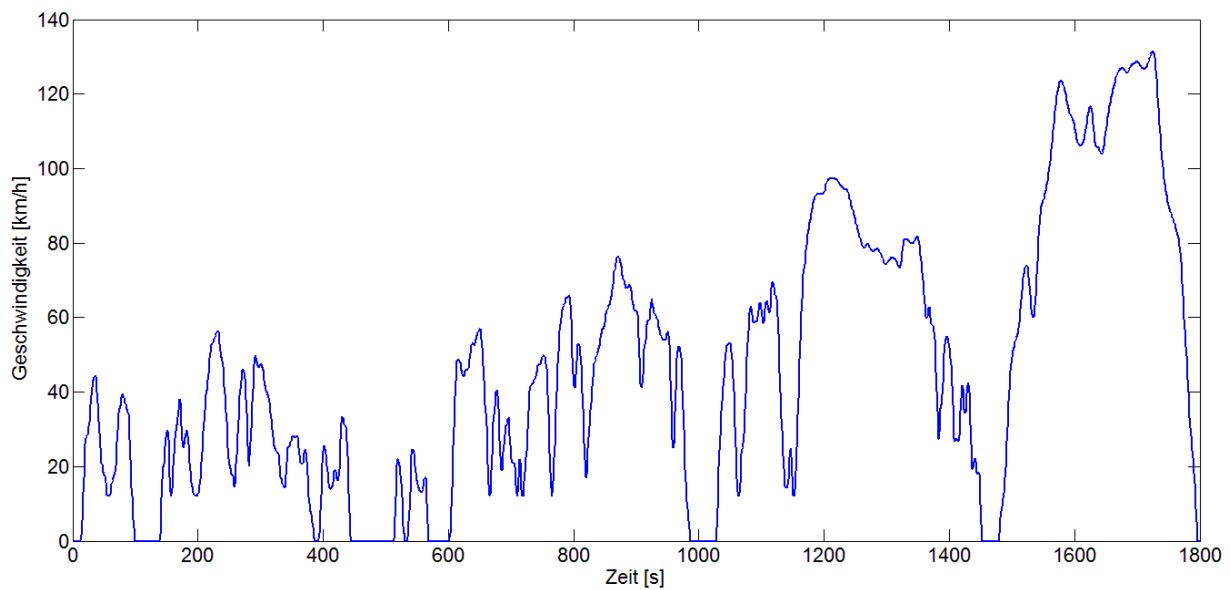


Abbildung 3.5: WLTC Class 3

Dieser Zyklus besteht aus vier Fahrsituationen, wobei man die erste einer Fahrt in der Stadt zuordnen könnte. Die Dauer dieses Abschnitts beträgt knapp 600 Sekunden. Verdeutlicht wird dies durch die höhere Stillstandszeit im Vergleich zu den anderen Situationen. Die Abschnitte zwei und drei beschreiben eine Fahrt auf einer Überlandstrasse. Abschnitt zwei endet nach 1000 Sekunden und drei nach 1450 Sekunden. Der letzte Abschnitt spiegelt eine Fahrt auf der Autobahn wieder.

## 3.2. Wesenszüge von Fahrzyklen

Um eine gewisse Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Fahrzyklen herstellen zu können, bedarf es einer Auswahl an beschreibenden Parametern. In einer Arbeit von Hung [5] wurde eine Liste von einundzwanzig statistischen Parametern veröffentlicht. In ihr finden sich leicht erkennbare Parameter wie die maximale Geschwindigkeit, mittlere Geschwindigkeit und Fahrdauer des Fahrzyklus, aber auch komplexere Parameter wie die mittlere Mikrotripdauer.

Eine Auflistung der von Hung beschriebenen Parameter findet sich in Tabelle 3.1. Als Vergleichsbasis werden in diesem Kapitel die leicht erkennbaren Parameter Gesamtzeit, mittlere Geschwindigkeit und maximale Geschwindigkeit herangezogen, um einen leicht verständlichen Überblick über die beschriebenen Fahrzyklen in Tabelle 3.2 zu geben.

Tabelle 3.1: Parameter von Fahrzyklen

Parameter	SI -Einheit
Anzahl Mikrotrips	[-]
Gesamtzeit	[s]
Zurückgelegte Distanz	[m]
Mittlere Mikrotrip Distanz	[m]
Mittlere Mikrotrip Dauer	[s]
Stopps pro Kilometer	[-]
Maximale Beschleunigung	[m/s <sup>2</sup> ]
Maximale Verzögerung	[m/s <sup>2</sup> ]
Stillstandzeit Prozentual	[%]
Beschleunigungszeit Prozentual	[%]
Verzögerungszeit Prozentual	[%]
Anfahrzeit Prozentual	[%]
Quadratisches Mittel Beschleunigung	[m/s <sup>2</sup> ]
Positive Kinetic Energy	[m/s <sup>2</sup> ]
Mittlere Beschleunigung	[m/s <sup>2</sup> ]
Mittlere Verzögerung	[m/s <sup>2</sup> ]
Mittlere Geschwindigkeit	[m/s]
Mittlere Fahrgeschwindigkeit (v >0 )	[m/s]
Maximale Geschwindigkeit	[m/s]
Mittlere Anzahl von Beschleunigungs- Verzögerungswechsel	[-]

Bei dem Vergleich der Zyklen aus Tabelle 3.2 fällt die angesprochene Kritik am JC 08 auf. Mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 24.4 km/h und einer maximalen Geschwindigkeit von 81 km/h kann keine Fahrt auf einer Überlandstraße oder Autobahn simuliert werden. Auffallend ist auch, dass sowohl die Fahrtdauer des FTP als auch des WLTC deutlich erhöht sind. Das lässt sich durch den Versuch, ein möglichst breites Spektrum an Fahrsituationen abzubilden, erklären.

Tabelle 3.2: Vergleich Fahrzyklen

Zyklus	Gesamtzeit [s]	Geschwindigkeit [km/h]	Geschwindigkeit [km/h]
NEDC	1180	33.6	120.0
FTP 75	1874	34.1	91.3
JC 08	1204	24.4	81.6
WLTC Class 3	1800	46.5	131.3

# 4 Materialien

In diesem Kapitel wird die National Household Travel Survey beschrieben, mit dem das Fahrverhalten der amerikanischen Fahrzeugflotte erfasst wird. Es wird auf das Motormodell eingegangen, mit dem die Verbrauchsberechnung durchgeführt wurde. Das Modell für die Berechnung des Verbrauchs der Klimaanlage wird ebenfalls beschrieben.

## 4.1. National Household Travel Survey

In den USA werden seit 1969 Erhebungen über das Mobilitätsverhalten der US-Bürger durchgeführt. Bis zum Jahr 2001 wurden diese Erhebungen National Personal Transportation Surveys genannt. In der Ausgabe vom Jahr 2009 wurden insgesamt 250 Parameter erfasst, darunter unter anderem der Zweck der Fahrt, das Fortbewegungsmittel, die Fahrtdauer und im Falle einer privaten Fahrt, die Anzahl der an Bord befindlichen Personen. Aus Gründen des Datenschutzes werden nicht der exakte Reisetag, sondern nur der Wochentag und das Monat angegeben. Die für diese Arbeit relevanten aufgezeichneten Daten zur Zyklusgeneration waren:

- Die zurückgelegte Distanz
- Die Fahrtdauer
- Monat und Uhrzeit der Fahrt.

Nicht enthaltene Informationen sind die Reisekosten, die spezielle Reiseroute oder etwaige Informationen, die die Daten eindeutig einem Haushalt zuordnen können.

Weitere Informationen, die zur Generation von Fahrzyklen benötigt werden, aber nicht in der NHTS enthalten, sind zum Beispiel:

- Straßentyp
- Motordrehzahl

Unter Straßentyp wird die Unterscheidung zwischen Autobahn, Bundesstraße oder Straße im städtischen Gebiet verstanden. Um den Straßentyp zu klassifizieren wurde in [4] durch die mittlere Geschwindigkeit und Fahrtdauer eine Kategorie für die Straße der jeweiligen Fahrt zugeordnet.

Unter allen Fahrten in der NHTS befinden sich rund eine Million Autofahrten. Die NHTS wird primär benutzt, um das Reiseverhalten zu quantifizieren und die Änderungen der Reisecharakteristiken im Laufe der Zeit zu analysieren [3].

Diese Datenbank wird kostenlos, durch das U.S. Department of Transportation, zur Verfügung gestellt. Das Akquirieren der Daten dauerte ein Jahr und wurde telefonisch durchgeführt.

## 4.2. Mittlere Monatstemperaturen

Um den energetischen Verbrauch der Klimaanlage bestimmen zu können, ist die Außentemperatur als Eingangsparameter in das Klimaanlagenmodell zu benutzen.

Die Daten zu den mittleren Monatstemperaturen stammen von Meteonorm 6.0. Meteonorm ist eine Applikation, die auf über 8000 Wetterstationen weltweit zugreifen kann [8]. In dieser Arbeit wurden Temperaturen aus dem europäischen Raum benutzt. Es wurden die mittleren Monatstemperaturen von 25 Städten zu jeder Stunde bestimmt. In Tabelle 4.1 sind die mittleren Monatstemperaturen von 25 europäischen Städten aufgelistet. Die Spalten zeigen das Monat an und die Zeilen die Stunde des Tages. Die Einträge im Hauptteil sind die mittleren Monatstemperaturen zu den jeweiligen Uhrzeiten in Grad Celsius.

Tabelle 4.1: Mittlere Monatstemperaturen Europa

	Januar	Feber	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept- ember	Okto- ber	Nov- ember	Dez- ember
1 Uhr	0.64	1.44	4.15	7.54	11.94	15.13	17.39	17.63	13.53	9.82	5.03	1.47
2 Uhr	0.31	0.99	3.63	6.87	11.24	14.31	16.65	16.95	12.88	9.32	4.67	1.13
3 Uhr	-0.03	0.53	3.15	6.45	10.83	13.75	16.20	16.53	12.40	8.84	4.29	0.80
4 Uhr	-0.21	0.32	2.87	6.09	10.56	13.53	15.92	16.18	12.05	8.58	4.09	0.62
5 Uhr	-0.37	0.09	2.60	5.86	10.57	13.68	15.94	16.00	11.78	8.33	3.89	0.46
6 Uhr	-0.52	-0.07	2.44	5.97	11.21	14.43	16.54	16.25	11.72	8.16	3.75	0.32
7 Uhr	-0.64	-0.22	2.58	6.82	12.34	15.53	17.58	17.24	12.31	8.24	3.64	0.20
8 Uhr	-0.68	-0.03	3.51	8.05	13.64	16.78	18.80	18.53	13.55	9.16	3.84	0.16
9 Uhr	-0.19	1.00	4.82	9.39	14.99	18.09	20.07	19.91	14.94	10.45	4.84	0.69
10 Uhr	0.89	2.31	6.14	10.68	16.28	19.37	21.29	21.26	16.30	11.76	6.01	1.85
11 Uhr	1.99	3.57	7.40	11.87	17.45	20.54	22.42	22.50	17.51	12.95	7.09	2.97
12 Uhr	2.94	4.63	8.45	12.86	18.33	21.40	23.29	23.48	18.52	13.90	7.93	3.87
13 Uhr	3.60	5.39	9.25	13.60	19.02	22.08	23.96	24.25	19.29	14.59	8.49	4.44
14 Uhr	4.15	5.99	9.83	14.08	19.48	22.56	24.42	24.78	19.81	15.13	8.96	4.85
15 Uhr	4.27	6.22	10.07	14.29	19.69	22.80	24.67	25.04	20.02	15.25	8.96	4.79
16 Uhr	3.94	6.01	9.96	14.23	19.67	22.83	24.71	25.03	19.90	14.92	8.47	4.27
17 Uhr	3.25	5.35	9.46	13.82	19.35	22.59	24.49	24.68	19.38	14.17	7.71	3.68
18 Uhr	2.79	4.51	8.62	13.08	18.72	22.06	23.97	23.99	18.51	13.32	7.29	3.37
19 Uhr	2.47	4.00	7.77	12.12	17.85	21.28	23.21	23.07	17.58	12.75	6.94	3.10
20 Uhr	2.16	3.56	7.13	11.26	16.89	20.35	22.29	22.08	16.80	12.22	6.61	2.84
21 Uhr	1.87	3.13	6.53	10.46	15.93	19.38	21.33	21.15	16.06	11.70	6.28	2.57
22 Uhr	1.57	2.69	5.92	9.66	14.91	18.26	20.29	20.20	15.30	11.18	5.94	2.30
23 Uhr	1.27	2.25	5.33	8.87	13.90	17.11	19.22	19.25	14.55	10.65	5.60	2.03
24 Uhr	0.97	1.83	4.71	8.07	12.88	15.97	18.16	18.30	13.79	10.12	5.28	1.77

### 4.3. Motormodell

Das in dieser Arbeit verwendete Motormodell beschreibt eine synthetische Verbrennungskraftmaschine mit 2.4 Liter Hubraum. Dabei handelt es sich um einen fünf Zylinder-Reihenmotor, der mit Diesel betrieben wird, ausgestattet mit der Common Rail Technologie. Bei dieser Technologie werden alle Zylinder durch dieselbe Kraftstoff-Hochdruckleitung versorgt. Es kommt also nur eine Pumpe zum Einsatz, die das Druckniveau für alle Zylinder herstellt.

Die Vorteile dieser Technologie sind die Variationen des Einspritzdrucks, der Druckhöhe und der Einspritzpunkte. Diese Vorteile werden durch die Entkopplung des Druckerzeugers und des Injektors [12] realisiert. In Abbildung 4.1 sind die Komponenten eines Common Rail Einspritzsystems zu sehen.

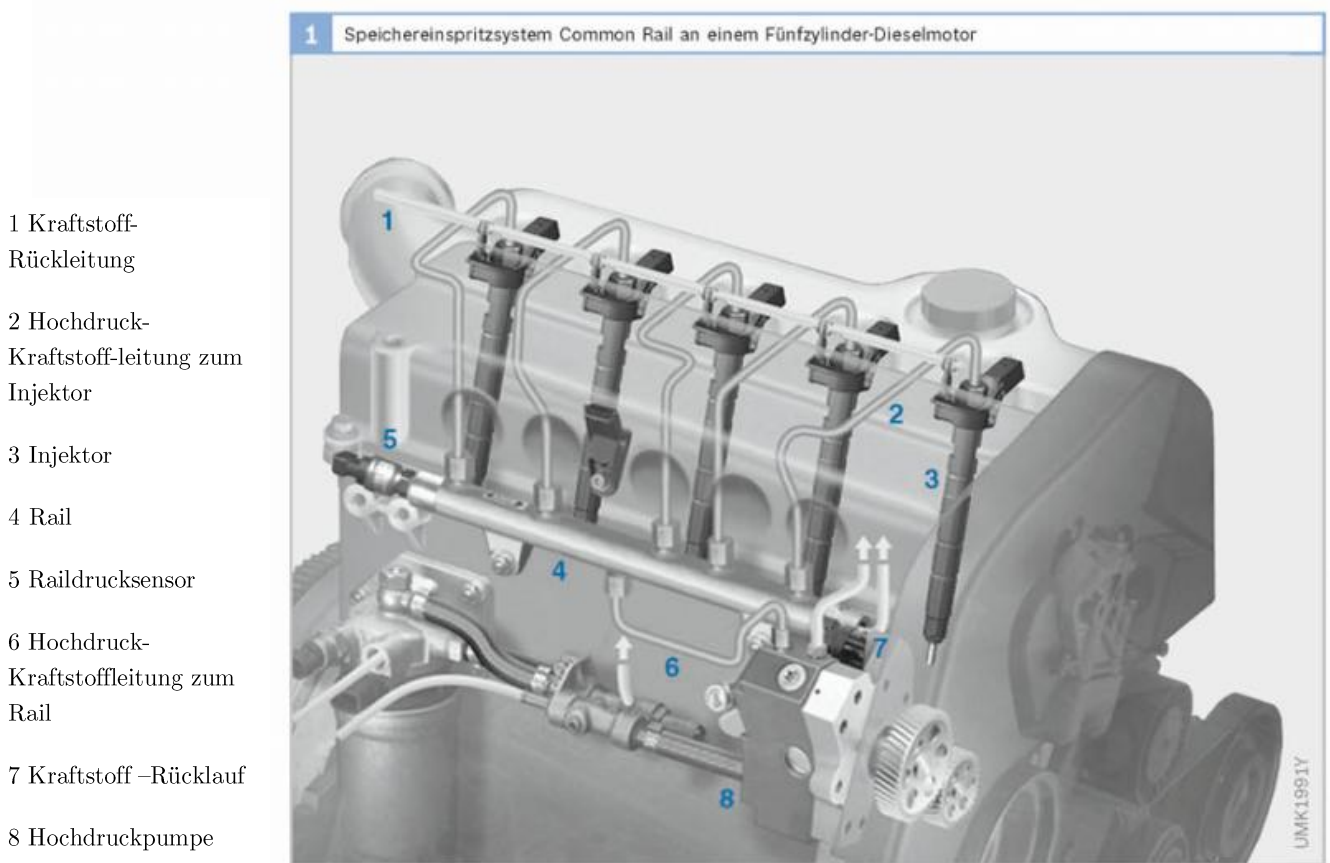


Abbildung 4.1: Komponenten Common Rail [12]

### 4.3.1. Formulierung und Anwendung

Abbildung 4.2 zeigt das linear interpolierte Kennfeld des verwendeten Motors. Dieses Kennfeld gibt eine eindeutige Zuweisung des verbrauchten Kraftstoffes zu einer Drehzahl und einem gelieferten Moment. Um diese Abbildung zu erhalten, mussten die von Christian Doppler zur Verfügung gestellten Wertetripel interpoliert werden. Zur Verfügung gestellt wurden 82 Wertetripel bei elf verschiedenen Drehzahlen. Ein Wertetripel besteht aus einer Drehzahl, einem Moment und dem zugehörigen Kraftstoffverbrauch. Zwischen den Stützstellen wurde linear interpoliert.

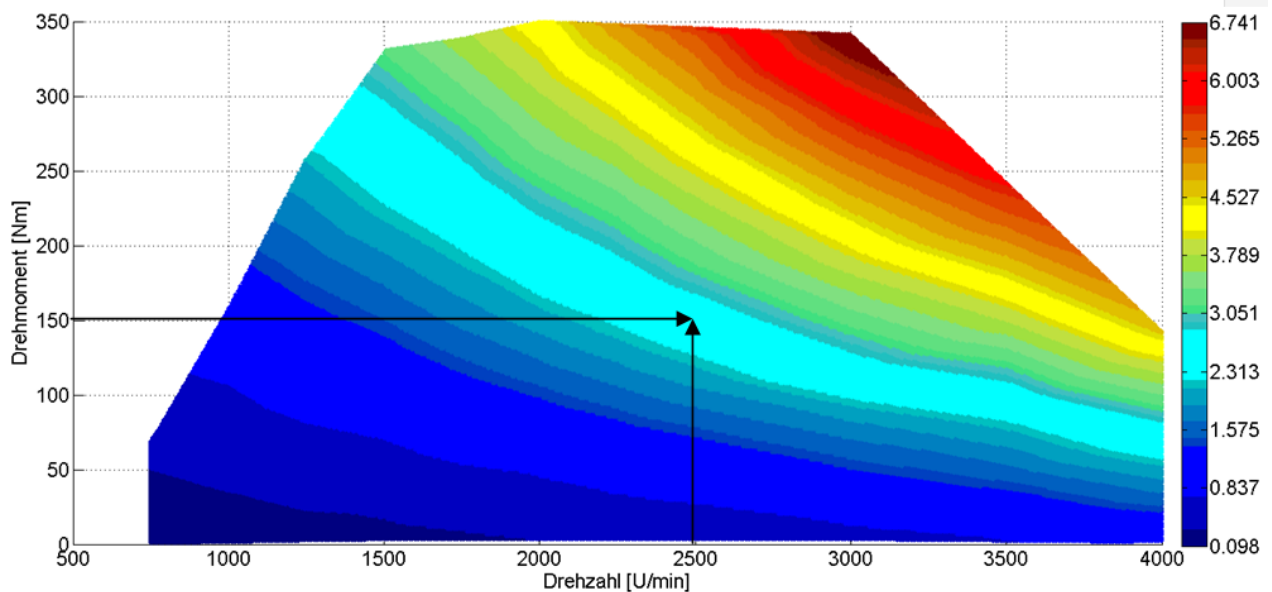


Abbildung 4.2: Interpolierte Abbildung des Kennfelds des Motors

Geht man beispielsweise von einer Drehzahl von 2500 Umdrehungen pro Minute und einem Moment von 150 Newtonmetern aus, findet man den Verbrauch von rund 2.75 Gramm pro Sekunde.

Die mathematische Beschreibung des Modells ist in 4-1 zu sehen.

$$F_c = f(M, N) \quad 4-1$$

$F_c$  ... Kraftstoffverbrauch [g/s]

$M$  ... Motormoment [Nm]

$N$  ... Motordrehzahl [U/min]

Formel 4-1 sagt aus, dass der Kraftstoffverbrauch nur vom Motormoment und der Drehzahl abhängig ist.



Die geringste Drehzahl, die in den bereitgestellten Daten zu enthalten war, war 750 U/min, die maximale Drehzahl 4000 U/min. Das maximale Moment des Motors aus **Abbildung 4.2** beträgt 350 Nm.

## 4.4. Klimaanlage

Die Klimaanlage ist der größte Nebenverbraucher im Fahrzeug und benötigt bis zu drei kW Leistung zum Kühlen. In rund 90 Prozent aller Neuwagen ist eine Klimaanlage eingebaut [13]. Die Standardvarianten sind manuelle, vollautomatische und halbautomatische Anlagen. Der Unterschied liegt bei den vom Benutzer per Hand einzustellenden Parametern. Bei der vollautomatischen Anlage wird nur die Temperatur eingestellt. Die halbautomatische Anlage benötigt die Einstellung der Temperatur und der Gebläsestufe. Die manuelle Anlage kann nur ein- oder ausgeschaltet werden. Weiter gibt es die Variante einer Mehrzonenklimaanlage, die es ermöglicht, verschiedene Temperaturen für Fahrer und Beifahrer einstellen zu können.

Den Anfang der PKW-Klimatisierung machte die USA in den 1940er Jahren. Diese Anlagen waren mit den heutigen natürlich nicht vergleichbar. Klimaanlage mit vergleichbarer Funktion, wurden in den 80er Jahren gebaut. Die konstante Weiterentwicklung führte zu energiesparenden und umweltfreundlicheren Konzepten. So wurde das Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoff-Kältemittel R12, Dichlordifluormethan verboten und geregelte Expansionsventile anstatt einer gewöhnlichen Drossel eingeführt [14].

Ein besonderes Augenmerk wird auf das Kältemittel gelegt, da dieses den Treibhauseffekt fördert. Im Großteil der heute im Einsatz befindlichen PKW-Anlagen wird das Kältemittel R134a, Tetrafluorethan, benutzt. Nach der Richtlinie 2006/40/EG des europäischen Parlaments und des europäischen Rates wurde eine Richtlinie zur Begrenzung des Global Warming Potentials, „GWP“, des Kühlmittels, stufenweise über drei Jahre eingeführt. Das Gas CO<sub>2</sub> hat ein definiertes GWP von eins. Ab dem Jahr 2011 wurden von den EU Mitgliedsstaaten keine EG- Typengenehmigungen und keine Betriebserlaubnis für Fahrzeugtypen erteilt, deren Klimaanlage auf ein Kältemittel mit einem GWP von über 150 ausgelegt ist. Ab dem Jahr 2017 müssen EU Mitgliedsstaaten bei neuen Fahrzeugen, deren Klimaanlage auf ein Kältemittel mit einem GWP höher als 150, die Zulassung und die Inbetriebnahme verweigern. Das GWP von R134a beträgt 1430 und soll durch R1234yf, Tetrafluorpropen, dessen GWP 4.4 ist, abgelöst werden.

Grundlegend wird festgehalten, dass Klimaanlage in PKW die Aufgabe haben, eine bestimmte, vom Fahrer gewünschte, klimatische Situation einzustellen. Einerseits wird das dem Komfort zugerechnet, andererseits kann es auch als sicherheitstechnischer Aspekt betrachtet werden. Durch das Schaffen eines Raumklimas, das dem Fahrer zusagt, wird weniger an gedanklicher und gegebenenfalls auch physischer Aufwendung benötigt. Dadurch ist mehr Konzentration vorhanden, um die Verkehrssituation richtig einzuschätzen und richtig zu reagieren.

#### 4.4.1. Funktion von Fahrzeugklimaanlage

Um die Fahrgastzelle zu kühlen, läuft ein linksläufiger thermodynamischer Kreisprozess in der Klimaanlage. Sie besteht aus den Komponenten Verdichter, Kondensator, Drossel und Verdampfer. Eine schematische Darstellung zeigt Abbildung 4.3. In Punkt eins (1) der Abbildung 4.3 liegt überhitzter Dampf vor, der vom Kompressor verdichtet wird (2). Anschließend wird diesem Dampf im Kondensator Wärme entzogen und so isobar verflüssigt (3). Es folgt die isenthalpe Entspannung zu (4). Bei dieser Entspannung findet eine Abkühlung statt. Anschließend folgt die Wärmezufuhr im Verdampfer zu (1). Die Verdampfungstemperatur beträgt in der PKW Kälteanlage etwa  $0^{\circ}\text{C}$  [14].

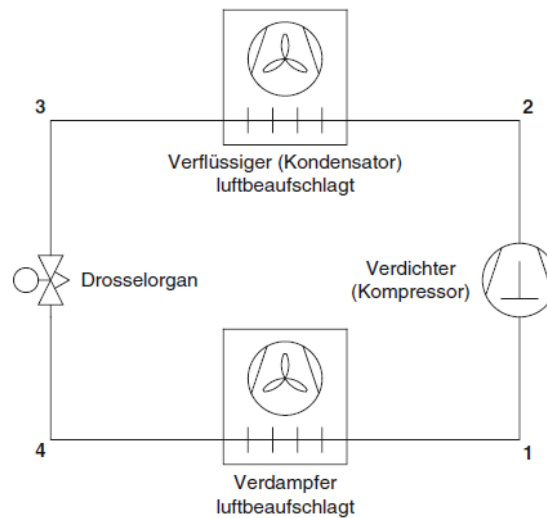


Abbildung 4.3: Schematische Darstellung Klimaanlage [14]

Die Anwendung dieses Prozesses auf einen PKW ist in Abbildung 4.4 dargestellt. Es wurden die Punkte der schematischen Abbildung 4.3 in das Bild eingefügt. Das Drosselorgan ist als Expansionsventil ausgeführt.

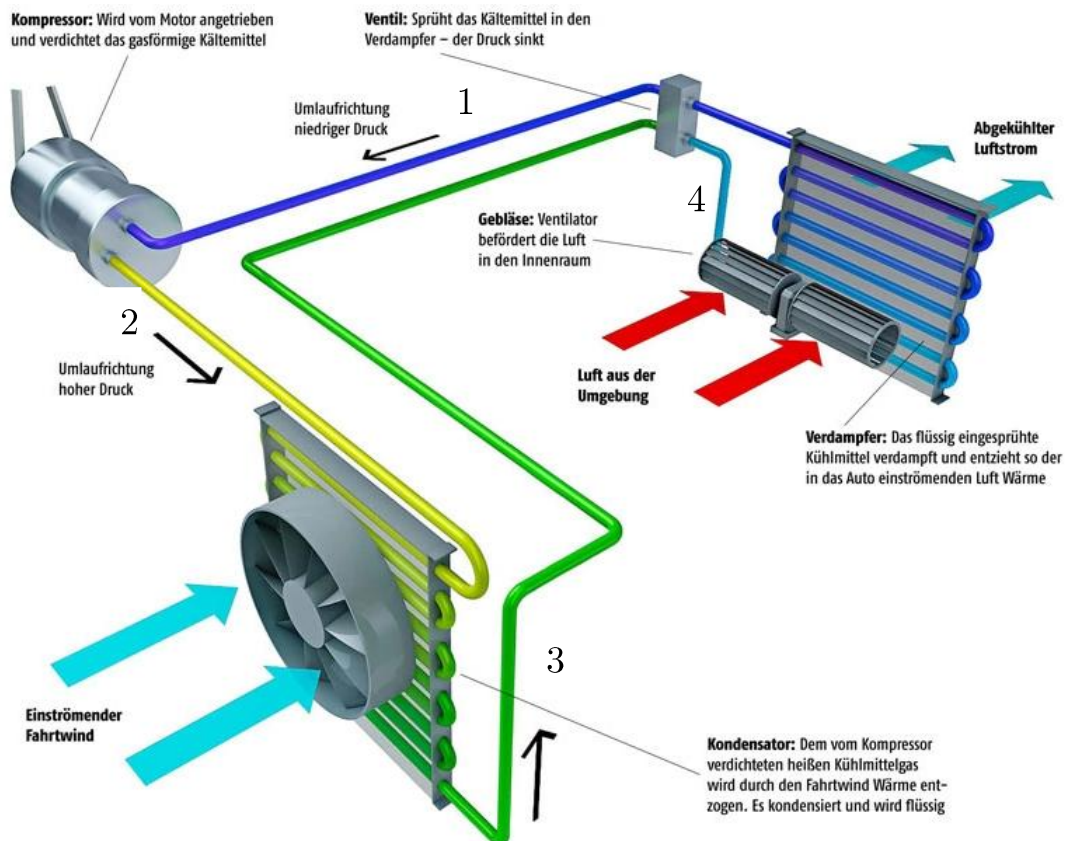


Abbildung 4.4: PKW Klimatisierung[15]

#### 4.4.2. Modell der Klimaanlage

Um den energetischen Verbrauch einer Klimaanlage bestimmen zu können, bedarf es eines Modells. In dieser Arbeit wird das Klimaanlagenmodell Green Mac LCCPv3 verwendet [16]. Dieses Modell ist ein Tool mit dem eine einfache und schnelle Abschätzung zum Leistungsbedarf einer Klimaanlage gemacht werden kann. Es wird nur die Außentemperatur und die Motordrehzahl berücksichtigt. Für diese Arbeit konnte dieses einfache Modell verwendet werden, da das Hauptaugenmerk nicht auf die Entwicklung eines Klimaanlagenmodells, sondern auf die Entwicklung einer schnell rechnenden Methode zur Berechnung des Jahresenergieverbrauchs eines beliebigen Verbrauchers gelegt wurde. Das Modell Green Mac LCCPv3 wurde vom Auftraggeber bestimmt.

Alternativ hätte zum Beispiel das Modell Air Conditioning Library verwendet werden können. Dieses Modell ist durchaus komplexer und lässt den User selbst den Kreisprozess, wie er in Abbildung 4.3 dargestellt ist, modellieren [17]. Die Verwendung eines komplexeren Modells, ist für den Zweck der Reduktion der zu berechnenden Fahrten nicht notwendig, da ein komplexeres Modell immer mit einer Erhöhung der Rechenzeit einhergeht und gerade diese verringert werden soll. Es steht bei dieser Arbeit nicht der berechnete Wert zum Verbrauch der Klimaanlage im Vordergrund, sondern die mögliche Reduktion des Datensatzes.

Die mathematische Formulierung des Modells Green Mac LCCPv3, ist in Formel 4-2 beschrieben.

$$P = f(T, N) \quad 4-2$$

$P$  ... Leistung [kW]

$T$  ... Außentemperatur [°C]

$N$  ... Kompressordrehzahl [U/min]

In Worten ausgedrückt bedeutet Formel 4-2, dass die benötigte Leistung aufgrund von Außentemperatur und Motordrehzahl berechnet wird. Für eine genauere Berechnung einer Klimaanlage würden zumindest die Luftfeuchte und die Sonneneinstrahlung als zusätzliche Parameter verwendet werden müssen. Eine getroffene Annahme ist die Übersetzung des Motors zum Klimakompressor von eins. Mit Kompressordrehzahl und Außentemperatur können die beiden Parameter „CAP“ und „COP“ bestimmt werden. „CAP“ steht für Evaporator Capacity und „COP“ für coefficient of performance.

$$P = \frac{CAP(T, N)}{COP(T, N)} \quad 4-3$$

$CAP$  ... Evaporator Capacity [kW]

$COP$  ... Coefficient of Performance [-]

Das Modell liefert Berechnungsvorschriften zu bestimmten Temperaturen und Drehzahlen. Zwischen den Temperaturen wird linear interpoliert. Die Drehzahlen sind Variablen, die in ein Polynom eingesetzt werden. Es liegen verschiedene Polynome für die Temperaturbereiche von 15°C, 25°C, 35°C und 45°C vor. Abbildung 4.5 zeigt die aus den Polynomen berechneten Werte des CAP für verschiedene Temperaturen und Drehzahlen, die von einer generischen Klimaanlage stammen und in dieser Arbeit verwendet wurden.

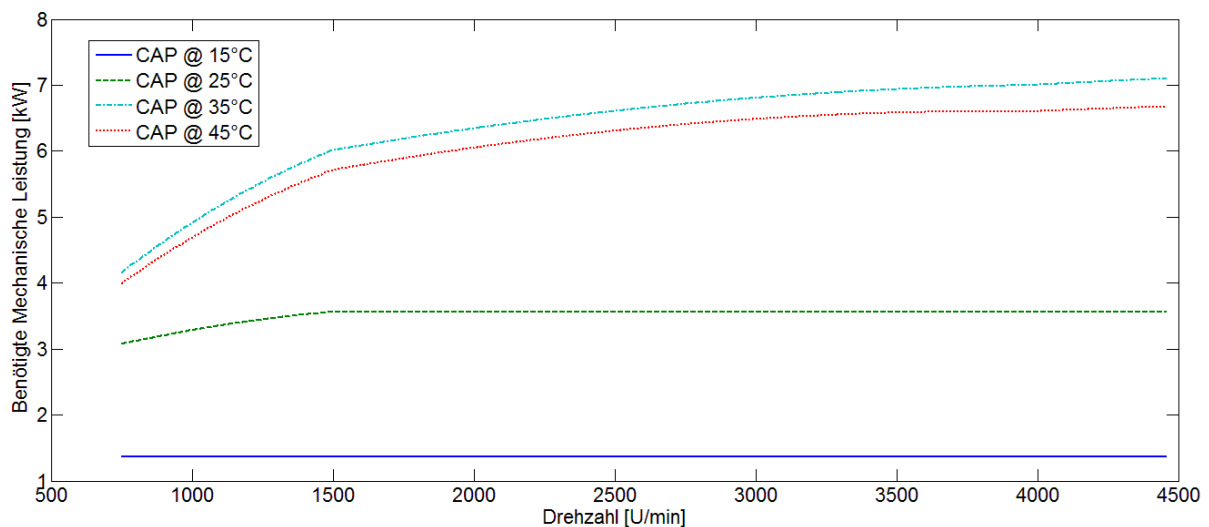


Abbildung 4.5: CAP Werte

Auffallend in Abbildung 4.5 ist, dass der CAP Wert bei fünfzehn Grad Celsius annähernd konstant bleibt und bei den anderen Temperaturen nicht. Interpretiert kann das folgendermaßen werden. Der CAP Wert ist definiert über den Wärmeübergang vom Kühlmittel auf die in das Fahrzeug strömende Luft. Bei Temperaturen über fünfzehn Grad Celsius steigt die benötigte Kompressorleistung mit der Drehzahl, aufgrund eines schlechteren Wärmeübergangs. Das ist eine Eigenheit des verwendeten Modells und wird in der Realität nicht dermaßen sein. In Abbildung 4.6 sind die Verläufe des COP für verschiedene Temperaturen bei verschiedenen Drehzahlen abgebildet. Der Coefficient of Performance hat bei diesem Modell bei niedrigen Drehzahlen einen höheren Wert, also einen höheren Wirkungsgrad. Der Grund dafür, dass sich zwei Linien schneiden ist wiederum eine Eigenheit des Modells. In der Realität wird dieses Verhalten nicht bestätigt werden.

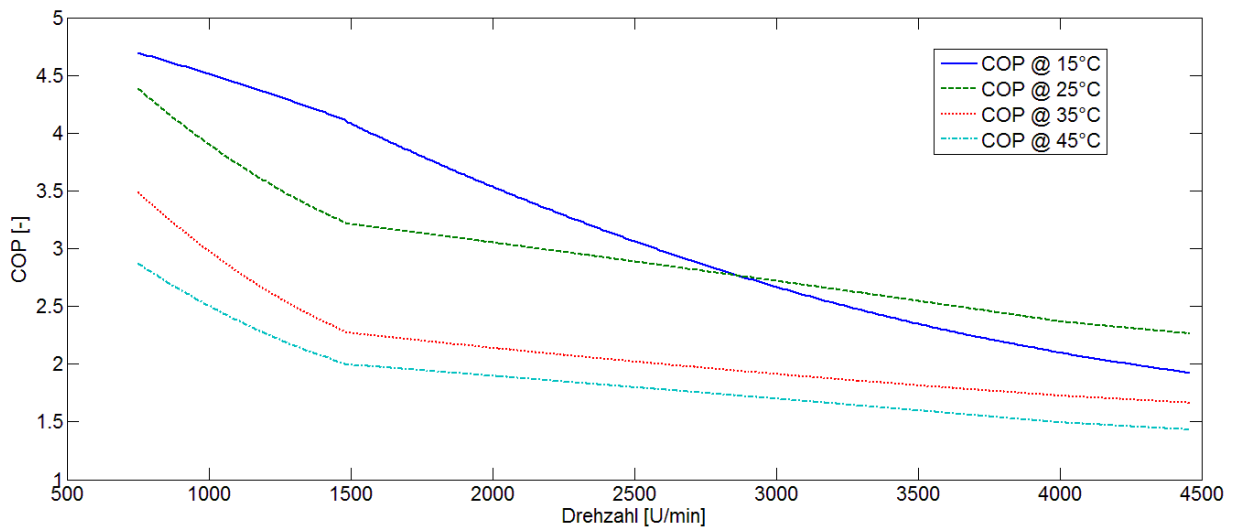


Abbildung 4.6: COP Klimaanlagemodell

## 4.5. Vecept Fahrzeugflotte

Das Vecept Projekt (Vehicle with cost-efficient power train) versucht die Entwicklung von alltagstauglichen Hybrid Fahrzeugen voranzutreiben [18]. Eines der Hauptziele von Vecept ist die Markteinführung eines Plug-In Hybridfahrzeuges 2017. Ein Hybridfahrzeug ist ein mit zwei Antriebsmaschinen ausgestattetes Fahrzeug. Im Fall von Vecept ist es mit einem Verbrennungsmotor und einem Elektromotor ausgestattet. Der Zusatz Plug-In beschreibt die Möglichkeit, das Fahrzeug bei Stromtankstellen laden zu können. Das soll dazu beitragen, dem Benutzer Bedenken einer geringen Reichweite zu nehmen [18]. Ein weiteres Ziel von Vecept ist die Optimierung von Energiespeichern bezüglich des Einsatzes in Hybridfahrzeugen. Diese Optimierung findet basierend auf den Ergebnissen von empORA (E-Mobile Power Austria [19]) statt.

Für Vecept wurden die OBD und GPS Daten von insgesamt dreizehn Versuchsfahrzeugen über einen Zeitraum von neun Monaten mit einem speziellen Datenerfassungssystem („ViFDRIVE“) erfasst. Abbildung 4.7 zeigt das an der Windschutzscheibe haftende Erfassungssystem. In diesem System sind die Sensoren Beschleunigungssensor, Temperatursensor und Gyroskop verbaut. In dieser Arbeit wurden die Daten, die diese Sensoren aufzeichneten, nicht verwendet. Jedoch wurden die Daten des OBD-Systems verwendet, die über Bluetooth an ViFDRIVE gesendet wurden. Die Messdaten wurden von ViFDRIVE an einen FTP Server geschickt, wo sie heruntergeladen wurden.



Abbildung 4.7: ViFDRIVE

Eine Liste der Fahrzeuge ist in Tabelle 4.2 angeführt. Hinsichtlich der Motorisierung wie auch des Aufbaus sind Unterschiede zwischen den Fahrzeugen feststellbar, die direkten Einfluss auf die energetischen Verbräuche haben.

Tabelle 4.2: Vecept Fahrzeugflotte

Fahrzeugtype
BMW X3 3.0d
Ford Galaxy 2.0 TDCI(2 Fahrzeuge)
Ford Transit 2.2 TDCi
Skoda Superb 1.9 TDi
Toyota Prius Hybrid
Ford Transit unbekannter Motor
VW Crafter 2.5 TDi
VW Passat 1.9 TDi
VW Passat 2.0 TDi
VW Sharan 1.9 TDi
VW Transporter 2.0 TDi
VW Caddy 2.0 SDi

Die für diese Arbeit relevanten Daten des OBD-Systems sind die Fahrzeuggeschwindigkeit, Motordrehzahl und Engine Load. Die Engine Load gibt Auskunft über das Verhältnis des vom Motor gelieferten Drehmoments zum maximalen Drehmoment des Motors bei einer gewissen Drehzahl.

Vom GPS System wurden ebenfalls die Geschwindigkeit, die aktuelle Zeit und die Längs- und Breitenkoordinaten importiert. Zu Überprüfungszwecken wurden die Anzahl der Satelliten und das Signal, das die Gültigkeit vom GPS Signal bewertet, importiert. Die Geschwindigkeit des GPS Systems wurde zur Überprüfung der OBD-Daten herangezogen.

## 4.6. Google Directions API <sup>©</sup>

In dieser Arbeit wurde die Google Directions API benutzt, um Mikrotrips einem Straßentyp zuzuordnen. Die Anwendung der Google Directions API ist in Kapitel 5.4 beschrieben. Die Google Directions API<sup>©</sup> ist ein Dienst zur Berechnung von Wegbeschreibungen. Das Kürzel API steht für „Application Programmable Interface“. Als Eingang werden Http Protokolle benutzt, die entweder Start- und Zieladresse beinhalten oder Breiten- und Längengrade [20]. In dieser Arbeit wurden die Breiten- und Längengrade, vom GPS stammend, übergeben.

Eine Anfrage an die Directions API hat die folgende Form: <http://maps.googleapis.com/maps/api/directions/output?parameters> [20]. Das Format des Outputs kann vom User bestimmt werden. Zur Verfügung stehen json (javaScript Object notation) und xml (Extensible markup Language). In dieser Arbeit wurde das Ausgabeformat XML gewählt.

Dieser API müssen Parameter übergeben werden. In der Anfrage müssen Start- und Endpunkt definiert werden. Es gibt eine Reihe von weiteren Optionen, zum Beispiel welches Fortbewegungsmittel benutzt wird, ob Straßen, wie zum Beispiel Autobahnen, gemieden werden sollen und wann diese Reise durchgeführt wird.

Um Urheberrechtsverletzungen zu vermeiden, sollte jede Anfrage auf einer Google Map dargestellt werden.

# 5 Methoden

In diesem Kapitel werden die in dieser Arbeit verwendeten Methoden beschrieben. Der erste Abschnitt behandelt Methoden zur Generation von Fahrzyklen. Dabei handelt es sich um eine Monte Carlo Methode, die zufällig Mikrotrips aneinanderreicht und um die Generation durch Markow-Ketten, die auf Übergangswahrscheinlichkeiten basiert. Es wird in der Folge eine Methode vorgestellt, die durch eine Google Abfrage einem Mikrotrip einen Straßentyp zuordnen kann. Um von einem generierten Fahrzyklus zu einem Kraftstoffverbrauch zu gelangen, wird die Methode zur Berechnung des Kraftstoffverbrauchs vorgestellt. Für die Auswertung des energetischen Verbrauchs der Klimaanlage wird eine Methode gezeigt, die einem Zeitpunkt einer Fahrt eine Temperatur zuordnet. Mit den durch diese Methoden bestimmten Verbräuchen und den Modellen des Motors und der Klimaanlage kann der Jahresenergieverbrauch berechnet werden.

## 5.1. Methode zur Generation von Mikrotrips

Ein Mikrotrip ist der Verlauf der Geschwindigkeit einer Einzelfahrt zwischen den Zeitpunkten an denen das Fahrzeug still steht. In Abbildung 5.1 ist eine Einzelfahrt bestehend aus zwei Mikrotrips dargestellt.

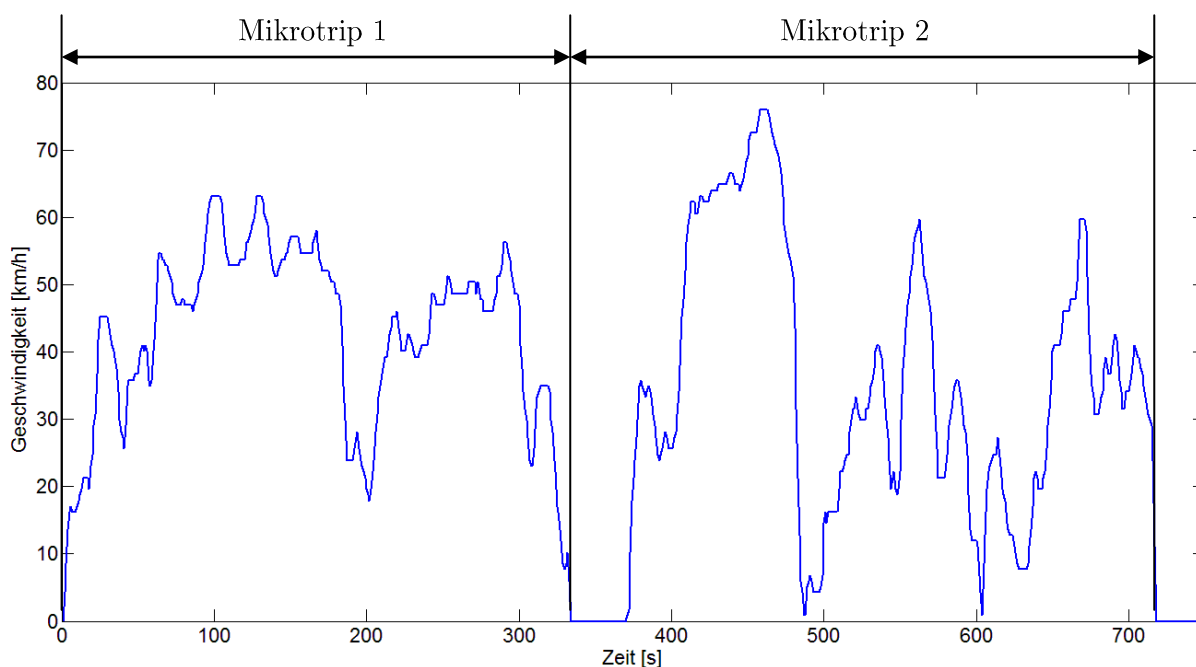


Abbildung 5.1: Beispiel Mikrotrip



In dieser Diplomarbeit werden alle Einzelfahrten der Vecept Fahrzeuge nach Mikrotrips durchsucht und es werden diese Mikrotrips extrahiert. Gespeichert werden sie in einer Mikrotripdatenbank, die in Kapitel 6 beschrieben wird. Ein Mikrotrip ist stets Teil einer Einzelfahrt. Die maximale Länge eines Mikrotrips entspricht der Länge der Einzelfahrt, in der er vorkommt. Eine Einzelfahrt kann aus beliebig vielen Mikrotrips bestehen.

Den Mikrotrips wurde nicht nur der Geschwindigkeitsvektor, sondern auch Start- und Endzeitpunkt, sowie die GPS Koordinaten bei Start- und Endpunkt, die Straßenkategorie und die Vektoren der Motordrehzahl und Engine Load zugeschrieben.

## 5.2. Methoden zur Erzeugung von Fahrzyklen

### 5.2.1. Monte-Carlo-Methode

Es ist möglich einen Fahrzyklus zu generieren, indem man zufällig ausgewählte Mikrotrips aneinanderreihet. Das Anforderungsprofil, zu dem der Fahrzyklus generiert wird, stammt aus der NHTS und beinhaltet eine mittlere Geschwindigkeit und die Fahrdauer. Zusätzlich zu dieser Anforderung aus der NHTS wird bei der Monte-Carlo-Methode auf den Straßentyp eingegangen. Der Straßentyp wurde aufgrund der mittleren Geschwindigkeit und Fahrdauer von der Autorin von [4] bestimmt. Entsprechend diesem Profil wird eine Anzahl von Mikrotrips aneinandergereiht, deren Gesamtdauer der Anforderung an die Fahrdauer genügt. Anschließend wird der zusammengesetzte Fahrzyklus auf seine Durchschnittsgeschwindigkeit geprüft und akzeptiert oder verworfen. Der Algorithmus ist graphisch in Abbildung 5.2 zu sehen. Der Prozess beginnt mit dem Lesen der Anforderungen durch den Generierer. Der Generierer verbindet den Prozess der Zyklusgeneration mit dem Anforderungsprofil. Dieser wählt aufgrund der Anforderungen den Mikrotrippool und daraus zufällig einen Mikrotrip aus. Die Mikrotrippools unterscheiden sich nach dem Straßentyp. Die Zuordnung der Mikrotrips zur Kategorie der Straße ist in Kapitel 5.3 beschrieben. In Tabelle 5.1 sind die Anforderungen aufgelistet.

Tabelle 5.1: Anforderungen an die Monte-Carlo-Methode

Anforderung	Toleranz
Fahrdauer [s]	3 %
Mittlere Geschwindigkeit [km/h]	3 %
Zeit auf Straßentyp [s]	3 %

Zufällig ausgewählte Mikrotrips werden solange aneinandergereiht, bis die vorgeschriebene Dauer des Fahrzyklus erreicht wird. Ist die Dauer des Zyklus außerhalb der Toleranz wird der Zyklus verworfen und der Prozess neu gestartet. Wenn die Zeitdauer innerhalb der Toleranz liegt, wird fortgefahren und die mittlere Geschwindigkeit berechnet. Dieser Parameter wird dann mit der Anforderung verglichen. Liegt die mittlere Geschwindigkeit im Bereich der Toleranz, wird der Zyklus akzeptiert. Werden die Anforderungen verfehlt, beginnt das Prozedere von neuem. Wird von einem Fahrzyklus gefordert, dass er zum Beispiel 50 Prozent seiner Zeit auf der Autobahn und 50 Prozent in der Stadt stattfindet, wird die Fahrdauer durch die Anforderung „Zeit auf Straßentyp“ ersetzt. Das restliche Prozedere bleibt ident.

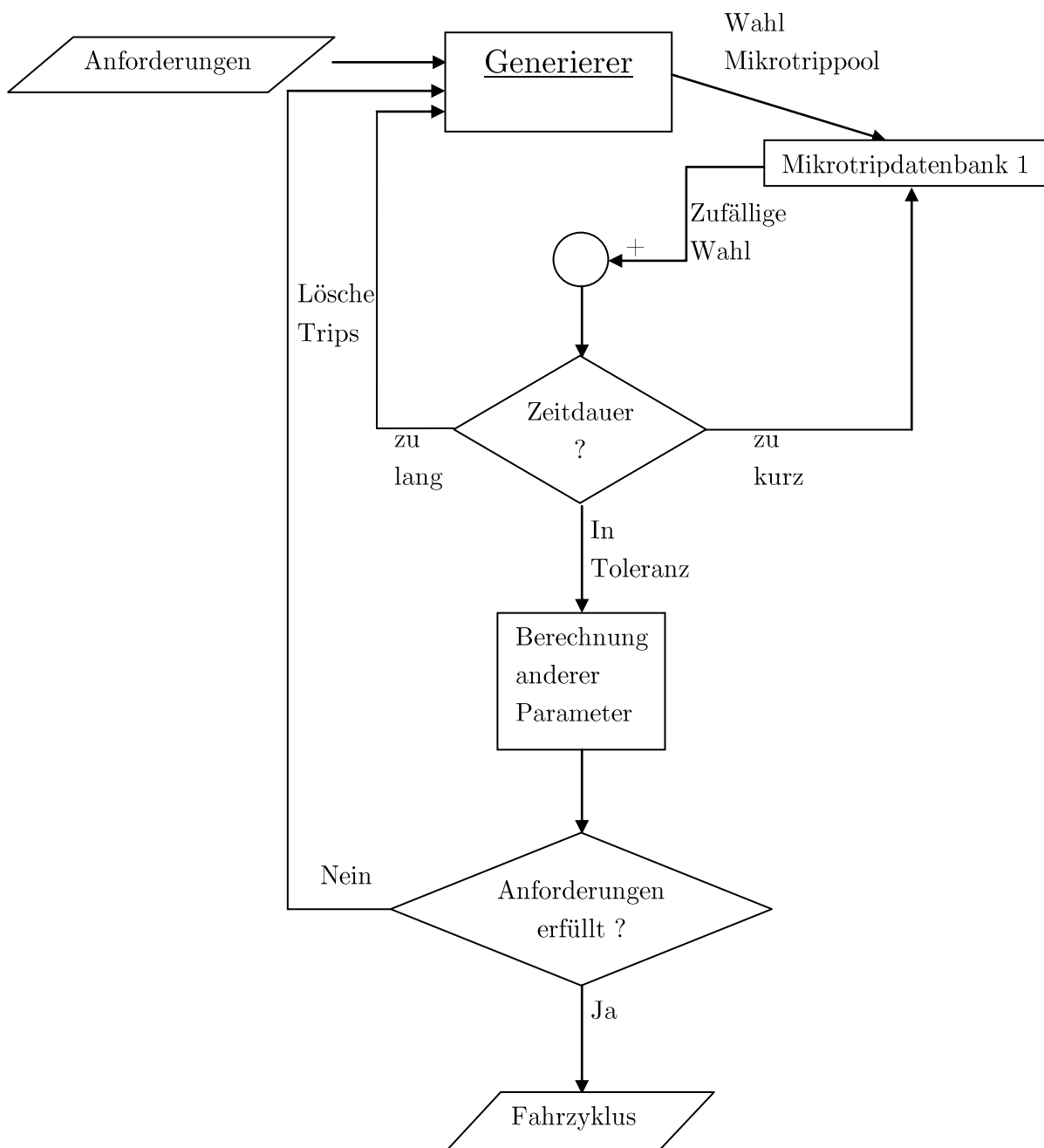


Abbildung 5.2: Generierer

## 5.2.2. Markow-Ketten

### i) Definition

Markow-Ketten sind auf Wahrscheinlichkeiten basierende Prozesse, die verwendet werden, um einen in der Zukunft liegenden Zustand vorauszusagen. Dazu werden Übergangswahrscheinlichkeiten von einem Zustand zum folgenden definiert. Die Besonderheit der Markow-Kette ist, dass der nächste Zustand nur vom aktuellen und von keinem anderen abhängt.

### ii) Übergangswahrscheinlichkeiten

Beispielhaft sei ein System wie in Abbildung 5.3 gegeben. Es gibt drei mögliche Zustände: A, B und S. Für jeden Zustand sind die Übergangswahrscheinlichkeiten zu einem anderen bekannt. Zum Beispiel ist die Wahrscheinlichkeit, dass auf Zustand A der Zustand B folgt, vierzig Prozent.

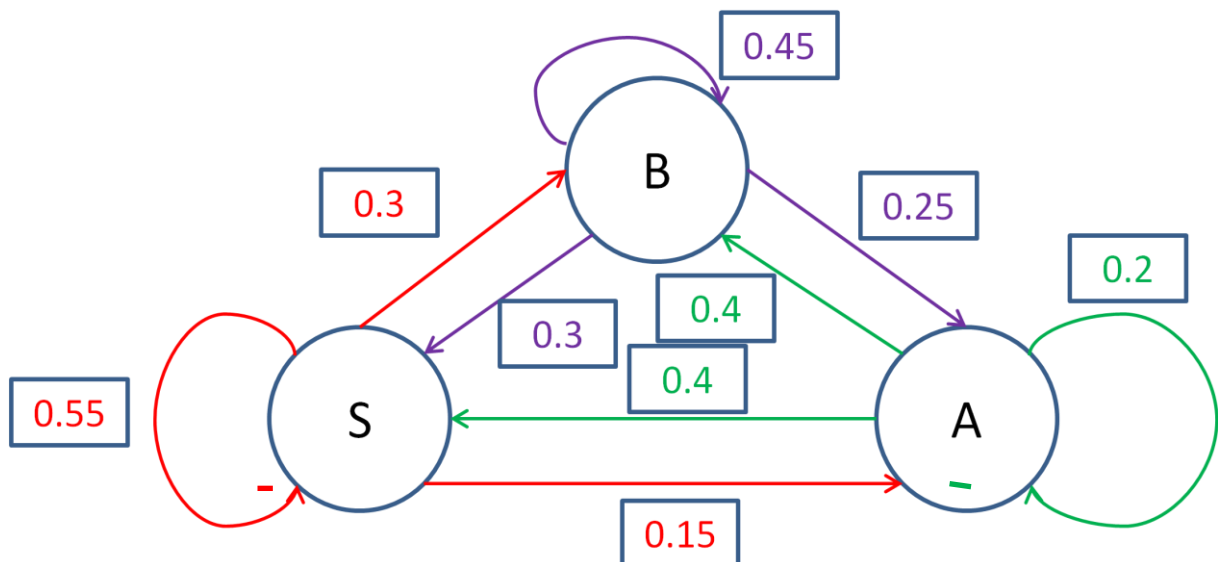


Abbildung 5.3: Übergangsgraph

Bildet man alle Übergangswahrscheinlichkeiten in einer Matrix ab, erhält man eine stochastische Matrix der Dimension  $3 \times 3$ . Die Matrix ist stochastisch, wenn gilt [21]:

- Alle Übergänge von einem Zustand auf den nächsten weisen eine positive Wahrscheinlichkeit auf.
- Die Summe aller Übergangswahrscheinlichkeiten von einem bestimmten Zustand zu einem beliebigen folgenden ergibt 1.
- Die Matrix ist quadratisch.

Trägt man die in Abbildung 5.3 eingezeichneten Übergangswahrscheinlichkeiten in eine Matrix ein, erhält man die Übergangsmatrix  $p_{i,j}$  zu dem gezeigten System.

Tabelle 5.2: Übergangsmatrix

	A	B	S
A	0.2	0.4	0.4
B	0.25	0.45	0.3
S	0.15	0.3	0.55

Aus dieser Matrix können alle Übergangswahrscheinlichkeiten abgelesen werden. Es folgt zum Beispiel die Übergangswahrscheinlichkeit von Zustand S zu Zustand A:  $p_{S,A} = 0.15$ . Diese Übergangsmatrix ist bei homogenen Markow-Ketten zeitunabhängig [22]. Diese Arbeit beschränkt sich auf homogene Markow-Ketten.

### iii) Mathematische Modellbeschreibung

Die allgemeine mathematische Formulierung des homogenen Markow Modells ist in 5-1 zu sehen [21].

$$P(X_{n+1} = s_j | X_n = s_i) = p_{i,j} \quad 5-1$$

P... Wahrscheinlichkeit

$X_n$ ... Zustand zum Zeitpunkt n

$p_{i,j}$ ... Übergangsmatrix

In Worten erklärt sich oben stehende Formel wie folgt: Ein Zustand  $X_{(1,2,..)}$  mit endlichem Zustandsraum  $\{s_1, \dots, s_k\}$  und Übergangsmatrix  $p_{i,j}$ , ist nur vom vorhergehenden Zustand abhängig. Die Anwendung auf das oben stehende Beispiel führt zu dem Zustandsraum  $\{A,B,S\}$  mit der in Tabelle 5.2 aufgelisteten Übergangsmatrix.

Die Annahme einer konkreten Zustandsänderung von B zu S lässt sich mit Formel 5-2 mathematisch beschreiben.

$$P(X_{n+1} = S | X_n = B) = p_{B,S} = 0.3 \quad 5-2$$

### iv) Anwendung auf die Generation von Fahrzyklen

Um dieses Modell zur Erstellung von Fahrzyklen verwenden zu können, wurde der Zustand bestehend aus einer Geschwindigkeit und einer Beschleunigung definiert. Das Modell konnte umformuliert werden zu 5-3.

$$P(a_{k+1} = a_{k+1}, v_{k+1} = v_{k+1} | a_k = a_k, v_k = v_k) = p_{k,k+1} \quad 5-3$$

Der Zustand  $X_k$  bestehend aus  $A_k$  und  $V_k$  hat den zwei dimensionalen Zustandsraum  $\{a_k\}\{v_k\}$ . Die Großbuchstaben in 5-3 beschreiben einen Zustand, die Kleinbuchstaben den Zustandsraum. Die Indizes geben den Zeitschritt an.

Von den Fahrzeugen wurden die Geschwindigkeitsvektoren der durchgeführten Fahrten ausgelesen. Mit der Information des Zeitschrittes vom GPS konnten die Beschleunigungen durch 5-4 berechnet werden.

$$a = \frac{dv}{dt} \quad 5-4$$

Nachdem diese Werte auf Messungen beruhen, gibt es eine immens große Anzahl von möglichen Zuständen. Durch diese große Anzahl ist die Übergangswahrscheinlichkeit von einem Zustand zum einem bestimmten nächsten sehr gering. Um einen besser funktionierenden Markow-Prozess zu modellieren, wurden die Einträge der Vektoren in Klassen unterteilt. Zum Beispiel kann die Geschwindigkeit in km/h Schritten aufgelöst werden. Die Anzahl der möglichen Werte für Geschwindigkeit und Beschleunigung werden Moden genannt.

Bei einer Anzahl von 150 Moden ergibt sich eine Dimension der Übergangsmatrix von  $150 \times 150 \times 150 \times 150$ . Da jedoch die Beschleunigung  $A_k$  gegeben ist, ist nach einem Zeitschritt auch die Geschwindigkeit  $V_{k+1}$  gegeben. Somit reduziert sich die Übergangsmatrix auf die Dimension  $150 \times 150 \times 150$ . Das heißt, auf jeden aktuellen Zustand kann ein Zustand mit bekannter Geschwindigkeit und unbekannter Beschleunigung folgen. Abbildung 5.4 ist die graphische Darstellung der Zustandsräume und des Übergangs. Auf Zustand  $A_k, V_k$  folgt ein Zustand mit  $V_{k+1}$  und einer unbekannten Beschleunigung. Im rechten Abschnitt der Abbildung 5.4 ist ein weißes Rechteck in Höhe  $V_{k+1}$  eingezeichnet. In diesem Rechteck befinden sich alle möglichen Beschleunigungen zur Geschwindigkeit  $V_{k+1}$ .

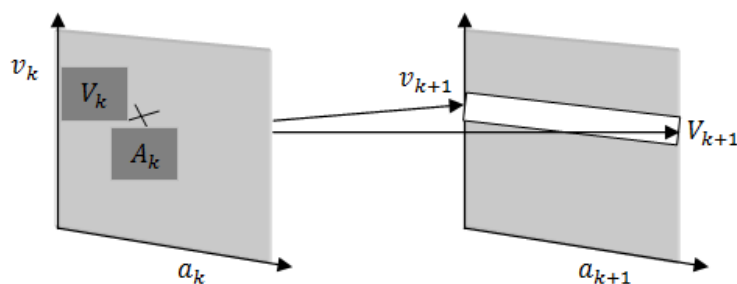


Abbildung 5.4: Reduktion Übergangsmatrix

Zur Bestimmung der Übergangswahrscheinlichkeit von einer Geschwindigkeit  $V_k$  und einer Beschleunigung  $A_k$  zur Geschwindigkeit  $V_{k+1}$  mit der Beschleunigung  $A_{k+1}$  wurde folgende Berechnung durchgeführt. Es wurde bei einer konstanten Geschwindigkeit die Anzahl des Auftretens einer bestimmten Beschleunigungsrate  $a_i$  gezählt und durch die Summe aller Beschleunigungsraten  $\sum_{n=1}^j a_n$  dividiert. Die Variable „j“ ist die Anzahl der Moden.

$$P_{A_k, V_k; A_{k+1}, V_{k+1}} = \frac{\sum a_k \text{ bei } V_{k+1}}{\sum_{n=1}^j a_n \text{ bei } V_{k+1}} \quad 5-5$$

In Formel 5-5 ist die Vorschrift zur Bestimmung der Einträge in der Übergangsmatrix angegeben. Verdeutlicht kann diese Formel durch ein einfaches Beispiel werden. Für ein Fahrzeug existieren zu einer Geschwindigkeit von fünfzig km/h insgesamt einhundertfünfzig Einträge von Beschleunigungsraten. Die Rate von zwei m/s<sup>2</sup> tritt dreißig Mal auf. Daraus folgt eine Wahrscheinlichkeit von zwanzig Prozent, dass, wenn die Geschwindigkeit den Wert von fünfzig erreicht, die Beschleunigungsrate zwei m/s<sup>2</sup> sein wird.

Mit der Wahl eines Zustands zum Zeitpunkt Null, des Startzustands und der Kenntnis der Übergangsmatrix ist es möglich, eine Markow-Kette zu rechnen. Um nicht stets denselben Ablauf von Zuständen zu erhalten wird ein Zufallsgenerator eingesetzt, der den Wert der Wahrscheinlichkeit für den folgenden Zustand bestimmt. Dieser Zufallsgenerator liefert Normalverteilte Werte zwischen null und eins. Zur Bestimmung des folgenden Zustandes werden die kumulierten Wahrscheinlichkeiten in der Übergangsmatrix benutzt. Am Anfang jeder Zeile stehen die Zustände, die wahrscheinlicher sind. Am Ende die unwahrscheinlichsten. Wird der Wert 0.5 vom Zufallsgenerator bestimmt, wird der erste Wert aus der Matrix mit den kumulierten Wahrscheinlichkeiten benutzt, der diesen Wert übersteigt.

Die Berechnung einer Markow-Kette mit mehr Dimensionen ist möglich, wurde aber aus folgenden Gründen in dieser Arbeit nicht durchgeführt. Hätte man die Motordrehzahl als weiteren Parameter benutzt, hätten die unterschiedlichen Getriebeübersetzungen der Fahrzeuge die Übergangswahrscheinlichkeiten stark reduziert. Es würde bei gleicher Geschwindigkeit für jedes Fahrzeug eine andere Motordrehzahl vorherrschen. Somit wird die Wahrscheinlichkeit, einen bestimmten Zustand bestehend aus Geschwindigkeit, Beschleunigung und Drehzahl zu erreichen, deutlich gesenkt. Es würde als direkte Folge nur mehr der Zustand eines einzigen Fahrzeuges benutzt werden, weil das die einzig möglichen Übergänge wären. Eine Möglichkeit dieses Problem zu lösen wäre, die Drehzahlen etwas größer in Klassen zu unterteilen, dass die Getriebeübersetzungen bei gleichen Geschwindigkeiten in gleiche Klassen fielen. Um diesen unnötigen Mehraufwand zu umgehen, werden die Motordrehzahlen wie in Kapitel 5.3 beschrieben berechnet. Würden nur die Daten eines Fahrzeuges benutzt, könnte dieses Problem auch vermieden werden, jedoch kann dann ebenfalls aus der Geschwindigkeit auf die Drehzahl, mit den Übersetzungsverhältnissen des jeweiligen Fahrzeuges, zurückgerechnet werden. Dabei werden die Schaltpunkte rein der Geschwindigkeit zugeschrieben. Basierend auf den Untersuchungen des Klimamodells in Kapitel 6.5.1 und den daraus resultierenden Einfluss der Drehzahl auf den energetischen Verbrauch der Klimaanlage wurde zugunsten der nötigen Rechenzeit auf den Parameter Drehzahl zur Definition des Zustandes verzichtet.

Ein weiterer Parameter, der auch zur Definition eines Zustandes hätte benutzt werden können, ist die Engine Load. Durch diesen Parameter wird das System aber sehr steif. Der Übergang bei einer bestimmten Geschwindigkeit, einer bestimmten Drehzahl und einer bestimmten Engine Load verringert die möglichen folgenden Zustände immens. Es wird dann zwar möglich sein eine Markow-Kette zu generieren, aber um eine bestimmte Durchschnittsgeschwindigkeit zu erreichen, ist dieses System deutlich schlechter geeignet als beim Verzicht auf diesen Parameter, weil die Folge von bestimmten, im Grunddatensatz auch direkt aufeinander folgenden, Zuständen unvermeidbar ist. Dadurch wird der Markow-Kette die Freiheit genommen viele verschiedene Zustände zu erreichen und sie wird in ein System ähnlich Mikrotrips gezwungen. Der entscheidende Unterschied ist, dass die Markow-Kette nicht einen beliebigen Trip anreicht, sondern einen wahrscheinlichen. Die Anwendbarkeit auf unterschiedliche Anforderungen ist dadurch nicht mehr gegeben.

Für die beiden Parameter Drehzahl und Engine Load kann gesagt werden, dass die Berechnungszeit durch ihren Zusatz deutlich steigen muss. Wird der Zustand um eine Dimension erhöht, erhöhen sich die Dimension der Übergangsmatrix um den Faktor der Moden. Die Berechnungen der Markow-Ketten, bei denen der Zustand aus Geschwindigkeit und Beschleunigung besteht, benötigen für die Generation eines Fahrzyklus die rund zwanzigfache Zeit verglichen zur Mikrotrip-Methode. Eine weitere Verlangsamung der Berechnung ist für ein Tool zur schnellen Abschätzung in einem frühen Entwicklungsstadium nicht zielführend.

### 5.3. Methode zur Berechnung der Motordrehzahl

Nachdem bei der Zyklusgeneration mittels Markow-Ketten in dieser Arbeit nur der Verlauf der Geschwindigkeit bestimmt wird, muss zur Berechnung des energetischen Verbrauchs der Klimaanlage, von dieser Geschwindigkeit auf eine Motordrehzahl zurückgerechnet werden. Basierend auf dem Effekt der Klimaanlage, in Kapitel 6.5.1 ist es zulässig eine feste Übersetzung zu wählen. Die hier angenommene Getriebeübersetzung stammt von den Messdaten des Fahrzeugs Ford Galaxy mit 103kW Leistung. Die Übersetzungsverhältnisse sind in Tabelle 5.3 aufgelistet. Das Übersetzungsverhältnis ist das Produkt aus der Getriebeübersetzung und der Übersetzung der Antriebsachse.

Zur Berechnung der Motordrehzahl ist noch zusätzlich der dynamische Reifenradius nötig. Es berechnet sich der dynamische Radius nach Formel 5-6[23].

$$R_{dyn} = b * \frac{h/b}{1000} * D_{felge} * 25.4 \quad [mm] \quad 5-6$$

b... Breite des Reifens [mm]

h... Höhe des Reifens [mm]

$D_{Felge}$  ... Felgendurchmesser [mm]

Tabelle 5.3: Getriebeübersetzungsverhältnisse

Gangstufe	Übersetzungsverhältnis $\ddot{u}_i * a_i$ <sup>1</sup>
1	13.129
2	7.2136
3	4.8517
4	3.5736
5	2.8077
6	2.3506

Aus der Fahrgeschwindigkeit  $v$  in m/s, lässt sich die Motordrehzahl über Formel 5-7 berechnen.

$$N_{mot} = \frac{v * 60 * a_i * \ddot{u}_i}{2 * \pi * R_{dyn}} \quad [U/min] \quad 5-7$$

## 5.4. Methode zur Bestimmung der Kategorie der Straße

Dieses Unterkapitel beschreibt die Art und Weise, wie einem Mikrotrip eine Straßenkategorie zugeordnet wurde. In dieser Arbeit wurden die Straßen in drei Kategorien unterteilt. Es gibt innerstädtische Straßen, Überlandstraßen und Autobahnen. In der Literatur wurde meist nach der Höchstgeschwindigkeit oder der mittleren Geschwindigkeit kategorisiert. Die Zielsetzung des Auftraggebers war, eine Methode zu schaffen, die nach der GPS Signatur die Straßen findet, auf denen gefahren wurde.

Die GPS Signatur stammt von den Messdaten der Fahrzeuge die in Kapitel 4.5 beschrieben sind.

### 5.4.1. Beispielhafte Bestimmung anhand eines Mikrotrips

Die Google Directions API<sup>©</sup> liefert eine Routenberechnung zurück. In dieser Routenberechnung sind sieben Informationen enthalten, von denen die Namen der Straßen, auf denen gefahren wird, und die Zeitdauer, wie lange man sich auf diesen Straßen befindet, analysiert werden.

---

<sup>1</sup> Diese Übersetzungsverhältnisse stammen aus den vom OBD gemessenen Geschwindigkeiten und dazu aufgezeichneten Drehzahlen des Fahrzeugs Ford Galaxy



Die hier beschriebene Methode sucht nach Mustern in der Routenbeschreibung wie zum Beispiel A8 oder B120. Wird eine Folge, wie zum Beispiel A8 gefunden, so wird die berechnete Zeit auf dieser Straße angeschrieben. Findet sich ein weiterer Eintrag mit der Folge A und einer Zahl, wird diese Zeit zu der ersten notierten addiert, um die Gesamtzeit auf Autobahnen zu berechnen. Der Kategorie Autobahn wurden alle Straßen mit Namen A und einer Zahl oder S und einer Zahl zugeordnet. Der Buchstabe S steht für Schnellstraßen in Österreich und diese sind den gleichen Anforderungen wie Autobahnen nach dem Bundesstraßengesetz unterworfen. Die weiteren angewandten Muster sind B oder L und eine Zahl für Bundesstraßen. Alle anderen Muster wurden dem städtischen Verkehr zugeordnet.

Als Beispiel ist in Abbildung 5.5 die Karte auf Google Maps<sup>©</sup> von einem gefahrenen Mikrotrip zu sehen. Die außerordentliche Länge dieser Fahrt ohne stehenzubleiben ist eine Ausnahmerecheinung. Bei diesem Mikrotrip ist sowohl nach der Karte als auch aus der Beschreibung ersichtlich, dass mehrere verschiedene Straßen benutzt wurden. Um diesen Mikrotrip einer Straßenkategorie zuordnen zu können, wurden der jeweilige Zeitraum in dem eine Straße benutzt wurde, herangezogen. Google Directions<sup>©</sup> berechnete die Dauer von einer Stunde und fünfundfünfzig Minuten, während der man sich auf der Straße A9 befindet. Dieser Wert übersteigt deutlich die Zeitspannen, die zu den anderen Straßen berechnet wurde. Somit wurde dieser Mikrotrip als Autobahnmikrotrip gekennzeichnet.

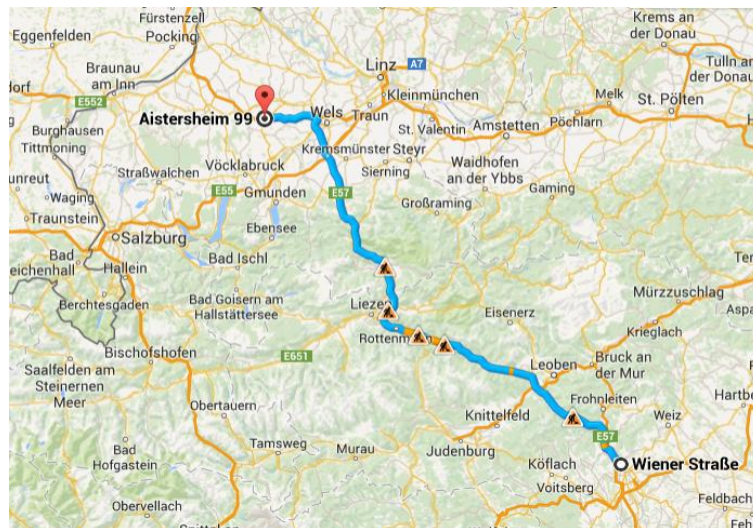


Abbildung 5.5: Plot der Route auf Google Maps<sup>©</sup>

In Tabelle 5.4 ist eine Übersicht über die Muster gelistet, die die Zuordnungen zu einer Straßenart wiedergeben.

Tabelle 5.4: Übersicht Kategorien

Straßenart	Muster
Autobahn	A und eine Zahl oder S und eine Zahl
Bundesstraßen	B und eine Zahl oder L und eine Zahl
Stadt	Alle anderen Bezeichnungen

In Österreich ist es üblich, dass einige Bundesstraßen durch die Städte führen. Diese Straßen verzerren das Bild der gewöhnlichen Bundesstraße zwischen den Städten durch eine geringere Höchst- und Durchschnittsgeschwindigkeit. An sich wäre es ratsam diese Mikrotrips der Stadt zuzuordnen, indem man die Straßenbezeichnungen der Bundesstraßen, die durch Städte führen, den Städten zuordnet oder eine Abfrage der Höchstgeschwindigkeit macht.

Bezugnehmend auf die in [4] bestimmte Vorgabe zur NHTS war es günstiger diese Trips den Bundesstraßen zuzuordnen, um einige Trips mit geringerer Durchschnittsgeschwindigkeit zu haben. Die Begründung für diese Vorgangsweise liefern die Einträge in der NHTS. Aus dem reduzierten Datensatz von dreizehn Kettenfahrten ist die Durchschnittsgeschwindigkeit aller Fahrten, die auf Bundesstraßen stattfanden, rund 33 km/h. Würde man alle Mikrotrips des Fahrzeuges Ford Galaxy mit einer kleineren Maximalgeschwindigkeit von 60 km/h den Städten zuordnen, blieben 293 von 1157 Mikrotrips auf Bundesstraßen über. Davon haben 47 eine kleinere Durchschnittsgeschwindigkeit als 33 km/h. Die Kombinationsmöglichkeiten, um Zyklen mit 33 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit generieren zu können, würden stark sinken. Diese hohe Anzahl an Bundesstraßentrips, die mit einer geringeren Maximalgeschwindigkeit als 60 km/h gefahren wurden, liegt am primären Einsatz des Fahrzeugs in der Stadt.

## 5.5. Methode zur Berechnung des Kraftstoffverbrauches

In diesem Unterkapitel wird beschrieben, wie der Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge berechnet wird. Ausgangspunkt dazu sind die Motordrehzahl und das gelieferte Moment der Fahrzeuge, auf die Kapitel 4.5 Bezug genommen hat und das Motormodell, das in Kapitel 4.3 beschrieben ist.

Zu jeder Fahrt und jedem Mikrotrip wurden die Vektoren der Motordrehzahl und des Momentes ausgelesen. Aufgrund der Ähnlichkeit der Motoren der Fahrzeuge und der des gegebenen Motormodells wurde mit der Drehzahl und dem Moment aus den OBD Daten der Kraftstoffverbrauch mittels des Motormodells bestimmt. Der Motor des Fahrzeugs mit dem der Großteil der Berechnungen durchgeführt wurden, hat ein Nennmoment von 320 Nm und der des Motormodells 350 Nm. Beide Maschinen werden mit Diesel betrieben.

## 5.6. Methode zur Berechnung der Jahresverbräuche

Mit den in den Kapiteln 5.2 bis 5.5 geschaffenen Methoden und in Kapitel 4.3 und Kapitel 4.4.2 beschriebenen Modellen ist es möglich, den Jahresverbrauch von Klimaanlage und Motoren zu bestimmen. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methode soll in einer sehr frühen Entwicklungsphase eingesetzt werden. Zu diesem Zeitpunkt ist die exakte Berechnung des Treibstoffverbrauchs von untergeordneter Bedeutung. Es wird die Methode geschaffen, Fahrzyklen zu generieren die dann für weitere Berechnungen benutzt werden können. In dieser Arbeit wurden damit die Jahresverbräuche eines synthetischen Klimaanlage-Modells und Motormodells berechnet.

Zuerst werden von jeder Einzelfahrt die Dauer, die mittlere Geschwindigkeit, die Art der Straße, auf der gefahren wurde, und die Temperatur bestimmt. Die Bestimmung der Temperatur beruht auf den Daten aus Tabelle 4.1 zur jeweiligen Startzeit einer Fahrt. Mit diesen Informationen wird die Zyklus-Generation gestartet. Entweder werden die Fahrzyklen mittels Mikrotrips oder mittels Markow-Ketten generiert.

Zu dem generierten Zyklus werden dann der Kraftstoffverbrauch und der Energieverbrauch der Klimaanlage mit den beschriebenen Methoden berechnet.

Wird der Zyklus über Markow Ketten generiert, kann der Kraftstoffverbrauch des Motors nicht berechnet werden, da die Information der Engine Load nicht mit dieser Methode bestimmt wird. Die Drehzahl des Motors wird auf der Annahme einer konkreten Übersetzung bestimmt. Die Bestimmung der nötigen Motorleistung hätte aus der Längsdynamik des Fahrzeugs bestimmt werden können. Die Erforderliche Leistung berechnet sich aus den Fahrwiderständen:

- Beschleunigungswiderstand
- Rollwiderstand
- Luftwiderstand
- Getriebeverluste
- Schlupf
- Nebenaggregate
- Steigung

Die Information zur Steigung war unbekannt und daher die Bestimmung des Leistungsbedarfs unsicher. Deshalb wurde die Leistung nicht berechnet.

Bei der Mikrotripmethode ist aus den Messdaten die vom Motor gelieferte Leistung bekannt.

In Abbildung 5.6 ist der Prozess zur Berechnung der Energieverbräuche einer Einzelfahrt dargestellt.

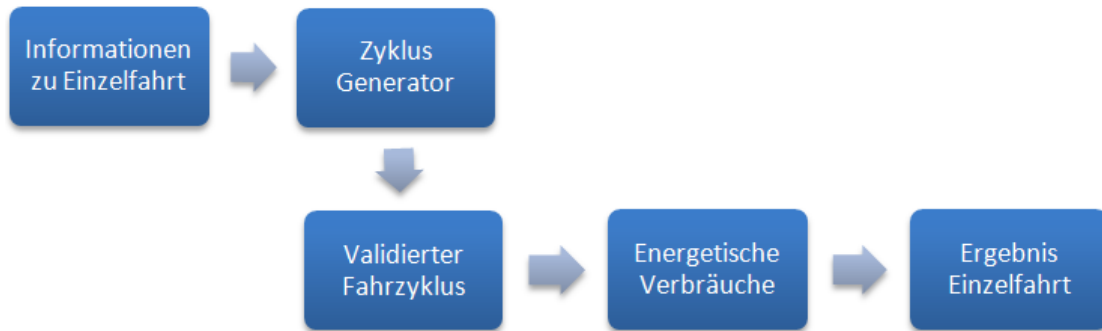


Abbildung 5.6: Auswertung Einzelfahrt

Dieses Prozedere wird für jede Einzelfahrt angewandt. In Abbildung 1.1 wird der Begriff Kettenfahrt erklärt. Abbildung 5.7 zeigt den Ablauf für eine Kettenfahrt. Der Modus von 5000 Kettenfahrten ergibt 25.000 Einzelfahrten. Das gemittelte Ergebnis ist der Verbrauch an einem durchschnittlichen Tag.



Abbildung 5.7: Jahresverbrauchsberechnung

Bei der Berechnung des reduzierten Datensatzes von dreizehn Kettenfahrten müssen 47 Fahrzyklen generiert werden. Anstelle der gleichbleibenden Gewichtung aus Abbildung 5.7 tritt für jede Kettenfahrt eine andere die in [4] bestimmt wurde. Das Ergebnis der dreizehn Kettenfahrten stellt wieder den Energieverbrauch für einen durchschnittlichen Tag dar. Diese beiden Ergebnisse werden verglichen, um zu entscheiden, ob dreizehn Kettenfahrten repräsentativ sein können.

# 6 Fahrtenauswertung

Dieses Kapitel beschreibt die Auswertung der OBD-Daten Geschwindigkeit, Drehzahl und Engine-Load zur Bestimmung vom Treibstoffverbrauch und des energetischen Verbrauchs der Klimaanlage mit den geschaffenen Methoden. Zuerst werden die OBD-Daten nach ihrer physikalischen Glaubwürdigkeit überprüft und gegebenenfalls reduziert. Anschließend werden alle Autofahrten übersichtlich in ein „Fahrtenarray“ überführt. Um zum Verständnis des Datensatzes beizutragen, werden die beiden Fahrparameter mittlere Geschwindigkeit und Fahrtdauer des Datensatzes dargestellt. Anhand des Fahrzeuges Ford Galaxy wird der Einfluss des Einsatzgebietes auf den Treibstoffverbrauch erläutert. Es folgt eine Auflistung der durchschnittlichen Kraftstoffverbräuche der Fahrzeuge, bezogen auf Liter pro 100 km. Um den energetischen Verbrauch der Klimaanlage zu bestimmen, wird zuerst eine Analyse der Einflüsse auf den Verbrauch durchgeführt. Abschließend wird der energetische Verbrauch der Klimaanlage bei den Fahrten, zu den Zeitpunkten und Temperaturen, an denen die Fahrten tatsächlich stattfanden, berechnet.

## 6.1. Bildung des Fahrten-Arrays

Nachdem der gesamte Datensatz auf Messungen beruht, sind diese Messungen stets mit Abweichungen oder Messfehlern behaftet. Um die physikalische Glaubwürdigkeit zu realen Fahrsituationen mit Autos zu überprüfen, wurden die Kriterien aus Tabelle 6.1 benutzt [24].

Tabelle 6.1: Kriterien

Minimale Fahrtdauer	250 s
Maximale Beschleunigung	6 m/s <sup>2</sup>
Maximale Verzögerung	-7 m/s <sup>2</sup>

Höhere Verzögerungswerte bis zum Wert von -10m/s<sup>2</sup> sind zwar erreichbar, jedoch sind sie nicht einer gewöhnlichen Fahrsituation zuzuordnen, sondern einer Notbremsung.

Insgesamt wurden 5660 Fahrten ausgeführt, davon wurden 593, nach den in Tabelle 6.1 definierten Kriterien, entfernt. In genannten 5067 Fahrten finden sich die Fahrten aller mit dem ViFDrive ausgestatteten Fahrzeuge. Darunter befinden sich auch Fahrzeuge, bei denen keine Treibstoffanalyse durchgeführt werden konnte. Entweder war die Motorisierung nicht bekannt oder das Fahrzeug war mit einem hybriden Antriebssystem ausgestattet.

Es handelte sich dabei um einen Toyota Prius mit hybridem Antrieb, einen Volkswagen Caddy mit einem SDI Motor und einen Ford Transit, von denen keine Informationen zur Motorisierung gefunden werden konnten. Daher konnte keine Annahme getroffen werden, ob diese Motoren, ähnlich jenem von dem das Kennfeld stammt, sind. Die Berechnung des Kraftstoffverbrauchs dieser Fahrzeuge wurde deshalb nicht gemacht.

Es musste die Anzahl der Fahrten für die Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs auf rund 3000 Fahrten reduziert werden. Alleine das Fahrzeug Ford Transit führte 1400 Fahrten durch.

## 6.2. Verteilungen ausgewählter Fahrparameter

In diesem Unterkapitel werden die Fahrparameter Fahrdauer und mittlere Geschwindigkeit näher betrachtet und mithilfe geeigneter Abbildungen näher erläutert. Ziel dabei ist es, ein Verständnis für den Datensatz und dessen Charakter zu erhalten. In Abbildung 6.1 ist das Histogramm der Fahrdauern zu sehen.

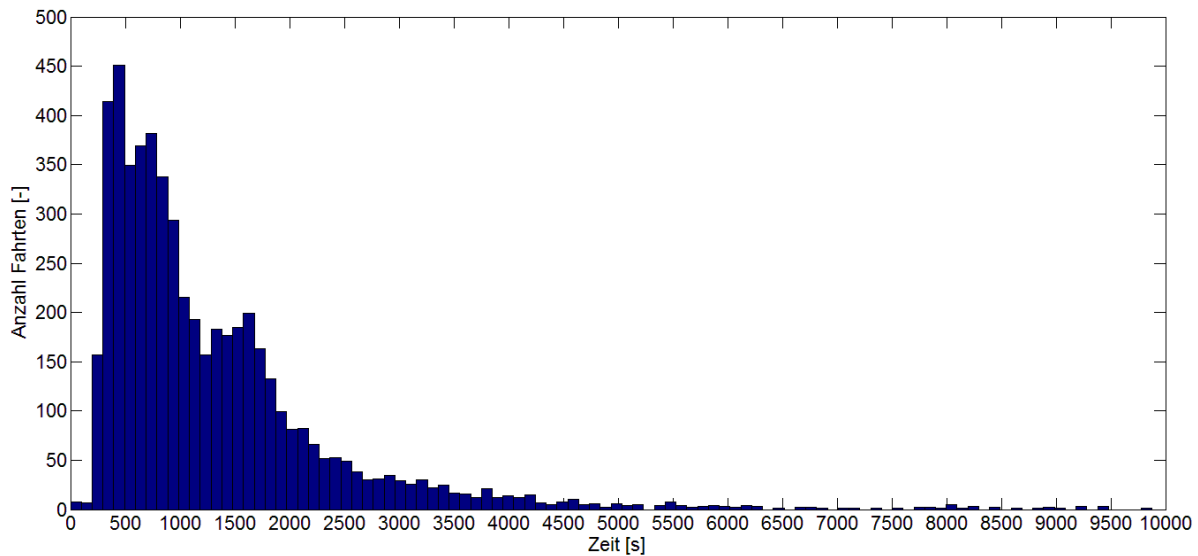


Abbildung 6.1 Häufigkeitsverteilung Fahrdauer

Abbildung 6.2 zeigt die Häufigkeitsverteilung der mittleren Geschwindigkeiten der Fahrten. Aus dieser Verteilung lässt sich erahnen, dass rund 80 Prozent aller Fahrten in Stadtgebieten stattgefunden haben.

Bezugnehmend auf den höchsten Peak in Abbildung 6.2, der sich im Bereich rund um 25 km/h befindet, kann die Annahme getroffen werden, dass diese Fahrten in der Stadt stattgefunden haben. Der Bereich zwischen 50 und 80 km/h kann den Überlandfahrten zugeschrieben werden. Alle Fahrten mit einer höheren Durchschnittsgeschwindigkeit als 80 km/h können Autobahnen oder Schnellstraßen zugeordnet werden.

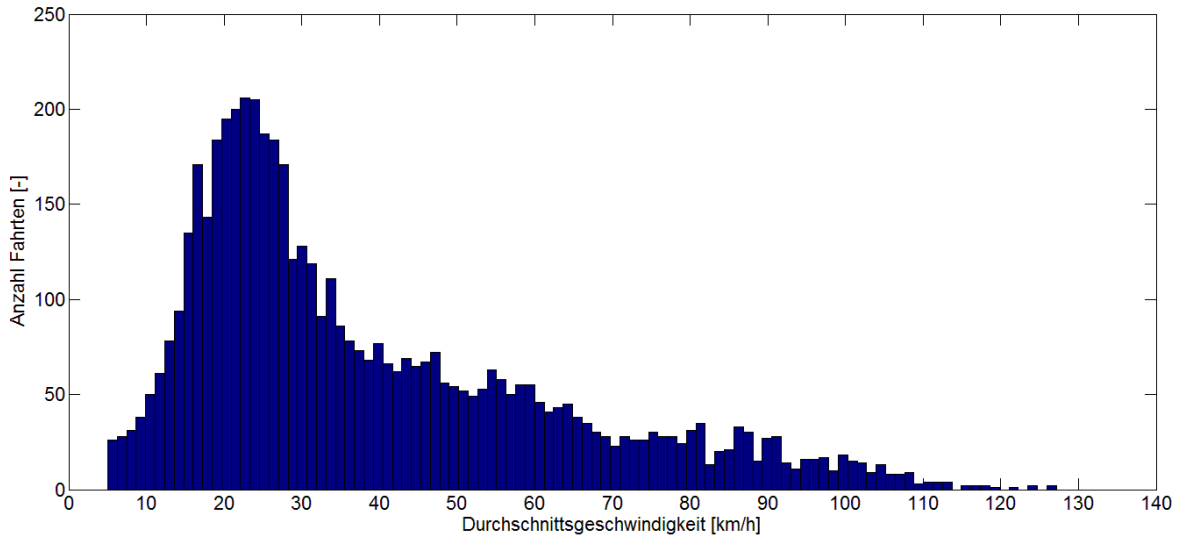


Abbildung 6.2 Häufigkeitsverteilung Geschwindigkeit

### 6.3. Zusammenhänge Einsatzgebiete und Kraftstoffverbrauch

Jedes der Fahrzeuge hat eine unterschiedliche Anzahl an Fahrten unternommen. Ebenso unterschiedlich waren die Einsatzgebiete der Fahrzeuge, was sich unter anderem an der Dauer der Fahrten erkennen lässt. Beispielhaft sollen zwei Fahrzeuge mit identer Motorisierung betrachtet werden. Abbildung 6.3 zeigt das Histogramm der Fahrtdauer eines der beiden Ford Galaxy Fahrzeuge. Zu erkennen ist, dass der Großteil der Fahrten eine Dauer von unter 750 Sekunden aufweist. Daraus lässt sich schließen, dass dieses Fahrzeug primär in der Stadt eingesetzt wurde.

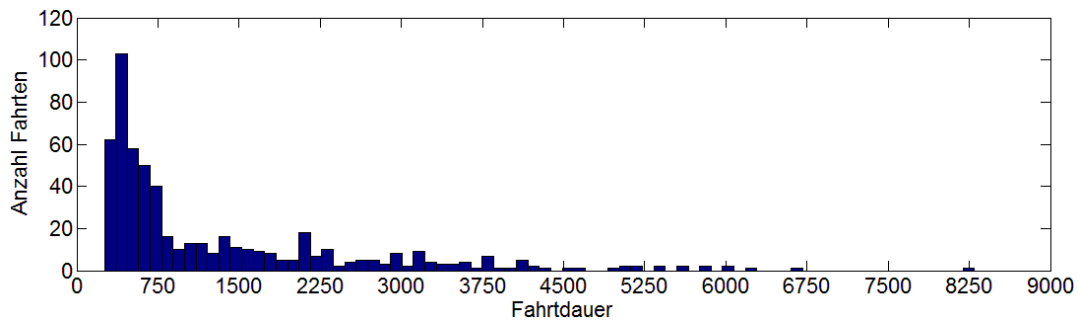


Abbildung 6.3: Fahrtauern erster Ford Galaxy

Im Gegensatz dazu kann aus Abbildung 6.4 entnommen werden, dass das zweite Fahrzeug auch mehrere Fahrten auf der Autobahn oder Überlandstraßen unternommen hat. Diese These kann durch den Kraftstoffverbrauch bestätigt oder widerlegt werden. Bei modernen Fahrzeugen wird außerhalb der Stadt weniger Kraftstoff verbraucht, solange das Fahrverhalten nicht zu sehr hohen Geschwindigkeiten tendiert [23]. Das Ergebnis ist in Tabelle 6.2 aufgelistet.

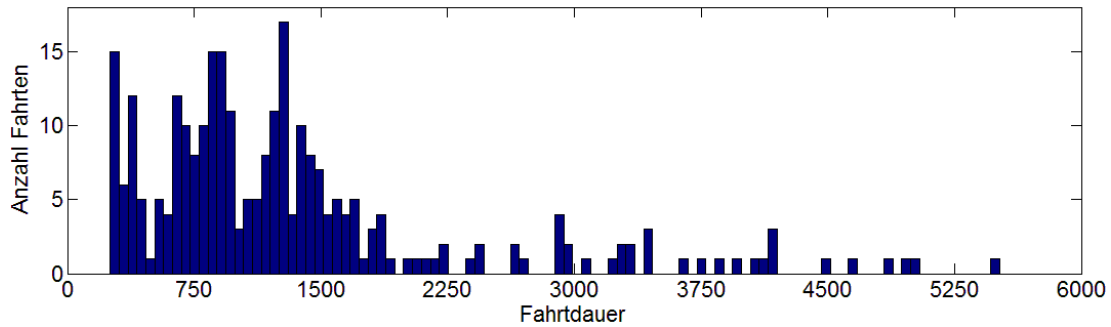


Abbildung 6.4: Fahrtdauern zweiter Ford Galaxy

Die Auswertung der beiden Fahrzeuge mit diesem Motormodell lieferte die erwarteten Ergebnisse. Der Kraftstoffverbrauch des ersten Fahrzeuges liegt deutlich über dem Niveau des zweiten Fahrzeuges. Durch den erhöhten Verkehr auf städtischen Straßen und dem wiederholten Anfahren und Bremsen wurde für den ersten Ford Galaxy der Verbrauch von 9.92 Liter auf 100 Kilometer berechnet. Für das zweite Fahrzeug wurde der Wert 6.83 Liter auf 100 Kilometer berechnet. In Tabelle 6.2 sind die Ergebnisse aufgelistet. Der Vergleich dieser Werte mit dem online Portal [spritmonitor.de](http://spritmonitor.de) ist in Tabelle 6.4 zu sehen.

Tabelle 6.2: Treibstoffverbrauch der Fahrzeuge Ford Galaxy

Fahrzeug	Verbrauch
Ford Galaxy I	9.92 l/100km
Ford Galaxy II	6.83 l/100km

## 6.4. Kraftstoffverbräuche der Fahrzeuge

Die Kraftstoffberechnung wird anhand einer Fahrt aus der Fahrtenarray exemplarisch durchgeführt. Der Auszug aus dem Fahrtenarray ist in Tabelle 6.3 dargestellt.

Tabelle 6.3: Parameter einer exemplarischen Fahrt

Fahrdauer [s]	Vektoren der Geschwindigkeit Drehzahl und Engine-Load			Startzeitpunkt [-]	Endzeitpunkt [-]	Vektor Kraftstoffverbrauch	Verbrauchter Kraftstoff [g]	Distanz [km]	Verbrauch [l/100km]
755	· usw	· usw	· usw	04.12.2013 06:30	04.12.2013 06:43	· usw	884.16	17.1	6.22

Diese Fahrt wurde am 04.12.2013 unternommen und dauerte 755 Sekunden. Dabei wurden 17.1 Kilometer zurück gelegt. Nachdem diese Fahrt 755 Sekunden dauerte, gibt es 755 Berechnungen des Kraftstoffverbrauchs. Die Spalten zwei bis fünf, in Tabelle 6.3 beinhalten die Vektoren der Geschwindigkeit, Drehzahl und Engine Load mit jeweils 755 Einträgen.

Es wird für jeden Eintrag der Drehzahl und der Engine Load das Motormodell aufgerufen und der Punkt ausgewertet. Ergebnis ist der Spritverbrauch dieser Sekunde.



Die Summe der Kraftstoffverbräuche pro Sekunde findet sich in Spalte zehn der Tabelle 6.3. In 6-1 ist die mathematische Formulierung zur Umrechnung von Kilogramm Diesel zu Liter gegeben.

$$Verbrauch_{Liter} = \frac{Vebrauch_{Gramm}}{1000 \cdot 0.83} \quad [l = \frac{kg \cdot l}{kg}] \quad 6-1$$

Nach der Bestimmung des verbrauchten Kraftstoffs pro Einzelfahrt wurde über Formel 6-1 der Verbrauch des Fahrzeugs über alle Fahrten berechnet.

Zur Überprüfung der Plausibilität der berechneten Kraftstoffverbräuche, wurde mit den Einträgen der Internetseite Spritmonitor.de verglichen. Spritmonitor.de ist eine online Datenbank, in die eine Vielzahl von Autofahrern, ihren Kraftstoffverbrauch einträgt.

In Tabelle 6.4 sind sowohl die berechneten, als auch die von den Fahrern auf Spritmonitor.de eingetragenen Kraftstoffverbräuche und der primäre Einsatzort der Vecept Fahrzeuge aufgelistet. Der Grund für den deutlich zu hohen Verbrauch des BMW konnte vom „ViF“ an den OBD-Daten ausgemacht werden. Vom OBD System wurden zur Engine Load speziell bei tiefen Geschwindigkeiten falsche Werte geliefert.

Zu den Verbräuchen der Fahrzeuge, die primär in Wien eingesetzt wurden, kann angenommen werden, dass das erhöhte Verkehrsaufkommen in einer Großstadt wie Wien sich negativ auf den Kraftstoffverbrauch auswirkt. Die Stillstandszeiten sind erhöht, es wird öfter angefahren und stehengeblieben. Dadurch wird weniger Distanz zurückgelegt und durch den Bezug Liter auf 100 km steigt der Verbrauch. Es ist ein ähnlicher Modus wie in Kapitel 6.3, bei dem die beiden Ford Galaxies verglichen wurden, feststellbar. In Tabelle 6.4 sind die berechneten Werte zum Spirtverbrauch, inklusive eingeschalteter Klimaanlage, aufgelistet.

Tabelle 6.4: Kraftstoffverbräuche der Fahrzeuge

Fahrzeug	Standort	Berechneter Verbrauch [l/100km]	Durchschnittlicher Verbrauch [25] [l/100km]	Maximaler Verbrauch [25] [l/100km]
BMW X3	Graz	14.99	9.01	12.88
Ford Galaxy	St.Pölten	9.92	7.47	10.87
Ford Galaxy	St.Pölten	6.83	7.47	10.87
Ford Transit	St.Pölten	7.94	8.95	13.65
Skoda Superb	St.Pölten	5.68	5.15	6.92
VW Passat	Graz	7.43	6.51	11.85
VW Passat	St.Pölten	6.03	5.8	8.41
VW Crafter	Wien	15.94	13.17	15.95
VW Sharan	Wien	12.2	7.26	10.39
VW Transporter	Wien	15.1	8.75	11.54

## 6.5. Energetische Verbräuche der Klimaanlage

Dieses Unterkapitel befasst sich mit dem Effekt des Klimamodells und dem Energieverbrauch der Klimaanlage bezogen auf Liter pro 100 Kilometer. Es werden, nachdem diese Fahrten in Europa durchgeführt wurden, die gemittelten Temperaturen aus Tabelle 4.1 verwendet.

### 6.5.1. Effekt des Klimaanlage-modells

Diese Untersuchung wurde durchgeführt, um die Einflüsse der Temperatur und der Drehzahl auf das Modell zu quantifizieren. Dabei wurde stets ein Parameter konstant gehalten und der andere variiert. So konnte zum Ergebnis gekommen werden, welcher Parameter den größeren Einfluss auf den energetischen Verbrauch der Klimaanlage hat.

Zuerst wurde die Drehzahl konstant auf 1500 Umdrehungen pro Minute gehalten. Die Temperatur in fünf Grad Celsius Schritten erhöht. Das Ergebnis ist in Tabelle 6.5 dargestellt. Der Bezug der Erhöhung wurde stets auf die erste Zeile gesetzt.

Tabelle 6.5: Konstante Drehzahl

N [U/min]	Temperatur [°C]	Energiebedarf Kompressor [kWh]	Energiebedarfs- erhöhung [%]
1500	20	1,3426	-
1500	25	2,2108	64.66
1500	30	3,3702	151
1500	35	5,0118	273.29

Abbildung 6.5 zeigt den graphischen Zusammenhang des steigenden Energiebedarfs bei konstanter Drehzahl und steigender Temperatur.

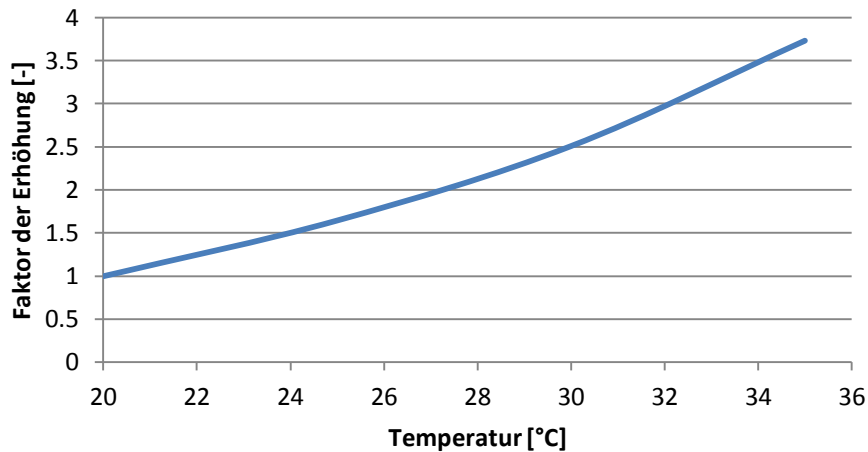


Abbildung 6.5: Konstante Drehzahl, variable Temperatur

Anschließend wurde die Temperatur konstant auf 30 Grad Celsius gehalten und die Drehzahl um denselben prozentualen Anteil erhöht.

Tabelle 6.6: Konstante Temperatur

N [U/min]	Temperatur [°C]	Energiebedarf Kompressor [kWh]	Energiebedarfs- erhöhung [%]
1500	30	3,3702	-
1875	30	3,6083	7,06
2250	30	3,8465	14.13
2625	30	4,0844	21.2

Tabelle 6.6 listet die Ergebnisse der Untersuchung bei konstanter Temperatur auf. Abbildung 6.1 zeigt den graphischen Zusammenhang zwischen Energiebedarfserhöhung und Drehzahlerhöhung.

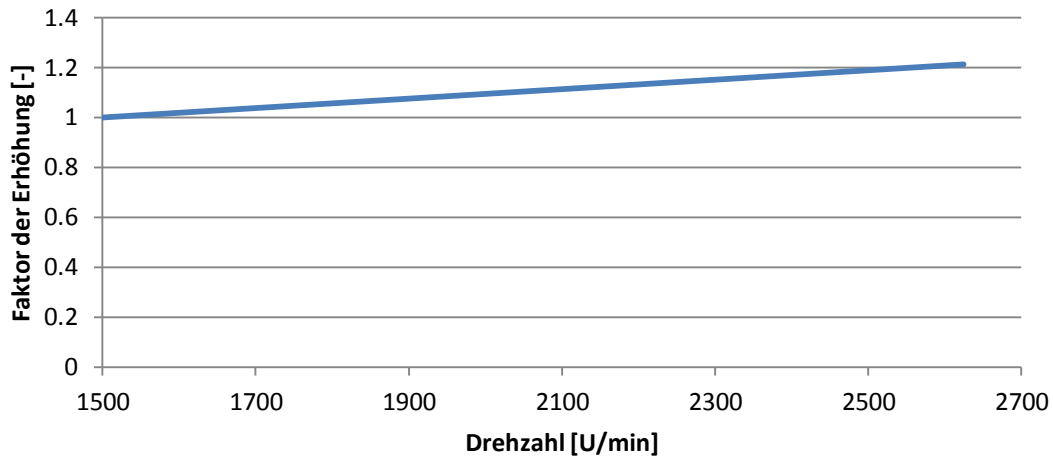


Abbildung 6.6: Konstante Temperatur, variable Drehzahl

Bei der Variation der Drehzahl und gleichbleibender Außentemperatur stieg der Energiebedarf der Klimaanlage um einen deutlich geringeren Faktor, als bei der Variation der Außentemperatur bei gleicher Drehzahl. Es kann somit formuliert werden, dass dieses Klimaanlage-modell einen deutlich stärkeren Einfluss durch die Außentemperatur erfährt, als durch die Drehzahl des Klimakompressors.

### 6.5.2. Energieverbrauch der Klimaanlage der Fahrzeuge

Zuerst gilt zu erwähnen, dass dieses Klimaanlage-modell erst ab fünfzehn Grad Celsius Außentemperatur aktiviert wird und die Temperaturen in Tabelle 4.1 den Maximalwert von 25°C nicht überschreiten. Dadurch ist ein niedriger Verbrauch der Anlage zu erwarten. Zusätzlich wird der energetische Verbrauch durch die Benutzungswahrscheinlichkeit von 75 Prozent, bei einer Außentemperatur von unter zwanzig Grad Celsius gesenkt. Basierend auf den Kenntnissen der Start- und Endzeitpunkten konnte jeder Fahrt eine Außentemperatur zugeordnet werden. Die Datenbank, aus denen diese Werte stammen ist in Kapitel 4.2 beschrieben.

Tabelle 6.7 zeigt ein Beispiel aus den berechneten Werten der Klimaanlage. Dieser Auszug stammt aus einer Matrix, die alle Fahrten beinhaltet.

Tabelle 6.7: Verbrauch der Klimaanlage einer Einzelfahrt

Vektor Drehzahl	Startzeitpunkt [-]	Endzeitpunkt [-]	Außentemperatur [°C]	Vektor Energiebedarf	Zugeführte Energie [kWh]	Verbrauch [l/100km]	Distanz [m]
· · usw	03.09 12:02	03.09 12:24	18.5	· · usw	0.1392	0.12	8.328

Abgespeichert sind der Drehzahlvektor, Start- und Endzeitpunkt und die Außentemperatur in den Spalten eins bis vier. In Spalte fünf findet sich ein Vektor, der zu jeder Sekunde den Verbrauch der Klimaanlage gespeichert hat. Spalte sechs gibt den aufsummierten Wert des Vektors aus Spalte 5 wieder. Die zugehörige Einheit ist Kilowattstunde. In Spalte sieben ist dieser Wert umgerechnet auf verbrauchte Liter pro 100 Kilometer. Für diese Umrechnung ist der Energieinhalt von 9,9 Kilowattstunden pro Liter Diesel notwendig. Die letzte Spalte zeigt die gefahrene Distanz in Meter an. Formel 6-2 veranschaulicht den Rechenschritt.

$$Verbrauch_{l/100} = \frac{Verbrauch_{Kilowattstunden} * 100}{9.9 * \frac{Distanz}{1000}} \quad 6-2$$

Die Aufteilung der Ergebnisse nach Fahrzeugen ist aus folgenden Gründen nicht notwendig:

- Es wurde für alle Fahrzeuge dieselbe Datenbank der Außentemperaturen benutzt.
- Das Klimaanlagemodell ist bei allen Fahrzeugen dasselbe.
- Der Einfluss der unterschiedlichen Getriebeübersetzungen ist nach 6.5.1 zu vernachlässigen.

Der Mittelwert aller Fahrten mit den aus Tabelle 4.1 stammenden Außentemperaturen, die zu diesen Zeitpunkten herrschten, betrug 0.05 Liter pro 100 Kilometer. Dieser geringe Verbrauch kommt daher, dass die Fahrzeuge im Zeitraum Oktober bis Juli unterwegs waren und somit bei 3912 von 5067 Fahrten keine Klimaanlage eingesetzt wurde.

Ein weiteres interessantes Ergebnis lieferte die Auswertung der Fahrten, bei denen die Klimaanlage eingesetzt wurde. Die Anzahl dieser Fahrten beträgt 1145. Das Histogramm der Temperaturen ist in Abbildung 6.7 dargestellt. Es konnte die Durchschnittstemperatur von 19.5 Grad Celsius berechnet werden.

Der Verbrauch der Klimaanlage bei diesen Fahrten betrug 0.23 Liter pro 100 Kilometer. In Tabelle 6.8 sind die beiden Ergebnisse aufgelistet.

Tabelle 6.8: Übersicht der Ergebnisse

Fahrten	Mittlere Temperatur	Verbrauch
Alle Fahrten	8.7	0.05 l/100km
Fahrten mit über 15 Grad Celsius	19.5	0.23 l/100km

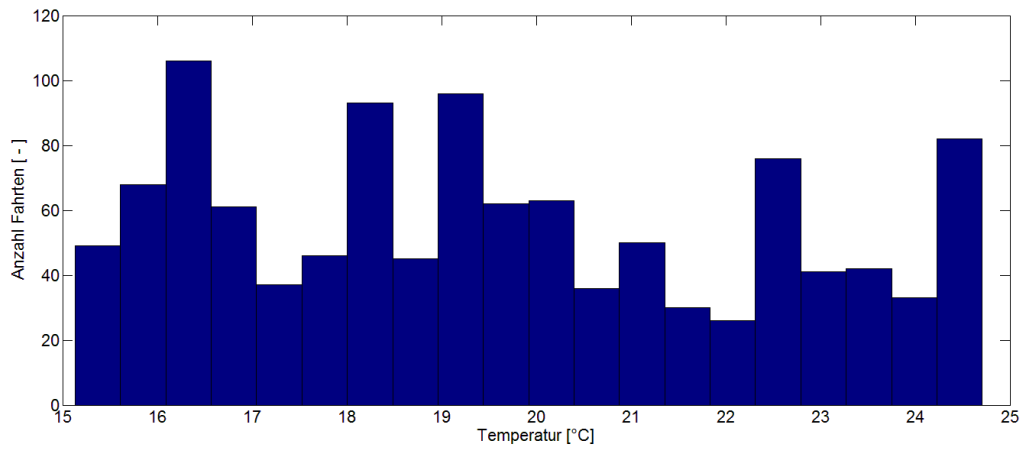


Abbildung 6.7: Histogramm der Temperaturen aller Fahrten über 15°C

# 7 Mikrotrip Datenbank

In diesem Kapitel wird die Erzeugung und Strukturierung der Mikrotrip Datenbank beschrieben. Anschließend wird ein Straßentyp jedem Mikrotrip zugeordnet, der eine vollständige GPS Signatur besitzt. Zur vollständigen Signatur zählen ein gültiges Signal bei Start und Ende des Mikrotrips. Dadurch werden drei Mikrotrippools, zu jedem Straßentyp einer, geschaffen.

## 7.1. Abgrenzung Mikrotrip – Einzelfahrt

Der Begriff Mikrotrip ist nicht zwingend auf die Dauer auszulegen. Er ist zwar stets maximal gleich lang wie die Einzelfahrt, in der er vorkommt, aber er kann beliebige Dauern annehmen. Abbildung 7.1 zeigt einen Ausschnitt einer Einzelfahrt, bestehend aus zwei Mikrotrips mit völlig unterschiedlicher Dauer. Der erste Mikrotrip weist eine Dauer von 2500 Sekunden auf, der zweite circa 500 Sekunden.

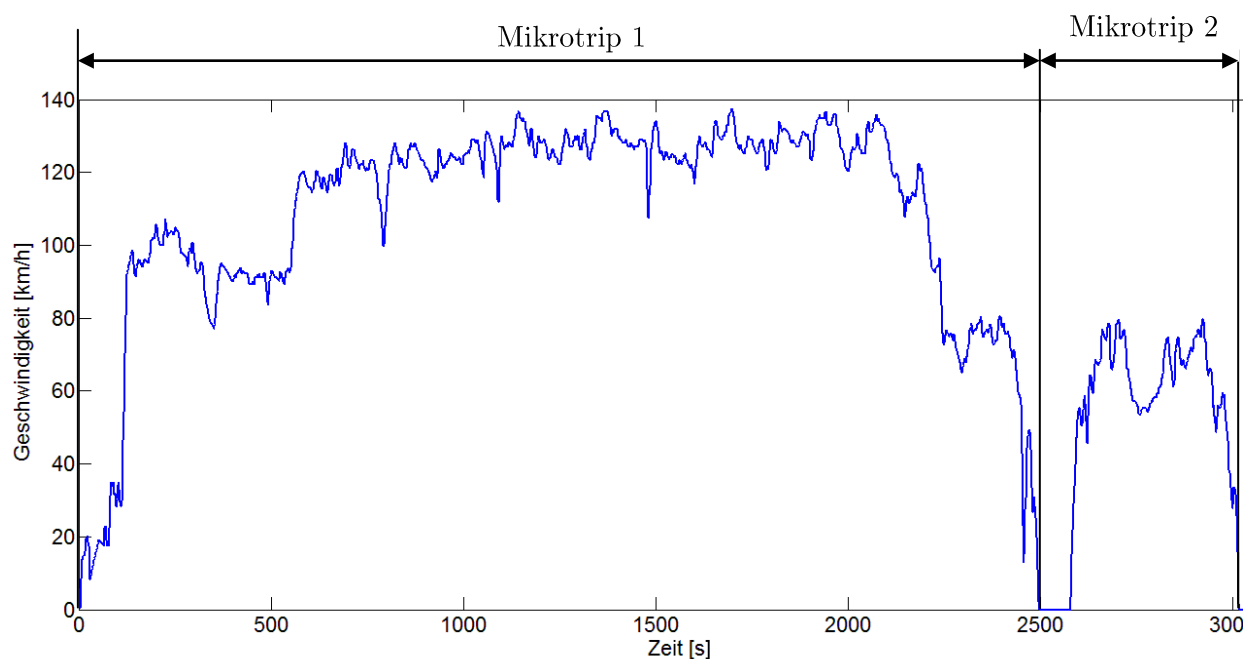


Abbildung 7.1: Mikrotrips

Die in dieser Arbeit generierten Mikrotrips stammen aus den ausgelesenen Geschwindigkeitsvektoren des OBD-Systems der Vecept Fahrzeuge. Im vorangegangenen Kapitel konnte die Anzahl von 5067 Fahrten genannt werden. Aus diesen 5067 Einzelfahrten wurden rund 44000 Mikrotrips extrahiert.

In Abbildung 7.2 sind die Häufigkeiten der Mikrotripanzahlen je Einzelfahrt dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die meisten Einzelfahrten aus zwei bis zehn Mikrotrips bestehen.

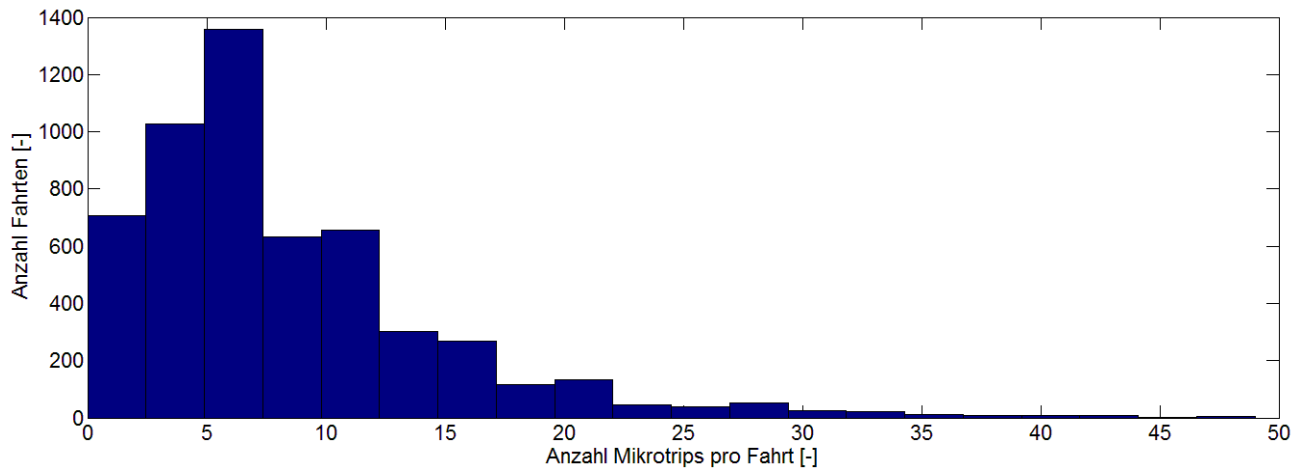


Abbildung 7.2: Histogramm der Mikrotripanzahl

Um eine Übersicht über die angesprochenen Dauern der Mikrotrips zu geben, ist in Abbildung 7.3 das Histogramm der Dauern der Mikrotrips zu sehen.

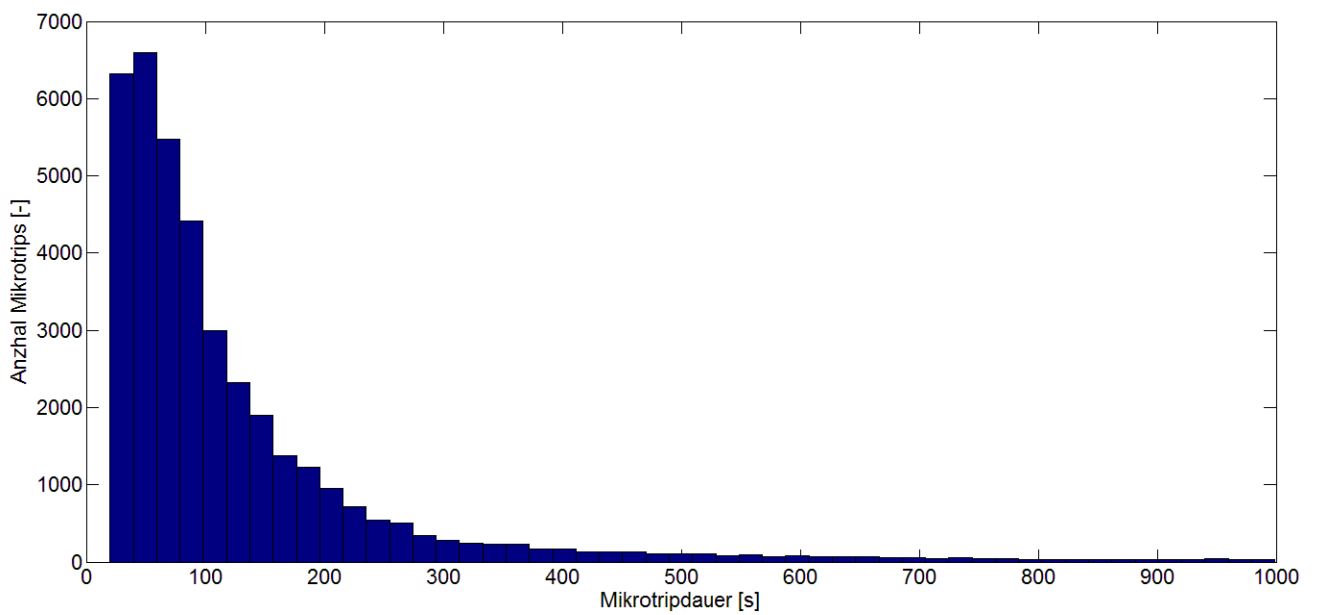


Abbildung 7.3: Mikrotripdauern



## 7.2. Kategorisierung der Mikrotrips

In Kapitel 5.3 wurde eine Methode beschrieben, die es erlaubt, einen Straßentyp einem Mikrotrip zuzuordnen. Die Straßentypen sind innerstädtische Straßen, Überlandstraßen und Autobahnen. Diese Kategorisierung ist notwendig, um die beigefügten Anforderungen zur NHTS, zu erfüllen. Die Auflistung dieser Anforderungen ist in Tabelle 5.1 zu finden.

### 7.2.1. Kategorisierte Mikrotrips zur Verbrauchsanalyse der Klimaanlage

Für diese Berechnung können alle Mikrotrips genutzt werden, deren GPS Signal vollständig ist. Die Unterteilung der Fahrzeuge ist für die Verbrauchsanalyse der Klimaanlage nicht notwendig. Es werden somit die gesamte Anzahl von Mikrotrips, die ein gültiges GPS Signal haben, genutzt. Es gibt drei Varianten von ungültigen GPS Signalen:

- Der Start-oder Endpunkt ist nicht definiert.
- Der Start- und Endpunkt sind derselbe.
- Es konnte keine Zeitberechnung der Google API<sup>©</sup> zu einer Straße durchgeführt werden.

Durch die Kategorisierung werden drei Mikrotrip Pools erzeugt. Einer für Stadtrips, einer für Überlandtrips und ein letzter für Autobahn- und Schnellstraßentrips. In Abbildung 7.4 ist eine Übersicht über die verfügbaren Mikrotrips gegeben.

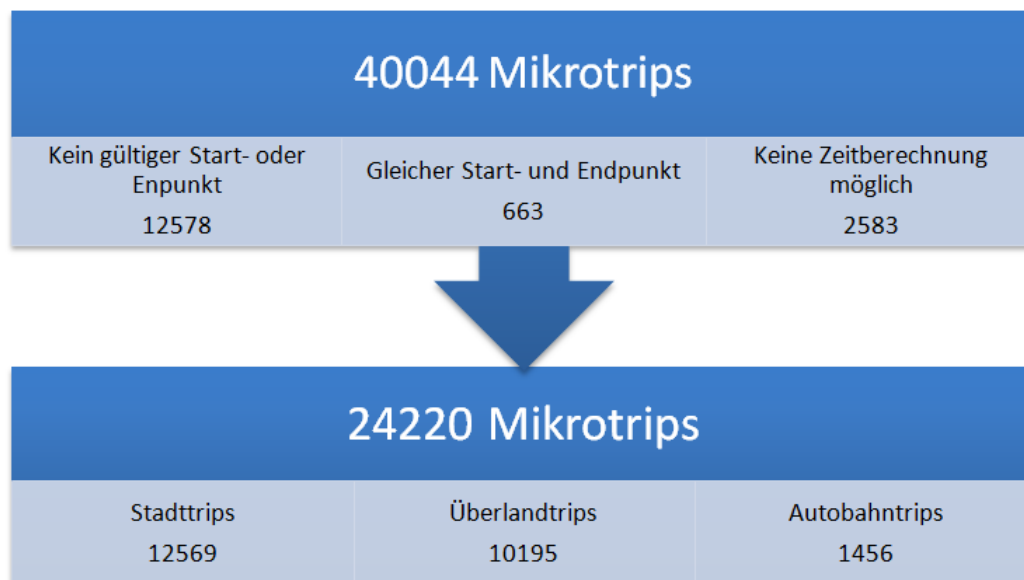


Abbildung 7.4: Reduktion der Mikrotrips zur Klimaverbrauchsanalyse

In Abbildung 7.4 ist in der obersten Ebene die Anzahl der vorhandenen Mikrotrips, in weißer Schrift hinterlegt. Darunter sind die Gründe und die Anzahl von Mikrotrips, die gestrichen werden mussten, aufgelistet. In der unteren Ebene sind die übrig gebliebenen Mikrotrips, wieder in weißer Schrift, angeführt. Dazu sind in schwarzer Schrift die Kategorien der Mikrotrips und ihre Anzahl zu sehen.

## 7.2.2. Kategorisierte Mikrotrips zur Verbrauchsanalyse des Kraftstoffs

Zu dieser Analyse sind spezifische Fahrzeugparameter notwendig. Es scheiden die Mikrotrips der Fahrten derjenigen Fahrzeuge aus, die in Kapitel 6.1 beschrieben wurden.

Die Anforderungen an das GPS Signal sind ident mit denen zur Kategorisierung für die Verbrauchsanalyse der Klimaanlage.

In Abbildung 7.5 ist eine übersichtliche Darstellung der Fehlerquellen und Mikrotripanzahl dargestellt.

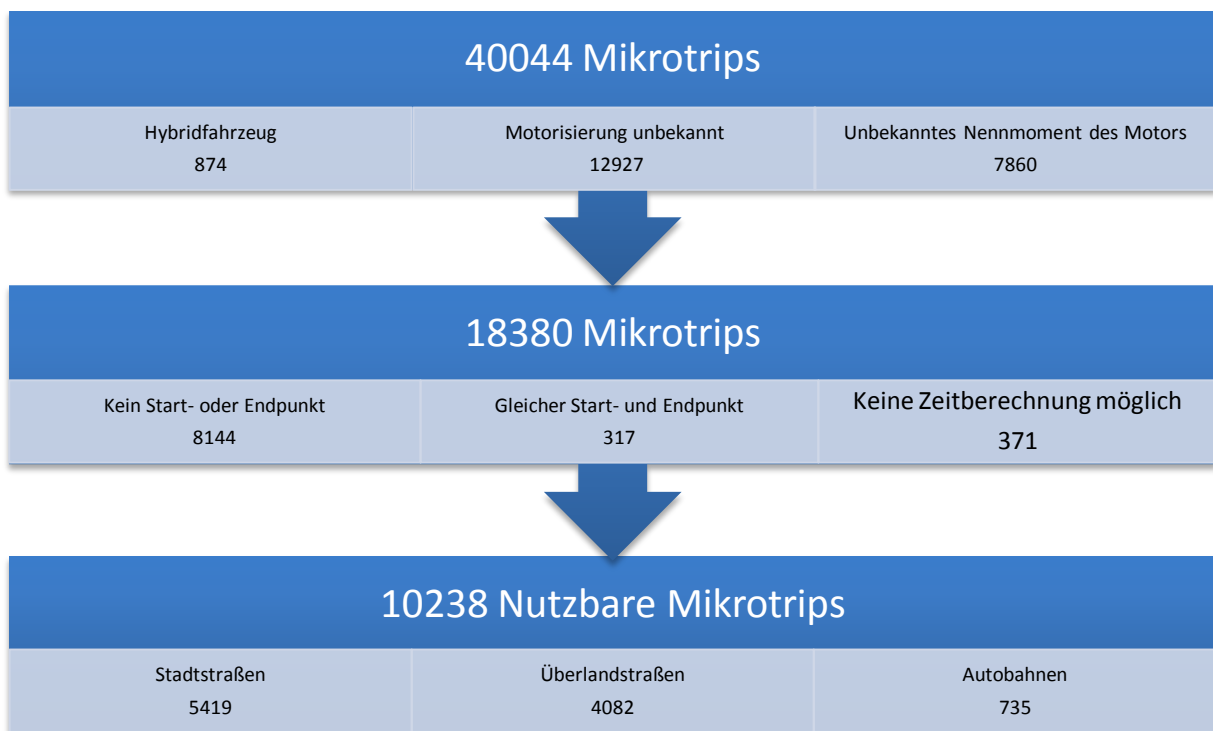


Abbildung 7.5: Reduktion Mikrotrips zur Kraftstoffberechnung

In Abbildung 7.5 sind zwei Ebenen zur Reduktion der Mikrotrips eingefügt. Die erste Ebene beschreibt Gründe zur Reduktion, basierend auf fehlenden Informationen zur Motorisierung oder einer hybriden Motorisierung. In der zweiten Ebene ist, vergleichbar mit Abbildung 7.4, die Anzahl der zu reduzierenden Mikrotrips aufgrund von GPS Signalfehlern dargestellt. Wiederum in der letzten Ebene sind die Anzahl der nutzbaren Mikrotrips und die Aufteilung zur jeweiligen Straßenart aufgelistet.

Die Aufteilung der Mikrotrips nach der Kategorie der Straße zum jeweiligen Fahrzeug ist in Tabelle 7.1 aufgelistet. Auffallend ist, dass die Fahrzeuge aus Wien eine prozentual deutlich geringere Anzahl an Mikrotrips auf Autobahnen zurücklegten und dass am meisten Mikrotrips in der Stadt stattfanden. Das kann wiederum als Bestätigung zum erhöhten Kraftstoffverbrauch aus Tabelle 6.4 gesehen werden.

Tabelle 7.1: Aufteilungen Fahrzeuge

Fahrzeug	Standort	Stadttrips	Überlandtrips	Autobahntrips
BMW X3	Graz	662	376	101
Ford Galaxy	St.Pölten	1243	1007	157
Ford Galaxy	St.Pölten	186	150	178
Ford Transit	St.Pölten	697	848	148
Skoda Superb	St.Pölten	332	324	56
VW Passat	Graz	25	16	2
VW Passat	St.Pölten	33	40	2
VW Sharan	Wien	1610	891	44
VW Transporter	Wien	259	190	9
VW Crafter	Wien	372	240	31

# 8 Jahresverbrauchsanalysen

In diesem Kapitel wird die Hauptfrage dieser Arbeit beantwortet: die mögliche Reduktion der Rechenzeit durch die Verwendung von dreizehn gewichteten Kettenfahrten. Um diese Frage zu beantworten, werden 5000 ungewichtete Kettenfahrten aus der NHTS ausgewertet. Für ein statistisch verwertbares Ergebnis werden sowohl die 5000 als auch die dreizehn Kettenfahrten dreißig Mal gerechnet [4]. Dadurch kann auf die statistische Verteilung der Ergebnisse eingegangen werden. Der entstehende Rechenaufwand ist von bedeutender Größe.

Zuerst wird anhand einer einzelnen Kettenfahrt, bestehend aus zwei Einzelfahrten, exemplarisch die Berechnung vorgeführt. Dabei wird der Kraftstoffverbrauch des Motors mit der Monte-Carlo-Methode berechnet. Der energetische Verbrauch der Klimaanlage wird mit der Monte-Carlo-Methode und mittels Markow-Ketten berechnet.

In Analogie zu dieser Vorgangsweise werden die dreizehn Kettenfahrten und die 5000 Kettenfahrten ausgewertet. Die Berechnungen basieren in beiden Fällen auf dem Fahrzeug Ford Galaxy, da mit diesem Fahrzeug die meisten Mikrotrips stattfanden. Weitere Fahrzeuge isoliert zu betrachten würde die Rechenzeit zu sehr in die Länge ziehen. Im Anbetracht der Tatsache, dass die Berechnung der 5000 Kettenfahrten dreißig Mal durchgeführt wurde und dabei eine Rechenzeit von rund drei Tagen für die Monte-Carlo-Methode entstanden ist, fiel die Berechnung weiterer Fahrzeuge aus dem zeitlichen Rahmen dieser Arbeit.

## 8.1. Beispielhafte Auswertung einer Kettenfahrt

In Tabelle 8.1 ist ein kurzer Auszug aus der Matrix, die alle Informationen zu den 5000 Kettenfahrten hat, dargestellt. Die Informationen sind die Anzahl der Einzelfahrten, der Straßentyp, die Distanz, die Fahrtdauer und die Uhrzeit bei Fahrtbeginn. Alle untenstehenden Kettenfahrten bestehen aus zwei Einzelfahrten. Die Anzahl der Einzelfahrten variiert von zwei bis fünfzehn je Kettenfahrt.

Tabelle 8.1: Auszug aus dem Datensatz der 5000 Kettenfahrten

Nr.	Einzelfahrt 1						Einzelfahrt 2					
	Startzeit	Fahrt-dauer [min]	Distanz [km]	Stadt [%]	Über-land [%]	Auto-bahn [%]	Startzeit	Fahrt-dauer [min]	Distanz [km]	Stadt [%]	Über-land [%]	Auto-bahn [%]
308	10:00	12	4.8	100	0	0	15:18	12	4.8	100	0	0
309	10:50	25	28.9	0	0	100	14:30	25	28.9	0	0	100
310	07:15	35	43.4	0	0	100	16:15	30	38.6	0	0	100
311	07:30	15	16.1	0	0	100	12:30	15	3.2	100	0	0

Mit diesen Informationen können über die in dieser Arbeit geschaffenen Methoden und zur Verfügung gestellten Modellen die Ergebnisse für den Spritverbrauch und den energetischen Verbrauch der Klimaanlage berechnet werden.

Als Beispiel dient Kettenfahrt 311, die aus zwei Einzelfahrten besteht. Zur ersten Einzelfahrt mit der Fahrdauer von fünfzehn Minuten und der zurückgelegten Distanz von 16.1 Kilometern lässt sich die mittlere Geschwindigkeit von 64,4 km/h berechnen.

Analog dazu lässt sich die mittlere Geschwindigkeit der zweiten Einzelfahrt berechnen. Somit stehen Fahrdauer und mittlere Geschwindigkeit fest und die Fahrzyklusgeneration nach Abbildung 5.2 kann beginnen. Wird der Zyklus mit Mikrotrips generiert, wird auf die Straßenart eingegangen. Bei der Generation mit Markow-Ketten bleibt diese Information unberücksichtigt.

In Abbildung 8.1 ist die Überlagerung der beiden generierten Fahrzyklen über die Informationen zur Kettenfahrt 311 dargestellt. Die Linien konstanter Geschwindigkeit beschreiben die Information aus der NHTS. Die Verläufe mit variierenden Geschwindigkeiten sind die ausgewählten Fahrzyklen, deren Durchschnittsgeschwindigkeit und Dauer den Informationen der NHTS entsprechen.

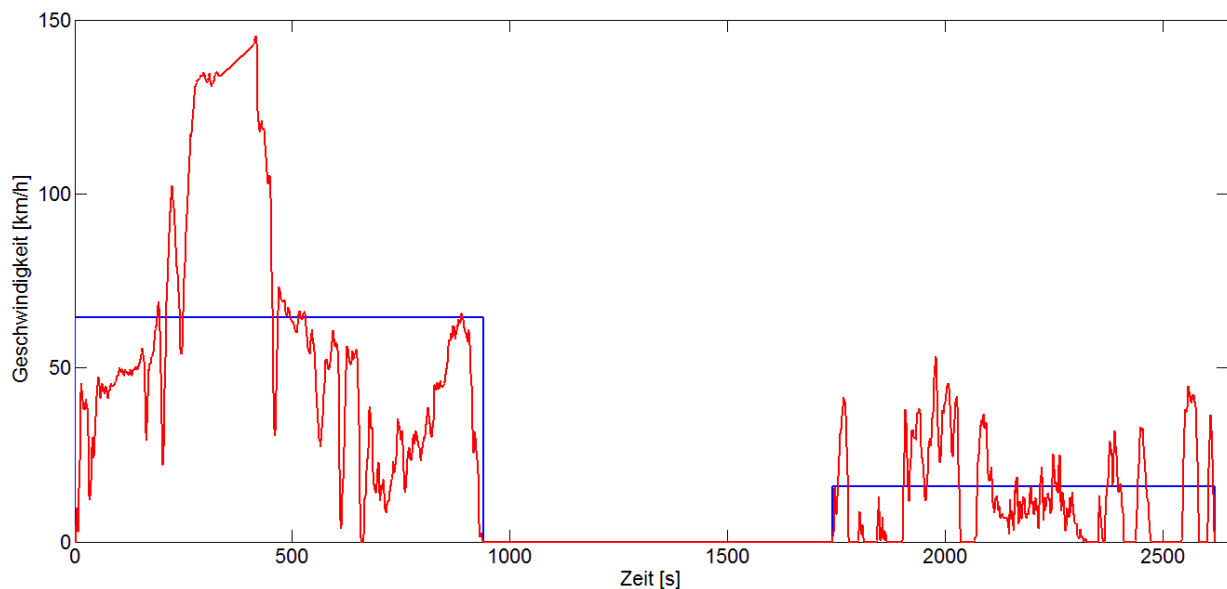


Abbildung 8.1: Überlagerung der Fahrzyklen über den Informationen der NHTS

Zu dieser Fahrt werden von der Mikrotripdatenbank auch die Vektoren zur Motordrehzahl und die des Motormoments mitgeliefert. Die Temperatur wurde zur Startzeit aus Tabelle 4.1 entnommen. In Analogie zu der beschriebenen Auswertung einer Einzelfahrt in Kapitel 6.4 wird auch hier der Kraftstoffverbrauch und der Verbrauch der Klimaanlage gleichermaßen berechnet. Zur Bestimmung des Jahresverbrauchs der Klimaanlage war es notwendig für jeden Monat einen mittleren Wert zu berechnen. Das bedeutet es wurde zu jedem generierten Fahrzyklus das Klimamodell zwölf Mal aufgerufen. Das Ergebnis der dreizehn, respektive 5000 Kettenfahrten repräsentieren den Verbrauch an einem durchschnittlichen Tag. Das bedeutet, für den Monat Januar wurde das Ergebnis, das mit der mittleren Temperatur im Monat Januar berechnet wurde, mit dem Faktor 31 multipliziert. Das Vorgehen bleibt für jeden Monat dasselbe.

Beim Vergleich der beiden Fahrzyklen in Abbildung 8.1 kann man die unterschiedlichen Mikrotrips in den verschiedenen Mikrotrippools erkennen. Während die erste Einzelfahrt rein aus Mikrotrips vom Autobahnpool stammt, basiert die zweite ausschließlich auf Stadtrips. Die Geschwindigkeit von fünfzig Kilometer pro Stunde wird nicht überschritten.

Um die unterschiedliche Gestalt der beiden Methoden zur Zyklusgeneration zu zeigen, ist in Abbildung 8.2 die Überlagerung der Information der NHTS durch die durch Markow-Ketten generierten Fahrzyklen dargestellt.

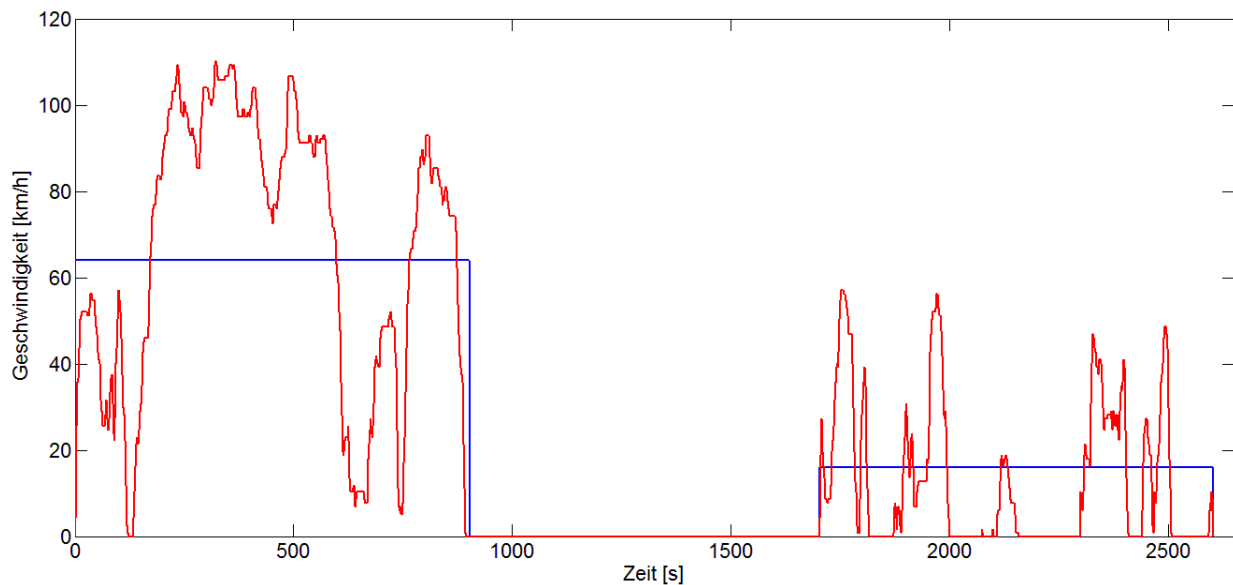


Abbildung 8.2: Überlagerung mittels Markow-Ketten generierten Fahrzyklen

Man kann erkennen, dass bei der Generation mit Markow-Ketten ein treppenartiges Aussehen des Fahrzyklus entsteht. Dies beruht auf der Tatsache, dass die Geschwindigkeiten in Klassen unterteilt wurden.

### 8.1.1. Auswertung des verbrauchten Kraftstoffs

Der verbrauchte Kraftstoff der ersten Einzelfahrt beträgt 867.3Gramm. Umgerechnet entspricht das rund 1.06 Liter Diesel. Bei der zweiten Einzelfahrt wurden 0.7 Liter Diesel verbrannt.

Diese Vorgangsweise wird für jede Kettenfahrt durchgeführt. Das bedeutet, dass insgesamt knapp 25.000 Einzelfahrten berechnet werden, wenn die Anzahl von 5000 Kettenfahrten, gerechnet wird.

Um den Jahresenergieverbrauch zu bestimmen, wird der konsumierte Kraftstoff für eine Kettenfahrt aufsummiert. Im Fall von 5000 Kettenfahrten wird jeder Kettenfahrt der gleiche Einfluss auf den Jahresverbrauch eingeräumt. Der Mittelwert dieser 5000 Kettenfahrten repräsentiert den Verbrauch eines durchschnittlichen Tages. Durch die Multiplikation mit 365 wird der Jahresverbrauch berechnet.

Bei der Verwendung des auf dreizehn Kettenfahrten reduzierten Datensatzes wird jeder Kettenfahrt ein unterschiedlicher Einfluss auf den Tagesverbrauch zugeschrieben. Ansonsten ist der Modus ident.

### 8.1.2. Energetischer Verbrauch der Klimaanlage

Bezugnehmend auf die Startzeitpunkte der Einzelfahrten der Kettenfahrt 311, 07:30 und 12:30, wird das Klimamodell für jede Einzelfahrt zwölf Mal aufgerufen, also 24-mal. Um 07:30 übersteigen nur bei zwei Monaten aus Tabelle 4.1 die Außentemperaturen den Wert von 15°C. Hingegen um 12:30 sind es fünf. Für die Monate Januar bis April und Oktober bis Dezember steht somit schon fest, dass die Klimaanlage nicht eingeschaltet wird. Für die restlichen Monate wird das Modell aufgerufen und der Wert zum jeweiligen Monat zwischengespeichert. Es folgt die Multiplikation mit der Anzahl der Tage im Monat und die Summenbildung über die zwölf Monate um den Jahresverbrauch zu berechnen. Durch die Division durch 365 erhält man den mittleren Energieverbrauch eines durchschnittlichen Tages im Jahr für die Kettenfahrt 311.

Wird der reduzierte Datensatz verwendet, verringert sich die Anzahl der Kettenfahrten von 5000 auf dreizehn. Die Vorgangsweise bleibt jedoch dieselbe ausgenommen der in [4] bestimmten Gewichtung der jeweiligen Kettenfahrt.

## 8.2. Ergebnisse des Kraftstoffverbrauchs des Motors

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der Berechnungen zum Kraftstoffverbrauch präsentiert. Die Zyklusgeneration fand auf Basis von Mikrotrips statt. Zu Beginn werden die Ergebnisse der reduzierten Kettenfahrten behandelt. Im Anschluss wird dieser Verbrauch mit dem durch 5000 Kettenfahrten berechneten Verbrauch verglichen. Für beide Varianten wurden je dreißig Durchläufe berechnet. In Zahlen ausgedrückt bedeutet das, dass für die reduzierten Kettenfahrten insgesamt 1320 Fahrzyklen generiert und ausgewertet wurden. Beim größeren Datensatz beläuft sich die Anzahl der generierten Fahrzyklen auf 750.000.

### 8.2.1. Reduzierte Kettenfahrten

Die Ergebnisse dieser Kettenfahrten werden auf Liter pro einhundert Kilometer bezogen. In Tabelle 2.1 ist der Datensatz der reduzierten Kettenfahrten dargestellt. Dieser Datensatz besteht aus dreizehn Kettenfahrten. Jede Kettenfahrt beinhaltet zwischen zwei und sechs Einzelfahrten.

Für jede Kettenfahrt liegt eine bestimmte Gewichtung vor. Es wird für jede Einzelfahrt einer Kettenfahrt der verbrauchte Kraftstoff und die gefahrene Distanz berechnet. Innerhalb dieser Kettenfahrt werden Kraftstoffverbräuche und Distanzen summiert. Diese Summen werden mit der in [4] bestimmten Gewichtung multipliziert. Anschließend werden diese gewichteten Werte wiederum über alle Kettenfahrten aufsummiert und in weiterer Folge wird der Verbrauch in Liter pro einhundert Kilometer berechnet.

Die Auswertung von dreißig Durchläufen lieferte einen mittleren Kraftstoffverbrauch von 10.22 Litern pro einhundert Kilometer. Wenn man diesen Wert mit jenem aus Tabelle 6.4 vergleicht, fällt auf, dass dieser etwas erhöht ist. Der Durchschnittswert beider Ford Galaxies aus Tabelle 6.4 beläuft sich auf 8.4 l/100 Km.

Ein wichtiger Aspekt dieser Auswertung ist die Standardabweichung der berechneten Werte. Würden diese Werte über einen großen Bereich streuen, könnte man keinen nachvollziehbaren Schluss ziehen. Dazu wird in Abbildung 8.3 das Histogramm des Kraftstoffverbrauchs der jeweiligen Durchläufe abgebildet. Die zugehörige Normalverteilung ist auch eingeblendet.

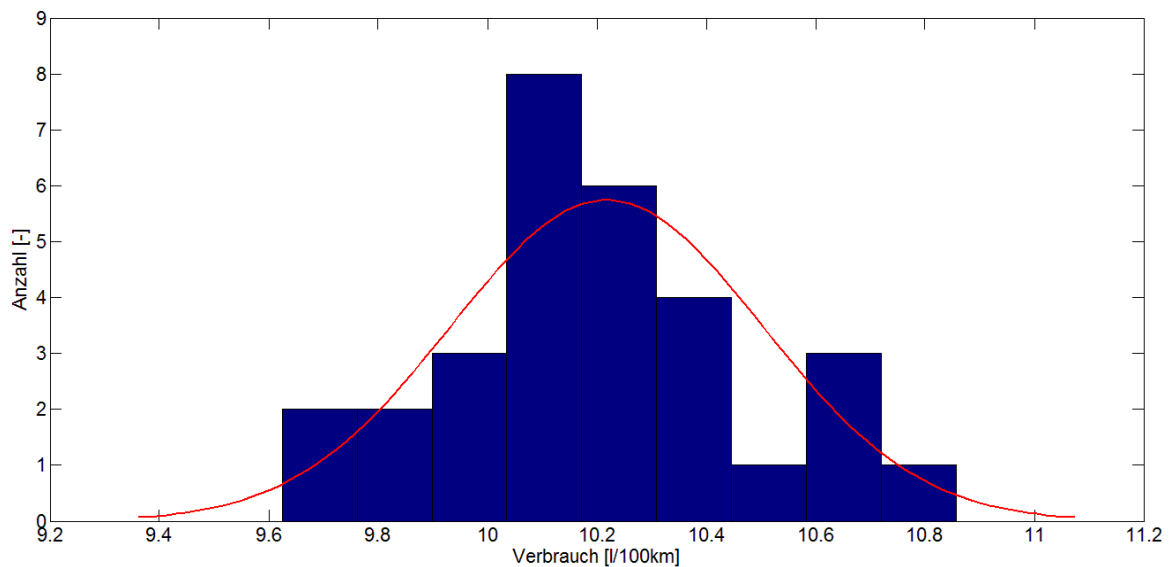


Abbildung 8.3: Histogramm Kraftstoffverbrauch Reduzierte Fahrten

Das 95% Konfidenzintervall für den Mittelwert hat die Grenzen 10.11 und 10.32 und eine Standardabweichung von 0.28.

Ein nicht zu vernachlässigender Faktor ist die Verteilung der Wertepaare Drehzahl und Motormoment. Es wurde das interpolierte Kennfeld des Motors in dreißig Zonen unterteilt. Abbildung 8.4 zeigt das gerasterte, interpolierte Kennfeld.



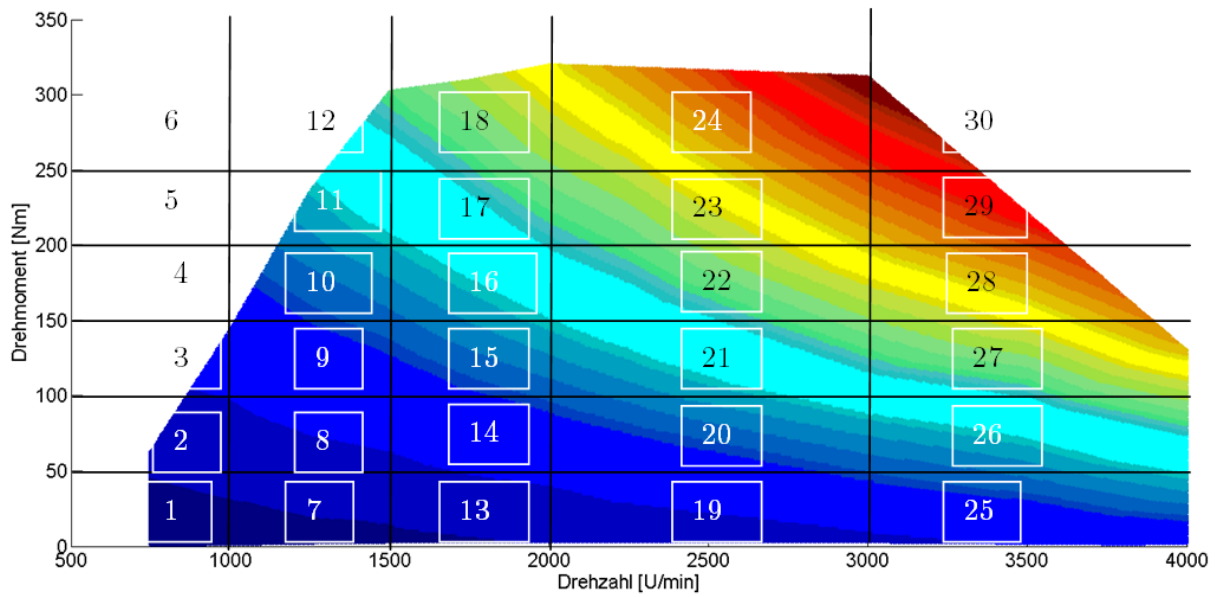


Abbildung 8.4: Gerastertes, interpoliertes Kennfeld

In Abbildung 8.5 sind die mittleren Häufigkeiten der 30 Durchläufe der Wertepaare in dem gerasterten Feld dargestellt.

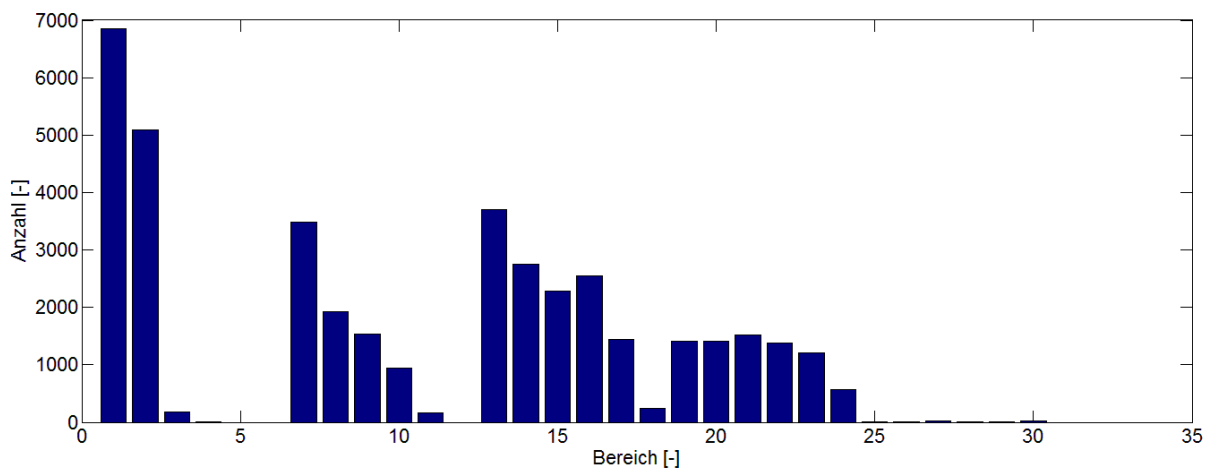


Abbildung 8.5: Mittlere Verteilung im Kennfeld

Bezugnehmend auf diese mittlere Verteilung wurde für jeden Sektor des Kennfelds für jeden Durchlauf die Abweichung der Häufigkeiten der in diesen Bereichen gefallenen Wertepaare aufgetragen. Für eine übersichtliche Darstellung wird die Standardabweichung dieser Abweichung herangezogen.

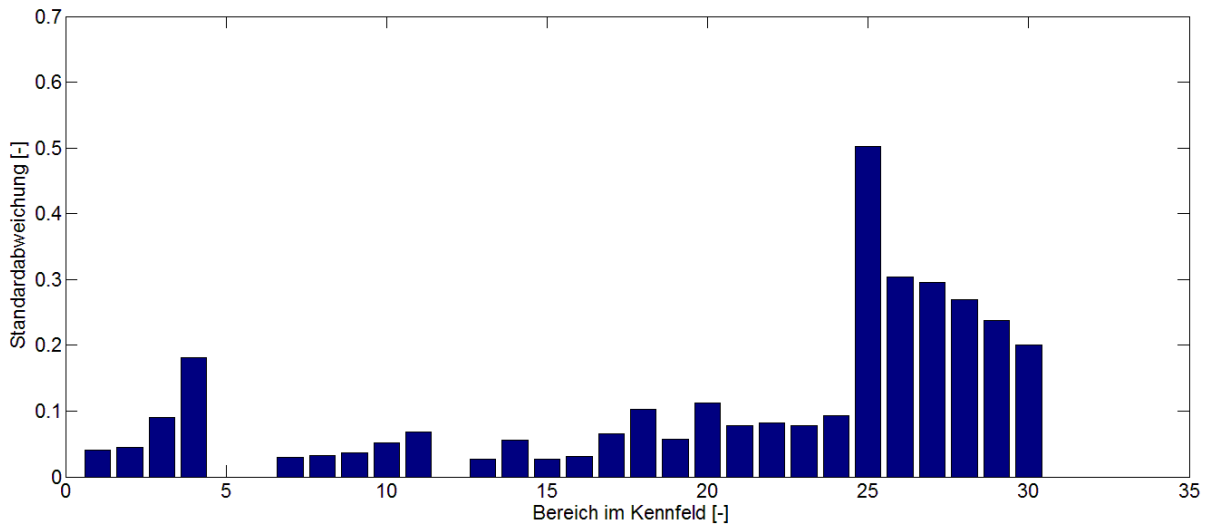


Abbildung 8.6: Standardabweichung der Häufigkeiten

Aus Abbildung 8.6 kann man folgern, dass bei den Bereichen mit vielen Einträgen der Fehler gering ist. Eine gröbere Verteilung findet nur bei Bereichen mit wenigen Einträgen statt. Daher ist der konsumierte Kraftstoff bei allen dreißig Durchläufen auf einem ähnlichen Niveau.

Der gemittelte Kraftstoffverbrauch für einen Tag ist 3.35 Liter. Das bedeutet, dass in einem Jahr 1262.45 Liter Diesel verbraucht werden würden.

### 8.2.2. Kraftstoffverbrauch bei 5000 Kettenfahrten

Auch bei 5000 Kettenfahrten konnte ein gutes Ergebnis erzielt werden. In Abbildung 8.7 ist das Histogramm zu den dreißig Durchläufen der 5000 Kettenfahrten abgebildet.

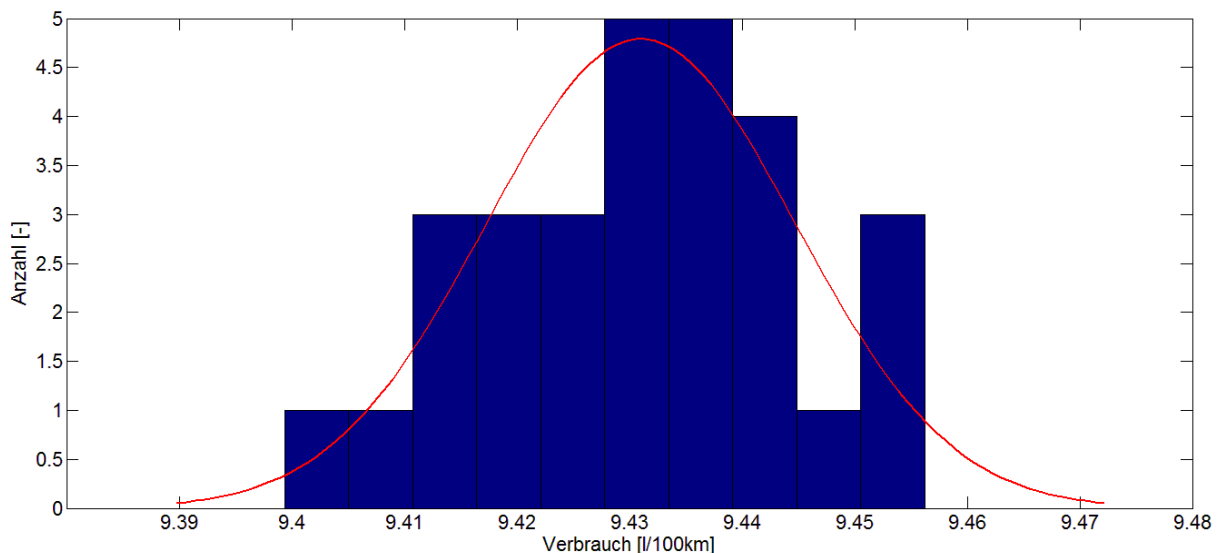


Abbildung 8.7: Histogramm Kraftstoffverbrauch 5000 Kettenfahrten

Die maximale Differenz bei allen Durchläufen beträgt 0.0568 Liter auf 100 Kilometer. Als Mittelwert wurde 9.431 Liter auf 100 Kilometer gefunden. Das 95%-Konfidenzintervall hat die Grenzen 9.423 und 9.438 l/100 km.

Durch diesen schmalen Bereich, in den alle berechneten Werte fallen, kann man in Analogie zu 8.2.1 davon ausgehen, dass die Wertepaare Motormoment und Drehzahl in allen dreißig Durchläufen ähnlich im Feld der Abbildung 8.4 verteilt sind.

Durch die Reduktion der Daten von 5000 auf nur dreizehn Kettenfahrten wurde ein Fehler von 9.2 Prozent generiert.

In Tabelle 8.2 sind die Ergebnisse des Kraftstoffverbrauchs aufgelistet.

Tabelle 8.2: Übersicht Ergebnisse Kraftstoffverbrauch

Anzahl Kettenfahrten [-]	Mittelwert Kraftstoffverbrauch [l/100km]	Standardabweichung [l/100km]	95 % Konfidenz Intervall	Rechenzeit pro Durchlauf [s]
13	10.22	0.28	[10.11 10.32]	47
5000	9.431	0.0137	[9.423 9.438]	22000

Dadurch kann der Rechenaufwand für einen Durchlauf von 22000 Sekunden auf 47 Sekunden reduziert werden. Zur Überprüfung wurde der Reduzierte Datensatz weitere zwei Mal gerechnet. Der Mittelwert des Verbrauchs der dreißig Durchläufe fiel beide Male in das 95% Konfidenzintervall mit den Werten 10.29 und 10.31. Dieser Test kann zur Überprüfung der Streuung des Mittelwertes betrachtet werden. Werden die Anforderungen durch den Auftraggeber verändert, kann somit davon ausgegangen werden, dass bei der Berechnung des reduzierten Datensatzes von dreizehn Kettenfahrten ein Mittelwert berechnet wird, der kein zufälliger ist.

## 8.3. Energetischer Verbrauch der Klimaanlage

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse des energetischen Verbrauchs der Klimaanlage beschrieben.

### 8.3.1. Reduzierte Kettenfahrten mittels Monte Carlo Methode

Für dieses Ergebnis wurden die Drehzahlvektoren derselben Fahrzyklen wie in Kapitel 8.2.1 verwendet. Die Temperaturbestimmung wurde in Kapitel 8.1.2 beschrieben.

In Abbildung 8.8 ist das Histogramm der der Klimaanlage zugeführter Energie der dreißig Durchläufe dargestellt. Dieser Wert repräsentiert die verbrauchte Energie an einem Tag, zusammengesetzt aus je einem zwölftel jedes Monats. Durch die Multiplikation mit 365 wird der Jahresenergieverbrauch berechnet.

Der Wertebereich in dem alle Werte liegen, ist in Bezug zum Mittelwert sehr klein. In beiden Richtungen um den Mittelwert, wird die Marke von 1,5 Prozent nicht überschritten.

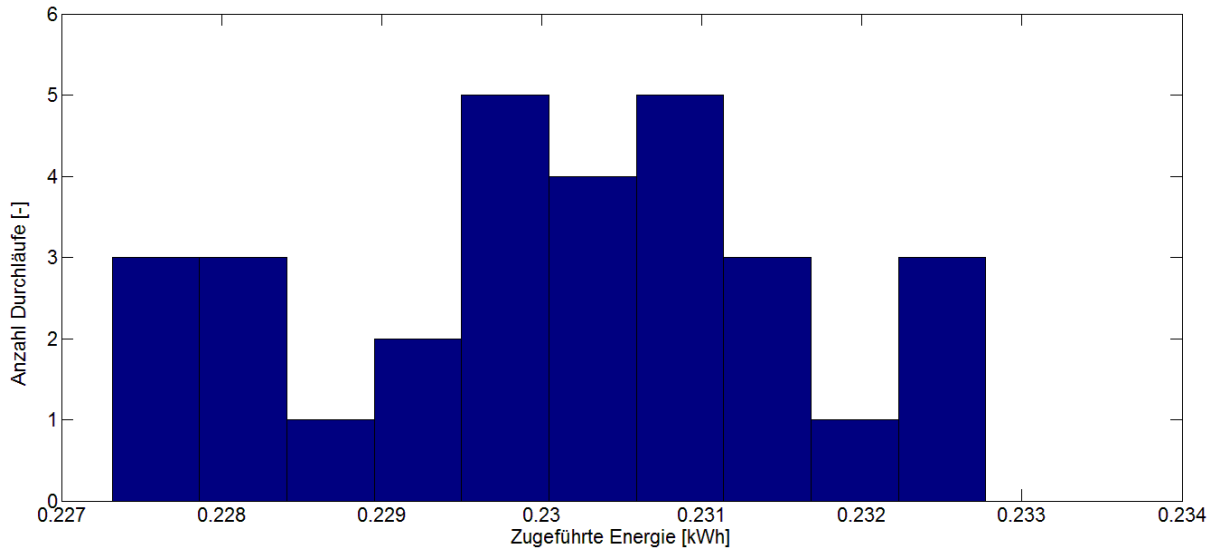


Abbildung 8.8: Zugeführte mechanische Energie Klimaanlage

Durch die geringen Unterschiede in den Ergebnissen kann der Wert von 0.23 Kilowattstunden als Verbrauchswert für einen durchschnittlichen Tag eines Jahres akzeptiert werden. Auf das Jahr aufgerechnet folgt ein Verbrauch von 83.95 Kilowattstunden.

### 8.3.2. Reduzierte Fahrten mittels Markow Ketten

Die Ergebnisse der dreißig Durchläufe streuten bei den durch Markow-Ketten ermittelten Fahrzyklen etwas mehr. So wurde als tiefster Wert 0.2106 Kilowattstunden für einen mittleren Jahrestag berechnet. Der Mittelwert aller Durchläufe ist 0.227 Kilowattstunden. In Abbildung 8.9 ist das Histogramm der Ergebnisse dargestellt.

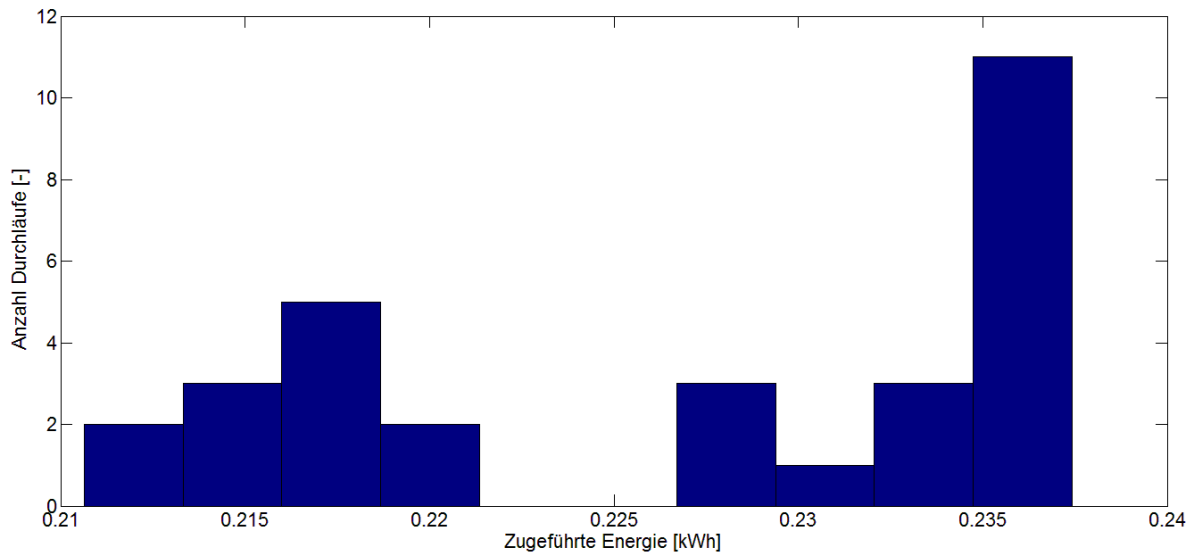


Abbildung 8.9: Histogramm Energieverbrauch durch Fahrzyklen mittels Markow Ketten

Die in Abbildung 8.9 dargestellte Verteilung ist keineswegs Normalverteilt. Einzig der erzielte Wert liegt in einem ähnlichen Bereich. Deshalb wurde der Drehzahlbereich in sechs Sektoren unterteilt und untersucht, ob die Bestimmung der Drehzahl korrekt funktioniert oder Werte ausgelassen werden. Die Sektoren sind 0 bis 1000 U/min, dann werden sie in 500er Schritten bis zur Drehzahl 3000 aufgelöst. Alle Werte über 3000 wurden dem Sektor sechs zugeschrieben. In Abbildung 8.10 sind die mittleren Häufigkeiten der jeweiligen Sektoren aus dreißig Durchläufen aufgetragen.

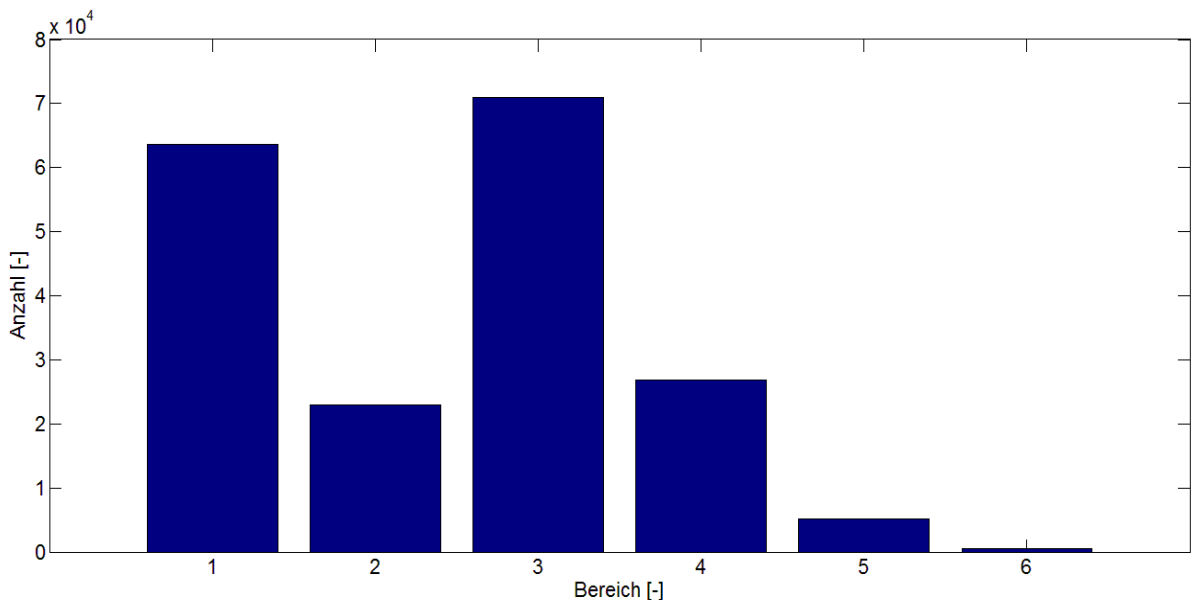


Abbildung 8.10: Verteilung Drehzahlen Markow

Um diese Verteilung zu kontrollieren wird auch die Verteilung der Monte-Carlo-Methode in Abbildung 8.11 betrachtet.

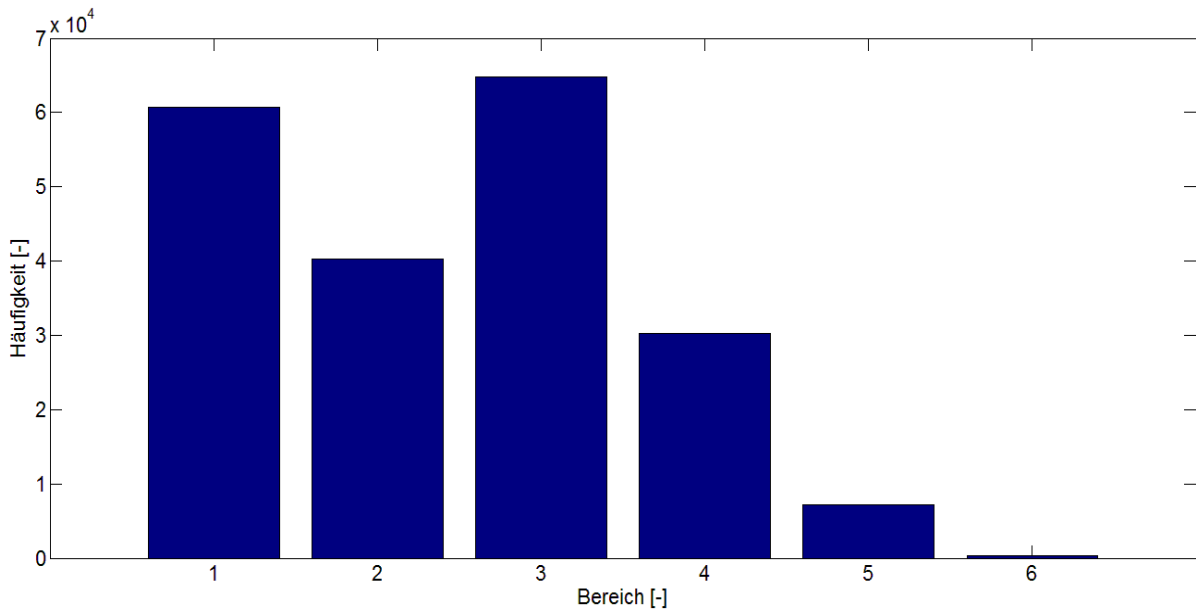


Abbildung 8.11: Verteilung Feld Monte-Carlo-Methode

Ein signifikanter Unterschied liegt im Bereich zwei, also zwischen 1000 und 1500 U/min. Das ist aber keine Erklärung für die Verteilung in Abbildung 8.9. Es bleibt noch der Vergleich der Standardabweichungen in den Sektoren. Dieser ist in Tabelle 8.3 aufgelistet. Man kann erkennen, dass im Sektor fünf und sechs die Standardabweichung bei der Markow Methode erheblich größer ist. Aufgrund der geringeren Anzahl an Einträgen in diesen Sektoren können diese nicht für die nicht Normalverteilung in Abbildung 8.9 verantwortlich gemacht werden. Deshalb wird dieses Ergebnis dem Zufall zugeschrieben.

Tabelle 8.3: Standardabweichungen nach Sektoren

Sektor	Standardabweichung	
	Monte-Carlo	Markow
1	0.005	0.008
2	0.007	0.009
3	0.007	0.008
4	0.014	0.011
5	0.027	0.085
6	0.06	0.197

Der Grund für die unterschiedlichen Werte zwischen den durch Markow Ketten und nach der Monte-Carlo-Methode berechneten Ergebnisse liegt in der Methode. Bei den Markow-Ketten gibt es keine konkrete, sich wiederholende Folge von Zuständen. Die Variationen sind deutlich größer als bei der Monte-Carlo-Methode, wo die Folge der Geschwindigkeit und Drehzahl innerhalb eines Mikrotrips strikt vorgegeben ist. Wird derselbe Mikrotrip gewählt, wird stets derselbe Verbrauch für ihn berechnet. In Tabelle 8.4 ist eine Übersicht der Ergebnisse aufgelistet.

Tabelle 8.4: Übersicht Ergebnisses reduzierter Datensatz

Methode	Mittelwert [kWh]	Rechenzeit [s]	Abweichung innerhalb der Methode [%]	Abweichung der beiden Mittelwerte [%]
Monte-Carlo	0.234	47	1.5	1.3
Markow Ketten	0.227	23.200	9.2	

### 8.3.3. Energetischer Verbrauch der Klimaanlage bei 5000 Kettenfahrten

In Abbildung 8.12 ist das Histogramm der der Klimaanlage zugeführten Energie bei dreißig Durchläufen von 5000 Kettenfahrten dargestellt. Es wurde nur die Monte-Carlo-Methode angewandt, da die Methode „Markow-Ketten“ zu einer Rechenzeit von 103 Tagen geführt hätte.

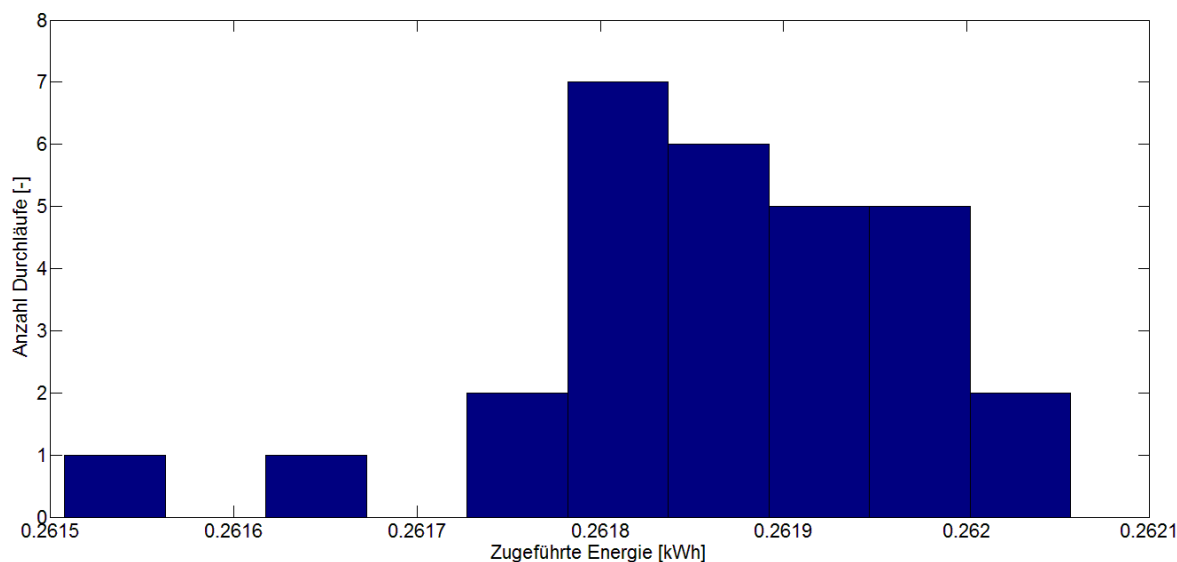


Abbildung 8.12: Zugeführte Energie bei 5000 Kettenfahrten

Es ist erkennbar, dass das Ergebnis so gut wie gar nicht streut. Der Mittelwert beträgt 0.262 Kilowattstunden.

Der Vergleich mit den durch die Monte-Carlo-Methode berechneten, reduzierten Kettenfahrten liefert ein gutes Ergebnis. Die Abweichung beträgt dreizehn Prozent. In Tabelle 8.5 ist eine Übersicht der Ergebnisse dargestellt.

Tabelle 8.5: Übersicht Ergebnisse Klimamodell

Methode	Mittelwert [kWh]	Abweichung innerhalb der Methode [%]	Abweichung der Mittelwerte, Bezug 5000 Kettenfahrten [%]	Jahres- verbrauch [kWh]
Monte-Carlo	0.234	1.5	13	83.9
Markow Ketten	0.227	9.2	15	82.8
Monte-Carlo- 5000	0.262	0.2	0	95.6

Die Betrachtung des Jahresenergieverbrauchs zeigt für die beiden Methoden, bei Verwendung des reduzierten Datensatzes, annähernd gleiche Ergebnisse. Der Unterschied liegt bei unter einer Kilowattstunde. Dieses Ergebnis ist ein erwartetes, da bereits geklärt wurde, dass die Drehzahl einen geringen Einfluss auf den energetischen Verbrauch der Klimaanlage hat und die Temperaturen bei beiden Methoden dieselben für jede Fahrt sind.

In Anbetracht der deutlich erhöhten Rechenzeit und der erzielten Ergebnisse, ist die Monte-Carlo-Methode zu bevorzugen. Innerhalb der Methode liegen die Ergebnisse enger beisammen.



# 9 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde untersucht, ob es möglich ist, durch die Berechnung von nur dreizehn gewichteten Kettenfahrten aus der NHTS („National Household Travel Survey“) ein repräsentatives Ergebnis für die Komponenten Motor und Klimaanlage von Fahrzeugen erzielen zu können. Die graphische Erklärung einer Kettenfahrt ist durch Abbildung 1.1 gegeben. Die NHTS ist in Kapitel 4.1 beschrieben. Als Vergleichskriterium werden die in [4] gefundenen fünftausend Kettenfahrten benutzt, von denen gezeigt wurde, dass sie eine repräsentative Stichprobe sind.

Es wurden zwei Methoden geschaffen, mit denen es möglich ist, zu bestimmten Anforderungen Fahrzyklen zu generieren. Somit konnte der Übergang von der NHTS zu Verbrauchsberechnungen geschaffen werden. Von der NHTS können nur die Parameter Fahrdauer, Distanz und Uhrzeit der Fahrt zur Verbrauchsberechnung benutzt werden. Durch die Zyklus-Generations-Methoden „Mikrotrips“ und „Markow-Ketten“ können der Fahrdauer und der Distanz ein Geschwindigkeitsprofil und ein Motordrehzahlprofil hinzugefügt werden. Mit der Drehzahl und einer Außentemperatur konnten anschließend energetische Verbräuche der Klimaanlage über das Modell GreenMac LCCPv3 bestimmt werden. Die Außentemperatur wurde aus mittleren Monatstemperaturen zu den von der NHTS bestimmten Uhrzeiten von fünfundzwanzig europäischen Städten bestimmt.

Bei der Mikrotrip Methode ist zusätzlich der Parameter „Engine Load“ bekannt. Dieser beschreibt das Verhältnis des bei einer bestimmten Drehzahl vorkommenden maximalen Motormoments und dem tatsächlich gelieferten Motormoment. Mit der Engine Load und der Drehzahl kann über ein synthetisches Motormodell der Kraftstoffverbrauch berechnet werden.

Durch die erzielten Ergebnisse aus Kapitel 8 kann die Rechenzeit von 22000 Sekunden auf 47 Sekunden reduziert werden. Das entspricht einer Reduktion um den Faktor 468. Es kann also eine schnelle, aussagekräftige Abschätzung für die energetischen Verbräuche einer Klimaanlage und eines Motors durchgeführt werden.

Im Vergleich der beiden Methoden Monte-Carlo und Markow-Ketten konnte gezeigt werden, dass die Monte-Carlo-Methode zu bevorzugen ist. Sowohl die Rechenzeit als auch die erzielten Ergebnisse sprechen für die Monte-Carlo-Methode.

Diese Arbeit stellt virtuelle Testzyklen bestehend aus Geschwindigkeitsverläufen und Temperaturen zur Verfügung, welche repräsentativ für Komponenten eines Fahrzeuges für ein Jahr innerhalb der Europäischen Union sind. Es wurden Methoden geschaffen, die eine vorzeitige Abschätzung des energetischen Verbrauchs von Motoren und Klimaanlage zulassen. Hersteller können diese Zyklen und Methoden benutzen, um in einem frühen Entwicklungsstadium eine schnelle Abschätzung zum energetischen Verbrauch von Motoren und Klimaanlage zu machen.

Die Zyklusgenerationsmethoden sind auf ein breites Spektrum von Anforderungen anwendbar. Es können viele, unterschiedliche Fahrsituationen, aufgrund des großen Datensatzes der Vecept Testfahrzeuge, simuliert werden. Durch die schnelle Berechnung von vielen verschiedenen Fahrsituationen können mögliche Fehlerquellen vorzeitig erkannt werden.

Ein mögliche Entkopplung der Zyklus-Generation und der Verbrauchsberechnung stellt die Verwendung eines Gesamtfahrzeugmodells dar. Für ein Gesamtfahrzeugmodell werden nur die Geschwindigkeitsverläufe benötigt und die restlichen für den Verbrauch bestimmenden Parameter können aus dem Modell gewonnen werden. Es könnten die mittels Markow-Ketten berechneten Zyklen auch zur Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs des Motors benutzt werden. Diese Vorgangsweise benötigt jedoch ein erheblich größeres Maß an Rechenzeit.

Die Verwendung eines aufwendigeren Klimaanlagenmodells, beispielsweise die Air Condition Library von ClayTex, könnte zu Ergebnissen führen, die entweder das Modell GreenMac LCCPv3 für diese Anwendung validieren oder verwerfen. Die Verwendung eines aufwendigeren Modells ist stets mit einer Erhöhung der Rechenzeit verbunden. Es ist den Herstellern überlassen, wo ihr Hauptaugenmerk liegt: entweder eine schnelle Abschätzung oder ein genaueres Ergebnis.

Die Zyklusgeneration nach dem Clusterverfahren könnte auch zu Vergleichszwecken implementiert werden. Sowohl der Rechenzeitbedarf als auch erzielte Ergebnisse zum Verbrauch können mit den in dieser Arbeit erzielten Ergebnissen verglichen werden.

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Kettenfahrt.....	2
Abbildung 3.1: NEDC.....	7
Abbildung 3.2: Artemis Urban Road Cycle.....	8
Abbildung 3.3: FTP-75.....	9
Abbildung 3.4: JC 08 Fahrzyklus.....	9
Abbildung 3.5: WLTC Class 3.....	10
Abbildung 4.1: Komponenten Common Rail [12].....	15
Abbildung 4.2: Interpolierte Abbildung des Kennfelds des Motors.....	16
Abbildung 4.3: Schematische Darstellung Klimaanlage [14].....	18
Abbildung 4.4: PKW Klimatisierung[15].....	19
Abbildung 4.5: CAP Werte.....	20
Abbildung 4.6: COP Klimaanlagemodell.....	21
Abbildung 4.7: ViFDRIVE.....	22
Abbildung 5.1: Beispiel Mikrotrip.....	24
Abbildung 5.2: Generierer.....	26
Abbildung 5.3: Übergangsgraph.....	27
Abbildung 5.4: Reduktion Übergangsmatrix.....	29
Abbildung 5.5: Plot der Route auf Google Maps <sup>©</sup> .....	33
Abbildung 5.6: Auswertung Einzelfahrt.....	36
Abbildung 5.7: Jahresverbrauchsberechnung.....	36
Abbildung 6.1 Häufigkeitsverteilung Fahrtdauer.....	38
Abbildung 6.2 Häufigkeitsverteilung Geschwindigkeit.....	39
Abbildung 6.3: Fahrtauern erster Ford Galaxy.....	39
Abbildung 6.4: Fahrtauern zweiter Ford Galaxy.....	40
Abbildung 6.5: Konstante Drehzahl, variable Temperatur.....	43
Abbildung 6.6: Konstante Temperatur, variable Drehzahl.....	44
Abbildung 6.7: Histogramm der Temperaturen aller Fahrten über 15°C.....	46
Abbildung 7.1: Mikrotrips.....	47
Abbildung 7.2: Histogramm der Mikrotripanzahl.....	48
Abbildung 7.3: Mikrotripdauern.....	48
Abbildung 7.4: Reduktion der Mikrotrips zur Klimaverbrauchsanalyse.....	49
Abbildung 7.5: Reduktion Mikrotrips zur Kraftstoffberechnung.....	50
Abbildung 8.1: Überlagerung der Fahrzyklen über den Informationen der NHTS.....	53
Abbildung 8.2: Überlagerung mittels Markow-Ketten generierten Fahrzyklen.....	54
Abbildung 8.3: Histogramm Kraftstoffverbrauch Reduzierte Fahrten.....	56
Abbildung 8.4: Gerastertes, interpoliertes Kennfeld.....	57
Abbildung 8.5: Mittlere Verteilung im Kennfeld.....	57
Abbildung 8.6: Standardabweichung der Häufigkeiten.....	58
Abbildung 8.7: Histogramm Kraftstoffverbrauch 5000 Kettenfahrten.....	58

Abbildung 8.8: Zugeführte mechanische Energie Klimaanlage.....	60
Abbildung 8.9: Histogramm Energieverbrauch durch Fahrzyklen mittels Markow Ketten ....	61
Abbildung 8.10: Verteilung Drehzahlen Markow.....	61
Abbildung 8.11: Verteilung Feld Monte-Carlo-Methode.....	62
Abbildung 8.12: Zugeführte Energie bei 5000 Kettenfahrten.....	63

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Strafhöhen.....	1
Tabelle 2.1: Datensatz von repräsentativen Kettenfahrten.....	6
Tabelle 3.1: Parameter von Fahrzyklen .....	11
Tabelle 3.2: Vergleich Fahrzyklen.....	12
Tabelle 4.1: Mittlere Monatstemperaturen Europa .....	14
Tabelle 4.2: Vecept Fahrzeugflotte .....	22
Tabelle 5.1: Anforderungen an die Monte-Carlo-Methode.....	25
Tabelle 5.2: Übergangsmatrix.....	28
Tabelle 5.3: Getriebeübersetzungsverhältnisse.....	32
Tabelle 5.4: Übersicht Kategorien.....	34
Tabelle 6.1: Kriterien.....	37
Tabelle 6.2: Treibstoffverbrauch der Fahrzeuge Ford Galaxy .....	40
Tabelle 6.3: Parameter einer exemplarischen Fahrt .....	40
Tabelle 6.4: Kraftstoffverbräuche der Fahrzeuge.....	41
Tabelle 6.5: Konstante Drehzahl.....	42
Tabelle 6.6: Konstante Temperatur .....	43
Tabelle 6.7: Verbrauch der Klimaanlage einer Einzelfahrt .....	44
Tabelle 6.8: Übersicht der Ergebnisse .....	45
Tabelle 7.1: Aufteilungen Fahrzeuge.....	51
Tabelle 8.1: Auszug aus dem Datensatz der 5000 Kettenfahrten.....	52
Tabelle 8.2: Übersicht Ergebnisse Kraftstoffverbrauch.....	59
Tabelle 8.3: Standardabweichungen nach Sektoren .....	62
Tabelle 8.4: Übersicht Ergebnisses reduzierter Datensatz.....	63
Tabelle 8.5: Übersicht Ergebnisse Klimamodell.....	64

# Literaturverzeichnis

- [1] Klima Ohne Grenzen, Klima Ohne Grenzen Klimawissen  
<http://klimaohnegrenzen.de/klimawissen>.
- [2] Europäische Union, Road transport: Reducing CO2 emissions from vehicle.  
[http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/index_en.htm)
- [3] U.S. Department of Transportation. NHTS.  
<http://nhts.ornl.gov/introduction.shtml#implementation>.
- [4] Brunner, P; Erstellung einer Vorgangsweise zur Berechnung des Energieverbrauchs realer Fahrzeugflotten. 2013.
- [5] Hung, W.T.; Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong. s.l. : Transportation Research Part D 12 (2007) 115–128
- [6] Gong, Q.; *PEV CHARGING CONTROL CONSIDERING THE DISTRIBUTION TRANSFORMER LIFE*. s.l. : The Ohio State University, 2012
- [7] Fotouhi, A; Montazeri-Gh.; Tehran driving cycle development using the k-means clustering method. Sharif University of Technology. 2011.
- [8] The International Council On Clean Transportation; *WORLD-HARMONIZED LIGHT-DUTY VEHICLES TEST PROCEDURE (WLTP)*. s.l. : ICCT, 2013
- [9] Weiss; Bonell; Hummel u.v.m.; Analyzing on-road emissions of light-duty vehicles with Portable Emission Measurement Systems (PEMS). 2011. EUR 246987 EN – 2011
- [10] Andrè, M. Real-world driving cycles for measuring cars pollutant emissions – Part A: The ARTEMIS European driving cycles. s.l. : INRETS, 2004
- [11] Meteonorm; <http://meteonorm.com/de/>.
- [12] Projahn, U; Wirth, R u.v.m. ; *Moderne Diesel- Einspritzsysteme.*: Reif, K (Hrsg.), Vieweg und Teubner Verlag Wiesbaden, ISBN 978-3-8348-1312-1, 2010

- [13] Energieleben; energieleben.at  
<http://www.energieleben.at/tipps-fur-ihre-klimaanlage-im-auto/>
- [14] Großmann, H. PKW - Klimatisierung : Springer-Verlag Berlin, ISBN 978-3-642-05494-5 . 2010
- [15] Hüseyin, I. wordpress.com.  
<http://adactestblog.wordpress.com/2011/08/19/wie-funktioniert-eigentlich-eine-klimaanlage/>
- [16] U.S. Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov>.  
<http://www.epa.gov/cpd/mac/compare.htm>
- [17] ClayTex; Claytex Air Conditioning Library  
<http://www.claytex.com/products/dymola/model-libraries/air-conditioning-library/>
- [18] Vecept; Vecept Leuchtturm Projekt, <http://vecept.at/index.php/theproject/das-projekt>
- [19] Empora.; <http://www.empora.eu>
- [20] Google. Google Directions API.  
<https://developers.google.com/maps/documentation/directions/>
- [21] Meintrup, D; Schäffler, S.; Statistik und ihre Anwendungen. : Prof. Dr. Holger Dette • Prof. Dr. Wolfgang Härdle (Hrsg.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, ISBN 3-540-21676-6, 2000
- [22] Böker, F.; Analyse multivariater Daten. Vorlesungsskriptum Universität Göttingen, 2010
- [23] kfz-tech.de. <http://www.kfz-tech.de/Formelsammlung/Reifenberechnung.htm>  
<http://www.kfz-tech.de/Formelsammlung/Drittelmix.htm>
- [24] Lemke, N; Mildenerger, J; Graz, M.; Unterstützung der Markteinführung von Pkw-Klimaanlagen mit dem Kältemittel CO<sub>2</sub> (R744). Forschungskennzahl 3707 46 102; Umweltbundesamt; 2011
- [25] Burg,H; Boll, J; Bredl,J; u.v.m.; Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion, 2.Auflage. : Burg, H; Moser, A. (Hrsg.), Vieweg und Teubner Verlag Wiesbaden; ISBN 978-3-8348-0546-1; 2009

[26] Spritmonitor.de; <http://www.spritmonitor.de/>