Hochschule Esslingen
Fakultät Betriebswirtschaft

Methoden zur Auswertung der Quelle-Ziel-Beziehungen hinsichtlich der Entwicklung von Elektroladeinfrastruktur in Deutschland unter Berücksichtigung der Prognose 2025

Bachelorarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science
im Studiengang Technische Betriebswirtschaft / Automobilindustrie
an der Fakultät Betriebswirtschaft
der Hochschule Esslingen, University of Applied Sciences

Verfassende Person
Inna Morozova
Matrikelnummer 747105

Erste prüfende Person
Prof. Dr. Ralf Wörner, Hochschule Esslingen

Zweite prüfende Person
Dr. Martin Kagerbauer, Karlsruher Institut für Technologie

31. August 2017

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis ..... **IV**

Tabellenverzeichnis ..... **V**

Abkürzungsverzeichnis ..... **VI**

1 Einleitung **1**

1.1 Ausgangssituation 1

1.2 Ziel der Arbeit 2

1.3 Aufbau der Arbeit 2

2 Grundlagen **3**

2.1 Mikroskopisches Verkehrsmodell „mobiTopp“ 3

2.1.1 Übersicht des mikroskopischen Verkehrsmodells 3

2.1.2 Ablauf der Simulation 4

3 Prämissen zur Auswertung der Quelle-Ziel Beziehungen in der Region Stuttgart **6**

3.1 Allgemeiner Überblick der Daten über Fortbewegungen 6

3.2 Einteilung der Region Stuttgart für die geografische Positionierung der Quelle- und Zielpunkten der Fahrten 8

3.3 Übersicht der Quelle-Ziel-Ketten 9

4 Auswertung der Daten über die Fortbewegungen in der Region Stuttgart **14**

4.1 Kategorien der Fortbewegungen 14

4.1.1 Zweck „Arbeit“ 18

4.1.2 Zweck „Einkaufen“ 20

4.1.3 Zweck „Freizeit“ 21

4.1.4 Zwischenfazit 23

4.2 Verkehrsintensität in der Stadt Stuttgart nach den Zwecken und ihre Abhängigkeit von der Uhrzeit 23

4.2.1 Tageszeitabhängiges Verkehrsaufkommen 23

4.2.2 Einpendlerintensität in die Bezirke der Stadt Stuttgart 24

4.2.3 Zwischenfazit 26

4.3 Untersuchung der mittleren Streckenlängen 27

4.4 Zusammenfassung 31

5 Mathematische Methoden zur Bewertung Quelle-Ziel-Matrizen 33

5.1 Methode der kleinsten Quadrate 33

5.1.1 Algorithmus der Lösung 38

5.1.2 Schätzung der Quelle-Ziel-Beziehungen mithilfe der Methode der kleinsten Quadrate 39

Fazit 46

Literaturverzeichnis 48

Anhang 52

Selbstständigkeitserklärung 53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modell des Ablaufs der Simulation 5

Abbildung 2: Eingruppierung der Zellen nach Bezirke der Stadt Stuttgart und Kreise 9

Abbildung 3: Verfolgung einer Quelle-Ziel-Kette 13

Abbildung 4: Durchschnittliche jährliche Arbeitszeit pro Arbeitnehmer, Vollzeit 15

Abbildung 5: Arbeitstage pro Woche im Jahr 2013 16

Abbildung 6: Berufliche Fortbewegungen innerhalb der Kreise der Region Stuttgart. 19

Abbildung 7: Fortbewegungen innerhalb der Kreise der Region Stuttgart. Zweck – „Einkaufen“.....21

Abbildung 8: Fortbewegungen innerhalb der Kreise der Region Stuttgart. Zweck – „Freizeit“.....22

Abbildung 9: Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens von der Tageszeit.....24

Abbildung 10: Berufliche Einpendlerintensität in die Stadt Stuttgart aus der Region Stuttgart 25

Abbildung 11: Einpendlerintensität in die Stadt Stuttgart aus der Region Stuttgart. Zwecke - "Einkaufen" und „Freizeit“26

Abbildung 12: Streckenlängen der Fahrten pro Tag nach verschieden Zwecken 29

Abbildung 13: Abweichung des realen Stromverbrauchs von den Herstellerangaben (Quelle: Technical University of Denmark) 30

Abbildung 14: Schema der Lage von den Orten.....39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gesamtanzahl der Fahrten. Aufteilung nach Zwecke der Fortbewegungen 7

Tabelle 2: Region Stuttgart und andere Orte außerhalb der Region Stuttgart aufgeteilt auf Zellen 8

Tabelle 3: Tabellarische Darstellung der Fortbewegungen in der Region Stuttgart und den anderen Regionen Baden-Württemberg 10

Tabelle 4: Quelle-Ziel-Matrix. Alle Zwecke der Fahrten 12

Tabelle 5: Aufteilung der Gesamtanzahl pro Woche der Hinfahrten auf die Kategorien und Zwecken der Fahrten 14

Tabelle 6: Aufteilung der Gesamtanzahl pro Tag der Hinfahrten auf die Kategorien und Zwecken der Fahrten 17

Tabelle 7: Anteile der Fahrten in der Region Stuttgart und Baden-Württemberg. Zweck – Arbeit 18

Tabelle 8: Anteile der beruflichen Fahrten in der absoluten Ausprägung 19

Tabelle 9: Anteile der Fahrten in der Region Stuttgart und Baden-Württemberg. Zweck – „Einkaufen“ 20

Tabelle 10: Anteile der Fahrten in der absoluten Ausprägung. Zweck – „Einkaufen“ 20

Tabelle 11. Anteile der Fahrten in der Region Stuttgart und Baden-Württemberg. Zweck – „Freizeit“ 21

Tabelle 12: Anteile der Fahrten in der absoluten Ausprägung. Zweck – „Freizeit“ 22

Tabelle 13: Quelle-Ziel-Matrix der geschätzten Verkehrsbeziehungen 40

Tabelle 14: Quelle-Ziel-Matrix der beobachteten Verkehrsströme 41

Tabelle 15: Kovarianzmatrix V der geschätzten Verkehrsbeziehungen 42

Tabelle 16: Normalverteilung der Verkehrszählungen 43

Abkürzungsverzeichnis

usw.	und so weiter
Pkw	Personenkraftwagen
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
ca.	circa
NPE	Nationalen Plattform für Elektromobilität
E-Auto	Elektroauto
km	Kilometer
ACEA	European Automobile Manufacturers' Association
kWh	Kilowattstunde
Wh	Wattstunde
NEFZ	Neue Europäische Fahrzyklus
EU	Europäische Union
TAM	Transport Traffic Appraisal Manual

1 Einleitung

Diese Abschlussarbeit befasst sich mit dem Thema „Methoden zur Auswertung der Quelle-Ziel-Beziehungen hinsichtlich der Entwicklung von Elektroladeinfrastruktur in Deutschland unter Berücksichtigung der Prognose 2025“. Im Mittelpunkt steht die Auswertung der Daten über die Fortbewegungen in der Region Stuttgart, welche durch das mikroskopische Modell „mobiTopp“ der Karlsruher Institut für Technologie simuliert wurden. Darüber hinaus wurde die mathematische Methode zur Schätzung der Quelle-Ziel-Beziehung untersucht.

1.1 Ausgangssituation

Die Mobilität spielt sehr wichtige Rolle im Leben der Menschen. Es ist kaum ein Leben ohne motorisierte Verkehrsmittel vorstellbar. Die Automobilindustrie hat sich in den letzten 100 Jahren stark entwickelt. Es bringt viele positive Auswirkungen, wie fast unbegrenzte Reisemöglichkeiten, Vielfalt der Automarken und Modellen und Wachstum der Ökonomie des Landes, mit sich. Jedoch müssen auch die negativen Auswirkungen, wie zum Beispiel steigender CO_2-Ausstoß, Klimawandel und Knappheit der Brennstoffe, betrachtet werden. Um diesen Punkten entgegenzuwirken werden alternative Fahrzeugkonzepte entwickelt.

Um die Idee des Umweltschutzes zu fördern, wurde in 2009 im europäischen Parlament die Verordnung über die Verminderung der CO_2-Emissionen von Personenkraftwagen (Pkw) bis 2020 auf 95 g/km festgelegt. (Vgl. 1Verordnung (EG) Nr. 443/2009: Artikel 13 Absatz 5) Im April 2013 hat das EU-Parlament ein weiteres CO_2-Ziel für 2025 zwischen 68 und 78 g/km vorgeschlagen. (Vgl. 2)

Mit der Entwicklung der Technologie steigt immer mehr das Interesse an den E-Autos. Nach dem Stand von 1. Januar 2017 fahren in Deutschland 34 022 E-Autos. Das sind 68% mehr als noch vor fünf Jahren. (Vgl. 3) Allein während der ersten Jahreshälfte von 2017 wurde in Deutschland mehr als 10 000 E-Autos neuzugelassen, was nur um 1000 weniger sind, als im 2011 neuzugelassen wurden. (Vgl. 4)

Aus den statistischen Daten ist es sichtbar, dass der Anteil der Elektroautos sehr schnell steigt. Die European Automobile Manufacturers Association erwartet eine Steigerung des Anteils von E-Autos zum Zeitraum 2020 bis 2025 von 2% bis 8% auf Grundlage der heutigen Situation. (Vgl. 5) Aber ohne ausreichende Lademöglichkeit kann das Interesse an den alternativen Fahrzeugkonzepten genauso schnell vorbei sei. Ende 2016 stehen laut der „nationalen Plattform für Elektromobilität“ (NPE) ca. 7 400 öffentliche Ladepunkte in Deutschland zur Verfügung, davon sind nur 292 Schnelladepunkte. Bereits für das Jahr 2020 hat die NPE ein Bedarf von 70 000 normalen Ladepunkten und 7100 Schnellladesäulen ermittelt. (Vgl. 6) Als Maßnahme zur Erreichung dieses Ziels wurde ein so genanntes „300-Millionen-Euro-

Förderprogramm“ von Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur veranlassen. Dieses Programm impliziert die Förderung des Aufbaus von 15 000 Normal- und Schnellladepunkte in Deutschland bis 2020. (Vgl. 7, 8)

Die größten deutschen Automobilhersteller, wie Daimler AG, BMW Group, Volkswagen Konzern bleiben von diesem Thema natürlich nicht fern. So planen oben genannten Unternehmen inklusive Ford Motor Company den Aufbau der Ultraschnellladeinfrastruktur mit einer Leistung bis 350 kWh an den wichtigsten Autobahnen in Europa. (o. V. 9)

1.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel der Abschlussarbeit ist der Überblick und Auswertung der Daten über die Fortbewegungen in der Region Stuttgart, welche mithilfe des mikroskopischen Modells „mobiTop“ simuliert wurden, sowie die Ermittlung der Verkehrsintensität in der Stadt Stuttgart für die weitere Erarbeitung der Ladeinfrastruktur auf Basis der Absatzprognose für E-Autos 2020 bis 2025. Der zweite Schwerpunkt liegt auf der Beschreibung der Methode zur Schätzung der Quelle-Ziel Matrizen und auf der Auswertung der Quelle-Ziel-Beziehungen mit der Methode der kleinsten Quadrate.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Abschlussarbeit ist in fünf Kapiteln gegliedert. In Kapitel 1 werden kurz die Ausgangssituation und die Ziele der Arbeit erläutert. In den Kapiteln 2 und 3 werden das mikroskopische Modell „mobiTopp“, der Ablauf der Simulation und die Daten über die Fortbewegungen in der Region Stuttgart beschrieben, welche mithilfe von „mobiTopp“ simuliert wurden. Im Kapitel 4 wird die Auswertung der Daten über die Fortbewegung, sowie die Verkehrsintensität in der Region Stuttgart in Abhängigkeit vom Zweck der Fahrten durchgeführt. In Kapitel 5 wird die mathematische Methode zur Schätzung der Quelle-Ziel-Beziehungen – Methode der kleinsten Quadrate – betrachtet. In diesem Kapitel wird auch ein Beispiel der Schätzung der Verkehrsbeziehungen auf Grund der mobiTopp-Daten aufgeführt. Das letzte Kapitel ist die Zusammenfassung der Arbeit.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel wird das mikroskopische Modell „mobiTopp“ erläutert. Es wird der Aufbau, die Phase der Simulation und das daraus resultierende Ergebnis ausgedeutet. Es werden auch erläutert, welche Daten eingegeben werden müssen, damit die vollständige Simulation durchgeführt werden könnte.

2.1 Mikroskopisches Verkehrsmodell „mobiTopp“

Zur weiteren Entwicklung der Infrastruktur für die Elektromobilität muss zuerst die aktuelle Verkehrssituation untersucht und ausgewertet werden. Dafür hat der „Verband Region Stuttgart“ ein Verkehrsmodell beauftragt, welches das reale Verkehrsverhalten im Verlauf der Zeit simuliert. (Vgl. 10, S. 1)

Der Verband Region Stuttgart wurde in 1994 zur Vernetzung der Aufgaben der regionalen Entwicklung der Region Stuttgart gegründet. Das ist der einzige Verband in Baden-Württemberg, welcher sein eigenes Parlament besitzt. Das Parlament heißt die Regionalversammlung des Verbands Region Stuttgart. Es wird alle fünf Jahre neu gewählt. Es beschäftigt sich hauptsächlich mit der Regionalplanung, Regionalverkehrsplanung und Planung des öffentlichen Verkehrs, Raumordnung und Aufgaben zur Förderung der regionalen Wirtschaft. (Vgl. 11–13)

Die Daten für die Simulation wurden durch eine Befragung der Bevölkerung in der Region Stuttgart gesammelt. Es wurde ungefähr 2,5 Mio. Einwohner über ihre Tätigkeiten befragt. Die Agenten des Modells „mobiTopp“ stellen das Gesamtbild des Straßenverkehrs durch die Abwicklung der Aktivitäten an den unterschiedlichen Orten gemäß des wöchentlichen Aktivitätenplans dar.

Als Ergebnis der Simulation ergibt sich eine Datei, welche alle Fortbewegungen innerhalb einer Woche beinhaltet, welche mit den Daten der Befragung der Einwohner der Region Stuttgart vergleichbar sind. (Vgl. 10, S. 1–2)

2.1.1 Übersicht des mikroskopischen Verkehrsmodells

„mobiTopp“ ist ein mikroskopisches Modell zur Ermittlung der Verkehrsnachfrage durch Simulation der Fortbewegungen, welches am Institut für Verkehrswesen entwickelt wurde, welches zur Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften des Karlsruher Institut für Technologie gehört. „mobiTopp“ ist eine Software, welche die Simulation der Verkehrsnachfrage mit den eingegebenen Daten über die Personen und ihre Aktivitäten durchführt. Es basiert auf dem Prinzip der Multi-Agenten-Simulation. Das bedeutet, dass jeder Teilnehmer in der Simulation als ein separater Agent abgebildet ist. Ein solcher Agent hat sein eigenes Aktivitätsprogramm für eine Woche. Jedem Agent ist eine Haushalt ID und eine Personen ID zugeordnet. Ebenso sind die Informationen über die Anzahl der

Familienmitglieder und Pkw vorhanden. Für jedes Familienmitglied sind folgende Informationen vorhanden:

- Soziodemografische Daten (Geschlecht, Alter, Berufsstatus, Ausbildung, usw.),
- Zuordnung des Zeitkartenbesitzes,
- Führerscheinbesitz,
- die Tätigkeiten,
- Wohnort (Zelle, in den sich der Wohnort befindet),

Das Programm der Aktivitäten beinhaltet die Daten über:

- Wochentag, an dem eine Aktivität ausgeführt wird,
- Start und Ende des Weges mit den jeweiligen Uhrzeiten,
- Dauer des Weges,
- Startpunkt und Endpunkt,
- Länge des Weges,
- Modus, mit dem eine Fahrt gemacht wurde,
- Zweck der Fahrt,
- Dauer der Aktivität

Der Aktivitätsprogramm wird innerhalb einer Woche abgewickelt. Zur Durchführung der Aktivitäten wählen die Agenten einen Zweck. Um den Punkt der Durchführung der Aktivität zu erreichen, wählt ein Agent ihm zur Verfügung stehendes Verkehrsmittel und Zielpunkt aus, in dem diese Aktivität gemacht werden muss. Die Simulation wird chronologisch laut dem Plan und parallel für alle Agenten durchgeführt. Wenn ein Agent als Verkehrsmittel ein Pkw ausgewählt hat, steht dieses Fahrzeug den anderen Familienmitgliedern nicht mehr zur Verfügung, bis dieser Agent wieder nach Hause zurückgekehrt ist. Dann kann ein anderes Familienmitglied dieses Auto für die Abwicklung eigener Aktivität benutzen. (Vgl. 10, S. 3)

2.1.2 Ablauf der Simulation

Der Prozess der Simulation wird in zwei Teile aufgeteilt, eine Initialisierungsphase und eine Phase der Simulation der Verkehrsströme. In Abbildung 1 ist der Ablauf der Simulation schematisch dargestellt.

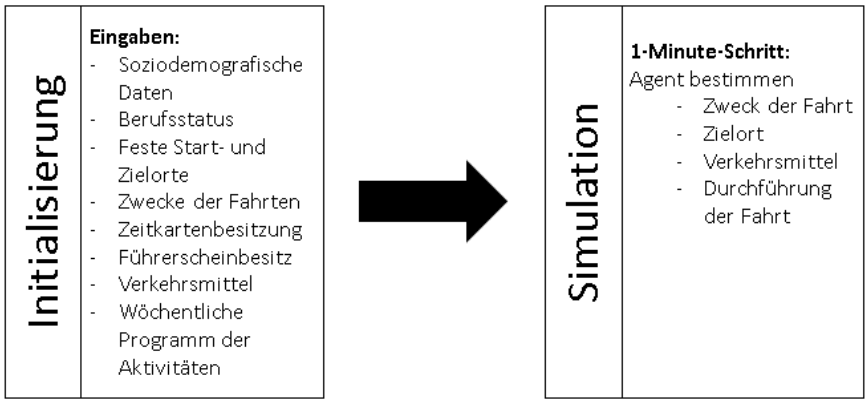


Abbildung 1: Modell des Ablaufs der Simulation

In der ersten Phase werden alle unveränderlichen Daten über die Agenten angegeben, wie Haushaltsgröße, Familienbestand, Alter der Familienmitglieder, Aktivitäten, Reinfolge der Durchführung der Aktivitäten, Zuordnung der Verkehrsmittel und Start- und Zielstandorte usw. Alle Tätigkeiten werden innerhalb einer Woche durchgeführt.

In der zweiten Phase werden alle Fortbewegungen und Aktivitäten in der zeitlichen Reinfolge simuliert. Die Daten werden in 1-Minute-Schritt abgelesen. Zu jedem Zeitpunkt wird die Beschäftigung des Agenten geprüft. Wenn Aktivität abgeschlossen ist, wird die nächste Aufgabe erledigt. Hier kann der Zweck der Tätigkeit geändert werden. Der Beteiligte führt eine weitere Fahrt zum nächsten Zielpunkt, mit dem zugeordnetem in der ersten Phase Verkehrsmittel, aus. Wenn ein Agent nach Hause gefahren ist, ist jetzt dieses Verkehrsmittel bzw. Pkw für die anderen Familienmitglieder verfügbar. (Vgl. 10, S. 3–4)

3 Prämissen zur Auswertung der Quelle-Ziel Beziehungen in der Region Stuttgart

In diesem Kapitel werden die extrahierten Daten über die Fortbewegung in der Region Stuttgart erläutert. Es werden die Modi der Fortbewegungen und die Zwecke beschrieben, sowie für welche Zwecke die Fahrten gemacht wurden. Es wird auch das Ziel und Prinzip der Einteilung der Region Stuttgart nach Zellen zur Betrachtung der Fortbewegungen beschrieben.

3.1 Allgemeiner Überblick der Daten über Fortbewegungen

Wie oben erwähnt wurde, wurde die Simulation der Fortbewegungen für 2,5 Mio. Einwohner der Region Stuttgart durchgeführt. Laut dem Bericht des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur führt jeder Mensch ungefähr 3,4 Wege pro Tag durch (Vgl. 14, S. 13) . Dementsprechend wurde durch Simulation am Karlsruher Institut für Technologie ca. 52 Mio. Fahrten gewonnen. Diese Zahl setzt sich zusammen aus den Fortbewegungsarten Pkw, öffentlicher Verkehr, Rad fahren, Mitfahrer und zu Fuß. (Vgl. 10, S. 62–64)

Die Gesamtanzahl der Fortbewegungen umfasst die Einwohner der Region Stuttgart zwischen 6 und 69 Jahren. Daraus ist ersichtlich, dass nicht jeder mobiTopp-Agent auf Grund sowohl des Alters als auch anderer Ursachen, ein Auto besitzt. So wurden alle Fahrten mit den Pkw für 1 582 747 Agenten simuliert, was den statistischen Daten über die Pkw-Dichte je 1000 Einwohner im Bundesland Baden-Württemberg entspricht und ca. 586 Pkw pro 1000 Einwohner beträgt. Laut den statistischen Daten beträgt diese Zahl ca. 589 Pkw pro 1000 Einwohner in Deutschland. (Vgl. 15, 16)

In Rahmen der Entwicklung der Ladeinfrastruktur sind nur die Fortbewegungen von Interesse, welche mit dem Pkw durchgeführt werden. Auf solche Weise wird weiterhin nur diese Kategorie der Fahrten betrachtet.
In der folgenden Tabelle sind die Daten über die Fahrten mit den Pkw aufgeführt.

Zweck	Summe	Anteil, %
Arbeit	3.077.049	14,02%
Ausbildung	164.075	0,75%
Einkaufen	2.613.473	11,91%
Freizeit	2.351.806	10,71%
Sonstiges	4.835.629	22,03%
∑ Hinfahrten	**13.042.032**	**59,42%**
Heimweg gesamt	8.907.565	40,58%
∑ Hin- und Rückfahrten	**21.949.597**	**100,00%**

Tabelle 1: Gesamtanzahl der Fahrten. Aufteilung nach Zwecke der Fortbewegungen

Laut der Tabelle „Gesamtanzahl der Fahrten. Aufteilung nach Zwecke der Fortbewegungen“ wurden insgesamt 21 949 597 Fahrten mit dem Pkw durchgeführt. Diese Anzahl beinhaltet die Hin- und Rückfahrten, und zwar die Fahrten von Zuhause zur Abwicklung der Aktivitäten und Rückfahrten nach Hause. Unter den Rückfahrten nach Hause wird der „Heimweg“ verstanden.
Die Hinfahrten wurden nach verschiede Zwecken der Aktivitäten sortiert: „Arbeit“, „Ausbildung“, „Einkaufen“, „Freizeit“ und „Sonstiges“. Unter dem Zweck „Sonstiges“ werden hier die Zwecken wie „Dienstlich“, „Service“, „Private Erledigungen“ und „Weg nach außer Haus“ gemeint. Die Heimwege werden separat von der Gesamtanzahl der Fahrten betrachtet, da es sehr kompliziert ist, die Kette „Wohnen - Arbeiten – Einkaufen - Heimweg“ zu verknüpfen, ohne jede einzelne Kette und jede einzelne Person zu untersuchen. Dadurch werden 13 042 032 Fahrten betrachtet.

Die Anzahl der Heimwege beträgt 8 907 565 Fahrten, das entspricht 40,6% der Gesamtanzahl der Fahrten. Das ist damit zu erklären, dass die Quelle-Ziel-Kette mehrere Fahrten zur Abwicklung der Tätigkeit für die unterschiedlichen Zwecke beinhalten kann. So kann ein Agent zuerst zum Arbeitsplatz hinfahren, danach fährt er zum Einkaufen, dann kann er einen privaten Besuch machen, und nur danach fährt er wieder nach Hause. Eine Person hat drei Fahrten für die unterschiedlichen Zwecke und nur eine Rückfahrt nach Hause gemacht.

3.2 Einteilung der Region Stuttgart für die geografische Positionierung der Quelle- und Zielpunkten der Fahrten

Zur präzisen Betrachtung der Quelle-Ziel-Ketten wurden die Region Stuttgart, Stadt Stuttgart und die anderen Städte des Bundeslands Baden-Württemberg und Deutschland auf 1174 Zellen aufgeteilt. Diese Einteilung wurde zur präzisen Beschreibung der geografischen Position jedes Quelle- und Zielpunkts gemacht. Die Bezirke der Stadt Stuttgart und relativ große Städte der Region Stuttgart, wie z. B. Böblingen, Göppingen oder Nürtingen, wurden in mehrere Zellen geteilt. Kleine Städte, Gemeinden, Dorfe, wie z.B. Adelberg oder Denkendorf, und die Orte außerhalb der Region Stuttgart sind als einzelne Zellen dargestellt. Allein Stuttgart wurde auf 513 Zellen aufgeteilt.

Zelle Nummer	Code des Kreises	Name der Zelle
Z10101	LB	LB_Affalterbach (G)
Z10301	LB	LB_Asperg_West
Z10302	LB	LB_Asperg_Ost (G)
Z10601	LB	LB_Benningen am Neckar (G)
Z10701	LB	LB_Besigheim_Ottmarsheim
Z10702	LB	LB_Besigheim_Besigheim (MZ)
Z11001	LB	LB_Bennigheim_Bsnnigheim (GZ)
Z11002	LB	LB_Bennigheim_Hofen
Z11003	LB	LB_Bennigheim_Hohenstein
Z11101	LB	LB_Ditzingen_Ditzingen (GZ)
Z11102	LB	LB_Ditzingen_Hirschlanden

Tabelle 2: Region Stuttgart und andere Orte außerhalb der Region Stuttgart aufgeteilt auf Zellen

In der Spalte „Zelle Nummer“ der oben genannten Tabelle werden die Zellenbezeichnungen angegeben. In der Spalte „Name Zelle“ stehen die Namen der entsprechenden der Zellenbezeichnungen der Stadtteile oder der Orte. Die Spalte „Code des Kreises“ bezeichnet den Kreis oder Region, zu welcher dieser Ort gehört. In der Tabelle 2 ist nur ein Teil der Zellen, als Beispiel, aufgeführt. Die vollständige Liste steht im Anhang 1 dieser Arbeit.

Für die grobe Auswertung der Daten wurde eine Zusammenfassung der Zellen gemacht. So wurden die 661 Zellen der Region Stuttgart in 5 Landkreise und 513

Zellen der Stadt Stuttgart in 23 Bezirke zusammengefasst. Die Orte, welche sich außerhalb der Region Stuttgart befinden, ist eine Zelle „Z999“ zugeordnet.

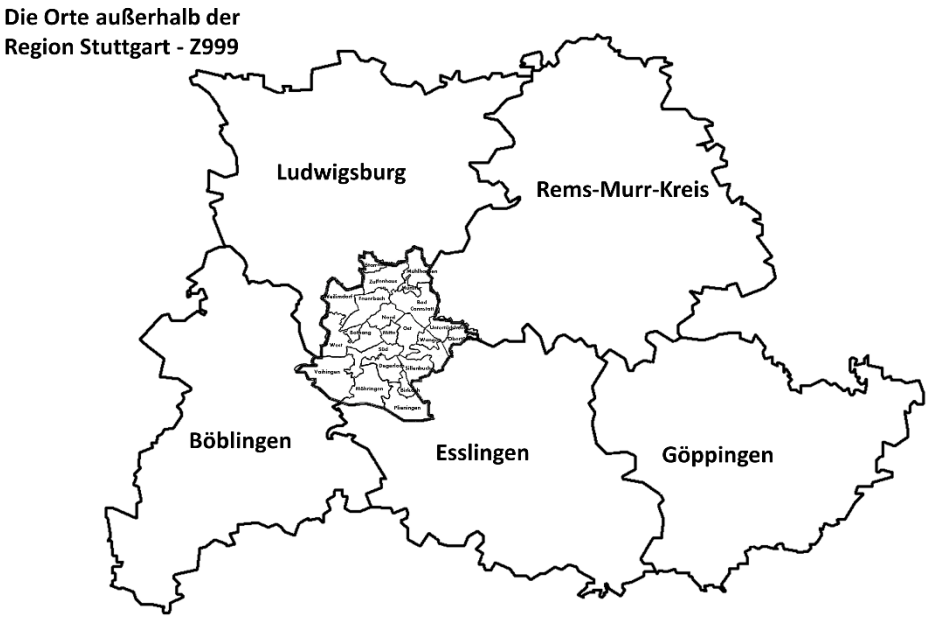


Abbildung 2: Eingruppierung der Zellen nach Bezirke der Stadt Stuttgart und Kreise

Auf der Abbildung 2 ist dargestellt, wie die Gruppierung der Zellen gemacht wurde. Die vollständige Liste der eingruppierten Zellen steht im Anhang 2 dieser Arbeit. Eine solche Gruppierung erlaubt die Untersuchung der Fortbewegungen, sowohl zwischen den einzelnen Stadtteilen und Verkehrsintensität in Stuttgart, als auch die Ein- und Auspendlerintensität in Stuttgart aus der Region Stuttgart. Es ermöglicht auch die Verfolgung der Pendelstärke zwischen Stuttgart und der Regionen außerhalb der Region Stuttgart. Diese Daten schaffen die Voraussetzung für die weitere Erarbeitung der Elektroladeinfrastruktur in der Region Stuttgart. Anhand dieser Gruppierung wurden die Daten über die Fortbewegungen in der Region Stuttgart und anderen Städte von Deutschland gewonnen.

3.3 Übersicht der Quelle-Ziel-Ketten

Die nächste Tabelle beinhaltet die Information über die Fortbewegungen zwischen den Landkreisen der Region und den Bezirken von Stuttgart, und den anderen Orte außerhalb der Region Stuttgart in der tabellarischen Darstellung.

Start-Bezirk	Ziel-Bezirk	Anzahl Fahrten	Anteil der Fahrten in der Gesamtzahl der Hinfahrten	Anteil der Fahrten in der Gesamtanzahl der Hin- und Rückfahrten
Esslingen	Esslingen	1688874	12,95%	7,69%
Ludwigsburg	Ludwigsburg	1523303	11,68%	6,94%
Rems-Mur	Rems-Mur	1358533	10,42%	6,19%
Böblingen	Böblingen	1058003	8,11%	4,82%
Göppingen	Göppingen	987049	7,57%	4,50%
Baden-Württemberg	Baden-Württemberg	327494	2,51%	1,49%
Böblingen	Baden-Württemberg	264627	2,03%	1,21%
Ludwigsburg	Baden-Württemberg	210504	1,61%	0,96%
Esslingen	Baden-Württemberg	150094	1,15%	0,68%
Göppingen	Baden-Württemberg	138643	1,06%	0,63%
		Tabellenumbruch		
Stuttgart_Birkach	Stuttgart_ Stammheim	17	0,00013%	0,00008%
Stuttgart_ Stammheim	Stuttgart_Birkach	15	0,00012%	0,00007%
Stuttgart_Münster	Stuttgart_Birkach	13	0,00010%	0,00006%
Ergebnis		**13042032**	**100%**	**59,42%**

Tabelle 3: Tabellarische Darstellung der Fortbewegungen in der Region Stuttgart und den anderen Regionen Baden-Württemberg

Wie schon oben bereits gesagt wurde, wurden die Zellen in die 29 zusammengefassten Zellen eingruppiert. Daraus resultiert, dass es 29^2 mögliche Quelle-Ziel-Relationen existieren, und zwar 841mögliche Quelle-Ziel-Beziehungen. In der Tabelle 3 sind nur die zehn höchst belasteten und die drei am wenigsten belasteten Strecken und Ergebniszeile aufgeführt. Die vollständige Tabelle steht im Anhang 3 dieser Arbeit.

Diese 841 Relationen umfassen 13 042 032 Hinfahrten. In der oben genannten Tabelle werden alle Fahrten zur Erledigung aller möglichen Zwecke, die in Tabelle 1 aufgeführt sind, zusammengefasst. In den Spalten „Start-„ und „Zielbezirk“ werden die Namen der Kreise und Bezirke von Stuttgart aufgeführt, zwischen welchen die Fahrten durchgeführt wurden. Die Spalte „Anzahl Fahrten“ zeigt die Anzahl der Hinfahrten pro Woche zwischen zwei Kreisen oder Bezirken. Die Spalte „Anteil der Fahrten in der Gesamtzahl der Hinfahrten“ zeigt den Anteil der Fahrten pro Richtung der Fortbewegungen in der Gesamtanzahl der Hinfahrten. Die Spalte „Anteil der Fahrten in der Gesamtanzahl der Hin- und Rückfahrten“ zeigt den Anteil der Fahrten pro Richtung in der absoluten Anzahl der Fahrten, inklusive die Heimwege. Aus der Tabelle 3 kann abgelesen werden, dass der Anteil der Hinfahrten in der Gesamtanzahl der Fahrten 59,42% beträgt.

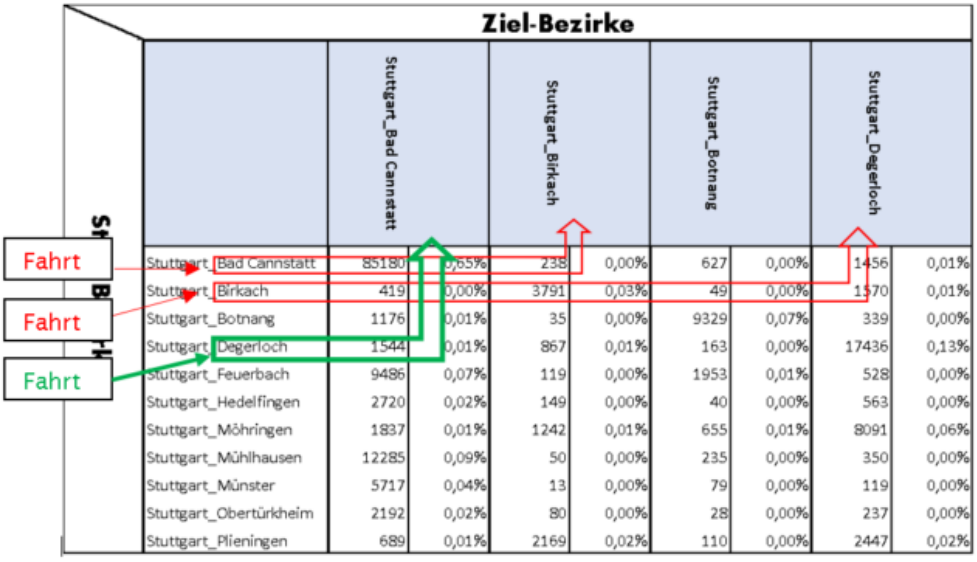
Zur Verfolgung der Quelle-Ziel-Ketten wurden die Daten über die Hinfahrten in eine Quelle-Ziel-Matrix umgewandelt. Diese Quelle-Ziel-Matrix besteht aus 29 Zeilen und 29 Spalten. Unten ist ein Teil der Matrix als Beispiel aufgeführt. Die vollständige Matrix ist im Anhang 3 dieser Arbeit im Reiter „Pivot gesamt“ angegeben.

Start-Bezirke	Ziel-Bezirke	Baden-Württemberg		Böblingen		Esslingen		Göppingen		Ludwigsburg	
	Baden-Württemberg	327494	2,51%	40906	0,31%	25983	0,20%	21900	0,17%	30658	0,24%
	Böblingen	264627	2,03%	1058003	8,11%	59078	0,45%	2148	0,02%	71226	0,55%
	Esslingen	150094	1,15%	61203	0,47%	1688874	12,95%	111790	0,86%	20350	0,16%
	Göppingen	138643	1,06%	3843	0,03%	117308	0,90%	987049	7,57%	2173	0,02%
	Ludwigsburg	210504	1,61%	71191	0,55%	22196	0,17%	1663	0,01%	1523303	11,68%
	Rems-Mur	72063	0,55%	9231	0,07%	69380	0,53%	28504	0,22%	107796	0,83%
	Stuttgart_Bad Cannstatt	5372	0,04%	4416	0,03%	16080	0,12%	1936	0,01%	17354	0,13%
	Stuttgart_Birkach	773	0,01%	1161	0,01%	5088	0,04%	269	0,00%	275	0,00%
	Stuttgart_Botnang	1535	0,01%	4115	0,03%	1504	0,01%	95	0,00%	3033	0,02%
	Stuttgart_Degerloch	2414	0,02%	3478	0,03%	8617	0,07%	521	0,00%	1229	0,01%
	Stuttgart_Feuerbach	4605	0,04%	4783	0,04%	3424	0,03%	332	0,00%	19210	0,15%
	Stuttgart_Hedelfingen	870	0,01%	414	0,00%	10601	0,08%	935	0,01%	868	0,01%
	Stuttgart_Möhringen	7693	0,06%	12031	0,09%	22167	0,17%	1102	0,01%	3174	0,02%
	Stuttgart_Mühlhausen	1904	0,01%	1358	0,01%	2625	0,02%	303	0,00%	13619	0,10%
	Stuttgart_Münster	505	0,00%	395	0,00%	1187	0,01%	127	0,00%	2105	0,02%
	Stuttgart_Obertürkheim	522	0,00%	237	0,00%	8001	0,06%	603	0,00%	678	0,01%
	Stuttgart_Plieningen	2762	0,02%	3701	0,03%	16696	0,13%	803	0,01%	760	0,01%
	Stuttgart_Sillenbuch	2192	0,02%	2097	0,02%	20327	0,16%	1006	0,01%	1129	0,01%
	Stuttgart_Stammheim	2033	0,02%	1967	0,02%	742	0,01%	61	0,00%	16065	0,12%
	Stuttgart_Untertürkheim	1278	0,01%	642	0,00%	9184	0,07%	1034	0,01%	2378	0,02%
	Stuttgart_Vaihingen	11099	0,09%	29055	0,22%	18384	0,14%	725	0,01%	6064	0,05%
	Stuttgart_Wangen	889	0,01%	499	0,00%	6815	0,05%	641	0,00%	1238	0,01%
	Stuttgart_Weilimdorf	6376	0,05%	10301	0,08%	2475	0,02%	167	0,00%	30855	0,24%
	Stuttgart_Zuffenhausen	5238	0,04%	4475	0,03%	3249	0,02%	302	0,00%	33042	0,25%
	Stuttgart-Mitte	5279	0,04%	6185	0,05%	11033	0,08%	1012	0,01%	8184	0,06%
	Stuttgart-Nord	2953	0,02%	3820	0,03%	5211	0,04%	600	0,00%	8216	0,06%
	Stuttgart-Ost	4095	0,03%	4208	0,03%	15957	0,12%	1959	0,02%	7433	0,06%
	Stuttgart-Süd	5266	0,04%	9663	0,07%	9200	0,07%	552	0,00%	5365	0,04%
	Stuttgart-West	5210	0,04%	9555	0,07%	8274	0,06%	600	0,00%	7585	0,06%
	Gesamtergebnis	**1244288**	**9,54%**	**1362933**	**10,45%**	**2189660**	**16,79%**	**1168739**	**8,96%**	**1945365**	**14,92%**

Tabelle 4: Quelle-Ziel-Matrix. Alle Zwecke der Fahrten

Als Quelle-Ziel-Matrix werden alle Verkehrsrelationen zwischen Start- und Endpunkten dargestellt. Die Quelle-Ziel-Matrix besteht aus gleich vielen Quellen und Zielen und somit ergibt sich eine $n \times n$ Matrix. In den Zeilen werden alle Punkte aufgeführt, aus welchen jeder Agent sein Weg beginnt. In den Spalten stehen alle Zielorte, in denen eine Tätigkeit laut dem Aktivitätenprogramm durchgeführt werden muss. Die Summe aller Fahrten zwischen Startpunkt i und Endpunkt j heißt Verkehrsbeziehung. (Vgl. 17, S. 3-4) Wenn eine Person innerhalb einer Quelle-Ziel-Kette mehrere Fahrten durchführt, wird jede Fahrt aus dem „Start-Bezirk“ nach „Ziel-Bezirk“ ausgeführt. In der Tabelle 6 ist ein Beispiel einer Quelle-Ziel-Kette aufgeführt.

Die Zeile „Gesamtergebnis“ zeigt die Summen und Anteile der Hinfahrten in die Kreise und Bezirke von Stuttgart.



	Stuttgart_Bad Cannstatt		Stuttgart_Birkach		Stuttgart_Botnang		Stuttgart_Degerloch	
Stuttgart_Bad Cannstatt	85180	0,65%	238	0,00%	627	0,00%	1456	0,01%
Stuttgart_Birkach	419	0,00%	3791	0,03%	49	0,00%	1570	0,01%
Stuttgart_Botnang	1176	0,01%	35	0,00%	9329	0,07%	339	0,00%
Stuttgart_Degerloch	1544	0,01%	867	0,01%	163	0,00%	17436	0,13%
Stuttgart_Feuerbach	9486	0,07%	119	0,00%	1953	0,01%	528	0,00%
Stuttgart_Hedelfingen	2720	0,02%	149	0,00%	40	0,00%	563	0,00%
Stuttgart_Möhringen	1837	0,01%	1242	0,01%	655	0,01%	8091	0,06%
Stuttgart_Mühlhausen	12285	0,09%	50	0,00%	235	0,00%	350	0,00%
Stuttgart_Münster	5717	0,04%	13	0,00%	79	0,00%	119	0,00%
Stuttgart_Obertürkheim	2192	0,02%	80	0,00%	28	0,00%	237	0,00%
Stuttgart_Plieningen	689	0,01%	2169	0,02%	110	0,00%	2447	0,02%

Abbildung 3: Verfolgung einer Quelle-Ziel-Kette

Zum Beispiel fährt eine Person von Zuhause aus Stuttgart Bad Cannstatt zum Arbeitsplatz nach Stuttgart Birkach. Nach der Arbeit fährt diese Person zum Einkaufen von Birkach nach Degerloch. Jetzt startet der Agent seine Fahrt wieder aus dem Punkt „Stuttgart_Birkach“, welcher in der Zeile zwei steht. Auf solche Weise fällt der Ziel-Ort Stuttgart Birkach in die Start-Bezirke zurück. Am Ende macht die Person die letzte „Fahrt 3“ – Heimweg.

4 Auswertung der Daten über die Fortbewegungen in der Region Stuttgart

In diese Kapitel wird die Auswertung die Daten über die Fortbewegungen in der Region Stuttgart durchgeführt, welche in den Kapitel 3 erläutert wurden. Zur Auswertung wurden die Fahrten auf vier Kategorien aufgeteilt, welche für jeden Zweck separat betrachtet und miteinander verglichen werden. Es wird auch die Verkehrsbelastung in der Stadt Stuttgart in Abhängigkeit von den Uhrzeiten analysiert. Es werden die mittlere gefahrenen Streckenlängen untersucht, welche täglich pro Fahrt gemacht werden.

4.1 Kategorien der Fortbewegungen

Zur Betrachtung der Verkehrsintensität in der Region Stuttgart wurden die Fahrten mit den Pkw auf 4 Kategorien aufgeteilt, und zwar:

- Einpendler in die Stadt Stuttgart
- Auspendler aus der Stadt Stuttgart in die Region und andere Regionen von Baden-Württemberg,
- Fortbewegungen innerhalb der Kreise der Region Stuttgart ausgenommen Stadt Stuttgart
- Die Fortbewegungen innerhalb der Stadt Stuttgart.

Zweck	Einpendler	Auspendler	Innerhalb der Kreise	Stuttgart	pro Woche	Verteilung der Fahrten, %
Arbeit	393.352	271.408	2.057.521	354.768	3.077.049	24%
Ausbildung	32.957	8.294	92.335	30.489	164.075	1%
Einkaufen	285.995	76.145	1.800.941	450.392	2.613.473	20%
Freizeit	281.269	131.938	1.597.775	340.824	2.351.806	18%
Sonstiges	518.165	251.900	3.324.142	741.422	4.835.629	37%
∑ Fahrten	**1.511.738**	**739.685**	**8.872.714**	**1.917.895**	**13.042.032**	**100%**

Tabelle 5: Aufteilung der Gesamtanzahl pro Woche der Hinfahrten auf die Kategorien und Zwecken der Fahrten

In der Tabelle 5 werden alle Hinfahrten auf Kategorien und Zwecke aufgeteilt. Hier wird die Anzahl der Hinfahrten als 100% genommen. So wird die prozentuale Verteilung in der letzten Spalte der Tabelle 5 relativ zur Summe der Fahrten pro Woche gemacht.

Für die weitere Auswertung der Daten wurde die Anzahl der Fahrten pro Tag berechnet. Zur Berechnung der durchschnittlichen Fahrten für die Zwecke „Beruflich“

und „Ausbildung“ wurden die Gesamtanzähle durch 5 Tage dividiert. Diese Entscheidung wurde auf Grund der Untersuchung getroffen, welche unten beschrieben ist.

Aufgrund des „Arbeitszeitgesetzes“ darf der Arbeitstag nicht länger als acht Stunden sein. Er kann um zwei Stunden verlängert werden, wenn die letzte sechs Monaten oder 24 Wochen der Arbeitszeit durchschnittlich acht Stunden pro Tag betrug. Sonntage und Feiertage müssen auch unbeschäftigt bleiben. (Vgl. 18 §3, §9)

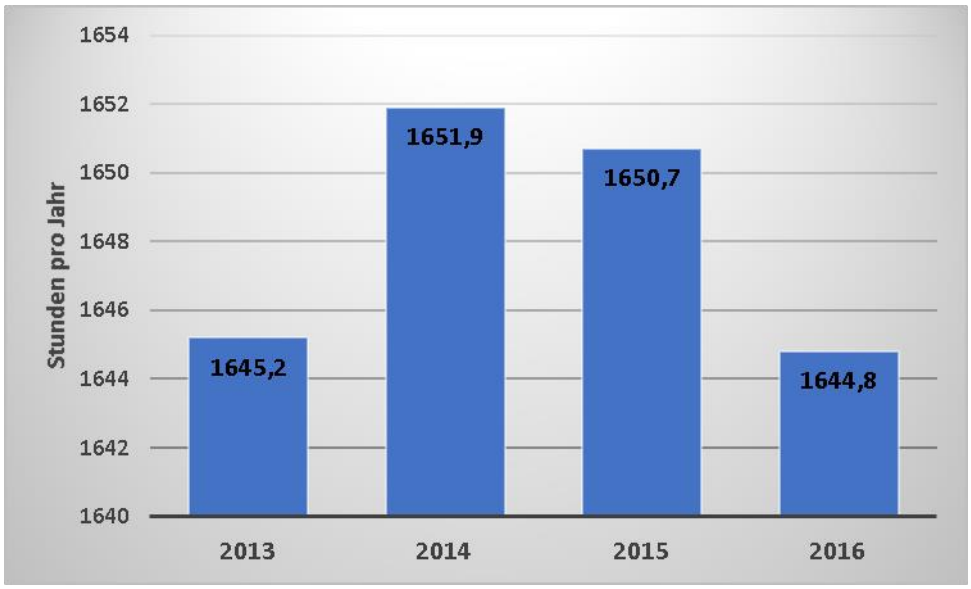


Abbildung 4: Durchschnittliche jährliche Arbeitszeit pro Arbeitnehmer, Vollzeit

Laut dem Internetportal „statista.de“ hat die durchschnittliche Jahresarbeitszeit im 2013 1645,2 Stunden in Deutschland betragt. In den weiteren 3 Jahre schwankt diese Anzahl unerheblich. (Vgl. 19)

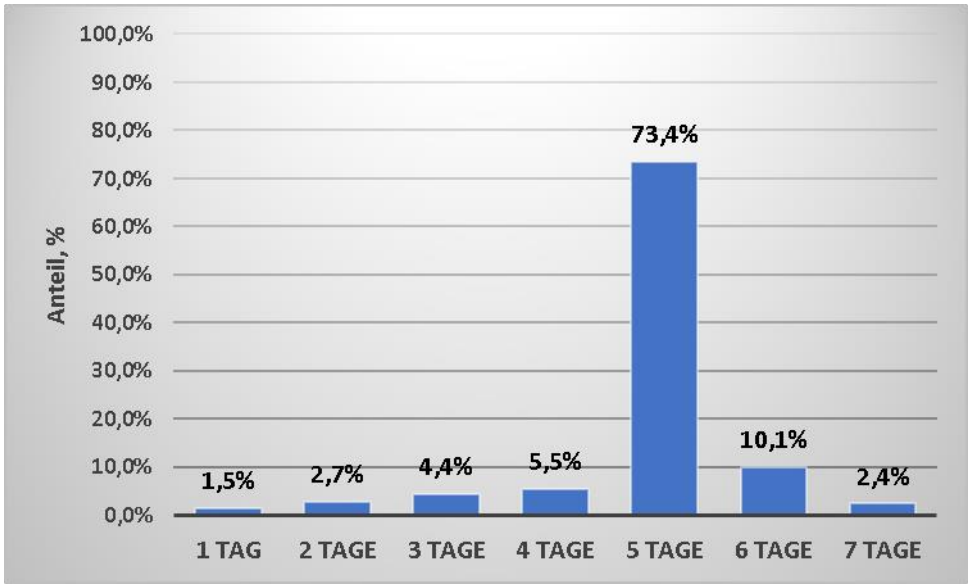


Abbildung 5: Arbeitstage pro Woche im Jahr 2013

Aufgrund der Ergebnisse von einer Befragung, welche das sozioökonomische Panel (SOEP) im Jahr 2013 durchgeführt hat, kann entnommen werden, dass mehr als 73% der Befragten 5 Tage pro Woche geschäftlich beschäftigt waren. (Vgl. 20, S.67) Das Ergebnis der Befragung ist in der Abbildung 5 aufgeführt.

Auf Grund der sechstägigen Arbeitszeit der misteten Einkaufszentren wurde für den Zweck „Einkaufen“ 6 Tage definiert. Darüber hinaus ist die Anzahl der Fahrten für diesen Zweck am Sonntag um ca. 10-Fach niedriger als an den anderen Tagen der Woche.

Für den Zweck „Freizeit“ wurden 7 Tage festgelegt, da meisten Freizeitstätten, wie z. B. Cafés, Restaurants, Kinos usw., ganzwöchentlich arbeiten.

Die Anzahl der Fahrten für den Zweck „Sonstiges“ wurde durch 6 Tage dividiert, da am Sonntag die Aktivität für diesen Zweck deutlich geringer im Vergleich zu den anderen Tagen der Woche ist.

In der folgenden Tabelle werden die Fahrten pro Tag ausgerechnet.

Zweck	Einpendler	Auspendler	Innerhalb der Kreise	Stuttgart	Anzahl der Tage	∑ Fahrten pro Tag	Verteilung der Fahrten, %
Arbeit	78.670	54.282	411.504	70.954	5 Tage	615.410	28%
Ausbildung	6.591	1.659	18.467	6.098	5 Tage	32.815	1%
Einkaufen	47.666	12.691	300.157	75.065	6 Tage	435.579	20%
Freizeit	40.181	18.848	228.254	48.689	7 Tage	335.972	15%
Sonstiges	86.361	41.983	554.024	123.570	6 Tage	805.938	36%
∑ Fahrten pro Tag	**259.470**	**129.463**	**1.512.405**	**324.376**		**2.225.714**	**100%**

Tabelle 6: Aufteilung der Gesamtanzahl pro Tag der Hinfahrten auf die Kategorien und Zwecken der Fahrten

Dadurch werden im Durchschnitt 2 225 714 Fahrten pro Tag durchgeführt. Es ist zu bemerken, dass die prozentuale Verteilung der Fahrten nach Zwecke jetzt anders aussieht. Der Anteil der beruflichen Fahrten pro Tag ist jetzt um 4% höher, als im Vergleich zum Anteil pro Woche. Es ist damit zu erklären, dass für die Durchführung der Aktivitäten für die verschiedenen Zwecke die unterschiedliche Anzahl der Tage pro Woche festgestellt wurden. So werden die meisten Fahrten für den Zweck „Arbeit“ gemacht. Aber diese Zahl wurde nur durch 5 Tage dividiert. Deswegen werden hier die Anteile nach Zwecken nicht beibehalten.

Aus der Tabelle 6 ist erkennbar, dass die Anzahl der Fahrten für den Zweck „Sonstiges“ deutlich höher ist als bei den anderen Zwecken. Das kann damit erklärt werden, dass der Zweck „Sonstiges“ aus mehreren Zwecke besteht, welche im Kapitel 3.1 aufgelistet wurden. Die einzelnen Teile von diesem Zweck haben geringe Anteile in der Grundgesamtheit. Deshalb besitzt der Zweck Arbeit den größten Anteil in der Gesamtzahl aller Hinfahrten.

Der Anteil der Fahrten für den Zweck „Ausbildung“ berechnet sich mit 1% aller Fortbewegungen in der Region. In der absoluten Ausprägung sind es 32 815 Fahrten pro Tag, was fast Zehn-Fach niedriger als die Anzahl der Fahrten für den zweiten Zweck mit dem niedrigsten Anteil „Freizeit“ ist. Diese geringe Anzahl beeinflusst den Gesamtverkehrsstrom fast nicht. Deswegen wird dieser Zweck nicht weiter betrachtet.

Darüber hinaus werden die TOP 3 Zwecke mit den höchsten Anteilen der Fahrten ausgewertet, welches die Zwecke „Arbeit“, „Einkaufen“ und „Freizeit“ sind.

Fast zwei Drittel aller Fahrten werden in den Landkreisen gemacht. Wie schon oben gesagt wurde, beträgt die Anzahl der Einwohner der Region Stuttgart ca. 2,7 Mio. Davon sind nur ca. 623 738 die Bewohner der Stadt Stuttgart, was nur ca. 23% von

der Gesamtzahl beträgt. (Vgl.21) Es ist eindeutig, dass es in der gesamten Region Stuttgart mehr berufstätigen Personen, als in Stuttgart gibt. Deswegen werden in der Summe mehr Fahrten in den Kreisen, als in Stuttgart gemacht. Es wird vermutet, dass aus diesem Grund die Anzahl der Einpendler in Stuttgart größer ist, als die Anzahl der durchgeführten Fahrten innerhalb der Stadt für den Zweck „Arbeit". Die Differenz beträgt ca. 8 000 Fahrten. Nur 54 282 der beruflichen Fahrten werden nach außen von Stuttgart gemacht.

Fast um Drittel mehr Fahrten für den Zweck „Einkaufen" werden innerhalb von Stuttgart im Vergleich zur Anzahl der Einpendler-Fahrten gemacht. Das kann damit erklärt werden, dass die Menschen die täglichen Ankäufe nicht weit von ihren Wohnorten bevorzugen zu machen.

Die Gesamtzahl der Fortbewegungen für den Zweck „Freizeit" ist um ca. 100 000 Fahrten weniger als die Anzahl der Fahrten zum Einkaufen. Aber die Anzahl der Auspendler aus Stuttgart für den Zweck „Freizeit" ist um 6 000 größer als die Anzahl der Auspendler für den Zweck „Einkaufen" und beträgt ca. 19 000. Das ist fast das dreifache weniger als die Anzahl der beruflichen Auspendler.

In den nächsten drei Unterkapiteln werden die TOP 3 Zwecke separat und präziser betrachtet.

4.1.1 Zweck **„Arbeit"**

Aus der Tabelle 6 ist es schon bekannt, dass die Anzahl der täglichen geschäftlichen Fahrten 615 410 beträgt. Diese Zahl wird als 100% genommen, um die Verteilung der Fahrten nach Richtungen zu betrachten.

In der Tabelle 7 wird das Entstehen der Verkehrsströme aufgeführt. Hier werden nicht nur die Fortbewegungen in der Region Stuttgart sowie die Fahrten zwischen der Region und anderen Orte von Deutschland berücksichtigt. Diese Orte wurden im Kapitel 3.2 als „Z999" bezeichnet.

		Ziel-Bezirk							
		Baden-Württemberg	Böblingen	Esslingen	Göppingen	Ludwigsburg	Rems-Murr-Kreis	Stuttgart	Σ
Start-Bezirk	Baden-Württemberg	0,78%	0,48%	0,27%	0,22%	0,35%	0,10%	0,21%	2,41%
	Böblingen	1,01%	8,73%	0,68%	0,02%	0,78%	0,10%	2,25%	13,58%
	Esslingen	1,06%	0,68%	13,05%	0,79%	0,28%	0,52%	3,62%	20,00%
	Göppingen	0,69%	0,07%	1,25%	7,33%	0,03%	0,23%	0,51%	10,10%
	Ludwigsburg	1,29%	0,67%	0,34%	0,03%	11,84%	0,79%	3,76%	18,72%
	Rems-Murr-Kreis	0,61%	0,19%	0,69%	0,21%	0,89%	9,82%	2,43%	14,84%
	Stuttgart	0,56%	1,64%	2,66%	0,21%	2,25%	1,50%	11,53%	20,35%
	Σ	6,01%	12,45%	18,94%	8,80%	16,42%	13,06%	24,31%	100,00%

Tabelle 7: Anteile der Fahrten in der Region Stuttgart und Baden-Württemberg. Zweck – Arbeit

In der weiteren Tabelle werden alle prozentualen Anteile der Fortbewegungen im Zahlenausdruck vorgestellt.

		Ziel-Bezirk							
		Baden-Württemberg	Böblingen	Esslingen	Göppingen	Ludwigsburg	Rems-Murr-Kreis	Stuttgart	∑
Start-Bezirk	Baden-Württemberg	4.790	2.928	1.679	1.349	2.160	630	1.291	**14.827**
	Böblingen	6.241	53.718	4.188	150	4.818	635	13.849	**83.597**
	Esslingen	6.554	4.202	80.293	4.840	1.709	3.186	22.295	**123.079**
	Göppingen	4.272	409	7.675	45.090	213	1.414	3.108	**62.181**
	Ludwigsburg	7.952	4.104	2.095	167	72.876	4.846	23.150	**115.190**
	Rems-Murr-Kreis	3.733	1.155	4.263	1.266	5.454	60.452	14.977	**91.300**
	Stuttgart	3.471	10.082	16.359	1.315	13.845	9.209	70.954	**125.235**
	∑	**37.013**	**76.596**	**116.552**	**54.178**	**101.076**	**80.371**	**149.624**	**615.410**

Tabelle 8: Anteile der beruflichen Fahrten in der absoluten Ausprägung

Das erste, was auffällt, dass der Anteil der Fahrten von außen der Region Stuttgart in die Region sehr gering ist, und beträgt nur 1,63% von allen Fahrten. Der Berechnungsweg: 2,41%-0,78%=1,63%. In der absoluten Ausprägung ist es nur 10 031 Fahrten. In der Rückrichtung nach außen von der Region Stuttgart werden ca. 32 222 Fahrten gemacht, was nur ca. 5% der Fortbewegungen beträgt. Die meisten Einpendler in Stuttgart fahren aus den Landkreisen Ludwigsburg und Esslingen, was sich in der Summe 45 446 Fahrten berechnet. Das ist mehr als die Hälfte aller Einpendler in die Stadt Stuttgart. In der Gegenrichtung werden genauso die meisten Hinfahrten gemacht, was in der Summe 30 204 aus 54 282 aller Fahrten aus Stuttgart beträgt.

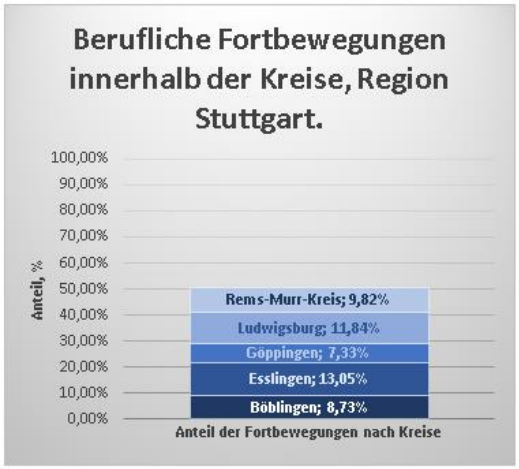


Abbildung 6: Berufliche Fortbewegungen innerhalb der Kreise der Region Stuttgart.

Aus der Abbildung 6 kann entnommen werden, dass ungefähr die Hälfte aller Fortbewegungen innerhalb der Landkreise durchgeführt werden. Die verkehrsintensivsten Kreise sind wieder Ludwigsburg und Esslingen.

4.1.2 Zweck „Einkaufen“

Laut der Tabelle 6 beträgt die Anzahl der Fahrten für den Zweck „Einkaufen“ 435 579. Wie bei dem Zweck „Arbeit“ wird diese Anzahl als 100% Fahrten genommen. In der Tabelle 9 wird die prozentuale Verteilung in der Region Stuttgart vorgestellt.

	Ziel-Bezirk							
Start-Bezirk	Baden-Württemberg	Böblingen	Esslingen	Göppingen	Ludwigsburg	Rems-Murr-Kreis	Stuttgart	Σ
Baden-Württemberg	2,03%	0,32%	0,18%	0,17%	0,23%	0,08%	0,17%	3,20%
Böblingen	0,91%	9,89%	0,30%	0,01%	0,41%	0,01%	1,65%	13,18%
Esslingen	0,46%	0,28%	14,56%	0,64%	0,06%	0,35%	3,41%	19,77%
Göppingen	0,48%	0,01%	0,65%	8,64%	0,00%	0,15%	0,18%	10,12%
Ludwigsburg	0,82%	0,36%	0,06%	0,00%	13,26%	0,56%	3,27%	18,32%
Rems-Murr-Kreis	0,42%	0,01%	0,32%	0,13%	0,67%	11,44%	2,27%	15,26%
Stuttgart	0,08%	0,45%	0,89%	0,04%	0,88%	0,56%	17,23%	20,15%
Σ	5,21%	11,34%	16,96%	9,64%	15,52%	13,15%	28,18%	100,00%

Tabelle 9: Anteile der Fahrten in der Region Stuttgart und Baden-Württemberg. Zweck – „Einkaufen“

In der Tabelle 10 werden oben genannten Daten in den absoluten Zahlen dargestellt.

	Ziel-Bezirk							
Start-Bezirk	Baden-Württemberg	Böblingen	Esslingen	Göppingen	Ludwigsburg	Rems-Murr-Kreis	Stuttgart	Σ
Baden-Württemberg	8.845	1.412	796	725	1.012	368	762	13.919
Böblingen	3.961	43.090	1.320	30	1.786	50	7.169	57.405
Esslingen	2.018	1.240	63.418	2.804	274	1.526	14.849	86.128
Göppingen	2.089	42	2.840	37.654	22	641	782	44.069
Ludwigsburg	3.576	1.564	260	14	57.751	2.421	14.232	79.818
Rems-Murr-Kreis	1.840	55	1.373	588	2.910	49.846	9.873	66.484
Stuttgart	370	1.976	3.876	189	3.833	2.448	75.065	87.756
Σ	22.698	49.378	73.882	42.002	67.589	57.299	122.731	435.579

Tabelle 10: Anteile der Fahrten in der absoluten Ausprägung. Zweck – „Einkaufen“

Die höchste Verkehrsintensität wird innerhalb der Kreise beobachtet. Besonders viele Fahrten werden in den Kreisen Esslingen und Ludwigsburg gemacht, genauso wie für den Zweck Arbeit. Innerhalb von Stuttgart werden um ca. 6% mehr Fahrten im Vergleich zum Zweck „Arbeit“ durchgeführt und beträgt 17,2%. Die Gesamtzahl der beruflichen Fahrten ist deutlich höher als diese Anzahl für den Zweck „Einkaufen“.

Aber die Differenz in der Anzahl der Fortbewegungen innerhalb von Stuttgart beträgt nur ca. 4 000 Fahrten pro Tag zu Gunsten dem Zweck „Einkaufen“.

Zwischen den Kreisen ist die Verkehrsgröße sehr gering. So kann man zwischen manchen Landkreisen weniger als 50 Fahrten pro Tag beobachten, wie zum Beispiel zwischen den Landkreisen Böblingen und Göppingen.

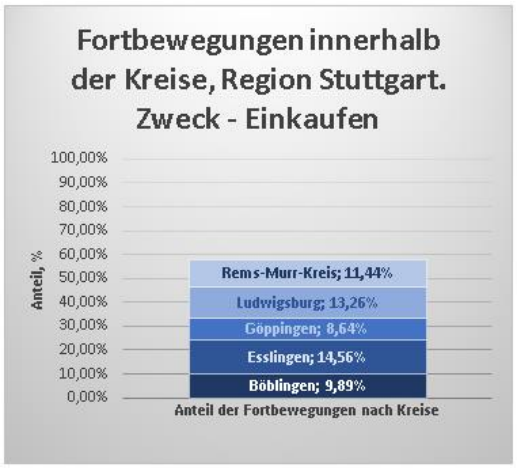


Abbildung 7: Fortbewegungen innerhalb der Kreise der Region Stuttgart. Zweck – „Einkaufen“

Laut dem Diagramm 7 werden fast 60% aller Fahrten innerhalb der Landkreise gemacht. Wie schon oben gesagt wurde, werden die tägliche Einkäufe z.B. von den Lebensmitteln normalerweise vor Ort erfolgt.

4.1.3 Zweck „Freizeit“

Der Anteil Fahrten für den Zweck „Freizeit“ berechnet sich nur mit 15% aller Hinfahrten. Laut der Tabelle 6 bedeutet das in dem Zahlenausdruck 335 972 Fahrten pro Tag. Wie gewöhnt, stellt die nächste Tabelle die prozentuale Einteilung der Fahrten in Abhängigkeit von der Richtung der Fortbewegungen vor.

		Ziel-Bezirk							
		Baden-Württemberg	Böblingen	Esslingen	Göppingen	Ludwigsburg	Rems-Murr-Kreis	Stuttgart	∑
Start-Bezirk	Baden-Württemberg	3,38%	0,16%	0,14%	0,11%	0,14%	0,08%	0,13%	4,15%
	Böblingen	3,06%	6,72%	0,46%	0,02%	0,55%	0,03%	1,78%	12,62%
	Esslingen	1,38%	0,52%	11,64%	1,26%	0,15%	0,69%	4,03%	19,67%
	Göppingen	1,47%	0,02%	0,92%	7,23%	0,01%	0,28%	0,23%	10,16%
	Ludwigsburg	2,11%	0,63%	0,14%	0,01%	10,82%	1,08%	3,21%	17,99%
	Rems-Murr-Kreis	0,52%	0,04%	0,57%	0,32%	0,98%	10,32%	2,57%	15,31%
	Stuttgart	0,75%	0,85%	1,43%	0,12%	1,47%	1,00%	14,49%	20,10%
	∑	12,66%	8,93%	15,29%	9,07%	14,12%	13,47%	26,45%	100,00%

Tabelle 11. Anteile der Fahrten in der Region Stuttgart und Baden-Württemberg. Zweck – „Freizeit“

Die Tabelle 12 stellt die oben genannten Daten in Zahlen vor.

		Ziel-Bezirk							
		Baden-Württemberg	Böblingen	Esslingen	Göppingen	Ludwigsburg	Rems-Murr-Kreis	Stuttgart	Σ
Start-Bezirk	Baden-Württemberg	11.365	540	459	373	462	281	453	**13.933**
	Böblingen	10.268	22.565	1.546	66	1.842	106	5.997	**42.391**
	Esslingen	4.624	1.742	39.118	4.229	509	2.308	13.552	**66.082**
	Göppingen	4.935	70	3.082	24.305	39	924	777	**34.132**
	Ludwigsburg	7.082	2.119	466	38	36.337	3.631	10.777	**60.450**
	Rems-Murr-Kreis	1.743	133	1.899	1.076	3.304	34.666	8.626	**51.447**
	Stuttgart	2.511	2.840	4.816	392	4.933	3.356	48.689	**67.537**
	Σ	**42.529**	**30.010**	**51.386**	**30.480**	**47.425**	**45.272**	**88.870**	**335.972**

Tabelle 12: Anteile der Fahrten in der absoluten Ausprägung. Zweck – „Freizeit“

Der größte Verkehr wird erneut im Landkreis Esslingen beobachtet. Zwischen manchen Landkreisen, wie z. B. zwischen Göppingen und Böblingen oder zwischen Göppingen und Ludwigsburg, ist das Verkehrsgröße so klein, dass die Zahl der täglichen Fahrten 70 nicht überschritten. Aus den Landkreisen Böblingen und Göppingen pendeln mehr Menschen nach außen der Region Stuttgart, als in die Stadt Stuttgart. Zum Beispiel beträgt die Anzahl der Auspendler aus Böblingen 10 268 Fahrten pro Tag, was doppelt so hoch ist, wie die Anzahl der Fahrten nach Stuttgart. Zur Unterhaltung wird Stuttgart bei den Einwohnern von den Kreisen Esslingen und Ludwigsburg bevorzugt.

Abbildung 8: Fortbewegungen innerhalb der Kreise der Region Stuttgart. Zweck – „Freizeit“

Aus dem Diagramm 8 ist es abzulesen, dass innerhalb der Landkreise um ca. 10% weniger aller Fortbewegungen für den Zweck „Freizeit“ gemacht wird und beträgt nur 47%.

4.1.4 Zwischenfazit

In den drei oben genannten Unterkapiteln wurden die Verkehrsströme in der Region Stuttgart betrachtet. Nach der Untersuchung der Fortbewegungen kann die Folgerung gezogen werden, dass ungefähr 50% aller Fahrten für die oben genannten Zwecke innerhalb der Landkreise gemacht werden. Die Landkreise Esslingen und Ludwigsburg sind die verkehrsintensivsten Kreise im Großraum Stuttgart. Es kann so erklärt werden, dass in diesen Kreisen fast die Hälfte aller Einwohner der Region Stuttgart wohnen. In der Summe beträgt die Bevölkerung in diesen zwei Kreisen mehr als 1Mio. (Vgl. 21) Am wenigsten fahren nach Stuttgart aus Göppingen unabhängig vom Zweck der Fahrten.

Der Verkehr zwischen der Region Stuttgart und anderen Regionen von Deutschland sehr gering. Der Anteil der Fahrten nach außen der Region Stuttgart setzt nicht mehr als 5% des gesamten Verkehrs zusammen. Aber die Anzahl der Auspendler aus der Region ist deutlich höher als die Anzahl der Einpendler in die Region. Im Durchschnitt werden doppelt so viele Fahrten in die anderen Regionen von Deutschland gemacht, als in die Region Stuttgart.

4.2 Verkehrsintensität in der Stadt Stuttgart nach den Zwecken und ihre Abhängigkeit von der Uhrzeit

Für die weitere Erarbeitung der Ladeinfrastruktur muss die Verkehrsintensität in der Stadt Stuttgart untersucht werden. Es müssen die Verkehrsströme in jeden einzelnen Bezirk betrachtet werden. Dafür wird die Einpendlerintensität in Stuttgart analysiert. Außerdem ist die Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens von der Tageszeit auch sehr wichtig, um festzustellen, in welchen Zeiträumen welche Bezirke besonders belastet sind.

4.2.1 Tageszeitabhängiges Verkehrsaufkommen

Wenn die Fortbewegungen in Abhängigkeit vom Zweck der Aktivität betrachtet wird, welche an den Zielorten durchgeführt werden müssen, kann vermutet werden, dass alle Aktivitäten nicht gleichzeitig abgewickelt werden. Um herauszufinden, wann die gezielten Fahrten zur Abwicklung der Aktivitäten laut dem Programm durchgeführt werden, wurde die Analyse der Tageszeiten hinsichtlich der steigenden oder fallenden Verkehrsströme gemacht. Im folgenden Diagramm wird das Ergebnis der Untersuchung dargestellt.

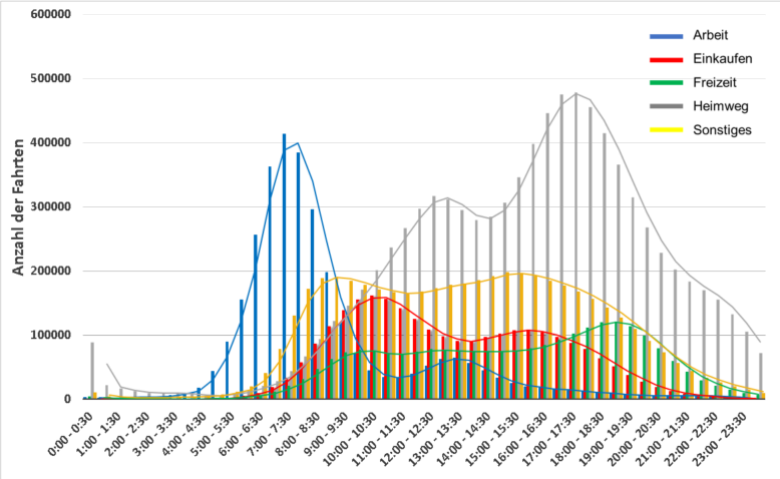


Abbildung 9: Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens von der Tageszeit

Auf Abbildung 9 wird das Verkehrsaufkommen in Abhängigkeit vom Zweck und Uhrzeit des Beginns des Weges dargestellt. Mit den unterschiedlichen Farben werden die Stärken der Verkehrsbelastung nach den Zwecken in Abhängigkeit von der Uhrzeit dargestellt. So ist mit der blauen Farbe der Zweck „Arbeit“ markiert. Es wird aus dem Diagramm klar abgelesen, dass als die Verkehrsintensität für diesen Zweck fast ihre Spitze erreicht, wenn die Fahrten für die anderen Zwecke fast inaktiv sind. Aber nach dem Intensitätsabfall der beruflichen Fahrten steigt das Verkehrsaufkommen für die anderen Zwecke an, welches in der Summe ungefähr die gleiche Anzahl, wie die Anzahl der beruflichen Fahrten auf der Spitze, hat. Das heißt, dass tatsächlich die Verkehrsintensität mehr oder weniger im Verlauf des Tages bis zum Feierabend (16.00 – 18.00 Uhr) stabil hoch bleibt, wenn nur die Hinfahrten betrachtet werden. Wenn die Rückfahrten nach Hause auch mitberücksichtigt werden, wird die Steigerung des Gesamtverkehrs im Zeitraum von 15.30 – 18.00 Uhr beobachtet.

4.2.2 Einpendlerintensität in die Bezirke der Stadt Stuttgart

Wie schon oben bemerk wurde, entsteht das Verkehrsstrom für den geschäftlichen Zweck relativ früh. So wird die Spitze der Verkehrsintensität im Zeitraum 6.30 – 8.00 Uhr erreicht. Dann sinkt die Verkehrsbelastung ziemlich scharf und zum Zeitpunkt ca. 10.30 – 11.00 Uhr beträgt der Berufsverkehr nur das Zehntel von seinem Spitzenvolumen.

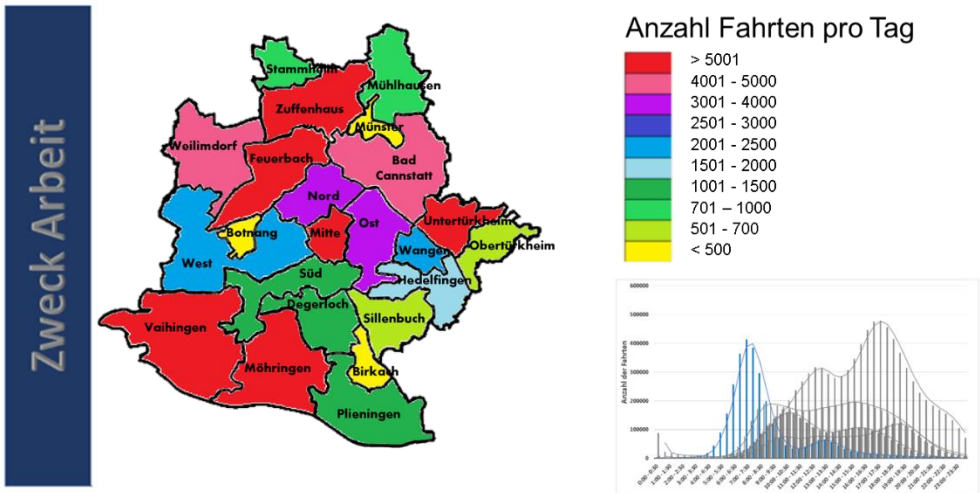


Abbildung 10: Berufliche Einpendlerintensität in die Stadt Stuttgart aus der Region Stuttgart

Auf der Abbildung 10 ist die Verkehrsbelastung in den Bezirken von Stuttgart dargestellt. Mit der roten Farbe werden die verkehrsintensivsten Bezirke markiert, in welche mehr als 5000 Fahrten pro Tag gemacht werden. Blau sind die Bezirke bezeichnet, in welchen sich die Verkehrsbelastung halbiert. Und endlich sind die gelbgrünen Farben verwendet, um die ruhigsten Bezirke aufzuzeichnen.

In Abbildung 10 wird ersichtlich, dass die verkehrsintensivsten Bezirke Zuffenhausen, Feuerbach, Untertürkheim, Mitte, Vaihingen und Möhringen sind.

Auf der nächsten Abbildung ist die Verteilung der Belastung über die Bezirke für die Zwecken „Einkaufen“ und „“Arbeit“ zusammengefasst. Die Legende für der Abbildung 10 gilt auch für die unten genannten kartografischen Darstellungen der Verkehrsintensität.

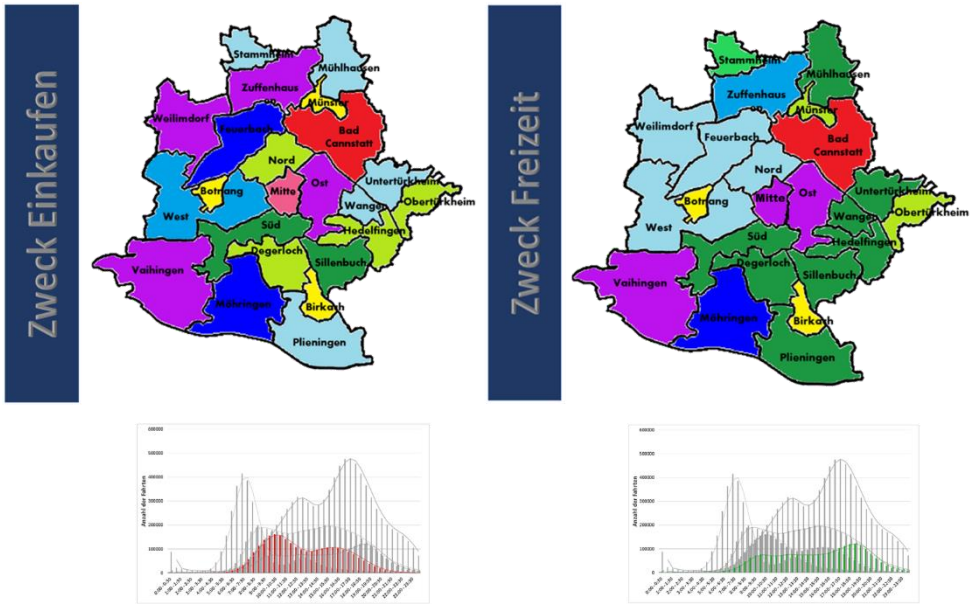


Abbildung 11: Einpendlerintensität in die Stadt Stuttgart aus der Region Stuttgart. Zwecke - "Einkaufen" und „Freizeit“

Aus der Abbildung 11 folgt, dass zur Abwicklung der Aktivitäten für die Zwecken „Einkaufen“ und „Arbeit“ der Bezirk Bad Cannstatt beliebt ist. Aber die Verkehrsintensität wird über den Tag unterschiedlich verteilt. Die Spitze des Verkehrsaufkommens für den Zweck „Einkaufen“ wird zwischen 10.00 – 11.30 Uhr erreicht. Dann wird der Aktivitätsabfall beobachtet. Ab 15.00 Uhr steigt der Verkehrsstrom wieder an und geht wieder ab 17.00 Uhr runter.

Im Verkehr für den Zweck „Freizeit“ fallen keine signifikanten Schwankungen auf. Der Verkehrsstrom ist im Zeitraum von 10.30 – 16.30 Uhr gleichmäßig mit der kleinen Steigerung verteilt. Ab 16.30 Uhr nimmt die Belastung zu und erreicht ihre Spitze im Zeitraum von 18.00 – 19.00 Uhr. Ab 19.00 senkt sich der Gesamtverkehrsstrom unabhängig vom Zweck. Es ist über den Zweck „Freizeit“ zu erwähnen, dass 13 Bezirke mit den grüngelben Farben markiert sind. Laut der Legende zur Abbildung 10 heißt das, dass diese Bezirke für Unterhaltungsaktivitäten schwach angefragt sind.

4.2.3 Zwischenfazit

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der verkehrsintensivste Bezirk Bad Cannstatt ist. Insgesamt werden in diesem Bezirk mehr als 10 000 Fahrten pro Tag mindesten für die Zwecke „Einkaufen“ und „Freizeit“ gemacht, und zwar zum „Einkaufen“ und „Freizeit“. Die Verkehrsbelastung bleibt fast konstant hoch über den ganzen Tag, und zwar im Zeitraum von 10.00 – 19.00 Uhr.

Neben dem höchst belasteten Bezirk ist es bemerkenswert, dass die Bezirke Birkach, Botnang, Münster und Obertürkheim die niedrigste Intensität des Verkehrs

unabhängig vom Zweck haben. Deswegen sollen diese Bezirke im Sinn der Entwicklung der Ladeinfrastruktur zuallerletzt betrachtet werden.

4.3 Untersuchung der mittleren Streckenlängen

Für die Entwicklung der Ladeinfrastruktur ist es sehr wichtig die durchschnittlichen Streckenlägen zu ermitteln, welche täglich durchgefahren werden. Diese weitere Analyse wird für die Schätzung des Stromverbrauchs der E-Autos gemacht, welcher für die Durchführung der Fahrten zwischen Quelle- und Ziel-Zelle gemacht werden kann. Dafür müssen die Quelle-Ziel-Relationen genauer betrachtet werden. In diesem Fall muss die ursprüngliche Einteilung der Region Stuttgart auf 1174 Zellen betrachtet werden, welche im Kapitel 3.2 beschrieben wurden. Die Daten über die Streckenlängen zwischen Zellen sind in den Anhängen 11 bis 16 dieser Arbeit aufgeführt.

Die feine Einteilung der Region Stuttgart erlaubt die Untersuchung der Abstände nicht nur zwischen einzelnen Städten, sowie die Entfernung zwischen den einzelnen Bezirken und Stadtteilen. Alle Angaben der Strecken werden in Meter gemacht. So beträgt die kürzeste Strecke ca. 100 m. Die Entfernung zwischen machen Städte von Deutschland können mehreren Hundert Kilometer betragen.

Zur Berechnung der Streckenlängen zwischen den Zellen wurden die Anzahl der Fahrten pro Tag berechnet, wie es im Kapitel 3.4 beschrieben wurde. Weiter wurde die Streckenlänge mit der Anzahl der Fahrten pro Tag zwischen einzelnen Zellen multipliziert. Damit wurde der gesamt zurückgelegte Weg pro Tag und pro Richtung in den Personenkilometer ausgerechnet. Zur Ermittlung der mittleren durchgefahrenen Strecken pro Tag wurde die Methode der Normalverteilung angewendet.

Zum ersten Mal wurde die Normalverteilung in der Arbeit von De Moivre im 1788 in der Form der unendlichen Datensatzreihe erläutert. Im 1809 hat Gauß die Form der Normalverteilung eingeführt, welche in dieser Arbeit verwendet wurde. (Vgl. 22, S. 240)

Die Normalverteilung spielt sehr große Rolle in der Wahrscheinlichkeitsverteilung. Diese Verteilung wird sehr oft in der Statistik verwendet, wenn die Verteilungsfunktion für die Datenreihe nicht bekannt ist. (Vgl. 23) Das heißt, dass sich durch die Anwendung der Verteilungsfunktion ein exakter Wert ergeben muss, aber die Abweichung von diesem Wert sowohl nach oben als auch nach unten vorgesehen ist. (Vgl. 24, S. 441) Die Verteilungsfunktion einer konstanten normalverteilten Zufallsvariable mit dem Erwartungswert μ und Varianz σ^2 sieht wie folgt aus:

$$P(X \leq x) = F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^{x} \exp(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} dt \tag{1}$$

(Vgl. 25, S. 272)

Dann wird die Normalverteilung durch die Dichtefunktion vorgestellt:

$$\varphi_{(\mu,\sigma^2)}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), x \in \mathbb{R} \tag{2}$$

Aus der oben genannten Dichtefunktion folgt, dass die Dichtefunktion $\varphi_{(\mu,\sigma)}(x)$ den Punkt der Symmetrie μ hat. Der Knickpunkt der Kurve befindet sich an den Stellen $\mu - \sigma$ und $\mu + \sigma$. (Vgl. 26, S. 108) Der Parameter μ bedeutet der Erwartungswert der normalverteilten Zufallsvariable. Der Parameter σ heißt Standartabweichung dieser Zufallsvariable. (Vgl. 25, S. 272) Der Erwartungswert bedeutet die Summe des Produktes aus den Werte x_i und der Wahrscheinlichkeit p_i ihres Eintretens und kann mit folgender Formel berechnet werden:

$$EX = \sum x_i * p_i = \sum x_i * P(X = x_i) \tag{3}$$

$P(X = x_i)$ ist die Wahrscheinlichkeit des Eintretens des Ereignisses x_i.

Die Standardabweichung wird durch die Berechnung der Wurzel aus der Varianz ermittelt. Die Varianz bedeutet die mittlere quadratische Abweichung des Erwartungswerts (Vgl. 25, S. 289-293) Die Formel zum Berechnen der Varianz sieht wie folgt aus:

$$Var(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 \tag{4}$$

Wo $\bar{x}$ ist Mittelwert. (Vgl. 26, S. 99)

Um die am häufigsten durchgefahrene Streckenlängen pro Fahrt im Excel zu ermitteln, wurden die Werte von Mittelwert und Standartabweichung mithilfe der Excel-Funktionen „MITTELWERT“ und „STABWN“ entsprechend ausgerechnet. Weiter wurde zur Ermittlung der am häufigsten gefahrene Streckenlängen die Excel-Funktion „NORM.VERT“ verwendet.

Durch die Normalverteilung der Streckenlängen zwischen Zellen wurden das folgende Ergebnis bekommen, welches in Abbildung 12 dargestellt wurde.

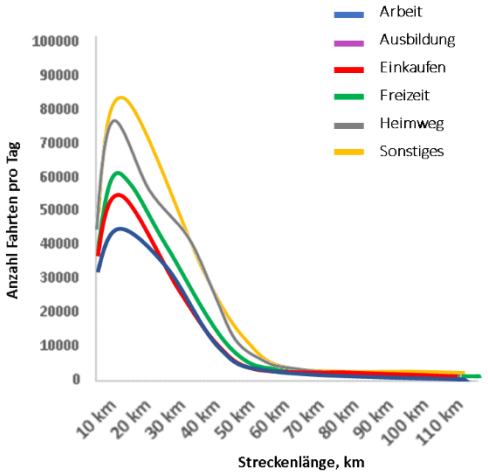


Abbildung 12: Streckenlängen der Fahrten pro Tag nach verschieden Zwecken

In Abbildung 12 werden alle Zwecke der Fahrten dargestellt. Aus der Abbildung kann abgelesen werden, dass die am häufigsten gefahrene Streckenlängen ungefähr in der Spanne zwischen 5 und 15 Kilometer abhängig vom Zweck liegen. Zum Ermitteln der genaueren Strecken, welche pro Tag im Durchschnitt gefahren werden, wurde der Median von den Streckenlängen in Personenkilometer ausgerechnet. Der Median ist ein Wert, welcher in der Mitte der Datenreihenfolge steht. Der Vorteil des Medians vom Mittelwert liegt daran, dass dieser unempfindlich zu den Ausreißern ist. (Vgl. 27, S. 75-76) Da in den Daten die Strecken in der Größe von 1000 km zwischen manchen deutschen Städten vorhanden sind, ist die Median vor dem Mittelwert in diesem Fall vorteilhaft.

Nach der Berechnung der Median wurden die folgenden Daten ermittelt: die Median für den Zweck „Arbeit“ gleich 13,62 km, für den Zweck „Einkaufen – 5,44 km, für den Zweck „5,11“, für den Zweck “Sonstiges“ – 6,9 km und endlich für den Zweck „Ausbildung“ – 6,92 km. Für den Zweck „Heimweg“ beträgt die durchschnittliche Strecke 11,47 km pro Fahrt. Wenn ein Mittelwert aus allen durchschnittliche Strecken der Hinfahrten ausgerechnet wird, ergibt sich eine gesamte Strecke von 7,6 km pro Fahrt und Tag. Wie schon im Kapitel 3.1 gesagt wurde bestehen manche Quelle-Ziel-Ketten aus mehreren Fahrten für die unterschiedlichen Zwecke. Deswegen kann der Startpunkt hach Hause weiter entfernt liegen, als die durchschnittliche gefahrene Strecke zur Abwicklung der zielgerichteten Aktivität. Auf solche Weise ist die Heimwegstrecke im Durchschnitt länger.

Laut den Herstellerangaben verbrauchen die E-Autos von 4,13 bis 17,7 kWh/100 km abhängig vom Modell und Hersteller. (Vgl. 28, 29) So verspricht zum Beispiel der BMW-Hersteller, dass BWM i3 mit der Batteriekapazität 18,8 kWh ca. 190 km mit einer Batterieladung durchfahren kann. (Vgl. 30) Als Beispiel kann angenommen werden, dass eine Quelle-Ziel-Kette aus den Zwecken „Wohnen-Arbeiten-Wohnen“ besteht. So

fährt eine Person ca. 27 km pro Tag hin und her durch. Auf solche Weise kann ein BMW-I3-Besitzer 7 Mal den Weg von Zuhause zur Arbeit und zurück zurücklegen, bis seine Batterie komplett entladen wird.

Aber in der Realität stimmt das nicht. Alle Verbrauchsdaten werden unter den Bedingungen ermittelt, welche im Verfahren NEFZ vorgeschrieben werden. NEFZ wird als „Neues Europäische Fahrzyklus“ interpretiert. Unter diesem Verfahren wird eine Prüfung der Parameter zur Abgasemissionen, Kraftstoffverbrauch und Reichweite eines Autos auf einem Prüfstand verstanden. (Vgl. 31) Dieses Verfahren wurde von der EU-Kommission für die Standardisierung der Anforderungen zu den oben genannten Parametern eingeführt. Aber in der Praxis werden in diesem Verfahren mehrere Einflussfaktoren nicht berücksichtigt, welche den Verbrauch beeinflussen können, wie Antrieb, Gewicht des Autos, zusätzliche Einrichtung, welche das Strom verbraucht, z. B. Klimaanlage, Außentemperatur, Fahrstil der Fahrer usw. (Vgl. 32) Somit entsprechen die Verbrauchsdaten, die von den Herstellern angegeben werden, nicht der Realität.

Auf der Basis von der „Technical University of Denmark“ wurde eine Studie durchgeführt. Die Fortbewegungen von 741 Fahrer mit Elektroautos wurden zwei Jahre aufgezeichnet. Zur Verfügung standen 200 Fahrzeuge von drei Modelle, und zwar Citroen C-Zero, Peugeot Ion, and Mitsubishi iMievst, mit welchen jeder Fahrer im Zeitraum von 3 bis 6 Monate fahren konnten. Insgesamt wurde ca. 2,3 Mio. Kilometer durchgefahren oder 276 102 Fahrten gemacht. Aber wegen unterschiedlichen Messfehlern wurden nur ca. 240 000 Fahrten untersucht. Alle Fahrzeuge wurden mit den GPS-Tracker ausgestattet, durch welche die Daten gesammelt wurden. In Abbildung 13 sind die Ergebnisse der Studie dargestellt.

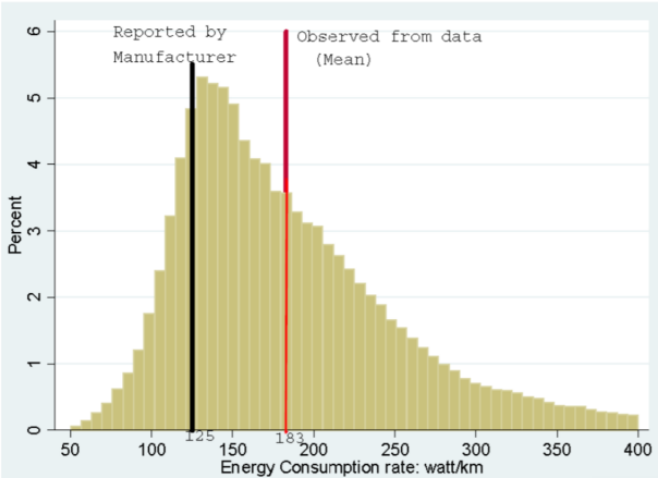


Abbildung 13: Abweichung des realen Stromverbrauchs von den Herstellerangaben (Quelle: Technical University of Denmark)

Laut den NEFZ-Daten muss jedes Auto ungefähr 125 Wh/km verbrauchen. Aber durch das Experiment wurde herausgefunden, dass diese Angaben um ca. 46% von den Herstellerangaben abweichen. So liegt der durchschnittliche Stromverbrauch bei 183 Wh/km. Solche signifikante Abweichung entsteht dadurch, dass die Daten während des Experiments im realen Leben unter der Berücksichtigung allen Einflussfaktoren gesammelt wurden, welche im NEFZ nicht vorgegeben sind. (Vgl. 33, S. 4-12)

Auf solche Weise, wenn vom Nennstromverbrauch vom BMW i3 46% der Reichweite abgezogen wird, so kann der Fahrer weniger als 4-Mal (3,8 Hin und Herfahrten) zum Arbeitsplatz und zurück nach Hause fahren.

4.4 Zusammenfassung

Im Kapitel 4 wurden die Daten über die Fortbewegungen mit den Pkw in der Region Stuttgart analysiert. Zur Untersuchung wurden die Anzahl der Fahrten pro Tag ausgerechnet. Um die Verkehrsbelastung in der Region Stuttgart zu untersuchen, wurden alle Fahrten wieder auf vier Kategorien aufgeteilt, und zwar: Einpendler in die Stadt Stuttgart, Auspendler aus Stuttgart, Fortbewegungen innerhalb der Landkreise der Region Stuttgart und die Fortbewegungen zwischen den Kreisen. Nach dem Berechnen der täglichen Fahrten wurde herausgefunden, dass die prozentuale Verteilung der Fahrten nach Zwecke anders aussieht. Der Anteil der beruflichen Fahrten in der Gesamtzahl der Hinfahrten pro Tag um 4% höher als ihr Anteil pro Woche und beträgt jetzt 28%. Diese Verschiebung ist damit verbunden, dass an den zwei Tagen pro Woche, und zwar am Wochenende, deutlich weniger beruflichen Fahrten pro Tag gemacht wird. Aber im gesamten täglichen Verkehrsfluss an den Werktage werden um 4% mehr beruflichen Fahrten in der Relation zu den Fahrten für die anderen Zwecken gemacht.

Laut dem Internetportal „City population“ beträgt die Anzahl der Einwohner der Region Stuttgart ca. 2,7 Mio. In Stuttgart wohnen nur etwa mehr als 620 000 Einwohner, was sich nur mit 22% von der Gesamtbevölkerung der Region berechnet. (Vgl. 21) Mit dieser Tatsache wird erklärt, dass der wesentliche Verkehr in der Region und nicht in Stuttgart passiert. Aber trotzdem werden mehr als 20% aller Hinfahrt in Stuttgart gemacht, was deutlich höher ist, als in die einzelnen Landkreise der Region Stuttgart.

Im Kapitel 4.2 wurde die Einpendlerintensität in Stuttgart in Abhängigkeit von der Tageszeit betrachtet. Als verkehrsintensivster Bezirk von Stuttgart wurde Bad Cannstatt festgestellt. In diesem Bezirk bleibt die Verkehrsintensität in die Arbeitszeit konstant hoch.

Im Kapitel 4.3 wurde die mittlere Streckenlänge betrachtet, welche täglich pro eine Fahrt durchgefahren wird. Nach der Durchführung der mathematischen Analyse wurde ermittelt, dass im Durchschnitt die Fahrer die Strecken von 5 bis 7 Kilometer

in einer Richtung zurücklegen. Aber für den Zweck „Arbeit“ wird eine doppelt so lange Strecke täglich gemacht und beträgt ungefähr 14 Kilometer. Mit diesen Daten kann die Annahme gemacht werden, welche Strecke mit einer Aufladung der Batterie des E-Autos in Abhängigkeit von der Kapazität zurückgelegt werden kann. Aber es muss berücksichtigt werden, dass die Angaben zum Stromverbrauch von Hersteller deutlich von der realen Situation abweichen kann.

5 Mathematische Methoden zur Bewertung Quelle-Ziel-Matrizen

In diesem Kapitel werden die mathematischen Methoden zur Auswertung der Quelle-Ziel-Matrizen betrachtet. Außerdem werden auch die Quelle-Ziel-Beziehungen mit einer Methode ausgewertet, welche mithilfe von „mobiTopp“ simuliert wurden.

Eine Quelle-Ziel-Matrix ist das wichtigste Element der Untersuchung der Quelle-Ziel-Beziehungen. In der Realität existieren die wahren Quelle-Ziel-Matrizen sehr selten. Deswegen wurden unterschiedliche Methoden zu ihrer Schätzung und Auswertung entwickelt. Diese Methoden betrachten unterschiedliche Aspekte. Mit ihnen können sowohl die einzelnen Zellen, als auch die Fortbewegungen in der ganzen Region, untersucht werden. Daher können diese Methoden in drei Kategorien eingeteilt werden:

1. Direkte Datenerhebung: unter dieser Methode wird die Datenerhebung durch die Start-, End- und Streckenbefragung, Markierung, oder ihre Zusammensetzung, abhängig von der Problemstellung, verstanden. Ziemlich oft sind solche Schätzungen wegen der systematischen Fehler einseitig.

2. Die Bestimmung der Quelle-Ziel-Matrix aus dem Verkehrsstrom: hier wird eine Quelle-Ziel-Matrix auf Grund der Verkehrszählungen abgebildet. Die Methoden zur Ermittlung der Quelle-Ziel-Matrix können in zwei Gruppen aufgeteilt werden:

   - eine Quelle-Ziel-Matrix wird direkt aus dem Verkehrsstrom ermittelt
   - aus dem Verkehrsstrom werden die Parameter des Verkehrsnachfragemodells ermittelt, nach der Auswertung, aus denen sich eine Quelle-Ziel-Matrix ergibt.

3. Modellschätzung: diese Methode setzt die Anwendung des Modells voraus, welches eine bestimmte Anzahl der Fahrten in den bestimmten Zeitraum unter dem bestimmten Modus ergibt. Aber dieses Nachfragemodell ist nur dann geeignet, wenn eine Beziehung zwischen den abhängigen Variablen genauer geschätzt werden müss. Es ist auch möglich die Abweichungen und Kovarianzen der auswertenden Parameter auszuwerten. Daraus kann auch eine Quelle-Ziel-Matrix abgeleitet werden. (Vgl. 34, S. 289-290)

Weiter wird die dritte Kategorie der Methoden zur Schätzung der Quelle-Ziel-Matrizen betrachtet.

5.1 Methode der kleinsten Quadrate

Die Methode der kleinsten Quadrate wurden von mehreren Autoren betrachtet, zum Beispiel von C. Hendrickson und S. McNeil, E. Cascetta, M. G. H. Bell und anderen Autoren. Das Prinzip der Methode besteht in der Zusammensetzung der

Informationen der Quelle-Ziel-Matrizen, der Daten über den Verkehrsfluss und Kovarianzmatrizen. (Vgl. 17, S. 35) Alle Modelle zur Schätzung der Quelle-Ziel-Relation sind mehr oder weniger falsch definiert, besonders solche, welche an den unterschiedlichen Stellen und in zu unterschiedlichen Uhrzeiten gesammelt wurden. Deswegen sind solche Modelle vorgenommen. Deswegen muss die Schätzung unter der Berücksichtigung der verallgemeinernden mittleren quadratischen Fehler durchgeführt werden. Dafür ist am besten die Methode der kleinsten Quadrate geeignet.

Es ist eine t-Quelle-Ziel Matrix mit der bestimmten Anzahl der Fahrten zwischen bestimmten Orten in einem Zeitraum gegeben. Da diese Matrix durch die Befragung der Haushalte erhoben wurden, kann sie mit folgender Formel dargestellt werden:

$$\hat{t} = t + \in, \tag{5}$$

$\hat{t}$ - geschätzte Quelle-Ziel Matrix

t - die wahre QZ-Matrix

$\in$ - Fehler mit dem Mittelwert μ und der Kovarianzmatrix V

Das heißt, dass die t-Quelle-Ziel-Matrix einen Fehler beinhaltet. Die Kovarianzmatrix hängt vor der angewendeten Methode der Datenerhebung ab. Im Fall, wenn $\hat{t}$-Matrix direkt geschätzt wurde, resultiert die Stichprobe relativ zur Methode und Stichprobenverfahren der Schätzung, zum Beispiel Stichprobenmittelwert oder Verhältnisschätzung, und Gebietsunterteilung oder Clusterauswahl. Die Kovarianzmatrix wird in Form von einer symmetrischen Matrix dargestellt. Sie dient zur Erstellung des Zusammenhangs zwischen der Quelle-Ziel-Matrix und beobachteten Verkehrsströme auf der Kante.

Der Verkehrsstrom, welcher in einem Zeitraum an einem bestimmten Tag auf jeder Kante des Netzwerkes durchfließt, ist eine lineare Kombination der Elemente einer Quelle-Ziel-Matrix, welche die Koeffizienten von 0 bis 1 beinhaltet. Diese Matrix kann folglich dargestellt werden:

$$At = f \tag{6}$$

A – Zuordnungsmatrix

t - die beobachtete Quelle-Ziel-Matrix

f - Vektor des Verkehrsstromes

Normalerweise ist die Matrix A nicht bekannt. Aber sie muss durch die Anwendung der unterschiedlichen Verkehrsflussmodelle ermittelt werden. Diese kann, zum Beispiel, unabhängig von der Quelle-Ziel-Matrix proportional zum Verkehrsfluss, abhängig durch das Gleichgewichtsmodell oder auf eine zufällige Weise, wie stochastische Zuordnung, ermittelt werden. Noch ein Fehler kann an der

schematischen Darstellung der Wege liegen. Dann kann die oben genannte Bedingung folglich geäußert werden:

$$f = \hat{A}t + \delta \tag{7}$$

δ - Vektor des Zufallsfehlers

Hier stellt der Vektor die Summe des spezifischen Fehlers des Verkehrsflussmodells und der Abweichung von der schematischen Darstellung dar. Die mögliche Abweichung vom Vektor kann hier in Bezug auf ∂ nicht berücksichtigt werden. Damit kann er fehlerfrei, mit dem Mittelwert und Kovarianzmatrix W, angenommen werden.

Weiter wird der Vektor f durch Vektor $\hat{f}$ ersetzt:

$$\hat{f} = \hat{A}t + \eta \tag{8}$$

η - Vektor des Zufallsfehlers mit Mittelwert gleich δ und Kovarianzmatrix W

Als Sonderfall muss der zufällige Teil von η nicht berücksichtigt und Vektor δ durch η ersetzt werden. Das Problem ist die Suche der wahren Quelle-Ziel-Matrix t, welche die Informationen aus den direkten oder Modell-Schätzer, beobachtete im Verkehrsfluss auf der Kante, in der Streuungsmatrix beinhaltet. Um die Quelle-Ziel-Matrix t zu ermitteln, müssen die Gleichungen (5) und (8) so zusammengesetzt werden, dass sie ein lineares System der Gleichungen mit der Dimension $(n+m) \times 1$ in der Relation zum unbekannten Vektor t und dem Vektor der Zufallsfehler gesetzt werden kann:

$$\begin{bmatrix} \hat{t} \\ \hat{f} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_n \\ \hat{A} \end{bmatrix} t + \begin{bmatrix} \in \\ \eta \end{bmatrix} \tag{9}$$

Die Bedeutung des Zufallsfehlers in den zweiten Klammer des Gleichungssystems ist:

$$E(\in, \eta)' = (\mu, \delta)' \tag{10}$$

Zur Schätzung der Kovarianzmatrix für den oben genannten Vektor des Zufallsfehlers muss das Verkehrsflussmodell festgestellt werden. Unter der Annahme, dass hier das proportionale Verkehrsmodell angewendet wurde, kann vermutet werden, dass die Vektoren $\in$ und η unabhängig sind. Daraus resultiert, dass die ihre Kovarianzmatrix Diagonal ist:

$$B = \begin{bmatrix} V & 0 \\ 0 & W \end{bmatrix}, \tag{11}$$

V - Varianz-Kovarianzmatrix für vorläufige Schätzung von **t** basiert auf Stichproben,

W - Varianz-Kovarianzmatrix für Verkehrszählungen auf der Kante

Jetzt kann der Schätzer der Methode der kleinsten Quadrate des Vektors in dem linearen Gleichungssystem (9) mit der Kovarianzmatrix (11) angewendet werden. Die Zielfunktion sieht folglich aus:

$$z(t) = t^x = \min t \begin{bmatrix} \hat{t} - t \\ \hat{f} - \hat{A}t \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} V^{-1} & 0 \\ 0 & W^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{t} - t \\ \hat{f} - \hat{A}t \end{bmatrix} \tag{12}$$

Aus dieser Zielfunktion kann die Folgerung gezogen werden, dass der Schätzer der Quelle-Ziel-Matrix t^x eine minimal gewichtete Strecke von der Anfangsmatrix $\hat{t}$ ist, welche zum Netzwerk zugeordnet wurde. Er erhöht den Verkehrsfluss des beobachteten Flusses auf der minimal gewichteten Strecke.

Es ist bekannt, dass die wahre Quelle-Ziel-Matrix keine negative Werte beinhaltet. Auf Grund dieser Tatsache kann der Schätzer t^x durch das Gleichsetzen der ersten Ableitung der Zielfunktion (12) mit Null ermittelt werden:

$$t^x = \left(V^{-1} + \hat{A}^T W^{-1} \hat{A}\right)^{-1} (V^{-1}\hat{t} + \hat{A}^T W^{-1} \hat{f}) \tag{13}$$

Der Mittelwert von t^x:

$$E(t^x) = t + \left(V^{-1} + \hat{A}^T W^{-1} \hat{A}\right)^{-1} (V^{-1}\mu + \hat{A}^T W^{-1} \delta) \tag{14}$$

und Kovarianzmatrix:

$$D(t^x) = (V^{-1} + \hat{A}^T W^{-1} \hat{A})^{-1} \tag{15}$$

Der andere Schätzer kann durch die Betrachtung der beobachteten Verkehrsflüsse und der vorausgesetzten systematischen Abgrenzung ermittelt werden. Es ist in einem solchen Fall möglich, dass die Streuung der beobachteten Verkehrsflüsse sehr klein, gegenüber der ursprünglichen Quelle-Ziel-Matrix, ist. Das Problem ist jetzt, bis auf die Ermittlung des Vektors t vom Linearmodell (5) reduziert, welcher durch die Einschränkungen des Linearsystems bekommen wird. Die Lösung dieses Problems kann der eingeschränkte Kleinst-Quadrat-Schätzer sein:

$$\min t \ (\hat{t} - t)^T V^{-1} (\hat{t} - t) \tag{16}$$

$$\hat{A}t = \hat{f}$$

$$t \geq 0$$

Diese Gleichung kann, unter der Anwendung der Lagrange-Multiplikator, gelöst werden:

$$t_1^x = \hat{t} + V^{-1}\hat{A}^T \left(\hat{A}V^{-1}\hat{A}^T\right)^{-1} (f - \hat{A}\hat{t}) \tag{17}$$

Unter der Annahme, dass der Vektor f keine zufälligen Elemente beinhaltet, sehen der Mittelwert und Kovarianz vom Lagrange-Multiplikator wie folgt aus:

$$E(t_1^x) = t + \mu + V\hat{A}^T \left(\hat{A}V^{-1}\hat{A}^T\right)^{-1} (\delta - \hat{A}\mu) \tag{18}$$

$$D(t_1^x) = V - V\hat{A}^T (\hat{A}V\hat{A}^T)^{-1} \hat{A}V \tag{19}$$

In der Praxis sind die Kovarianzmatrix nicht bekannt. Sie können nur geschätzt werden. Zur Ermittlung der Kovarianzmatrizen kann der unten beschriebene Algorithmus angewendet werden.

Es ist die Anzahl der potenziellen Fahrer N_i gegeben, welche sich in jedem Start-Ort i befindet. Die Anzahl der tatsächlichen Fahrer, welche aus dem Start-Punkt i losfahren, wird mit der Formel ausgerechnet:

$$n_i = \alpha * N_i$$

α - Abtastrate, mit welcher die Datenerhebung durchgeführt wird, zum Beispiel durch die Identifizierung der Autokennzeichen oder Haushaltsbefragung

Für jeden simulierten Fahrer, welcher aus dem Punkt i losfährt, wird der Ziel-Punkt j mit der Wahrscheinlichkeit π_{ij} simuliert:

$$\pi_{ij} = \frac{t_{ij}}{Ni},$$

t_{ij} - die wahre Anzahl der Fahrer vom Punkt i nach Punkt j

Die Schätzung der beobachteten Quelle-Ziel-Matrix $\hat{t}_{ij}$ werden durch die Verwendung des direkten Schätzers ermittelt:

$$\hat{t}_{ij} = n_{ij} * \frac{1}{\alpha},$$

n_{ij} - Anzahl der simulierten Fahrten zwischen Orten **i** und **j**

$\frac{1}{\alpha}$ – Hochrechnungsfaktor

Die Varianz-Kovarianzmatrizen können in diesem Fall folglich ausgerechnet werden:

$$var(\hat{t}_{ij}) = \frac{N_i^2}{n_i}\pi_{ij}(1-\pi_{ij}), \tag{20}$$

$$Cov\left(\hat{t}_{ij}, \hat{t}_{ik}\right) = -\frac{N_i^2}{n_i}\pi_{ij}\pi_{ik}, \tag{21}$$

$$Cov\left(\hat{t}_{ij}, \hat{t}_{im}\right) = 0. \tag{22}$$

(Vgl. 34, S. 290 - 297)

Die Zielfunktion (12) kann mithilfe des Lagrange-Multiplikators unter Einhaltung der Nebenbedingung gelöst werden:

$$t_{ij} \geq e_{ij},$$

e_{ij} – Untergrenze

Das heißt, dass das Element der Quelle-Ziel-Matrix größer oder gleich die Untergrenze sein muss. In manchen Fällen kann die Untergrenze gleich Null sein. Nachfolgend ist der Langrange-Multiplikator dargestellt:

$$L(t,\mu) = F(t) + \mu^T(e-t),$$

μ – Vektor des Lagrange-Multiplikators

Bei der Lösung der Zielfunktion müssen noch die folgenden Bedingungen eingehalten werden:

$$\frac{\delta L}{\delta t} = o^T \tag{23}$$

$$\frac{\delta L}{\delta \mu} \leq o^T \tag{24}$$

$$\mu \geq o$$

$$\frac{\delta L}{\delta \mu}\mu = 0$$

Aus der Gleichung (23) resultiert:

$$(t-n)^T V^{-1} - (v - At)^T W^{-1} A - \mu^T = o^T,$$

v – Verkehrszählungen auf der Kante

Dann:

$$D = V^{-1} + A^T W^{-1} A$$

V ist positiv und V^{-1} ist halb-positiv definiert. Das heißt, dass D^{-1} existiert und daraus resultiert:

$$t = D^{-1}(V^{-1}t + A^T W^{-1} v + \mu) \tag{25}$$

Wenn V auch positiv ist, dann gilt:

$$D^{-1} = (Q^{-1} + A^T W^{-1} A)^{-1} = Q - QA^T(AQA^T + W)^{-1}AQ \tag{26}$$

Jetzt kann die Gleichung (25) umgewandelt werden:

$$t = n + VA^T(AVA^T + W)^{-1}(v - An) + (V - VA^T(AVA^T + W)^{-1}AV)\mu \tag{27}$$

(Vgl. 35, S. 13-15)

5.1.1 Algorithmus der Lösung

Das Problem entsteht darin, das μ zu finden, welches die Bedingungen der komplementären Schlupfskondition erfüllt. (Vgl. 35, S. 15) Von Bell (1991) wurde ein Algorithmus zur Lösung vorgeschlagen, welcher aus vier Schritten besteht:

Schritt 1: Initialisierung des Lagrange-Multiplikators

Die Zahl der Iteration $k = 0$.

Dann ist Lagrange-Multiplikator $\lambda_{ij}^{(0)} = 0$

Schritt 2: In diesem Schritt müssen die Kovarianzmatrizen V und W berechnet bzw. geschätzt werden, da die Kovarianzmatrizen in der Realität nicht existieren.

Schritt 3: Berechnung aller t_{ij} mit der Formel (25):

$$t = D^{-1}(V^{-1}t^{(k-1)} + A^T W^{-1} v + \mu^k) \tag{25}$$

Schritt 4: Die Erfüllung der Bedingungen prüfen

Wenn $t_{ij} < e_{ij}$,

dann wird der Langrange-Multiplikator folglich ermittelt:

$$\lambda_{ij}^{(k+1)} = \lambda_{ij}^k + \frac{e_{ij} - t_{ij}^k}{D^{-1}}$$

Wenn $t_{ij} > e_{ij}$,

dann:

$$\lambda_{ij}^{(k+1)} = max\left[0, \lambda_{ij}^k + \frac{e_{ij} - t_{ij}^k}{D^{-1}}\right]$$

Falls der Lagrange-Multiplikator sich nicht mehr ändert, kann der Wert von t_{ij} als beste Schätzung angenommen werden. Falls der Multiplikator ändert sich, muss die neue Iterationszahl $k = k + 1$ gesetzt und die Berechnung ab den Schritt 3 wiederholt werden. (Vgl. 17, S. 40)

5.1.2 Schätzung der Quelle-Ziel-Beziehungen mithilfe der Methode der kleinsten Quadrate

In diesem Unterkapitel wird die Schätzung der Quelle-Ziel-Matrix nach dem Algorithmus durchgeführt, welcher in Kapitel 5.1.1 beschrieben wurde.

Zur Schätzung der Quelle-Ziel-Beziehungen wurden vier Orte, Böblingen, Gärtringen, Tübingen und Dettenhausen, ausgewählt. Diese vier Orte wurden abstrahiert genommen, da zwischen manchen Orten entweder keine Straßenverkehrszählungen gemacht wurden, oder auf dem Weg zwischen den Orten viele Ein- und Ausfahrten liegen. Deswegen ist es fast unmöglich die reinen Daten über die Verkehrsstärken auf diesen Wegen zwischen bestimmten Orten zu bekommen. Zwischen den oben genannten Orten liegt ein gemeinsamer Weg, durch welchen die Fortbewegungen gemacht werden können, dieser ist Bundesstraße B464.

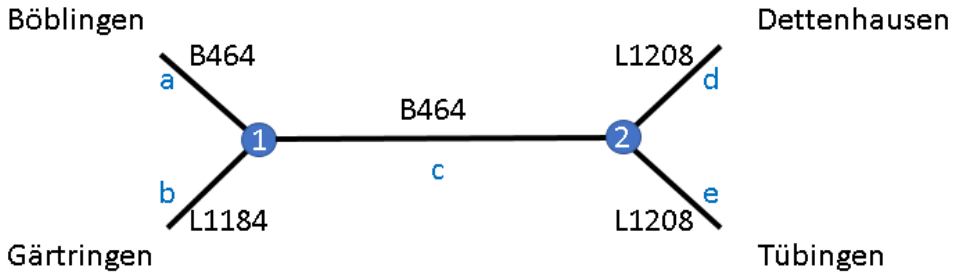


Abbildung 14: Schema der Lage von den Orten

In Abbildung 14 wird die schematische Darstellung der Lage der Orten und der Straßen dargestellt, welche die Orte miteinander verbinden. In der Abbildung wird gezeigt, dass aus Böblingen die Bundesstraße B464 in die Richtung von Tübingen und Dettenhausen führt. An dieser Bundesstraße schließt sich die Landstraße L1184 an. Tübingen und Gemeinde Dettenhausen sind durch die Landstraße L1208 verbunden. Zu dieser Straße schließt sich die Bundesstraße B464 an, welche Böblingen und Gärtringen mit Tübingen und Dettenhausen verbindet. Mit den blauen Buchstaben a – e sind die Kanten zwischen oben genannten Orten bezeichnet.

Laut der Daten der „Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg“ beträgt die Verkehrsstärke auf der Bundesstraße, auf der Kante c, 9026 Pkw/24h. Diese Zahl wurde an der manuellen Zählerstelle # 82 689 im Jahr 2014 gesammelt. (Vgl. 36) In der folgenden Tabelle sind die Daten über die Fortbewegungen zwischen den oben genannten Orten aufgeführt, welche mit der Software „mobiTopp“ simuliert wurden. Für die Schätzung der besten Verkehrsbeziehungen wird keine Einteilung der Fahrten auf die verschiedenen Zwecke gemacht. Weiter wird der Gesamtverkehr betrachtet.

		Ziel		
Start		Dettenhausen	Tübingen	Σ
	Böblingen	63	116	179
	Gärtringen	8	51	60
	Σ	72	167	238

Tabelle 13: Quelle-Ziel-Matrix der geschätzten Verkehrsbeziehungen

Laut der Tabelle 13 beträgt die Summe der Fahrten über die Kante c aus der Richtung von Böblingen und Gärtringen nach Dettenhausen und Tübingen 238 Fahrten pro Tag.

Weiter wird die Kantenbelastung auf der Kante e betrachtet. Laut der „Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg“ beträgt die Verkehrsstärke auf dieser Kante 8870 Pkw/24h. Diese Daten wurden an der manuellen Zählstelle # 85 815 in 2015 gesammelt (Vgl. 36)

Zur weiteren Berechnung wird eine Zusammenfassung der gegebenen Daten gemacht.

Gegeben:

Verkehrsstärke auf der Kante c = 9026 Pkw/24h

Verkehrsstärke auf der Kante e = 8870 Pkw/24h

Quelle-Ziel-Matrix der geschätzten Verkehrsbeziehungen, die Summe der Fahrten = 238 Pkw/24h

Um die Aufteilungsmatrix zu bestimmen, wird keine Berechnung benötigt. Der Aufteilungsparameter ist 1 oder 0, abhängig von der betrachteten Kante. (Vgl. 37, S. 441) In diesem Fall wird die Kante e betrachtet, welche nach Tübingen führt. Daher sehen die Aufteilungsparameter wie folgt aus:

- zwischen Böblingen und Dettenhausen – 0
- zwischen Böblingen und Tübingen – 1
- zwischen Gärtringen und Dettenhausen – 0
- zwischen Gärtringen und Tübingen – 1

Die Aufteilungsmatrix hat die folgende Form:

$$A = [0 \quad 1 \quad 0 \quad 1]$$

Die Matrix der beobachteten Verkehrszählungen wird mithilfe der folgenden Formel berechnet, welche im Kapitel 5.1 aufgeführt ist:

$$\hat{t}_{ij} = n_{ij} * \frac{1}{\alpha},$$

$$\hat{t}_{Böb-Det} = 63 * \frac{9026}{238} = 2389$$

$$\hat{t}_{Böb-Tüb} = 116 * \frac{9026}{238} = 4399$$

$$\hat{t}_{Gärt-Det} = 8 * \frac{9026}{238} = 304$$

$$\hat{t}_{Gärt-Tüb} = 51 * \frac{9026}{238} = 1934$$

Die beobachtete Verkehrsmatrix sieht wie folgt aus:

		Ziel		
Start		Dettenhausen	Tübingen	Σ
	Böblingen	2389	4399	6788
	Gärtringen	304	1934	2238
	Σ	2693	6333	9026

Tabelle 14: Quelle-Ziel-Matrix der beobachteten Verkehrsströme

Die Kovarianzmatrix V der geschätzten Quelle-Ziel-Matrix wird mit der folgenden Formel berechnet, welche die britische Abteilung „Transport Traffic Appraisal Manual“ (TAM) in 1981 vorgeschlagen hat. Sie sieht folglich aus:

$$Var_{t_{ij}} = \frac{(T-N)*T}{(N-1)*N^2} * n_{ij} * (N - n_{ij})$$

T – der Gesamtverkehrsstrom zwischen den betrachtenden Orten, hier 9026 Pkw/24h,

N – die Summe der geschätzten Verkehrsbeziehungen, hier 238 Pkw/24h,

n_{ij} – Anzahl der Fahrten zwischen den einzelnen Orten. (Vgl. 35, S. 19) Siehe Tabelle 13

$$Var_{\hat{t}_{Böb-Det}} = \frac{(9026-238)*9026}{(238-1)*238^2} * 63 * (238-63) = 65142$$

$$Var_{\hat{t}_{Böb-Tüb}} = \frac{(9026-238)*9026}{(238-1)*238^2} * 116 * (238-116) = 83618$$

$$Var_{\hat{t}_{Gärt-Det}} = \frac{(9026-238)*9026}{(238-1)*238^2} * 8 * (238-8) = 10872$$

$$Var_{\hat{t}_{Gärt-Det}} = \frac{(9026-238)*9026}{(238-1)*238^2} * 51 * (238-51) = 56350$$

Die Kovarianzmatrix V hat die folgende Ausprägung:

		Ziel	
		Dettenhausen	Tübingen
Start	Böblingen	65142	83618
	Gärtringen	10872	56350

Tabelle 15: Kovarianzmatrix V der geschätzten Verkehrsbeziehungen

Da die Verkehrsstärke auf der Kante e unabhängig von der Verkehrsstärke auf der Kante c gemessen wurde, liegt das Sicherheitsintervall laut dem TAM bei 95% für die nicht klassifizierten manuellen Zählungen im Rahmen von ∓10%. In diesem Fall beträgt das Sicherheitsintervall 8870*10% = 887 Pkw. Es wird angenommen, dass die geschätzten Verkehrsbeziehungen normalverteilt sind.

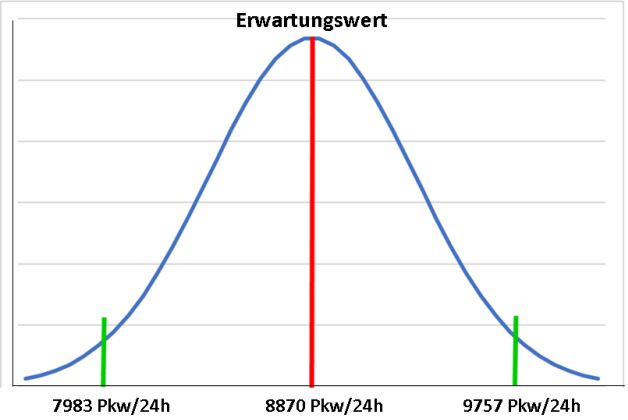


Tabelle 16: Normalverteilung der Verkehrszählungen

Der Erwartungswert beträgt 8870 Pkw. Dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass 95% aller Messungen innerhalb des Sicherheitsintervalls ∓887 Pkw liegen, wie es in Abbildung 16 dargestellt ist.

$$P(7983 \leq X \leq 9757) = 95\% = 0{,}95$$

Eine Normalverteilung mit der Verteilungsfunktion f(x), mit dem Erwartungswert und der Standardabweichung kann in der folgenden Relation dargestellt werden:

$$f(x) = \phi(\tfrac{x-\mu}{\sigma}),$$

μ -Erwartungswert

σ- Standardabweichung. (Vgl. 38)

$$\phi\left(\frac{887}{\sigma}\right) - \phi\left(-\frac{887}{\sigma}\right) = 0{,}95$$

Nebenpfad:

$$\phi\left(-\frac{887}{\sigma}\right) = 1 - \phi\left(\frac{887}{\sigma}\right)$$

Folglich:

$$\phi\left(\frac{887}{\sigma}\right) - (1 - \phi\left(-\frac{887}{\sigma}\right)) = 0{,}95$$

$$2 * \phi\left(\frac{887}{\sigma}\right) - 1 = 0{,}95$$

$$\phi\left(\frac{887}{\sigma}\right) = 0{,}975$$

Laut der Tabelle „Standardnormalverteilung“:

$$0{,}975 = \phi(1{,}96)$$

(Vgl. 39)

$$\phi\left(\frac{887}{\sigma}\right) = \phi(1{,}96)$$

Daraus resultiert:

$$\frac{887}{\sigma} = 1{,}96$$

$$\sigma = \frac{887}{1{,}96} = 453$$

Daraus lässt sich die Kovarianz W errechnen:

$$W = \sigma^2 = 453^2 = 205209$$

Weiter wird die Matrix D berechnet:

$$D = V^{-1} + A^T W^{-1} A$$

$$D = \begin{bmatrix} \frac{1}{65142} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{83618} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{10872} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{56350} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} * \left[\frac{1}{205209}\right] * [0 \quad 1 \quad 0 \quad 1]$$

$$D = \begin{bmatrix} 0{,}00001535108 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0{,}00001683223 & 0 & 0{,}000004873081 \\ 0 & 0 & 0{,}0000919794 & 0 \\ 0 & 0{,}000004873081 & 0 & 0{,}00002261931 \end{bmatrix}$$

$$P = D^{-1} = \begin{bmatrix} 65142 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 59410 & 0 & 205209 \\ 0 & 0 & 10872 & 0 \\ 0 & 205209 & 0 & 44210 \end{bmatrix}$$

(Vgl. 35, S. 18-19)

Es wird angenommen, dass die Matrix D^{-1} positiv definiert ist. Dann, unter der Einhaltung der Bedingung $t_{ij} \geq e_{ij}$, kann die Quelle-Ziel-Matrix geschätzt werden.

$$t = D^{-1}(V^{-1}t + A^T W^{-1} v + \mu)$$

Laut dem Schritt 1 des Lösungsalgorithmus ist die Iterationszahl $k = 0$,

Lagrange-Multiplikator $\lambda_{ij}^{(0)} = 0$

Die Untergrenze $e_{ij} = 0$

Gemäß der Schritte 3 und 4 des Lösungsalgorithmus werden t_{ij} und $\lambda_{ij}^{(0)}$ berechnet:

Iteration 1:

$$t_{Böb-Det}^{1} = 65142 * \left(\frac{1}{65142} * 2389 + 0 * \frac{1}{205209} * 8870 + 0\right) = 2389$$

$$t_{Böb-Tüb}^{1} = 59410 * \left(\frac{1}{83618} * 4399 + 1 * \frac{1}{205209} * 8870 + 0\right) = 4693$$

$$t^1_{Gärt-Det} = 10872 * \left(\frac{1}{10872} * 304 + 0 * \frac{1}{205209} * 8870 + 0\right) = 304$$

$$t^1_{Gärt-Tüb} = 44210 * \left(\frac{1}{44210} * 1934 + 1 * \frac{1}{205209} * 8870 + 0\right) = 3845$$

$$\lambda^1_{Böb-Det} = max\left[0, \frac{0 - 2389}{65142}\right] = 0$$

$$\lambda^1_{Böb-Tübt} = max\left[0, \frac{0 - 4399}{59410}\right] = 0$$

$$\lambda^1_{Gärt-Det} = max\left[0, \frac{0 - 304}{10872}\right] = 0$$

$$\lambda^1_{Gärt-Tübt} = max\left[0, \frac{0 - 1934}{44210}\right] = 0$$

Mit der Iteration 2 ändern sich nicht. Deswegen kann festgestellt werden, dass die ausgerechneten Werte t_{ij} die besten Verkehrsbeziehungen sind.

Fazit

Jeden Tag steigt die Anzahl der Fahrzeuge auf den Straßen an. Einerseits ist es positiv, da die Mobilität für die Menschen immer verfügbarer wird. Anderseits seigt der Verkehrsfluss auf den Straßen. Immer mehr Zeit wird in Staus verbraucht. Folglich verschlechtert sich die Umwelt. Deswegen werden dringliche Ansprüche an die Fahrzeugtechnik gestellt.

Die EU-Kommission hat die Anforderung an CO_2-Emmissionen von Fahrzeugen gestellt, dass ab 2020 nicht mehr als 95 Gramm vom Kohlenstoffdioxid pro 1km ausgestoßen werden darf. Jedes Jahr wächst die Anzahl der Pkw auf den deutschen Straßen um ca. 1%. Ohne entsprechende Maßnahmen wird das Ziel der EU-Kommission nicht erreicht. Heutzutage beträgt der Anteil der E-Autos ca. 0,7%. Laut der Prognose von ACEA wird der Anteil bis 8% zum Jahr 2025 steigen. Dann wird die Anzahl der E-Autos ca. 3,6 Mio. betragen. Daraus lässt sich auf die Frage schließen, ob die heutige Ladeinfrastruktur diese Anzahl an E-Autos bedienen kann? Aktuell ist das nicht möglich. Dafür wurden unterschiedliche Studien durchgeführt und diverse Modelle zur Schätzung der zukünftigen Situation auf den Straßen entwickelt, um die Infrastruktur für die Zukunft vorzubereiten.

Ein solches Modell wurde durch das Karlsruher Instituts für Technik entwickelt. Das Modell „mobiTopp“ dient zur Simulation der Verkehrsnachfrage und zur Analyse der Verkehrsintensität auf den Wegen in den unterschiedlichen Regionen. Im Rahmen meiner Bachelorarbeit wurde die Region Stuttgart betrachtet. Nach der Untersuchung der Daten über die Fortbewegungen der Bewohner in der Region Stuttgart, welche mithilfe der Software „mobiTopp“ simuliert wurden, kann festgestellt werden, dass die verkehrsintensivsten Landkreise der Region Stuttgart Esslingen und Ludwigsburg sind. Innerhalb dieser Landkreise wird die größte Anzahl an Fahrten gemacht. Auch kommen die meisten Einpendler in die Stadt Stuttgart aus diesen Kreisen unabhängig vom Zweck der Fahrten. Es kann damit erklärt werden, dass in diesen Kreisen fast 1 Mio. Einwohner wohnt.

Durch die Analyse der Verkehrsintesität in den Bezirken von Stuttgart wurde ermittelt, dass der höchst belastete Bezirk – Bad Cannstatt ist. In diesem Bezirk werden mehr als 10 000 Fahrten pro Tag aus der Region für die Zwecke „Freizeit“ und „Einkaufen“ gemacht. Dazu zählen auch die Einwohner von Stuttgart.

Die zweite Gruppe der Bezirke, welche genauso attraktiv für die Entwicklung der Ladeinfrastruktur ist, beinhaltet die Bezirke Zuffenhausen, Feuerbach, Untertürkheim, Mitte, Vaihingen und Möhringen. Das sind die Bezirke, in welche sehr viele berufliche Fahrten gemacht werden. Für die Abwicklung der beruflichen Aufgaben wird mehr Zeit benötigt, als im Vergleich zu den Zwecken „Einkaufen“ und „Freizeit“. Deswegen haben die beschäftigten Menschen die Gelegenheit ihre

Elektrofahrzeuge während der Arbeitszeit aufzuladen, da diese Autos auf den Parkplätzen meistens bis zum Feierabend bleiben. Folglich bleiben die Ladesäulen den ganzen Tag blockiert, sogar wenn die Batterie schon voll ist. Deswegen müssen dafür die neuen Konzepte entwickelt werden. Darüber hinaus entsprechen die Herstellerangaben über die Reichweiten der E-Autos nicht der realen Situation. Die Abweichung beträgt bis zu 50%. Das bedeutet, dass die E-Auto-Besitzer doppelt so häufig die Batterien aufladen müssen.

In dieser Arbeit wurde die Methode der kleinsten Quadrate betrachtet, welche zur Schätzung der Quelle-Ziel-Beziehungen am besten geeignet ist. Mit dieser Methode kann die wahrscheinlichste Quelle-Ziel-Matrix geschätzt werden, welche die Kombination der Quelle-Ziel-Matrizen mit den Daten über Verkehrszählungen und Kovarianzmatrizen erlaubt. Der weitere Vorteil dieser Methode ist, dass keine Verteilungsannahmen der Belastungen auf den Kanten gemacht werden müssen. Für die Schätzung der Quelle-Ziel-Matrix wurden vier Orte ausgewählt, welche miteinander mit einer Bundesstraße verbunden sind, diese sind: Böblingen, Gärtringen, Tübingen und Dettenhausen. Aber in der Realität konnte ich keine reinen Daten über die Verkehrsstärken auf den Kanten zwischen den oben genannten Orten bekommen, weil mehrere andere Wege entlangdieser Kanten angeschlossen sind, durch welche ein Verlust oder eine Zunahme der Verkehrsstärke entsteht.

In Rahmen meiner Arbeit habe ich die Daten über die Fortbewegungen in der Region Stuttgart grob ausgewertet. Die Daten, welche ich extrahiert und verarbeitet habe, können als Grundlage für die tiefere Analyse der Verkehrsbeziehungen verwendet werden.

Literaturverzeichnis

1. *VERORDNUNG (EG) Nr. 443/2009 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. April 2009.*
2. ERBACH, G. *Reducing CO2 emissions from new cars* [online].
3. *Elektroautos in Deutschland bis 2017 | Statistik* [online] [Zugriff am: 10. August 2017]. Verfügbar unter: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/265995/umfrage/anzahl-der-elektroautos-in-deutschland/
4. *Elektroautos - Anzahl der Neuzulassungen bis 2017 | Deutschland* [online] [Zugriff am: 10. August 2017]. Verfügbar unter: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/244000/umfrage/neuzulassungen-von-elektroautos-in-deutschland/
5. *Electric Vehicles | ACEA - European Automobile Manufacturers' Association* [online] [Zugriff am: 11. August 2017]. Verfügbar unter: http://www.acea.be/industry-topics/tag/category/electric-vehicles/P8
6. *Ladeinfrastruktur | Nationale Plattform Elektromobilität* [online] [Zugriff am: 6. August 2017]. Verfügbar unter: http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/themen/ladeinfrastruktur/
7. *BMVI - Startschuss für das Bundesprogramm Ladeinfrastruktur* [online] [Zugriff am: 10. August 2017]. Verfügbar unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2017/019-dobrindt-e-ladesaeulenoffensive.html
8. *BAV - Förderung der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge* [online] [Zugriff am: 10. August 2017]. Verfügbar unter: https://www.bav.bund.de/DE/3_Aufgaben/6_Foerderung_Ladeinfrastruktur/Foerderung_Ladeinfrastruktur_node.html
9. *BMW Group, Daimler AG, Ford Motor Company und der Volkswagen Konzern mit Porsche und Audi planen Joint Venture für ultraschnelles Hochleistungsladenetz an wichtigen Verkehrsachsen in Europa | marsMediaSite* [online] [Zugriff am: 11. August 2017]. Verfügbar unter: http://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/print/BMW-Group-Daimler-AG-Ford-Motor-Company-und-der-Volkswagen-Konzern-mit-Porsche-und-Audi-planen-Joint-Venture-fuer-ultraschnelles-Hochleistungsladenetz-an-wichtigen-Verkehrsachsen-in-Europa.xhtml?oid=14867194
10. HEINZ HAUTZINGER, MARTIN KAGERBAUER, NICOLAI MALLIG, MANFRED PFEIFFER, DIRK ZUMKELLER. Mikromodellierung für die Region Stuttgart. Schlussbericht, 2013.
11. LANDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG BADEN-WÜRTTEMBERG. *Verband Region Stuttgart* [online] [Zugriff am: 12. Juni 2017]. Verfügbar unter:

http://www.landtagswahl-bw.de/region_stuttgart.html?&MP=1198-9452%2C1173-1203

12. VERBAND REGION STUTTGART. *Verband Region Stuttgart: Aufgaben und Projekte* [online] [Zugriff am: 12. Juni 2017]. Verfügbar unter: https://www.region-stuttgart.org/aufgaben-und-projekte/
13. WIKIPEDIA. *Region Stuttgart* [online]. 8 August 2017 [Zugriff am: 11. August 2017]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=166854718
14. BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFARSTRUKTUR. Verkehr und Mobilität in Deutschland. Daten und Fakten kompakt. Stand Juli 2016.
15. STATISTA.DE. *Bestand an Personenkraftwagen in Deutschland nach Bundesländern (Stand: 1. Januar 2016 und 1. Januar 2017)* [online] [Zugriff am: 13. Juni 2017]. Verfügbar unter: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/254247/umfrage/bestand-an-pkw-in-deutschland-nach-bundeslaendern/
16. BADEN-WÜRTTEMBERG. STATISTISCHES LANDESAMT. *10 879 618 Baden-Württemberger – höchster Stand seit Bestehen des Landes - Statistisches Landesamt Baden-Württemberg* [online] [Zugriff am: 13. Juni 2017]. Verfügbar unter: https://www.statistik-bw.de/Presse/Pressemitteilungen/2016194
17. ROHDE, J. Schätzung von Herkunfts-/Zielbeziehungen, 2006.
18. *Arbeitszeitgesetz (ArbZG)* [online]. 26 Mai 2017 [Zugriff am: 26. Mai 2017]. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/arbzg/BJNR117100994.html
19. *Jährliche Arbeitszeit pro Erwerbstätigen in Deutschland bis 2016 | Statistik* [online] [Zugriff am: 26. Mai 2017]. Verfügbar unter: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/4047/umfrage/entwicklung-der-jaehrlichen-arbeitszeit-pro-erwerbstaetigen/
20. SCHUPP, J., D. RICHTER, J. GOEBEL, M. KROH, C. SCHRÖDER, E. LIEBAU, M. METZING und K. WENZIG. *SOEP Innovation-Sample (SOEP-IS), data from 1998-2013:* SOEP Socio-Economic Panel Study, 2015.
21. *Baden-Württemberg (Deutschland): Kreise, Städte und Gemeinden - Einwohnerzahlen in Karten und Tabellen* [online] [Zugriff am: 13. August 2017]. Verfügbar unter: https://www.citypopulation.de/php/germany-badenwurttemberg_d.php
22. RÜSCHENDORF, L. Wahrscheinlichkeitstheorie.
23. *Normalverteilung - MatheGuru.com* [online] [Zugriff am: 19. August 2017]. Verfügbar unter: http://matheguru.com/stochastik/31-normalverteilung.html
24. GÖLLMANN, L., R. HÜBL, S. PULHAM, S. RITTER, H. SCHON, K. SCHÜFFLER, U. VOß und G. VOSSEN. Mathematik für Ingenieure: Verstehen – Rechnen –

Anwenden. Band 1: Vorkurs, Analysis in einer Variablen, Lineare Algebra, Statistik.

25. MATTHÄUS, H. und W.-G. MATTHÄUS. Statistik und Excel. Elementarer Umgang mit Daten.
26. STELAND, A. Basiswissen Statistik. Kompaktkurs für Anwender aus Wirtschaft, Informatik und Technik.
27. TACHTSOGLOU, S. und J. KÖNIG. Statistik für Erziehungswissenschaftlerinnen und Erziehungswissenschaftler. Konzepte, Beispiele und Anwendungen in SPSS und R.
28. *Elektroautos in der Übersicht | Elektroauto Blog* [online] [Zugriff am: 20. August 2017]. Verfügbar unter: http://www.goingelectric.de/elektroautos/
29. *Marktübersicht 2017: Elektroautos (batteriebetrieben) | GreenGear.de* [online] [Zugriff am: 20. August 2017]. Verfügbar unter: https://www.greengear.de/vergleich-uebersicht-elektroautos-eautos/
30. *BMW i3 : Reichweite & Laden* [online] [Zugriff am: 20. August 2017]. Verfügbar unter: http://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/bmw-i/i3/2015/reichweite-laden.html
31. VDA. *Abgasemissionen* [online]. 18 August 2017 [Zugriff am: 20. August 2017]. Verfügbar unter: https://www.vda.de/de/themen/umwelt-und-klima/abgasemissionen/emissionsmessung.html
32. *Verbrauch beim Elektroauto: Deshalb ist er so wichtig* [online] [Zugriff am: 21. August 2017]. Verfügbar unter: http://www.autoscout24.de/themen/elektroauto/kosten/verbrauch/
33. FETENE, G.M., C.G. PRATO, S. KAPLAN, S.L. MABIT und A. JENSEN. *Harnessing Big-Data for Estimating the Energy Consumption and Driving Range of Electric Vehicles* [online], 2016 [Zugriff am: 20. August 2017]. Verfügbar unter: http://orbit.dtu.dk/files/120953956/Energy_consumption.pdf
34. CASCETTA, E. *Estimation of trip matrices from traffic counts and survey data: A generalized least squares estimator* [online] [Zugriff am: 28. Juli 2017]. Verfügbar unter: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0191261584900122
35. BELL, M.G.H. *The estimation of origin-destination matrices by constrained generalised least squares,* 1989.
36. BADEN-WÜRTTEMBERG, S. *Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg: Verkehrszählung* [online] [Zugriff am: 22. August 2017]. Verfügbar unter: https://www.svz-bw.de/verkehrszaehlung.html?zoom=7&lat=5405922.97417&lon=522898.79559&layers=BTTTTTTTTTTTTTTT
37. CASCETTA, E. und S. NGUYEN. *A unified framework for estimating or updating origin/destination matrices from traffic counts*.

38. WIKIPEDIA. *Normalverteilung* [online]. 21 August 2017 [Zugriff am: 23. August 2017]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=168323724
39. WIKIPEDIA. *Tabelle Standardnormalverteilung* [online]. 20 August 2017 [Zugriff am: 23. August 2017]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=166755555

Anhang

Anhang 1: Region Stuttgart und andere Orte außerhalb der Region Stuttgart aufgeteilt auf die Zellen

Anhang 2: Eingruppierung der Zellen nach Bezirke der Stadt Stuttgart und Kreise

Anhang 3: Tabellarische Darstellung der Fortbewegungen in der Region Stuttgart und den anderen Regionen Baden-Württemberg

Anhang 4: Überblick der Daten über die Fortbewegungen in der Region Stuttgart

Anhang 5: Quelle_Ziel Matrix. Zweck Arbeit

Anhang 6: Quelle_Ziel Matrix. Zweck Ausbildung

Anhang 7: Quelle_Ziel Matrix. Zweck Einkaufen

Anhang 8: Quelle_Ziel Matrix. Zweck Freizeit

Anhang 9: Quelle_Ziel Matrix. Zweck Sonstiges

Anhang 10: Quelle_Ziel Matrix. Zweck Heimweg

Anhang 11: Analyse der Streckenlänge. Zweck Arbeit

Anhang 12: Analyse der Streckenlänge. Zweck Ausbildung

Anhang 13: Analyse der Streckenlänge. Zweck Einkaufen

Anhang 14: Analyse der Streckenlänge. Zweck Freizeit

Anhang 15: Analyse der Streckenlänge. Zweck Sonstiges

Anhang 16: Analyse der Streckenlänge. Zweck Heimweg

Anhang 17: Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens von der Tageszeit

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt zu haben. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht. Ich bin mir bewusst, dass eine unwahre Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Esslingen, den .....

(Inna Morozova)