



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung

Schweriner Versuch

**Verkehrsmittelvergleich von Fahrrad, Pedelec, Pkw und Motorrad
in der Stadt-Umland-Beziehung von Pendlerströmen**
Studie im Rahmen des Nationalen Radverkehrsplans

Herausgeber:
Udo Onnen-Weber,
Hochschule Wismar
Kompetenzzentrum ländliche Mobilität



Schweriner Versuch

Verkehrsmittelvergleich von Fahrrad, Pedelec, Pkw und Motorrad in der Stadt-Umland-Beziehung von Pendlerströmen

IMPRESSUM

Auftraggeber

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Berlin
Ref. UI 31

Herausgeber

Kompetenzzentrum ländliche Mobilität an der Hochschule Wismar
Prof. Udo Onnen-Weber

Bearbeitung

Michael Schramek, EcoLibro GmbH Köln
Heiko Butz, EcoLibro GmbH Köln

Titelfoto: Frank Hormann. Agentur: dapd

Wismar, September 2012

1 Vorwort

Der Mobilitätswandel ist in den urbanen Räumen angekommen. Das Auto ist immer weniger das Verkehrsmittel der Wahl für Berufspendler, öffentlicher Personennahverkehr hat steigende Nutzerzahlen, aber auch Fahrrad und Motorroller erleben eine Renaissance in der Stadt. Die Gründe für diesen Wandel sind vielfältig: Zeit und Komfort steht sicher im Vordergrund: wenn das Auto im Stau steht, ist es nicht mehr attraktiv. Immer mehr wird aber auch gesagt, dass gerade das Fahrrad gesundheitsfördernd ist und die Umwelt schont, ein Wert, der durchaus handlungsleitend wird. Und auch Kosten spielen vermehrt eine Rolle bei der Entscheidung, welches Verkehrsmittel beim Pendeln genutzt werden soll.

Wie es jetzt aber in Zeiten der Elektromobilität mit diesen Parametern ist, sollte mit dem Schweriner Verkehrsvergleich herausgefunden werden. Der fossile PKW gegen das Elektroauto, der fossile Motorroller gegen den elektrischen, das Fahrrad gegen das Elektrofahrrad und alle gegeneinander. Und natürlich gegen die Straßenbahn, einmal intermodal mit dem Faltrad, einmal intermodal als Fußgänger.

Im Frühjahr 2012 wurde in Schwerin dieser Wettbewerb der Verkehrsmittel durchgeführt. Die beteiligten Gutachter hatten eine Vielzahl von Messgeräten sowie ständig mitlaufende Kameras aufgebaut. 10 Tage wurde morgens von einem Schweriner Vorort zum Rathaus gependelt und abends wieder zurück.

Jetzt liegen die Ergebnisse in drei Kategorien vor: Platzierungen in der Kategorie „Umwelt und Gesundheit“, in der Kategorie „Zeit und Komfort“ sowie in der Kategorie „Kosten“. Und es ist sicher nicht erstaunlich, dass in allen Kategorien ein Zweirad ganz vorne steht, zweimal das Fahrrad, in der Kategorie „Zeit“ hat allerdings das Pedelec als bestes Verkehrsmittel abgeschnitten.

In der hier vorliegenden Broschüre, im Wesentlichen von den Gutachtern verfasst, sind die Ergebnisse im Detail erläutert und zusammen gefasst.

Oktober 2012

Prof. Udo Onnen-Weber

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
1. Management Summary	9
2. Einleitung und Problemstellung	12
2.1. Verkehrssituation 2011	12
2.2. Entwicklungspläne der Bundesregierung zur Fahrrad- und Elektromobilität	13
2.2.1. Erster Fahrradbericht der Bundesregierung (1998)	14
2.2.2. Nationaler Radverkehrsplan 2002 - 2012 (2002)	14
2.2.3. Zweiter Fahrradbericht der Bundesregierung (2007)	14
2.2.4. Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung (2009)	15
2.2.5. Zweiter Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (2011)	15
2.2.6. Dritter Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (2012)	15
2.2.7. Nationaler Radverkehrsplan 2012 - 2020 (2012)	16
2.3. Gesamtziel des Projekts	16
2.3.1. Beitrag des Projekts zur Umsetzung des Nationalen Radverkehrsplans	16
2.3.2. Beitrag des Projekts zur Umsetzung der Ziele der Nationalen Plattform Elektromobilität	17
3. Forschungsstand	18
3.1. Verkehrsmittelvergleich in Bremen (PendlerTest ADAC und Radio Bremen)	18
3.2. Techniker Krankenkasse Gesundheitsreport 2012	18
3.3. Fehlzeiten-Report 2012	18
3.4. Niederländische Studie zu den gesundheitlichen Folgen des Fahrradfahrens	19
3.5. inmod Forschungsvorhaben der Hochschule Wismar	19
4. Fragestellungen des Projekts	20
4.1. Einzelfragestellungen für den Versuch	20
4.1.1. Wie kann man am schnellsten, günstigsten, energieeffizient oder ökologisch pendeln?	20
4.1.2. Wie wirkt sich die Wahl des Verkehrsmittels auf die Gesundheit der PendlerInnen aus?	20
4.1.3. Bringt die eMobilität Vorteile im Vergleich zu den konventionell angetriebenen Fahrzeugen?	21
4.2. Schnittmengen-Fragestellungen	21
Die zeit- und komfortbewussten PendlerInnen	21
Die umwelt- und gesundheitsbewussten PendlerInnen	21
Die kostenbewussten PendlerInnen	21
Die Stadt- und Verkehrsplaner	21

5. Projektkonsortium	23
6. Versuchsaufbau.....	24
6.1. Verkehrsmittel	24
6.1.1. Konventioneller Pkw	25
6.1.2. Elektrischer Pkw.....	26
6.1.3. Konventioneller Roller.....	27
6.1.4. Elektrischer Roller	27
6.1.5. Fahrrad	28
6.1.6. Pedelec	28
6.1.7. ÖPNV und Laufen	29
6.1.8. ÖPNV und Faltrad	30
6.2. TeilnehmerInnen.....	30
6.2.1. Beschreibung der TeilnehmerInnen.....	30
6.2.2. Verkehrsmittelerfahrungen	31
6.2.3. Fahrsicherheit	32
6.2.4. Körperliche Fitness	32
6.2.5. Alter	34
6.2.6. Geschlecht.....	34
6.3. Technisches Equipment / Messgeräte	34
6.3.1. GPS-Logger	35
6.3.2. SmartBänder	35
6.3.3. Strommessgeräte	35
6.3.4. Bordcomputer Pkw.....	36
6.3.5. Zapfsäule der Tankstelle	36
6.3.6. Kameras.....	36
6.4. Parameter	37
6.4.1. Fahrzeit.....	37
6.4.2. Geschwindigkeit.....	38
6.4.3. Kosten.....	39
6.4.4. Bewegung.....	43
6.4.5. Stress	44
6.4.6. Streckenlänge	45
6.4.7. Energieverbrauch.....	46
6.4.8. CO ₂ -Ausstoß	47
6.5. Durchführung des Versuchs.....	48

6.5.1.	Allgemeine Informationen zur Durchführung	48
6.5.2.	Beschreibung der Fahrzeiten und Streckenführung	48
6.5.3.	Beschreibung des täglichen Versuchsablaufs.....	52
6.5.4.	Phasenabgrenzung	53
6.5.5.	Rotationssystem	54
6.5.6.	Nachbereitung	54
7.	Auswertung der Versuchsdaten.....	55
7.1.	Beschreibung der statistischen Auswertung.....	55
7.2.	Statistische Auswertung am Beispiel der Fahrzeit.....	56
8.	Ergebnisse	62
8.1.	Motorisierter Individualverkehr (MIV).....	62
8.1.1.	Pkw	62
8.1.2.	Roller.....	65
8.1.3.	Fazit MIV.....	66
8.2.	Fahrrad und Pedelec	67
8.3.	Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)	69
9.	Profilanalyse für Verkehrsmittel-Rankings	71
9.1.	Rankings der Verkehrsmittel.....	71
9.2.	Charakterisierung der Pendlertypen und Gewichtung der Parameter.....	72
9.2.1.	Pendlertyp: Der Umwelt- und Gesundheitsbewusste	73
9.2.2.	Pendlertyp: Der Zeit- und Komfortbewusste	73
9.2.3.	Pendlertyp: Der Kostenorientierte	74
9.2.4.	Der Stadt- und Verkehrsplaner.....	74
9.3.	Ergebnisse Profilauswertung	75
9.3.1.	Ranking aus Sicht des umwelt- und gesundheitsbewussten Pendlers.....	75
9.3.2.	Ranking aus Sicht des zeit- und komfortbewussten Pendlers.....	76
9.3.3.	Ranking aus Sicht des kostenorientierten Pendlers.....	76
9.3.4.	Ranking aus Sicht des Stadt- und Verkehrsplaners.....	77
9.4.	Fazit Pendlertypauswertungen und Interessen der Stadtplanung	78
9.5.	Auswertung von weiteren Einzelfragestellungen	79
9.5.1.	Auf welchem Verkehrsmittel hatten die individuellen Testpersonen am meisten Stress und auf welchem am wenigsten?.....	79
9.5.2.	Gab es eine Differenz zwischen der subjektiv empfundenen Stressbelastung und den Stressmessungen der SmartBänder?	80
9.5.3.	Wie ist die Geschwindigkeitsverteilung der verschiedenen Verkehrsmittel?	83

9.5.4.	Wie viel Zeit verbrachten die Pendler wartend und fahrend?.....	92
9.5.5.	Wie verteilt sich die zurückgelegte Strecke und benötigte Zeit auf die verschiedenen Mobilitätsarten?	93
9.5.6.	Wie viele Schritttäquivalente entfallen auf die Fahrt und den Fußweg?	96
9.5.7.	Wie konnte die Pendlerfahrt mit dem Fahrrad fast zeitgleich der mit dem fossilen Pkw sein?.....	98
9.5.8.	Wie setzen sich die Vollkosten bei den Verkehrsmitteln zusammen?.....	99
9.5.9.	Wie verändern sich die absoluten Kosten bei unterschiedlichen Entfernungen?.....	103
9.5.10.	Wie fällt der Kostenvergleich bei unterschiedlichen Kraftstoffkosten und -verbräuchen sowie Anschaffungskosten aus?	104
9.5.11.	Wie hoch sind die verkehrsmittelspezifischen Kosten pro Kilometer?.....	107
9.6.	Multimediale Ergebnispräsentationen	109
9.6.1.	Projektfilm YouTube	109
9.6.2.	Personenfilme YouTube	110
10.	Danksagungen.....	111
11.	Literaturhinweise	112
12.	Anlagen	117
12.1.	Statistik der Auswertung.....	117
12.1.1.	Grundlegende Begriffe der Statistik.....	117
12.1.2.	Prüfung auf Normalverteilung (Anderson-Darling-Test).....	120
12.1.3.	Nichtparametrisches Testverfahren (Kruskal-Wallis-Test).....	122
12.1.4.	Visuelle Darstellung der Verteilung (Boxplot)	123
12.1.5.	Diagramme zur Beschreibung der Ergebnisse	123
12.1.6.	Ranking der Verkehrsmittel.....	124
12.2.	Auswertung der einzelnen Parameter	124
12.2.1.	Fahrzeit von Tür zu Tür	124
12.2.2.	Geschwindigkeit	124
12.2.3.	Kosten	133
12.2.4.	Bewegung von Tür zu Tür	137
12.2.5.	Stress	142
12.2.6.	Streckenlänge von Tür zu Tür	150
12.2.7.	Energieverbrauch.....	154
12.2.8.	CO ₂ -Ausstoß.....	158
12.3.	Ungewichtetes Gesamtergebnis der wichtigsten Parameter	164
12.4.	Handout Verkehrsregeln für Fahrrad und Pedelec.....	164
12.5.	Handout für das technische Equipment	166

12.6. Fragebogen 1: Verkehrsmittelerfahrungen und Fitness.....	167
12.7. Fragebogen 2: Gesundheit.....	172
12.8. Ergebnistabellen	180
12.8.1. Zeit.....	180
12.8.2. Geschwindigkeit	181
12.8.3. Kosten	183
12.8.4. Körperliche Bewegung.....	184
12.8.5. Stress	185
12.8.6. Strecke.....	187
12.8.7. Energieverbrauch	188
12.8.8. CO ₂ -Ausstoß.....	189
12.9. Handouts für die empfohlene Streckenführung.....	190
12.9.1. Fahrrad und Pedelec (Feldweg)	190
12.9.2. Fahrrad und Pedelec (Straßenweg)	191
12.9.3. Faltrad in Kombination mit ÖPNV.....	192
12.9.4. ÖPNV + Laufen / ÖPNV + Faltrad bei schlechtem Wetter.....	193
12.9.5. Motorroller und Pkw.....	198
12.10. Fragebogen Tageserfahrung	200
13. Liste der verwendeten Abkürzungen.....	201
14. Abbildungsverzeichnis	202
15. Tabellenverzeichnis	205
16. Vollständiges Inhaltsverzeichnis	206

1. Management Summary

Das Fahrrad und das Pedelec sind für Nahbereichs-Pendler die Fahrzeuge der ersten Wahl. Im Schweriner Versuch zeigten sie sowohl bei jedem Pendlerprofil aus auch für die Verkehrs- und Stadtplanung die besten Ergebnisse.

An zehn Werktagen wurden in Schwerin acht verschiedene Verkehrsmittel im Wechsel von zehn Probanden als Pendler im morgendlichen und abendlichen Berufsverkehr für die zwischen 6,5 - 8 km lange Fahrt vom Wohn- zum Arbeitsort genutzt. Untersucht wurden ein elektrischer und ein konventioneller Pkw, ein elektrischer und ein konventioneller Roller, ein Pedelec, ein Fahrrad und zwei ÖPNV-Kombinationen (Laufen von und zur Haltestelle sowie Fahren mit dem Faltrad). Für die multidimensionale Analyse und Bewertung der Verkehrsmittel wurden mithilfe von technischem Equipment wie GPS-Loggern, Kameras und SmartBändern Daten für acht Parameter erhoben: Fahrzeit, Geschwindigkeit und Kosten zur Bewertung der zeitlich-monetären Dimension sowie Bewegung und Stressbelastung als Parameter der persönlichen Dimension. Die gesellschaftliche Dimension, die die Auswirkungen der Mobilität auf unsere Umwelt aufzeigt, wurde durch die Streckenlänge, den Energieverbrauch und den CO₂-Ausstoß einbezogen.

Die Auswertung auf Basis der Parameter erfolgte in den Perspektiven von drei verschiedenen Pendlertypen: die Umwelt- und Gesundheitsbewussten, die Zeit- und Komfortbewussten sowie die Kostenorientierten. Zudem wurde eine Auswertung aus der Perspektive der Stadt- und Verkehrsplanung erstellt.

Pendlerempfehlungen

Die folgenden Empfehlungen für die Pendlertypen beziehen sich unmittelbar auf die konkrete Fahrstrecke in Schwerin. Als Orientierungshilfe sind diese aber - unter Berücksichtigung der individuellen Streckenverhältnisse an anderen Orten- auch auf andere Pendlerstrecken übertragbar.

Die nachfolgende Tabelle stellt das Ergebnis auf Basis der gemessenen Parameter dar, sowohl ungewichtet als auch gemäß den Gewichtungen für die vier Profile (Abb. 1).

Profil Platz	Ungewichtetes Ergebnis	Umwelt & Gesundheit	Zeit & Komfort	Kosten	Stadtplanung
1	Fahrrad	Fahrrad	Pedelec	Fahrrad	Fahrrad
2	Pedelec	Pedelec	Fahrrad	Pedelec	Pedelec
3	Roller elektrisch	ÖPNV + Faltrad	Roller elektrisch	ÖPNV + Faltrad	Roller elektrisch
4	ÖPNV + Faltrad	ÖPNV + Laufen	Pkw fossil	Roller elektrisch	ÖPNV + Faltrad
5	ÖPNV + Laufen	Roller elektrisch	ÖPNV + Faltrad	ÖPNV + Laufen	ÖPNV + Laufen
6	Pkw fossil	Pkw fossil	Roller fossil	Pkw fossil	Pkw fossil
7	Pkw elektrisch	Pkw elektrisch	Pkw elektrisch	Roller fossil	Roller fossil
8	Roller fossil	Roller fossil	ÖPNV + Laufen	Pkw elektrisch	Pkw elektrisch

Abb. 1: Verkehrsmittlempfehlungen für die Pendlertypen mit verschiedenen Parametergewichtungen

Für alle Pendlertypen - unabhängig von der konkreten Gewichtung der Faktoren Zeit, Kosten, Komfort, Fitness oder Umwelt - waren das Fahrrad oder das Pedelec am besten geeignet.

net. Wird der Fokus auf die Umwelt und die eigene Gesundheit sowie die Kosten gelegt, ist das Fahrrad zu bevorzugen (Abb. 1). Stehen die Zeit und der Komfort im Vordergrund, so empfiehlt sich das Pendeln mit dem Pedelec. Aus verkehrs- und stadtplanerischer Sicht sind beide Verkehrsmittel sehr gut geeignet. Bei der Priorisierung sind jedoch auch Faktoren, die über die gemessenen Parameter hinausgehen, zu beachten, wozu im Wesentlichen das Bedürfnis nach Witterungsschutz, eine höhere Transportkapazität und die Privatsphäre zu zählen sind. Wem diese Faktoren wichtig sind, erreicht durch einen bewussten Wechsel auf den ÖPNV oder den Pkw an Schlechtwettertagen die höchstmögliche Effizienz. Dadurch werden nicht nur der Energieverbrauch, der CO₂-Ausstoß und das Verkehrsaufkommen, sondern - trotz der zusätzlichen Investitions- und Unterhaltskosten für das Zweirad - die Vollkosten für die Fahrt zum Arbeitsplatz gesenkt. Für den Individualverkehr ist der elektrische Roller aufgrund der geringen Kosten, seiner hohen Umweltverträglichkeit und kurzen Fahrzeit zu empfehlen.

Ergebnisse des Versuchs nach Verkehrsmitteln

Das **Fahrrad und das Pedelec** grenzen sich deutlich von den anderen Verkehrsmitteln ab. Das Pedelec benötigte - trotz seiner geringen Motorisierung - zusammen mit den Rollern die geringste Fahrzeit. Das Fahrrad hat als einziges Verkehrsmittel keinen Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß. Am meisten Bewegung hatten die PendlerInnen mit dem Fahrrad, das Pedelec folgte an zweiter Stelle. Berücksichtigt man die zeitlichen Einsparungen durch den möglichen Wegfall anderer sportlicher Betätigungen, so fällt der zeitliche Vorteil von Pedelec und Fahrrad noch höher aus. Dank des geringsten Anschaffungspreises (im Versuch mit 1.000 € nicht am unteren Preisrand angesiedelt) und den geringsten Betriebskosten (keine Kraftstoffkosten) von 0,07 € pro Kilometer war das Fahrrad das günstigste Verkehrsmittel, gefolgt vom Pedelec mit 0,12 € pro Kilometer als günstigstes "motorisiertes" Verkehrsmittel. Der elektrische Pkw (0,51 € pro km) war über 700 % teurer als das Fahrrad und über 400 % teurer als das Pedelec. Die geringste Stressbelastung des Versuchs hatten die PendlerInnen – trotz wechselhaften Wetterverhältnissen im April - auf dem Pedelec. Die Stressbelastung auf dem Fahrrad rangierte im Mittelfeld. Die unterschiedliche körperliche Fitness der Probanden wirkte sich beim Pedelec nicht signifikant auf die Fahrzeit aus.

Mit dem **ÖPNV** benötigten die TeilnehmerInnen während des Versuchs die längste Zeit von allen Verkehrsmitteln für die Strecke von der Wohnung zum Arbeitsplatz. Bezüglich der Kosten sind die ÖPNV-Kombinationen im mittleren Bereich des Vergleichs angesiedelt. Sie sind zwar teurer als das Fahrrad und das Pedelec, jedoch deutlich günstiger als Roller und Pkw. Die Stressbelastung bei beiden Kombinationen war fast identisch und bewegte sich im Vergleich zu den anderen Verkehrsmitteln im Mittelfeld. Anfänglicher Stress bei der Kombination aus ÖPNV und Faltrad legte sich während der Fahrt schnell und fiel auf das Niveau des zu Fuß gehenden ÖPNV-Nutzers.

Die Bequemlichkeit und zeitliche Effizienz des ÖPNV hängt stark von den örtlichen Gegebenheiten und den verfügbaren Verbindungen, der Taktung und den notwendigen Umstiegen ab. Insbesondere letzteres hat einen hohen Einfluss auf die zeitliche Attraktivität des ÖPNV.. Auf Langstrecken stellt der öffentliche Verkehr die umweltfreundlichste Art der Mobilität dar. In den meisten Parametern stellte der ÖPNV ein gutes Mittelmaß dar, jedoch sollte ein besonderer Vorteil nicht vergessen werden: der ÖPNV ist ein passives Verkehrsmittel. Die PendlerInnen müssen nicht selbst fahren und können die Fahrzeit nutzenstiftend verbringen, sei es für Freizeit- und Geschäftslektüre, oder sei es einfach zur Entspannung.

Der elektrische **Roller** schnitt in jedem Parameter gleich oder besser ab als sein fossiles Pendant. Beide Roller waren in der Fahrzeit und der mittleren Geschwindigkeit von Tür zu Tür erstplatziert. Die im Vergleich zu den Pkw einfache Parkplatzsuche minimierte den Zeitbedarf für die Pendlerstrecke deutlich. Vermutlich aufgrund der starken Geräusch- und Vibrationsentwicklung des fossilen Rollers mit seinem 2-Takt-Motor hatte dieser den zweithöchsten Stresswert im Versuch. Mit den Rollern hatten die TeilnehmerInnen die geringste Bewegung aller Verkehrsmittel, weil dieser direkt neben dem Gebäude abgestellt werden konnte. Eine ausreichende Bewegung ist jedoch für das geistige und körperliche Wohlbefinden unerlässlich, so dass das Fahrrad in dieser Kategorie mit 200 % mehr Bewegung deutlich besser abschnitt. Der höhere Anschaffungspreis des elektrischen Rollers und die einkalkulierten Kosten eines Ersatzakkus amortisieren sich schnell durch die geringeren Kosten für Wartung, Reparatur und Inspektion sowie den deutlich geringeren Verbrauch an Energie. In der Kategorie des hochmotorisierten Individualverkehrs ist der elektrische Roller aus rationaler Sicht am besten zum Pendeln geeignet.

Die **Pkw** waren die teuersten Verkehrsmittel mit dem höchsten Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß. In Abhängigkeit von den Kraftstoffverbräuchen sowie Anschaffungs- und Kraftstoffkosten ist der elektrische Pkw bei einer jährlichen Laufleistung von 8.500 bis 17.000 Kilometern wirtschaftlicher als das fossile Pendant. Durch die erforderliche Eingewöhnung an die veränderte Handhabung des elektrischen Pkw wiesen die PendlerInnen in diesem Verkehrsmittel die höchsten Stresswerte des Versuchs auf. Wer mit einem fossilen Pkw pendelt, ist langsamer als mit einem Pedelec, emittiert dabei fast 3.000 % mehr CO₂ und verbraucht über 6.400 % mehr Energie. Die Pkw bieten dafür Vorteile wie Witterungsschutz und eine Privatsphäre. Bei längerfristiger Nutzung schneidet der elektrische Pkw nicht nur energetisch und umwelttechnisch sondern auch in der Stressbelastung besser ab als der fossile Pkw. Die Vollkosten- und Energieeffizienzvorteile des elektrischen im Vergleich zum fossilen Pkw fehlen in der öffentlichen Diskussion um Elektromobilität bis heute völlig. Mit der Zunahme des Anteils regenerativer Energie im deutschen Strommix oder bei Verwendung von Solarstrom aus dem eigenen Solarcarport lassen sich die Emissionsvorteile des elektrischen Pkw auch in der "Well-to-Wheel"-Betrachtung bis nahe der CO₂-Neutralität verbessern.

2. Einleitung und Problemstellung

2.1. Verkehrssituation 2011

Die Anzahl an Kraftfahrzeugen wächst stetig in Deutschland, 2010 lag der Bestand bei 50,2 Mio. Kraftfahrzeugen, 974.944 davon in Mecklenburg-Vorpommern. In dem gleichen Jahr wurden 2,244 Mrd. Menschen auf 46,917 Mrd. Personen-Kilometern transportiert. Gleichzeitig wurden im Personenfernverkehr 126 Mio. Menschen auf 36,116 Mrd. Personen-Kilometern transportiert (Statistisches Bundesamt, 2011). Die Pkw-Neuzulassungen nahmen 2011 um 8,8 % zu (Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel GmbH, 2012).



¹⁾ Stand Feb. 2012 | ²⁾ Prognosen auf halbe Prozentpunkte gerundet; Stand Feb. 2012

Abb. 2: Entwicklung der Verkehrsleistung 2007 – 2012 (Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel GmbH, 2012)

Abb. 2 zeigt die Entwicklung der Verkehrsleistung in den Jahren 2007 bis 2012. Insgesamt lässt sich ein stabiles Wachstum beobachten, jedoch ist die Verteilung dieses Zuwachses sehr ungleich zwischen den verschiedenen Mobilitätsarten aufgeteilt. Der Schienenpersonenverkehr (Schiene) wuchs über den Zeitraum von 2007 bis 2012 am meisten. Der ÖPNV (ÖSPV) schrumpft aufgrund des sinkenden Schüler- und Auszubildendenverkehrs. Im Jahr 2011 stabilisierte sich die Verkehrsleistung durch die Freigabe des Fernlinienbusverkehrs. Nur noch moderate Wachstumsraten zeigte der motorisierte Individualverkehr (MIV), Hauptfaktor dafür waren die hohen Kraftstoffpreise der letzten Jahre. Der innerdeutsche Flugverkehr konnte von einer guten konjunkturellen Lage profitieren, gleichzeitig dämpfte sich das Wachstum durch die 2011 eingeführte Luftverkehrssteuer. Für das Jahr 2010 wurden keine absoluten Werte aufgenommen, da es eine verfahrenstechnische Anpassung bei der Datenaufbereitung des Innovationszentrums für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel gab. Die Veränderungsdaten des Flugverkehrs basieren auf Schätzungen (Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel GmbH, 2012).

Sozioökonomische Faktoren des Jahres 2011

Der Personenverkehr wuchs 2011 um ca. 1,3 % (Abb. 2). Bei der Betrachtung der wichtigen sozioökonomischen Faktoren für den Personenverkehr fällt ein durchgehend positiver Trend auf. Im Vergleich zum Vorjahr nahm die Bevölkerungszahl in Deutschland durch Einwande-

rungsgewinne leicht zu, die Erwerbstätigenzahl stieg um 1,3 %, die nominalen Einkommen der privaten Haushalte stiegen um 3,3 %, die privaten Konsumausgaben stiegen um 1,5 % und die Sparquote sank um 0,4 %. Die Preisindikatoren jedoch zeigen einen eher negativen Trend, insgesamt stiegen die Verbraucherpreise 2011 im Vergleich zum Vorjahr um 2,3 %. AutofahrerInnen wurden besonders durch stark steigende Kraftstoffkosten belastet. Die Preise für Kraftstoffe stiegen 2011 um durchschnittlich 11 %, wobei Diesel mit 15,5 % den höchsten Preisanstieg hatte. Auch die Verkehrsdienstleistungen wurden 2011 moderat teurer: ÖPNV um 0,8 %, der Schienen-Fernverkehr um 0,3 % und der Schienenpersonennahverkehr um 2,5 %. Anfang 2012 fielen die Preiserhöhungen im Bereich der Mobilität jedoch deutlich höher aus. Die Preise des ÖPNV stiegen um 2,1 %, des Schienen-Fernverkehrs um 4,1 % und des Schienenpersonennahverkehrs um 3,3 %. Zeitgleich erhöhten sich die Preise für Kraftstoffe durchschnittlich um 6,4 %, wobei wieder Diesel mit 9,1 % den höchsten Preisanstieg verzeichnete (Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel GmbH, 2012).

Demographischer Wandel und Urbanisierung

Die Bertelsmann Stiftung hat in ihrer letzten Studie zur demographischen Entwicklung nicht nur dargestellt, wie sehr sich unsere Gesellschaft in den nächsten Jahrzehnten durch den Alterungsprozess der Bevölkerung verändern wird. Sie verdeutlichte darüber hinaus in anschaulicher Kartendarstellung die Verschiebungen in der Bevölkerungsdichte mit einer starken Abnahme im ländlichen Raum und den meisten Kleinstädten, bei gleichzeitig wachsenden Einwohnerzahlen in den Ballungsräumen Köln, Hamburg, Berlin, Leipzig, Dresden sowie in den meisten Regionen Bayerns und Baden-Württembergs (Bertelsmann Stiftung, 2008).

Die fortschreitende Urbanisierung wird die Mobilität - ohne eine gleichzeitige Verschiebung des Modal Splits - sowohl im schrumpfenden ländlichen und kleinstädtischen Raum als auch im wachsenden Ballungsraum verändern: Auf dem Land verringert sich aufgrund des Nachfragerückgangs das ÖPNV-Angebot, damit wird die Bedeutung des Individualverkehrs zunehmen; im Ballungsraum wächst der Mobilitätsbedarf mit der Folge weiter steigenden Verkehrsaufkommens insbesondere in den Hauptverkehrszeiten.

Gesundheit

In jüngster Zeit findet das Thema Mobilität verstärkt Beachtung bei den Krankenkassen. Sowohl die Techniker Krankenkasse als auch die AOK stellen in aktuellen Veröffentlichungen Zusammenhänge zwischen beruflich erforderlicher Mobilität und Krankenstand - insbesondere aufgrund psychosomatischer Erkrankungen - fest (Grobe, T. im Auftrag der Techniker Krankenkasse, 2012). Der Report der AOK zeigt einen deutlichen und negativen Einfluss von übermäßigem Pendeln auf die Arbeitsbelastung, Zufriedenheit und psychische Gesundheit von Beschäftigten (Zok & Dammasch, 2012).

2.2. Entwicklungspläne der Bundesregierung zur Fahrrad- und Elektromobilität

Die nachfolgende Zusammenstellung der staatlichen Aktivitäten zur Förderung des Radverkehrs sowie der Elektromobilität sind chronologisch nach Veröffentlichungsdatum geordnet.

2.2.1. Erster Fahrradbericht der Bundesregierung (1998)

Der Deutsche Bundestag beschloss im April 1994, dass in regelmäßigen Abständen Berichte mit einer Bestandsaufnahme zur Situation des Fahrradverkehrs in Deutschland erscheinen sollen.

Der Erste Fahrradbericht der Bundesregierung von 1998 stellt fest, dass für eine bedeutendere Rolle des Fahrrads in der Mobilität dieses in der Lage sein muss, mit anderen Verkehrsmitteln konkurrieren zu können. Dies betrifft nicht nur Kosten, sondern auch Zeit, Sicherheit und Komfort. Erforderlich dafür ist ein Ausbau der Infrastruktur, die den Anforderungen aller NutzerInnen gerecht wird. Um potentiell umsteigebereite Verkehrsteilnehmer für das Fahrrad zu begeistern, muss das Radverkehrssystem einen vergleichbar hohen Standard wie der Autoverkehr haben. Ein hohes Komfort- und Qualitätsniveau wird neben der Infrastruktur auch durch ein dichtes Reparatur- und Wartungsnetz sowie eine gute Öffentlichkeitsarbeit und Beratung ermöglicht. Der Radverkehr muss als System verstanden werden, statt nur den Ausbau von Fahrradwegen zu sehen. Eine ressortübergreifende Arbeit kann den Anteil der mit dem Fahrrad zurückgelegten Strecken erhöhen (BMVBS, 1998).

2.2.2. Nationaler Radverkehrsplan 2002 - 2012 (2002)

Ziel des Nationalen Radverkehrsplans 2002 - 2012 ist es, das Entwicklungspotential des Fahrrads als Teil eines auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Verkehrssystems zu nutzen. Das Potential betrifft vielfältige Bereiche aus Verkehr, Umwelt, Gesundheit und Wirtschaft. Der Nationale Radverkehrsplan enthält Maßnahmen, Vorschläge und Vorhaben zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für Fahrräder als Verkehrsmittel. Die Hauptverantwortung für die Förderung des Fahrradverkehrs liegt bei den Ländern und Kommunen. Eine stärkere Nutzung des Fahrrads kann nach Auffassung der Bundesregierung nicht erzwungen werden. Die Bevölkerung muss sensibilisiert und die Verbesserung der Rahmenbedingungen für den Fahrradverkehr vorangetrieben werden. Einige generelle Ziele des Plans sind die Steigerung des Radverkehrsanteils in Deutschland, die Verbesserung der Verkehrssicherheit und die Förderung der Nahmobilität nach dem Leitbild „Stadt der kurzen Wege“. Konkrete Maßnahmen zur Erreichung der Ziele waren die Verdopplung der Haushaltsmittel für Fahrradwege im Bundeshaushalt 2002, eine Kampagne für mehr Verkehrssicherheit und die Durchführung von Forschungsvorhaben. Des Weiteren wurde eine Internet-Plattform „Dialog Nationaler Radverkehrsplan“ für BürgerInnen erstellt. Der Nationale Radverkehrsplan soll eine Basis für einen breiten gesellschaftlichen Dialog über die Radverkehrsförderung bieten und Handlungsempfehlungen geben (BMVBS, 2002).

2.2.3. Zweiter Fahrradbericht der Bundesregierung (2007)

Mit dem Zweiten Fahrradbericht der Bundesregierung von 2007 erfolgt eine Aktualisierung und Fortschreibung des Ersten Fahrradberichts. Des Weiteren findet eine Darstellung und Bewertung der Umsetzung des Nationalen Radverkehrsplanes statt. Die Entwicklung des Radverkehrs seit den 1990er Jahren wurde bewertet und Handlungsempfehlungen zur Beseitigung von Defiziten bei der Förderung des Radverkehrs wurden ausgesprochen.

Die Betrachtungsweise des Fahrradverkehrs als System aus Infrastruktur, Öffentlichkeitsarbeit und Service als Reaktion auf den Ersten Fahrradbericht hat sich weiter verbreitet. Der Bund hat organisatorische Strukturen zur Förderung des Radverkehrs geschaffen, beispielsweise den Beirat Radverkehr und den Bund-Länder-Arbeitskreis Radverkehr ins Leben

gerufen. Die Länder sind durch ihre gesteigerten Aktivitäten zur Förderung des Radverkehrs seit Mitte der 90er Jahre zu wichtigen Akteuren geworden. Einzelne Länder haben umfassende verkehrspolitische Programme und Konzepte aufgestellt. Viele Kommunen haben Radverkehrskonzepte aufgestellt und sind die wichtigsten Akteure zur Realisierung von Maßnahmen, die unmittelbar an den Nutzer adressiert sind.

Grundlegend gibt es jedoch oft noch keine Abstimmung der Gesamtverkehrskonzepte und der Stadtplanung auf die Fahrradförderung. Es dominieren Einzelmaßnahmen beim Engagement für eine verbesserte Situation von FahrradfahrerInnen. Geringe finanzielle Ressourcen stellen ein wesentliches Umsetzungshemmnis dar. Weiter werden von EntscheidungsträgerInnen die Potentiale des Fahrradverkehrs zur Entlastung der Städte, als Wirtschaftsfaktor und für die Gesundheitsvorsorge vielfach unterschätzt. Dementsprechend wird der Radverkehr in Abwägungsprozessen oft hinter anderen Belangen zurück gestellt (Planungsgemeinschaft Verkehr und plan&rat im Auftrag von BMVBS, 2007).

2.2.4. Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung (2009)

Mit der Elektrifizierung der Antriebe soll unsere Mobilität unabhängiger vom Öl werden, sich besser in ein multimodales Verkehrssystem integrieren und die Emissionen minimieren. Laut Bundesregierung muss Deutschland zum Leitmarkt Elektromobilität werden, um im internationalen Wettbewerb von Automobilindustrie und Forschung bestehen zu können. Durch den Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität soll die Forschung und Entwicklung, die Marktvorbereitung und die Markteinführung der Elektromobilität unterstützt werden. Ziel der Bundesregierung ist es, das bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen fahren. Für eine breite Markteinführung müssen sich die Alltagstauglichkeit und die Kostenstrukturen der Elektro-Fahrzeuge verbessern. Die Bundesregierung möchte ihren Beitrag leisten und die Marktvorbereitung und -einführung unterstützen (Bundesregierung, 2009).

2.2.5. Zweiter Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (2011)

Deutschland soll bis 2020 zum Leitanbieter und zum Leitmarkt für Elektromobilität entwickelt werden. Bis Ende 2014 soll die Marktvorbereitungsphase abgeschlossen und bis 2020 der Massenmarkt für Elektromobilität erreicht sein. Neben Investitionen der deutschen Industrie in die Forschung und Entwicklung der Elektromobilität bedarf es politischer Unterstützung, „um Planungssicherheit für Hersteller und Nutzer zu gewährleisten“. Weiter soll die Phase des Marktaufbaus für Fahrzeuge und Infrastruktur sowie die Anwendung innovativer Technologien in Schaufenstern gefördert werden. Unterstützend sollen Förderprogramme, intermodale Dienstleistungen, die Qualifizierung von Fachkräften und eine globale Ausrichtung der Normungen wirken. Modellregionen für Elektromobilität sollen Ressourcen bündeln und interdisziplinäre Lösungsansätze fördern. Die Akzeptanz der neuen Technologie soll unter anderem durch Anreizmaßnahmen gefördert werden. (Nationale Plattform Elektromobilität, 2011).

2.2.6. Dritter Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (2012)

In der Zeit zwischen dem Erscheinen des zweiten und dritten Fortschrittsberichts der Nationalen Plattform Elektromobilität wurde intensiv an der Umsetzung der Empfehlungen aus dem zweiten Fortschrittsbericht gearbeitet. Die Strategien der Förderung von Forschung und Entwicklung, Investitionen der Industrie sowie die Einrichtung von Modellregionen haben in

der Marktvorbereitungsphase Erfolge gebracht. Bis 2014 sollen über 15 neue elektrifizierte Fahrzeugmodelle deutscher Autohersteller erhältlich sein. Mit dem Regierungsprogramm Elektromobilität von 2011 arbeitet die Bundesregierung an der Umsetzung der wesentlichen Empfehlungen für die Steigerung der Attraktivität der Elektromobilität. Vier Schaufenster der Elektromobilität in Deutschland wurden gefördert. Weiter wird ein systemischer Ansatz, - zum Beispiel zur Verbindung der Systeme Verkehr und Energie - angestrebt (Nationale Plattform Elektromobilität, 2012).

2.2.7. Nationaler Radverkehrsplan 2012 - 2020 (2012)

In den vergangenen 10 Jahren – der Laufzeit des NRVP 2012 - investierte der Bund rund 877 Millionen € in den Bau und Erhalt von Fahrradwegen an Bundesstraßen (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2012). Vor allem in den Ländern und Kommunen hat sich das Bewusstsein für den Radverkehr gefestigt. Deutschlandweit hat es eine Steigerung des Radverkehrsanteils gegeben: in „Vorreiter“-Kommunen hat der Radverkehr durch umfangreiche Maßnahmen bereits einen Verkehrsanteil von über 25 % (BMVBS, 2012). Bundesweit stieg der Anteil der Wege, die mit dem Fahrrad zurückgelegt wurden, zwischen 2002 und 2008 um 17 % (infas Institut GmbH und DLR im Auftrag des BMVBS, 2008). Diese Steigerung konnte unter anderem mithilfe eines verbesserten Service z.B. durch Fahrradschlauchautomaten, mobile Navigationssysteme und Niederschlagsradare sowie Lademöglichkeiten für Pedelecs erzielt werden (BMVBS, 2012).

Der zum Zeitpunkt der Berichtserstellung im Entwurf vorliegende NRVP 2012 - 2020 soll zur Stärkung des Fahrradverkehrs und im Gesamtsystem als Moderator, Koordinator und Impulsgeber beitragen. Schwerpunkte bestehen in der Verbesserung der Verkehrssicherheit, der Breitenwirkung der Radverkehrsförderung und der verstärkten Einbeziehung der Elektromobilität. Fahrräder sind bereits ein wichtigen Bestandteil in der urbanen Mobilität, nun soll der Radverkehr auch im ländlichen Raum durch gezielte Maßnahmen gefördert werden. Eine Maßnahme ist die Förderung der inter- und multimodalen Verkehrsmittelnutzung. Der Fahrradverkehr soll zu einer nachhaltigen Mobilität sowie zur Steigerung der Attraktivität der Städte und Gemeinden beitragen (BMVBS, 2012).

2.3. Gesamtziel des Projekts

Das Potential für den Umstieg vom Auto auf das Fahrrad bzw. Pedelec liegt im Einsatzbereich von bis zu 10 km. In diesem Pendlerbereich liegt das wesentliche Potential zur Steigerung des Radverkehrsanteils insgesamt. Zur Verdeutlichung: „50 % aller Autofahrten sind kürzer als 6 Kilometer, 5 % enden sogar schon nach weniger als einem Kilometer“ (Verkehrsclub Deutschland e.V., 2012).

Es fehlen jedoch wesentliche wissenschaftliche Daten zum Pendlerverkehr, zu den Vor- und Nachteilen der dabei zur Anwendung kommenden Verkehrsmittel für den Einzelnen und für die Gemeinschaft. Das Gesamtziel des Projekts ist die Untersuchung der Frage, welches Fortbewegungsmittel im Pendlerverkehr in einer Schnittmengenbetrachtung die beste Wahl darstellt.

2.3.1. Beitrag des Projekts zur Umsetzung des Nationalen Radverkehrsplans

„Zu Fuß geht jeder Bundesbürger außer Haus im Schnitt pro Tag rund 600 Meter, Fahrrad fährt er täglich durchschnittlich einen Kilometer“, dabei sind „gut 41 % aller Wege zum Ar-

beitsplatz kürzer als fünf Kilometer“ (Verkehrsclub Deutschland e.V., 2012). Zur Absenkung des hohen Anteils von motorisierten PendlerInnen auf Kurzstrecken und damit zur Erreichung der Ziele der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie und der Klimaschutzziele können die Ergebnisse des Projekts einen wichtigen Beitrag leisten. Auch gesellschaftlich ist der Mobilitätswandel aufgrund von zukünftigen Herausforderungen wie dem hohen Verschuldungsgrad der Gemeinden, Länder und des Bundes, dem Klimawandel sowie direkte Auswirkungen des Verkehrs (z.B. Lautstärke, Luftverschmutzung und Flächenverbrauch) auf BürgerInnen mit hoher Priorität zu sehen (Brocchi, 2012).

Das Projekt greift die Aussage im Zweiten Fahrradbericht der Bundesregierung auf, dass das Fahrrad für seine vermehrte Nutzung als Null-Emissionsfahrzeug in einer „Stadt der kurzen Wege“ stärker in das Bewusstsein der Menschen gerückt und mehr in den Alltag integriert werden muss. Für eine erfolgreiche und beim Verkehrsteilnehmer nachhaltig wirkende Öffentlichkeitsarbeit werden umfassende Fakten zum Einpendlerverkehr und deren mediale Aufbereitung benötigt.

Beides lag für Deutschland nicht vor. Die vorliegende Untersuchung ermittelte allgemeingültig alle wesentlichen Umstände und Daten einer modernen, sozial- und umweltverträglichen Nahmobilität, bereitete sie vergleichend auf und macht sie für die Öffentlichkeitsarbeit nutzbar. Auf den individuellen Verkehrsteilnehmer bezogen zeigt die Untersuchung, dass die vom motorisierten Verkehr ausgehende Belastung für den Verkehrsteilnehmer reduziert und dennoch ein hohes persönliches Mobilitätsniveau verkehrseffizient erreicht werden kann.

Mit der Nutzbarkeit der Ergebnisse sowohl für den täglichen Berufspendlerverkehr als auch für den Wirtschafts- und Freizeitverkehr setzt das Projekt die Aussagen im Zweiten Fahrradbericht der Bundesregierung um. Die in diesem Versuch ermittelten und dokumentierten Daten

- zur Mobilität
- zur Gesundheit / Bewegung / Stress
- zu den Kosten der Mobilität für NutzerInnen
- zum Ressourcen- und Umweltverbrauch

stellen für die Diskussion und Argumentation zum Nationalen Radverkehrsplan 2012 - 2020 eine wesentliche Unterstützung dar.

2.3.2. Beitrag des Projekts zur Umsetzung der Ziele der Nationalen Plattform Elektromobilität

Die täglich von Berufspendlern zurückgelegten Entfernungen liegen in den meisten Fällen innerhalb der Reichweiten von Elektrofahrzeugen. Durch die Einbeziehung der elektrischen Varianten der für das Pendeln üblicherweise genutzten konventionellen Pkw, Motorroller und Fahrräder in den Versuchsaufbau kann das Projekt dazu beitragen, deren Alltagstauglichkeit anhand der in 2.3.1 genannten Daten zu analysieren und im Vergleich mit den konventionellen Fahrzeugen deren Vor- und Nachteile aufzeigen.

3. Forschungsstand

3.1. Verkehrsmittelvergleich in Bremen (Pendlerfest ADAC und Radio Bremen)

Der ADAC Weser-Ems e.V. und Radio Bremen untersuchten von November 2011 bis Januar 2012 die Erreichbarkeit der Bremer Innenstadt. Verglichen wurden die Parameter Zeit, Strecke, CO₂-Ausstoß und Kosten. Der Versuch hat die Erreichbarkeit der Bremer Innenstadt von 17 morgendlichen Start- bzw. nachmittäglichen Zielorten betrachtet. Die Orte wurden gemäß der ÖPNV-Anbindung, der Straßeninfrastruktur und der Entfernung zur Innenstadt in drei Zonen eingeteilt, die dann untereinander verglichen wurden. Pro Ort wurden sechs Fahrten durchgeführt. Als Ankunftszeit war für die Hinfahrt 08:00 – 08:30 Uhr vorgegeben, für die Rückfahrt 13:30 – 14:00 Uhr.

Die Sieger im Parameter Zeit war der ÖPNV (vorausgesetzt, es gab eine gute Anbindung) und der Pkw. Bei den Kosten schnitten der ÖPNV und das Fahrrad am besten ab. Das Fahrrad war darüber hinaus auch der Umweltsieger, da dies CO₂-frei fährt. Aus zeitlichen Gründen konnte das Fahrrad nur auf Pendlerstrecken unter acht Kilometern punkten, darüber hinaus war es zu langsam. In dem Versuch konnten Erkenntnisse über die ausschlaggebenden Gründe bei der Wahl des Verkehrsmittels gewonnen werden. Die Verkehrsmittelentscheidung basiert neben den Kosten, den Umweltauswirkungen und der Fahrzeit auch auf dem Sicherheitsbedürfnis der FahrerInnen, dem Bedürfnis nach Wahrung der Privatsphäre und dem Schutz vor Witterung (ADAC e.V. und Radio Bremen, 2012).

3.2. Techniker Krankenkasse Gesundheitsreport 2012

Der Gesundheitsreport beschäftigt sich im Schwerpunkt mit mobilitätsbedingten Belastungen und deren Auswirkungen auf die Gesundheit. In der dem Report zugrundeliegenden Studie wurden die gesundheitlichen Auswirkungen der Distanz zwischen Wohn- und Arbeitsort mit Daten aus dem Jahre 2009 und eines Wohn- bzw. Arbeitsortswechsel mit Daten des Zeitraums 2009 – 2011 untersucht. Berufstätige wurden als Pendler klassifiziert, wenn diese nicht im wohnhaften oder benachbarten Landkreis gearbeitet haben.

Durchschnittlich waren während der Untersuchung 45,1 % der TK-Versicherten Berufstätigen Pendler. Es konnten nur schwache Zusammenhänge zwischen der Länge der Pendlerstrecke und der Gesundheit bei geschlechts- und altersstandardisierten Auswertungen festgestellt werden. Tendenziell waren Pendler im Vergleich zu Nichtpendlern etwas häufiger und länger aufgrund psychischer Störungen, aber seltener aufgrund somatischer Erkrankungen krankgeschrieben. Pendler hatten insgesamt weniger Fehlzeiten. Diese sehr geringe Korrelation bildet keinen Widerspruch. Schwerwiegende somatische Krankheiten dürften erst nach längerer Zeit zu erwarten sein. Der Bericht endet mit dem Wunsch nach „Untersuchungen zum Thema Flexibilität und Mobilität auf der Basis von erweiterten Daten“ (Grobe, T. im Auftrag der Techniker Krankenkasse, 2012).

3.3. Fehlzeiten-Report 2012

Der Fehlzeiten-Report wird jährlich vom Wissenschaftlichen Institut der AOK (WIdO), der Universität Bielefeld und der Beuth Hochschule für Technik in Berlin herausgegeben. Der Fehlzeiten-Report informiert über die Krankenstandentwicklung in Deutschland, im Jahre 2012 mit einem Fokus auf „Gesundheit in der flexiblen Arbeitswelt: Chancen nutzen, Risiken minimieren“ (Badura, 2012). „Berufsbedingte Mobilität zeigt sich für Beschäftigte in verschie-

denen Formen: „Sie reicht vom regelmäßigen Pendeln, über häufige Dienstreisen bis zum Arbeiten mit Informations- und Kommunikationstechnologie an verschiedenen Orten.“ Über die Hälfte der deutschen Beschäftigten haben bereits Erfahrungen mit berufsbedingter Mobilität (Paridon, 2012). Auf Grundlage einer Befragung (n = 2.002) des WIdO konnte ein deutlicher und negativer Einfluss von übermäßigem Pendeln auf die Arbeitsbelastung, Zufriedenheit und psychische Gesundheit von Beschäftigten nachgewiesen werden (Zok & Dammasch, 2012). Mobile Beschäftigte werden nach der Studie insgesamt stärker fehlbeansprucht als nicht-mobile Beschäftigte (Paridon, 2012).

3.4. Niederländische Studie zu den gesundheitlichen Folgen des Fahrradfahrens

Der niederländische Fahrradbeirat hat in einer Studie die gesundheitlichen Vorteile des Fahrradfahrens - insbesondere auf dem täglichen Weg zur Arbeit - untersucht. Die Gesundheit des einzelnen Radfahrers erhöht sich, wenn dieser weniger Auto fährt. Die Vorteile des Radfahrens überwiegen Risiken wie die Inhalation von Feinstaub oder die Möglichkeit in einen Verkehrsunfall verwickelt zu werden. Arbeitnehmer, die täglich mit dem Fahrrad zur Arbeit fahren, sind im Jahresschnitt 1,5 Tage weniger krank als ihre autofahrenden Kollegen. Gleichzeitig steigt ihre Lebenserwartung um 3 - 14 Monate an (Hartog, J; Boogaard, H; Nijland, H; Hoek, G, 2010).

3.5. inmod Forschungsvorhaben der Hochschule Wismar

Das Forschungsvorhaben hat sich zum Ziel gesetzt, durch die Kombination von verschiedenen Verkehrsmitteln den öffentlichen Personennahverkehr im ländlichen Raum wieder zu beleben. Intermodale Reisemöglichkeiten sollen per Elektrofahrrad, Bus und Bahn im ländlichen Raum für mehr Komfort bei der Mobilität sorgen. Elektro-Busse konzentrieren sich auf die Hauptverkehrsachsen, Elektrofahrräder werden auf den Zubringerstrecken eingesetzt. Durch kürzere Takte und schnellere Busstrecken können Busse öfter fahren. „Durch die Nutzung der zur Verfügung gestellten Elektrofahrräder ist der Verkehrsteilnehmer unabhängiger, schneller und spontaner ans Streckennetz angebunden. In einem dreijährigen Testzeitraum wird inmod relevante Erkenntnisse über attraktive, zukunftsorientierte Verkehrsszenarien sammeln“ (Hochschule Wismar, 2011).

4. Fragestellungen des Projekts

4.1. Einzelfragestellungen für den Versuch

Am Anfang der Projektvorbereitung stand das Fahrrad im Mittelpunkt des Forschungsinteresses. Das Fahrrad sollte auf der typischen Pendlerstrecke von Berufstätigen mit anderen Verkehrsmitteln anhand einer großen Bandbreite von Parametern verglichen werden. Im Verlauf der Vorbereitungen für den Versuch kristallisierte sich jedoch heraus, dass der Versuchsaufbau gleichzeitig auch geeignet ist, die Möglichkeiten der Elektromobilität im Bereich der Berufspendler zu analysieren.

So erweiterten sich die Fragestellungen wie im Folgenden beschrieben.

4.1.1. Wie kann man am schnellsten, günstigsten, energieeffizient oder ökologisch pendeln?

Die Verkehrsmittel wurden auf der Versuchsstrecke jeweils hinsichtlich der erforderlichen Zeit, der damit verbundenen Kosten und Energie sowie der Umweltwirksamkeit analysiert. Jeder Parameter wurde zunächst für sich analysiert und bewertet:

- Wie viel Zeit benötigen die PendlerInnen für den Arbeitsweg von Tür zu Tür?
- Wie hoch sind die Vollkosten bei differenzierter Betrachtung der fixen und variablen Kostenbestandteile?
- Wie viel Energie - gemessen in Megajoule - wird für die Fahrt benötigt?
- Wie viel CO₂ wird dabei - unter Zugrundelegung der durchschnittlichen Zusammensetzung der Energiearten (z.B. bundesdeutscher Strommix) - ausgestoßen?

Die Zeit, die mit den verschiedenen Verkehrsmitteln zum Zurücklegen des Arbeitsweges von Tür zu Tür erforderlich ist, wird von den PendlerInnen oftmals falsch eingeschätzt. Der Pkw wird dabei wegen seiner möglichen Höchstgeschwindigkeit überschätzt und die erforderlichen Zeiten vor und nach der eigentlichen Fahrt - z.B. für die Parkplatzsuche und den anschließenden Fußweg zum Ziel - unterschätzt. Daher sollte die Studie nicht nur den absoluten Zeitbedarf von Tür zu Tür, sondern auch die Verteilung der Fahrzeit auf die unterschiedlichen Geschwindigkeitssegmente ermitteln.

Zwecks besserer Übertragbarkeit der Aussagen zu den anfallenden Kosten soll aufgezeigt werden, wie sich diese - durch die individuellen Anteile von fixen und variablen Kostenarten - für die einzelnen Verkehrsmittel bei unterschiedlichen Entfernungen verändern. Insbesondere durch die Einbeziehung der in der Anschaffung teureren Elektrofahrzeuge ist dies von Bedeutung.

4.1.2. Wie wirkt sich die Wahl des Verkehrsmittels auf die Gesundheit der PendlerInnen aus?

Neben den in 4.1.1 genannten klassischen Fragestellungen zur Pendlermobilität sollen die folgenden Fragen zu den gesundheitlichen Aspekten beantwortet werden:

- Wie wirkt sich die Wahl des Verkehrsmittels auf die Stressbelastung der PendlerInnen aus?
- Wie viel körperliche Bewegung ist mit der Nutzung der verschiedenen Verkehrsmittel verbunden?

Darüber hinaus war zu analysieren, inwieweit der von den SmartBändern anhand der Körperreaktionen der PendlerInnen objektiv gemessene Stress auch subjektiv wahrgenommen wurde und ob sich die Stressbelastung der verschiedenen TeilnehmerInnen unterscheidet.

4.1.3. Bringt die eMobilität Vorteile im Vergleich zu den konventionell angetriebenen Fahrzeugen?

Bislang haben die elektrischen Fahrzeugvarianten im Individualverkehr im Allgemeinen und auf den täglichen Wegen zur Arbeit im Besonderen noch keine echte Bedeutung erlangt. Das einzige "elektrische" Fahrzeug, welches zunehmend dafür zum Einsatz kommt, ist das Pedelec.

Es sollte untersucht werden, inwieweit die elektrischen Alternativen des Pkw, des Rollers sowie des Fahrrads Vorteile für die PendlerInnen, aber auch für die Gesellschaft mit sich bringen. Diese Frage soll an den gleichen Parametern wie die obigen Fragestellungen untersucht werden.

4.2. Schnittmengen-Fragestellungen

Es gibt kein Verkehrsmittel, welches ausschließlich Vor- oder Nachteile für die BerufspendlerInnen mit sich bringt. Sie müssen sich unter Abwägung der verschiedenen Bewertungsparameter für ein oder ggfs. auch mehrere Verkehrsmittel - z.B. abhängig vom Wetter und der Jahreszeit - entscheiden. Dazu sollen die Ergebnisse der einzelnen Parameter in gewichteten Schnittmengenauswertungen analysiert werden. Zur Gewichtung wurden 4 Profile definiert, in denen jeder Parameter nach seiner Wichtigkeit für die entsprechende Zielgruppe gewichtet wurde. Die folgenden Profile wurden untersucht:

Die zeit- und komfortbewussten PendlerInnen

Pendler dieses Profils legen besonderen Wert darauf, möglichst schnell und komfortabel den Arbeitsplatz zu erreichen. Im Versuch werden diese Ziele an den Parametern Zeit und Stress festgemacht.

Die umwelt- und gesundheitsbewussten PendlerInnen

Umwelt- und gesundheitsbewusste PendlerInnen ist es wichtig, zum einen die Umwelt und die Ressourcen zu schonen, und zum anderen etwas für die eigene Gesundheit zu tun. Diese Präferenzen drücken sich im Versuch in den Parametern Bewegung, Stress sowie CO₂-Ausstoß und Energieverbrauch aus.

Die kostenbewussten PendlerInnen

Kostenbewusste Menschen schauen insbesondere auf die Kosten, die sie für die Fahrt mit den verschiedenen Verkehrsmitteln aufwenden. Der Parameter, auf dem die höchste Gewichtung in diesem Profil liegt, sind die Vollkosten.

Die Stadt- und Verkehrsplaner

Als viertes Profil wurden die Stadt- und VerkehrsplanerInnen definiert. Sie werden nicht als Pendler, sondern als "Gestalter" der Pendlerwege betrachtet. Früher ging es ihnen vor allem darum, den Verkehr - insbesondere den motorisierten Individualverkehr - möglichst reibungslos ablaufen zu lassen. Im Zuge des starken Verkehrszuwachses und des ebenfalls gewachsene Verständnis für die damit verbundenen Probleme haben sich die Ziele der Verkehrs-

und Stadtplanung verändert. Schadstoff- und CO₂-Ausstoß sollen minimiert sowie die Lebensqualität der BürgerInnen in der Stadt erhöht werden. Von den im Versuch gemessenen Parametern stehen in erster Linie der CO₂-Ausstoß, der Energieverbrauch sowie die Streckenlänge für diese Ziele.

5. Projektkonsortium

Der vorliegende Bericht wurde von dem Mobilitätsberatungsunternehmen EcoLibro GmbH im Auftrag der Hochschule Wismar erstellt und durch das BMVBS finanziert.

Die Hochschule Wismar stellte den Projektantrag und trug die Projektgesamtverantwortung. Die operative Planung, Durchführung und Auswertung des Versuchs erfolgte durch ein Konsortium, bestehend aus dem Konsortialführer EcoLibro und den weiteren Konsortialpartnern TÜV Nord, Bodymonitor und Simon Media.

Der TÜV Nord entwickelte ein Verfahren zur Messung des Energieverbrauchs und des CO₂-Austoßes aller Fahrzeuge und wertete die erhobenen Daten aus.

Bodymonitor stellte die verwendeten GPS-Logger und SmartBänder zur Verfügung. Die Datenmessungen mit dem technischen Equipment erfolgten durch die EcoLibro GmbH mit beratender Unterstützung von Bodymonitor. Für den vorliegenden Bericht lieferte Bodymonitor die Ergebnisse der Parameter Stress pro Minute, Stresskorrelation und Bewegung. Auf Basis der mit dem technischen Equipment von Bodymonitor erhobenen Daten wertete die EcoLibro GmbH die Parameter Fahrzeit, Geschwindigkeit und Streckenlänge aus.

Der Parameter Kosten wurden von der EcoLibro GmbH auf Basis von statistischen Werten und Kalkulationen sowie den verkehrsmittelspezifischen Energieverbräuchen berechnet.

Die Hochschule Wismar und die EcoLibro GmbH stellten die Verkehrsmittel bereit. Teilweise wurden diese über Sponsoren organisiert (*10 Danksagungen*, S. 110). Die TeilnehmerInnen wurden von der Hochschule Wismar angeworben. Die ärztlichen Befragungen und Untersuchungen der TeilnehmerInnen vor dem Versuch fand durch die Praxis Dr. Lucas in Siegburg und die Praxis Dr. med. Katja Frey in Schwerin statt. Simon Media bereitete die Ergebnisse multimedial in Form eines YouTube-Films auf.

6. Versuchsaufbau

Über einen zehntägigen Zeitraum vom 16. - 27.04.2012 wurden in Schwerin auf einer 6,5 - 8 km langen Strecke von der Vorortsiedlung Friedrichsthal bis zum Altstädtischen Rathaus acht verschiedene Verkehrsmittel bzw. Verkehrsmittelkombinationen von zehn Personen im Wechsel in der Hauptzeit des Berufsverkehrs morgens und abends gefahren und hinsichtlich acht verschiedener Parameter untersucht. Unter kontrollierter Einhaltung der StVO fuhr jeder Versuchsteilnehmer auf dem selbst gewählten, kürzesten Weg zum Zielort. Zur Erfassung der Parameter wurden insgesamt 6 verschiedene Messinstrumente genutzt. Die gemessenen Parameter wurden einzeln sowie gewichtet zusammengefasst und für vier verschiedene Profile ausgewertet.

6.1. Verkehrsmittel

Im Zuge des *Schweriner Versuchs* wurden acht verschiedene Verkehrsmittel bzw. Verkehrsmittelkombinationen untersucht:

- ein konventioneller Pkw mit Benzinmotor (im Folgenden "Pkw fossil" genannt)
- ein baugleicher Pkw mit Elektroantrieb ("Pkw elektrisch")
- ein konventioneller Roller mit Benzinmotor ("Roller fossil")
- ein elektrischer Roller ("Roller elektrisch")
- ein konventionelles Fahrrad ("Fahrrad")
- ein Fahrrad mit elektrischem Hilfsmotor ("Pedelec")
- ÖPNV, zu Fuß zur und von der Haltestelle ("ÖPNV + Laufen")
- ÖPNV, mit einem konventionellen Faltrad zur und von der Haltestelle ("ÖPNV + Faltrad")

Damit wurden alle auf der betrachteten Distanz zwischen dem Schweriner Vorort und der Innenstadt relevanten Möglichkeiten einbezogen, die von BerufspendlerInnen auf ihren Arbeitswegen bei Entfernungen bis zu 10 km genutzt werden. Nicht untersucht wurde die ÖPNV-Variante Park&Ride, weil dafür gemäß der örtlichen Gegebenheiten keine Notwendigkeit bestand. Ebenfalls außer Acht gelassen wurde die Bildung von Fahrgemeinschaften, da diese bei einer Entfernung von unter 10 km - abgesehen von Fahrgemeinschaften aus der eigenen Hausgemeinschaft oder der unmittelbaren Nachbarschaft - eher unüblich sind.

6.1.1. Konventioneller Pkw

Als konventioneller Pkw wurde im Versuch ein vom Autohaus Busse, Schwerin, kostenlos zur Verfügung gestellter Fiat 500 genutzt. Der 1.2-Benziner verbraucht gemäß Herstellerangaben innerorts 6,4 L Benzin/100 km. Getankt wurde bleifreies Benzin. Die CO₂-Emissionen betragen somit durchschnittlich 119 g/km (Fiat Group Automobiles Germany, 2012). Das herstellenseitig verbaute Analysetool „Fiat Eco:Drive“ analysiert den Fahrstil der Nutzer und gibt Ratschläge für ein effizienteres Fahrverhalten.

Es wurde bewusst kein größeres Fahrzeug gewählt, da diese Fahrzeuggröße für den Verwendungszweck ausreichend dimensioniert ist und der Vergleich mit den anderen Verkehrsmitteln hinsichtlich Kosten, Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß nicht aufgrund des Einsatzes eines größeren Fahrzeuges zugunsten der Alternativen überzeichnet wird.

Das Altstädtische Rathaus in Schwerin verfügt über keine eigenen Parkplätze, daher wurde der Pkw (wie auch der nachfolgende Pkw mit Elektroantrieb) im nächstgelegenen Parkhaus kostenpflichtig abgestellt. Die Distanz von 350 – 400 Metern vom Parkhaus zum Rathaus wurde von den Testfahrern zu Fuß zurück gelegt.

Fossiler Pkw: FIAT 500



Abb. 3: Fiat 500

Anschaffungspreis	Ca. 15.000 €
Gewicht	1.040 kg (Leergewicht)
Anzahl Sitzplätze	4
Motorenleistung	51 kW (69 PS)
Verbrauch laut Hersteller	5,1 L/100 km (kombiniert)

6.1.2. Elektrischer Pkw

Als Pkw mit Elektroantrieb wurde ein von Landkreis Nordwestmecklenburg kostenlos zur Verfügung gestellter Karabag 500 E, ein auf Elektroantrieb umgebaute, baugleicher Fiat 500 eingesetzt (ADAC e.V., 2010). Die Lithium-Polymer-Akkus geben dem Pkw eine Reichweite von ca. 100 km. Die vollständig entladene Batterie wird an einer 230 V Steckdose in ca. fünf bis sechs Stunden aufgeladen.

Eine Verkürzung der Ladezeit auf 30 Minuten soll in Zukunft mit speziellen Ladegeräten möglich sein.

Die Temperatur im Innenraum kann unabhängig von der Batterie über eine Bio-Ethanol E100 Heizung mit 4,2 kW geregelt werden (Karabag GmbH, 2010). Die Heizung des eingesetzten Pkw war während der Versuchszeit defekt und wurde daher nicht genutzt. Rechnerisch wurde diese Begünstigung der Energiebilanz des Stromers durch eine Pauschale von einer kWh pro Tag ausgeglichen.

Wie der Pkw fossil wurde auch der Karabag im nächstgelegenen Parkhaus abgestellt.

Elektrischer Pkw: Karabag 500 E



Abb. 4: Karabag 500 E

Anschaffungspreis	35.000 €
Gewicht	1.060 kg (Leergewicht)
Anzahl Sitzplätze	4
Motorenleistung	20 kW (27 PS)
Verbrauch laut Hersteller	11 kWh/100 km (kombiniert)

6.1.3. Konventioneller Roller

Der 2-Takt-Roller Piaggio Liberty 50 wurde als Vertreter der konventionellen Roller genutzt. Der Motor mit einer Leistung von 4,6 PS und einen Hubraum von 49 cm³ erreicht eine Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h (Piaggio Deutschland GmbH, 2007) bei einem durchschnittlichen Verbrauch von 3,9 L/100 km (Motor Presse Stuttgart GmbH & Co. KG, 2008). Getankt wurde Super Bleifrei Kraftstoff.

Der konventionelle Roller konnte direkt hinter dem Rathaus abgestellt werden. Der nötige Laufweg zum fiktiven Arbeitsplatz beschränkte sich auf ca. 100 Meter.

Fossiler Roller: Piaggio Liberty 50



Abb. 5: Piaggio Liberty 50

Anschaffungspreis	Ca. 2.000 €
Gewicht	95 kg (Leergewicht)
Anzahl Sitzplätze	2
Motorenleistung	3,38 kW (4,6 PS)
Verbrauch laut Hersteller	3,9 L/100 km (kombiniert)

6.1.4. Elektrischer Roller

Der E-Roller: „1954“ von Kumpan electric wurde als elektrischer Roller für den Versuch genutzt. Der Radnabenmotor mit einer Leistung von 2,7 PS (2 kW) weist eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h auf. Für die Stromversorgung des Motors sind vier Blei-Silizium-Gel Akkus (48V / 38A) mit einem Gesamtgewicht von 53kg in den Roller verbaut (E-bility GmbH, 2012). Die Akkuladedauer für eine vollständige Aufladung beträgt ca. 6 – 7 Stunden.

Wie beim fossilen Roller konnte der Parkplatz direkt am Rathaus genutzt werden.

Elektrischer Roller: Kumpan electric „1954“



Abb. 6: Kumpan electric „1954“

Anschaffungspreis	2.800 €
Gewicht	90 kg (Leergewicht) / 143 kg (mit Akkus)
Anzahl Sitzplätze	2
Motorenleistung	2 kW (2,7 PS)
Verbrauch laut Hersteller	4 kWh/100 km (kombiniert)

6.1.5. Fahrrad

Bei dem im Versuch genutzten Fahrrad handelte es sich um ein Pegasus Milano Alu light. Das 28 Zoll Aluminium Trekkingrad entstammt dem mittleren Preissegment und wurde vor dem Versuch bereits ca. 3 Jahre regelmäßig gefahren. Das Fahren wurde durch eine 24-Gang Schaltung erleichtert.

Das Fahrrad konnte direkt vor der Tür des Rathauses angeschlossen werden. Mit dem Fahrrad war demnach eine Fahrt von Tür zu Tür möglich.

Fahrrad: Pegasus Milano Alu light



Abb. 7: Pegasus Milano Alu light

Anschaffungspreis	Ca. 1.000 €
Gewicht	Ca. 16 kg
Anzahl Sitzplätze	1
Motorenleistung	-
Verbrauch laut Hersteller	-

6.1.6. Pedelec

Im Versuch wurde von den Stadtwerken Schwerin ein Pedelec der Marke Giant verwendet. Ein Pedelec (engl. Pedal Electric Cycle) unterstützt den Fahrer beim Treten des Pedals mit einem Elektromotor. Ab einer Geschwindigkeit von 25 km/h schaltet sich der Elektromotor ab. Das 28 Zoll Aluminium Pedelec verfügt über den 250 W Panasonic Center und einen 8 Ah Lithium-Ionen-Akku (Rad-Häusl, 2011)

Des Weiteren gehört eine 7-Gang-Nabenschaltung zu der Ausstattung des Pedelec.

Wie auch das konventionelle Fahrrad konnte das Pedelec direkt vor dem Rathaus abgestellt werden.

Pedelec: Kalkhoff Agattu C7



Abb. 8: Kalkhoff Agattu C7

Anschaffungspreis	1.700 €
Gewicht	23,3 kg (mit Akku)
Anzahl Sitzplätze	1
Motorenleistung	Ca. 0,25 kW (0,34 PS)
Verbrauch laut Hersteller	Ca. 5 Wh/100 km (Durchschnitt)

6.1.7. ÖPNV und Laufen

Um eine breitere Aussage treffen zu können, wurde der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) in zwei verschiedenen Varianten untersucht. In der ersten Variante, die Kombination ÖPNV und Laufen, sind die TeilnehmerInnen zu Fuß zu den Haltestellen gegangen. Nachdem die TeilnehmerInnen morgens gestartet sind, liefen diese 400 Meter zu der nächsten Bushaltestelle. Nach einer Busfahrt von 2,3 Kilometern stiegen die TeilnehmerInnen an der „Lankow-Siedlung“ in die Straßenbahn um. Nach einer ca. 4,7 Kilometer langen Fahrt stiegen die TeilnehmerInnen am Marienplatz aus und liefen die letzten 450 Meter zu dem Rathaus.

Die Rückfahrt gestaltete sich gleich, jedoch variierte die erste Straßenbahnhaltestelle für die Fahrt zu der „Lankow-Siedlung“. Seitens der Nahverkehr Schwerin GmbH wurde kostenfrei eine 2-Wochenfahrkarte für den Versuch zur Verfügung gestellt.

Der ÖPNV in Schwerin wird durch die Nahverkehr Schwein GmbH mit vier Straßenbahn-, vierzehn Buslinien und einer Fähre durchgeführt (Aurich, 2009). Die Auslastung von Linienbussen beträgt laut dem IFEU Institut im Bundesgebiet durchschnittlich 21 %. Im Schnitt liegt der Dieselverbrauch von Linienbussen pro genutztem Sitzplatz mit dieser Auslastung bei 2,8 L Diesel pro 100 km. Straßenbahnen sind im Schnitt zu 19 % ausgelastet, pro Person errechnet sich demnach ein Stromverbrauch von 12 kWh pro 100 km (Institut für Energie- und Umweltforschung, 2010). Das Umweltbundesamt berechnet mit gleicher Auslastung leicht abweichende Werte von 2,6 L Diesel/100 km für die Linienbusse und 13 kWh/100 km pro Person in der Straßenbahn (Umweltbundesamt, 2009).

ÖPNV: Bus und Straßenbahn



Abb. 9: Bus

Abb. 10: Straßenbahn

Anschaffungspreis	Variiert
Gewicht	Variiert
Anzahl Sitzplätze	> 50
Motorenleistung	variiert
Verbrauch pro Person laut Literatur	Bus: ca. 2,6 – 2,8 L/100 km Straßenbahn: 12 – 13 kWh/100 km

6.1.8. ÖPNV und Faltrad

In der zweiten Kombination, ÖPNV und Faltrad, sind die TeilnehmerInnen von dem Wohnort mit dem Faltrad

2,3 km zur Haltestelle der Straßenbahn „Lankow-Siedlung“ bzw. 2,9 km zur Haltestelle „Kieler Straße“ gefahren. Mit der Straßenbahn fuhren die Teilnehmer ca. 4,7 bzw. 4,4 km zur Haltestelle „Marienplatz“ in der Schweriner Altstadt, stiegen aus und fuhren die letzten 450 Meter mit dem Faltrad zum Rathaus. Auch das Faltrad konnte direkt am Eingang des Rathauses abgestellt werden. Der Rückweg lief nach gleichem Schema ab.

Das im Versuch verwendete 20 Zoll Faltrad war ein Dahon Piazza D3 mit 3-Gang Nabenschaltung und einem Gewicht von 12,3 kg. Falträder werden im zusammengeklappten Zustand im Nah- und Fernverkehr als Gepäckstück gewertet und können unentgeltlich mitgenommen werden.

Seitens der Nahverkehr Schwerin GmbH wurde kostenfrei eine 2-Wochenfahrkarte für den Versuch zur Verfügung gestellt.

Faltrad: Dahon Piazza D3	
	
Abb. 11: Dahon Piazza D3	
Anschaffungspreis	500 €
Gewicht	12,3 kg
Anzahl Sitzplätze	1
Motorenleistung	-
Verbrauch laut Hersteller	-

6.2. TeilnehmerInnen

6.2.1. Beschreibung der TeilnehmerInnen

Die zehn TeilnehmerInnen wurden für den Versuch so ausgewählt, dass sie in den Kriterien Alter und Verkehrsmittelerfahrung eine möglichst heterogene Probandengruppe bildeten. Wie die nachfolgenden Graphiken zeigen, konnte dies nur teilweise sichergestellt werden. Die Forderung, dass die Testpersonen an mindestens acht der zehn Versuchstage verfügbar sein sollten, schloss viele Interessierte von der Teilnahme aus.

Über zwei aufeinander aufbauende Befragungen durch einen Allgemeinmediziner sowie eine anschließende klinische Untersuchung wurde sichergestellt, dass die Testfahrer zum Einen keine die Testergebnisse beeinflussenden Krankheiten aufwiesen und zum Anderen körperlich ausreichend belastbar waren. Die nachfolgenden Diagramme zeigen die relevantesten Befragungsergebnisse und deren Eignung der TeilnehmerInnen für eine repräsentative Untersuchung.

6.2.2. Verkehrsmittelerfahrungen

Nachfolgend sind die Antworten der TeilnehmerInnen auf die Frage „Wie oft haben Sie die folgenden Verkehrsmittel bereits genutzt?“ dargestellt:

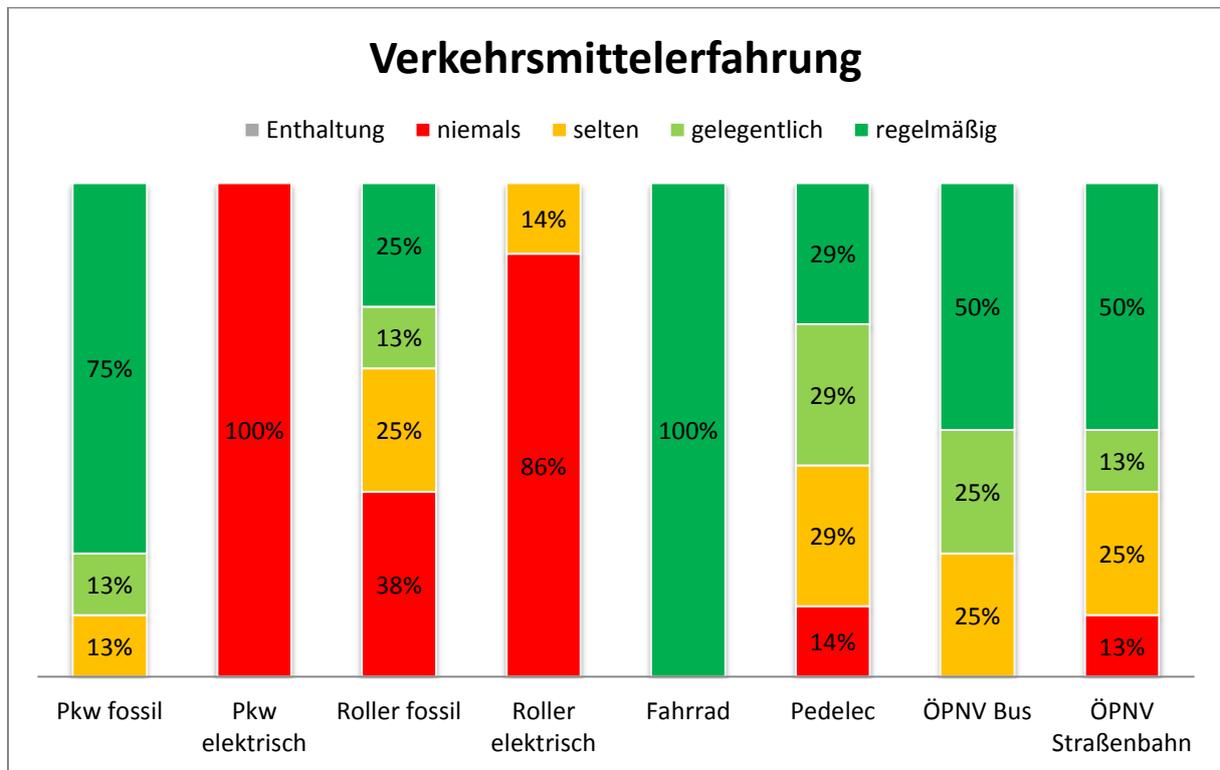


Abb. 12: Verkehrsmittelspezifische Erfahrungen der Teilnehmer in %

„Regelmäßig“ bedeutet mehr als 20 Fahrerfahrungen im letzten Jahr, „gelegentlich“ 10 – 20 Fahrerfahrungen, „selten“ 1 – 10 Fahrerfahrungen. Bei „Niemals“ haben die TeilnehmerInnen dieses Verkehrsmittel noch nie selbst genutzt. Die %-Zahlen innerhalb der Balken des Diagramms berechnen sich aus den Antworten der relevanten TeilnehmerInnen. Relevant bedeutet in diesem Zusammenhang, dass nur die Antworten der TeilnehmerInnen einbezogen wurden, die auch während des Versuchs mit dem Verkehrsmittel gefahren sind (6.5.5, S. 53).

Nur ein Teilnehmer hatte vor dem Versuch bereits Erfahrungen mit einem Elektro-Roller, den Elektro-Pkw kannte noch niemand. Den Bus hatten alle TeilnehmerInnen bereits genutzt, die Straßenbahn war einer Teilnehmerin unbekannt.

Quelle: Eigene Befragung (12.6, S. 166)

6.2.3. Fahrsicherheit

Das folgende Diagramm zeigt die Antworten der TeilnehmerInnen auf die Frage „Wie sicher fühlen Sie sich im Umgang mit den im Versuch verwendeten Verkehrsmitteln?“. Wie im vorherigen Kapitel wurden die Antworten nur von den Teilnehmern berücksichtigt, die das jeweilige Verkehrsmittel im Versuch auch tatsächlich gefahren sind.

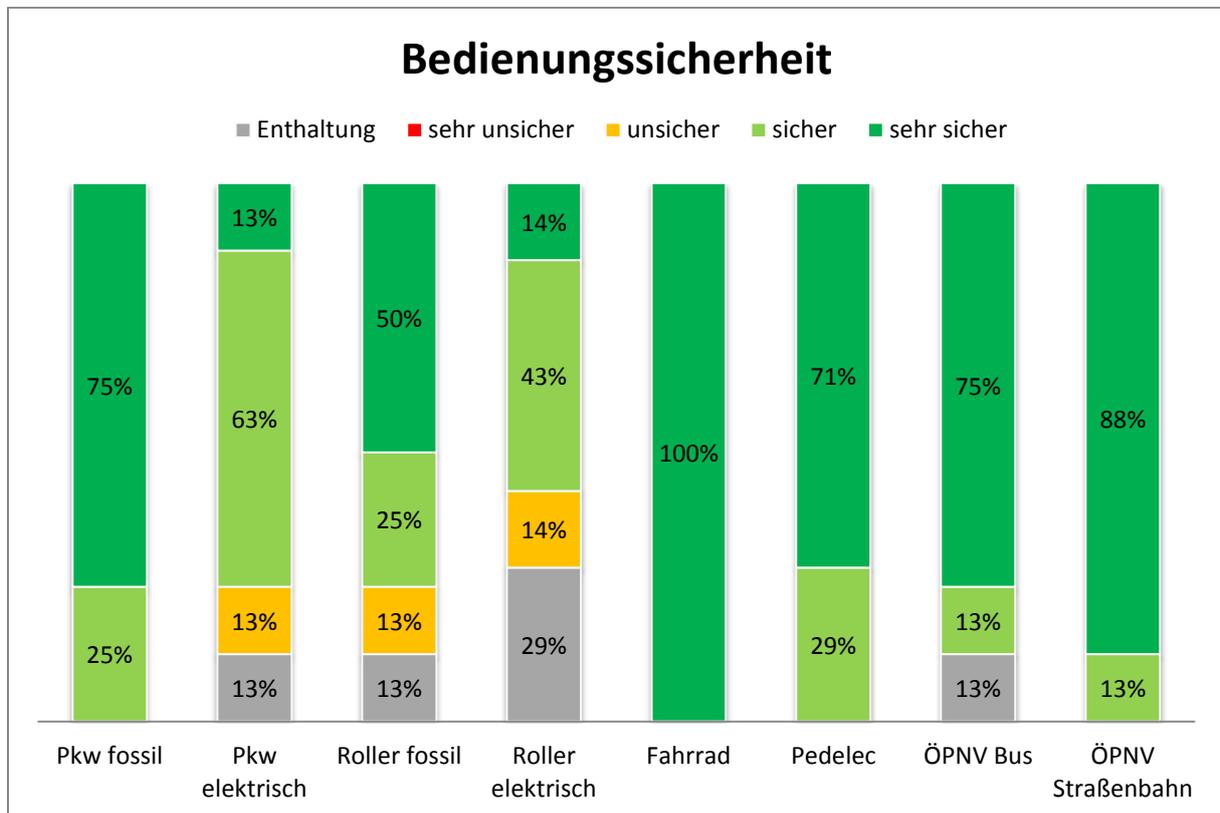


Abb. 13: Verkehrsmittelspezifische Bedienungssicherheit der Teilnehmer in %

Tendenziell steigt die Sicherheit mit der Bekanntheit und sinkt mit der Neuartigkeit eines Verkehrsmittels. Im Umgang mit dem ÖPNV und den einfachen Zweirädern fühlte sich jeder bzw. jede TeilnehmerIn sicher oder sehr sicher. Auch die Teilnehmerin, die noch niemals zuvor mit einer Straßenbahn gefahren war, gab an, dass sie sich die Fahrt sicher zutraut. Mit dem fossilen Pkw waren die TeilnehmerInnen vertrauter und sicherer, die ungewohnte Handhabung des elektrischen Pkw und Roller erzeugte jedoch Unsicherheit. Bezeichnenderweise wies der elektrische Roller die höchste Anzahl an Enthaltungen auf.

Quelle: Eigene Befragung (12.6, S. 166)

6.2.4. Körperliche Fitness

Die Abschätzung der körperlichen Fitness der Testpersonen erfolgte über drei Einzelfragen und einen Fragenkomplex im ersten der beiden medizinischen Fragebögen:

- "Wie lange ist es her, dass Sie innerhalb eines Tages auf ebenem Gelände 14 km oder zwei mal 7 km am Stück mit dem Fahrrad gefahren sind?"
- "Wären Sie nach der Fahrradfahrt von mindestens 7 km noch uneingeschränkt leistungsfähig, so dass Sie einen normalen Arbeitstag leisten könnten?"

- "Wie viele Stockwerke können Sie Treppensteigen, bevor Sie außer Atem sind und erste Schwäche spüren?"
- "Welche Sportarten bzw. Arten körperlicher Bewegung betreiben Sie mindestens einmal in der Woche? Auch schnelles Spaziergehen oder Fahrradfahren zählen dazu. Wie oft betreiben Sie diese Sport- bzw. Bewegungsarten? Wie lange machen Sie diese Sport- bzw. Bewegungsarten schon?"

Die Antworten wurden mit Punkten bewertet und addiert, 12 Punkte konnten dabei maximal erreicht werden.

Fitness und Sport

Abschätzung der Sportlichkeit der TeilnehmerInnen über vier Fragen zu Sportgewohnheiten und Durchhaltevermögen. Die maximale Punktzahl beträgt 12, die minimale 0 Punkte.

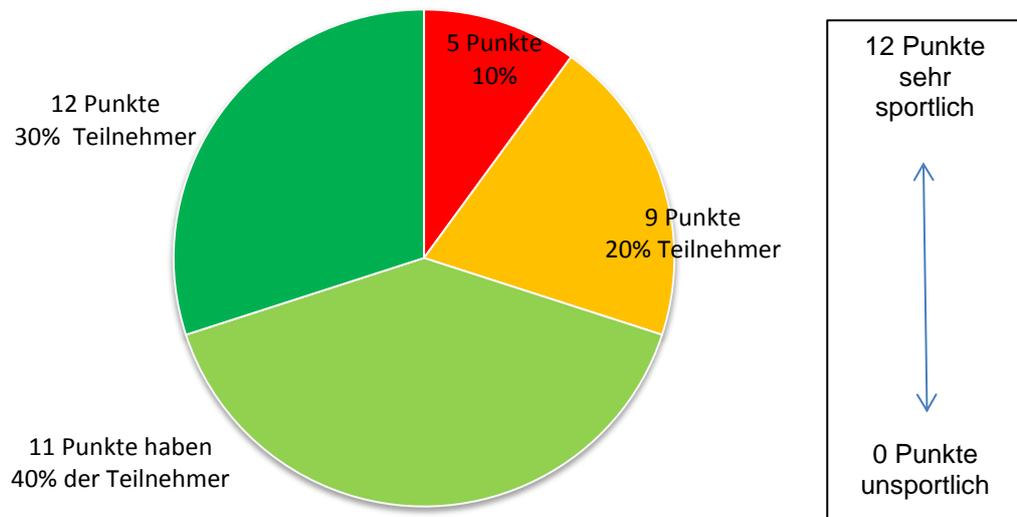


Abb. 14: Fitness und Sport

70 % der Teilnehmer waren körperlich fit oder sehr fit, 20 % wiesen eine mäßige Fitness auf, 10 % konnten als eher unsportlich bezeichnet werden.

Quelle: Eigene Befragung (12.6, S. 166)

6.2.5. Alter

Die Altersstruktur wird in der nachfolgenden Graphik dargestellt:

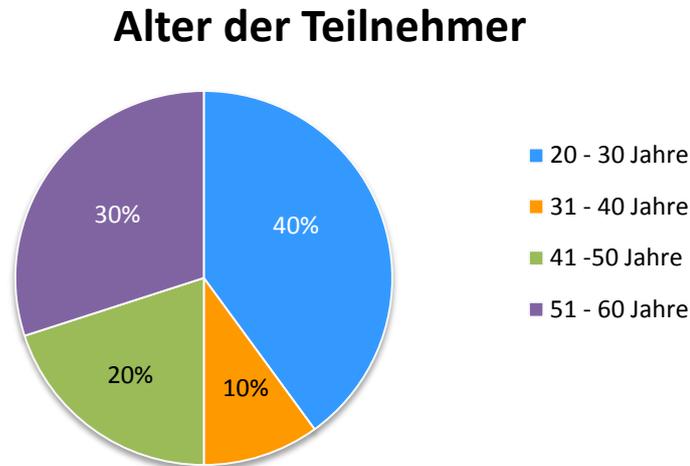


Abb. 15: Alter der Teilnehmer

Die Gruppe der 20-30-jährigen TeilnehmerInnen war überrepräsentiert, die 31-40-jährigen hingegen unterrepräsentiert. Die älteren Jahrgänge waren näherungsweise adäquat vertreten.

Quelle: Eigene Befragung (12.6, S. 166)

6.2.6. Geschlecht

Es konnten nur zwei Frauen als Teilnehmerinnen gewonnen werden, acht Teilnehmer waren männlichen Geschlechts.

6.3. Technisches Equipment / Messgeräte

Die folgenden Messgeräte wurden zur Erfassung fast aller betrachteten Parameter verwendet:

- GPS-Logger für Entfernung und Zeit
- SmartBänder für Stress, Bewegung und Zeit
- Strommessgeräte für den Verbrauch elektrischer Energie
- Bordcomputer für den Kraftstoffverbrauch des fossilen Pkw (Zweitmessung)
- Zapfsäule der Tankstelle für den Kraftstoffverbrauch der fossilen Verkehrsmittel (Erstmessung)
- Kameras zur Aufzeichnung der Wegstrecke bei allen Verkehrsmitteln

6.3.1. GPS-Logger

Die GPS-Logger der Firma TranSystem Inc. ermittelten während der Testfahrten in regelmäßigen Zeitabständen von einer Sekunde die jeweilige Position und den exakten Zeitpunkt der TeilnehmerInnen auf. Mithilfe dieser Daten wurden die Parameter Zeit (6.4.1, S. 34) Streckenlänge (6.4.6, S.45) und die Geschwindigkeit (6.4.2, S. 388) ermittelt.



Abb. 16: GPS-Logger

6.3.2. SmartBänder

Die Daten der Stressbelastung (6.4.5, S. 44) und der Bewegung (6.4.4, S. 43) wurden mit SmartBänder der Firma Bodymonitor erhoben. Ein SmartBand am linken Fußgelenk erfasste mittels triaxialem Beschleunigungsmesser sowohl die zurückgelegten Schritte als auch die sonstige Bewegung der Beine. Ein weiteres SmartBand am linken Handgelenk mit Elektroden zur Messung der elektrodermalen Aktivität (Hautleitfähigkeit) und der Temperatur diente der Aufzeichnung der verkehrsmittelspezifischen Stressbelastung der TeilnehmerInnen.



Abb. 17: SmartBand

6.3.3. Strommessgeräte

Für die Messung des Stromverbrauchs der Elektrofahrzeuge (6.4.7, S. 46) wurden Messgeräte des Modells PM 231 des Herstellers Brennstuhl verwendet. Mit der Schutzklasse IP20 und einer maximalen Last von 3.600 W bei 230V und 16 A waren diese für die im Versuch genutzten Stromstärken ausgelegt. Die Messgenauigkeit für Spannung liegt bei +/- 1 % und die Messgenauigkeit für Strom bei +/- 1 % oder +/- 0,01 A.



Abb. 18: Strommessgerät

6.3.4. Bordcomputer Pkw

Der eingebaute TRIP-Bordcomputer des FIAT 500 und des Karabag 500 E waren baugleich. Beide zeichneten die zurückgelegte Strecke, den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch, die durchschnittliche Geschwindigkeit und die Fahrzeit als Tageswerte sowie über die gesamte Versuchszeit kumuliert auf. Diese Daten wurden bis auf den Kraftstoffverbrauch zwecks Vergleichbarkeit nur zur Plausibilisierung der Daten aus den sonstigen Messgeräten verwendet. Die gesamte getankte Kraftstoffmenge des fossilen Pkw gemäß der nachfolgend beschriebenen Zapfsäule wurde mittels der Angaben der Tagesverbrauchsanzeige des Bordcomputers auf die einzelnen Versuchstage verteilt.



Abb. 19: Bordcomputer Fiat

6.3.5. Zapfsäule der Tankstelle

Die geeichten Zapfsäulen der Total-Tankstelle an der Lübecker Straße 283 in Schwerin dienten der quantitativen Bestimmung der getankten Menge an Kraftstoff für den fossilen Pkw und fossilen Roller (6.4.7, S. 46). Zapfsäulen dürfen gemäß des Deutschen Eichgesetzes eine Messungenauigkeit von 0,2 % aufweisen. In Absprache mit dem TÜV NORD wurde das Tankprozedere geplant und geübt, so dass annähernd reproduzierbare Tankfüllstände zur Berechnung herangezogen werden konnten. Zur Minimierung der Messfehler wurde nur nachgetankt, wenn der Tank leer war (Roller) bzw. am Ende der Versuchsreihe (Pkw).



Abb. 20: Anzeige der Zapfsäule

6.3.6. Kameras

Alle Verkehrsmittel waren mit On-Board-Kameras der Marke GoPro ausgestattet und dokumentierten die Fahrten aus Fahrerperspektive in HD Qualität. Die Aufnahmen dienten sowohl zur Kontrolle der Einhaltung der Straßenverkehrsordnung als auch zur Analyse von Ausreißern insbesondere der Stresswerte. Weiterhin wurde das Filmmaterial zur Erstellung der Filmdokumentation verwendet.

In den Pkw war die Kamera auf dem Armaturenbrett befestigt, bei allen Zweirädern wurde sie am Lenker positioniert. Die ÖPNV-Nutzer trugen sie mit einem Brustgurt am Oberkörper.



Abb. 21: Kamera

6.4. Parameter

Wie bereits einleitend kurz beschrieben, wurden acht verschiedene Parameter erfasst und ausgewertet, die für die Entscheidung bei der Verkehrsmittelwahl relevant sind. Nicht betrachtet wurde beispielsweise die Frage des Status oder des Komforts, der subjektiv von den Teilnehmern mit den verschiedenen Verkehrsmitteln verbunden wird.

Die Parameter wurden folgenden Dimensionen zugeordnet:

zeitlich-monetäre Dimension:

- Fahrzeit
- Geschwindigkeit
- Kosten

persönliche Dimension:

- Bewegung
- Stressbelastung

gesellschaftliche Dimension:

- Streckenlänge
- Energieverbrauch
- CO₂-Ausstoß

Die gewählten Parameter gehen bewusst über die Betrachtungsbreite vorhergehender Studien hinaus. Ziel war es, neben den gesellschaftlichen Auswirkungen der Verkehrsmittelwahl vor allem eine möglichst umfassende Analyse der Lebensumstände des Pendlers zu erstellen. Daher wurden die Parameter der persönlichen Dimension hinzugezogen.

6.4.1. Fahrzeit

Die Fahrzeit als Parameter der zeitlich-monetären Dimension stellt für viele Menschen eines der wichtigsten Kriterien bei der Wahl des Verkehrsmittels auf dem täglichen Arbeitsweg dar.

Ziel war es, nicht nur die reine Fahrzeit, sondern die vollständige Wegezeit von Tür zu Tür, einschließlich der verkehrsmittelspezifisch unterschiedlichen Vor- und Nachbereitungszeiten, zu analysieren.

Die Ermittlung des Parameters Zeit erfolgte für die Phasen der Fortbewegung über GPS-Logger (6.3.1, S.35). Dabei wurde - je nach Verkehrsmittel - die Gesamtzeit in bis zu drei Phasen differenziert gemessen (6.5.4, S. 53).

Die Auswertung der GPS-Daten für die Fahrzeit wurde in Excel erstellt. Die GPS-Logger schrieben für jede Sekunde einen Datensatz. Die Unterteilung der Phasen erfolgte in erster Linie durch Knopfdruck der TeilnehmerInnen am GPS-Logger. In ca. 10 % der Fahrten wurde dies vergessen, in diesen Fällen konnte jedoch eine lückenlose Rekonstruktion der Phasenabgrenzungen durch einen Vergleich mit den ebenfalls aufgezeichneten Bewegungsgeschwindigkeiten und den Filmaufnahmen sichergestellt werden.

In einzelnen Fällen konnten die GPS-Geräte zu Beginn des Rückweges keinen Satellitenkontakt herstellen. Auch diese Fahrzeiten konnten durch Vergleich mit den Filmaufnahmen sowie den Daten der Stressbänder rekonstruiert werden.

Für die Zeiten zum An- und Ablegen der Regenbekleidung wurden keine konkreten Zeiten erfasst, stattdessen wurde mit pauschalen Zuschlägen gearbeitet. An Regentagen wurden

bei Pkw und ÖPNV aufgrund des Fußweges zur Haltestelle bzw. zum Parkhaus 60 sec aufgeschlagen, bei allen Zweirädern 180 sec. Für die Rollerfahrer wurden weiterhin bei jeder Fahrt 60 sec zum An- und Ablegen von Schutzbekleidung eingeplant, sowie 60 sec. vom Rollerabstellplatz hinter dem Rathaus zum Gebäudeeingang.

Für die Wegstrecke zum Erreichen des Verkehrsmittels am Wohnort wurden keine pauschalen Zeiten eingerechnet, da dort eine Garage direkt neben der Haustür genutzt wurde. Der Weg zur Bus- oder Straßenbahnhaltestelle wurde mithilfe der GPS-Logger konkret gemessen.

Für das Betanken bzw. Laden der Verkehrsmittel wurde mit folgenden Zuschlägen gearbeitet:

- 7,5 sec Pkw fossil
- 30 sec Pkw elektrisch
- 30 sec Roller fossil
- 30 sec Roller elektrisch
- 15 sec Pedelec

Die Betankungszeiten der fossil betriebenen Fahrzeuge wurden in der Praxis außerhalb der Testfahrten gemessen und dann gemäß der zurückgelegten Laufleistung durch die Anzahl der Fahrten je Tankintervall dividiert. Die Zeit zum Anschließen der elektrischen Verkehrsmittel wurde ebenfalls außerhalb der Testreihe gemessen und pro Fahrt mit 50 % der gemessenen Zeitdauer berücksichtigt.

6.4.2. Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit ist ebenfalls ein Parameter der zeitlich-monetären Dimension des Versuchs. Sie hat zwar einen hohen Bezug zur Fahrzeit, ist jedoch vollkommen losgelöst zu betrachten. Sie wurde differenziert in drei Betrachtungsebenen:

- die durchschnittliche Geschwindigkeit von Tür zu Tür,
- die Durchschnittsgeschwindigkeit für die Fahrt mit dem Hauptverkehrsmittel (entspricht der subjektiven Sicht des typischen Individual-Pendlers),
- den zeitlichen Anteil in bestimmten Geschwindigkeitskategorien auf der Gesamtstrecke Tür zu Tür.

Auf der im *Schweriner Versuch* genutzten Strecke konnte der Pkw seine Höchstgeschwindigkeit nicht ausfahren, da die Strecke durchweg Innerorts verlief und dementsprechend mit Geschwindigkeitsbegrenzungen versehen war. Vielmehr spielte die Anzahl an Ampel-Stopps sowie der Stau im Berufsverkehr die bestimmende Rolle, welche Geschwindigkeit erreicht werden konnte.

Die Geschwindigkeit ist definiert als die Distanz, die in einer bestimmten Zeiteinheit (z.B. pro Stunde) zurückgelegt wird. Die GPS-Logger erfassten nicht nur die Strecke und die dafür erforderliche Gesamtzeit, sondern auch die in jeder einzelnen Sekunde gefahrene Geschwindigkeit. Dies ermöglichte die Einteilung der Fahrt in Geschwindigkeitskategorien. Die Teilauswertung fand in sechs Kategorien statt:

- Standzeit (0 – 3km/h)
- 3 – 20 km/h
- 20 – 30 km/h
- 30 – 40 km/h

- 40 – 50 km/h
- schneller als 50 km/h.

Eine Aussage über die zeitliche Verteilung der Geschwindigkeiten und ein Vergleich zwischen den Verkehrsmitteln und Phasenabschnitten waren somit möglich.

Ausreißer - bedingt durch kurzzeitige Störungen im Satellitenempfang - wurden durch eine Größenbegrenzung der Geschwindigkeitswerte normalisiert. Die Größenbegrenzung richtete sich nach der maximal erlaubten Geschwindigkeit zuzüglich eines Puffers, der sich am praktischen Fahrverhalten von Verkehrsteilnehmern orientierte. Beispielsweise lag die Größenbegrenzung für die Geschwindigkeitswerte der Pkw 17 m/s (60 km/h), dies entspricht der innerstädtisch erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h und einem Zuschlag von 10 km/h.

6.4.3. Kosten

Die Kosten stellen den dritten und letzten Parameter der zeitlich-monetären Dimension dar.

Sie machen für eine zunehmende Bevölkerungsgruppe in unserer Gesellschaft einen bzw. den maßgeblichen Faktor bei der Wahl des Verkehrsmittels aus. Daher ist eine Betrachtung der Kosten für die Ermittlung des optimalen Verkehrsmittels zwingend notwendig.

Bei der Nutzung von Verkehrsmitteln des motorisierten Individualverkehrs fehlt oft das Bewusstsein für deren tatsächliche Vollkosten. Viele Menschen haben die täglich schwankenden - in der Grundtendenz aber steigenden - Kraftstoffpreise vor Augen und vernachlässigen die fixen Kosten wie Wertverlust, Versicherung und Steuern sowie die verdeckten nutzungsabhängigen Kosten Wartung, Reparatur und Verschleiß (Reifen, Bremsen, ...). Mit dieser Teilkostenperspektive werden dann die Kosten für das Einzel- oder Monatsticket des ÖPNV oder auch die Anschaffungskosten für ein hochwertiges Fahrrad oder ein Pedelec verglichen.

Ziel des Versuchs war es, die Vollkosten des Individuums für die verschiedenen Verkehrsmittel objektiv und umfassend aufzuzeigen und zu vergleichen. Auf eine Einbeziehung der gesellschaftlichen Kosten wie z.B. für die Verkehrsinfrastruktur, Gesundheitsschäden oder die Beseitigung von Umweltschäden wurde bewusst verzichtet.

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die untersuchten Kostenarten und deren Eigenschaften. Fixe Kosten fallen unabhängig von der Laufleistung des Verkehrsmittels an, variable Kosten hängen von der Laufleistung des Verkehrsmittels ab. Kostenarten, die sich sowohl an der Zeit oder an der Laufleistung orientieren könnten, wurden zur Vereinfachung des Modells entweder den fixen Kosten (z.B. Versicherung) oder den variablen Kosten (z.B. Inspektion) zugeordnet:

Kostenart	Fixe Kosten (gem. Zeit)	Variable Kosten (gem. Kilometer)
Anschaffungspreis	X	
Wertverlust (Abschreibung)	X	
Wartung		X
Reparatur		X
Inspektion		X
Ersatzakku (ggf. für Elektrofahrzeuge)		X
Versicherung	X	
Steuern	X	
Parkkosten (Monatsticket)		X
Kraftstoffkosten		X
Stromkosten		X
Monatskarte ÖPNV	X	
Einzelfahrscheine ÖPNV		X

Tabelle 1: Einteilung der untersuchten Kostenarten in fixe und variable Kosten

Auf eine separate Berechnung des nutzungsabhängigen Anteils des Wertverlustes in Abgrenzung zum zeitabhängigen Wertverlust wurde aufgrund der geringen Laufleistung im Versuch (Tabelle 2) verzichtet.

Für die Kostenberechnung des ÖPNV wurden Monatstickets zugrunde gelegt. Einzelfahrscheine spielen beim Berufspendler nur eine untergeordnete Rolle, wirtschaftlich sinnvoll können sie meist nur für Teilzeitkräfte im Blockmodell oder für Mitarbeiter mit häufigem Homeoffice oder häufigen Auswärtsterminen sein.

Bei der Berechnung der Kosten pro Kilometer (9.5.11, S. 107) steigen die variablen Kosten der Individualverkehrsmittels auf Basis der hinterlegten Kostenfunktion proportional mit der Laufleistung. Die fixen Kosten werden dabei auf die Laufleistung verteilt.

Da Verkehrsmittel meist nicht ausschließlich für den Arbeitsweg, sondern auch für sonstige Privatfahrten genutzt werden, wurden bei der Erarbeitung des für die Kostenberechnungen zugrunde zu legenden Nutzungsprofils zunächst die beiden nachfolgenden Szenarien betrachtet, aber nur die zweite Variante mit der zusätzlichen Privatlaufleistung weiter verfolgt:

- (1) Das Verkehrsmittel wird nur beruflich zum Pendeln von Friedrichsthal zum Altstädtischen Rathaus genutzt (6.5.2, S. 48).
- (2) Das Verkehrsmittel wird über die tägliche Fahrt zur Arbeit hinaus auch privat genutzt. Dabei wurde für den Pkw eine zusätzliche Privatnutzung von 150 % der Laufleistung für den täglichen Arbeitsweg angenommen, bei allen anderen Verkehrsmitteln eine zusätzliche Privatnutzung von 50 %.

Die Pkw verfügen über ein größeres Potential zur Privatnutzung, da mit diesen problemlos auch etwas längere Fahrten (z.B. Wochenendausflüge in der Region) vollkommen unabhängig vom Wetter möglich sind. Da es sich aber in beiden Fällen (konventionell und elektrisch) nur um einen kleinen Pkw (Fiat 500) handelt, wurden keine weiten Urlaubsreisen und ähnliches eingerechnet. Die berechnete Jahreslaufleistung liegt damit unterhalb der durchschnittlichen Laufleistung von privaten Pkw.

Bei allen Verkehrsmitteln kommt die zusätzliche private Laufleistung sowohl durch Umwegfahrten insbesondere auf dem Rückweg als auch durch zusätzliche Fahrten für Freizeit- und Einkaufsaktivitäten in den Abendstunden sowie an den Wochenenden zustande.

Für alle Verkehrsmittel wurde die Annahme getroffen, dass sie jeden Tag - wetterunabhängig - für die Fahrt zur Arbeit genutzt werden. Dies entspricht gerade bei den Zweirädern nur zum Teil der tatsächlichen Praxis. Jedoch würde die Berechnung von Mischvarianten (Regentage mit dem Pkw oder ÖPNV und an regenfreien Tagen mit dem Zweirad) den Rahmen dieser Studie übersteigen.

	Laufleistung pro Jahr in km	
	Szenario 1: Rein berufliche Nutzung	Szenario 2: Berufliche und private Nutzung
Pkw	3.650 km	9.100 km
Roller	3.400 km	5.100 km
Fahrrad / Pedelec	3.150 km	4.700 km
ÖPNV + Laufen	3.600 km	5.400 km
ÖPNV + Faltrad	3.450 km	5.200 km

Tabelle 2: Laufleistungen nach Szenario in Kilometern pro Jahr

Im Nachfolgenden sind die konkret berücksichtigten Vollkosten der unterschiedlichen Verkehrsmittel bzw. Verkehrsmittelkombinationen beschrieben:

Pkw fossil

Der Anschaffungspreis des im Versuch verwendeten Fiat 500 liegt bei ca. 15.000 €. Nach 10 Jahren Haltedauer ist bei der angenommenen Laufleistung mit einem Restwert von ca. 1.500 € zu rechnen. Die fixen Kosten des Wertverlustes betragen dementsprechend 1.350 € pro Jahr. Weitere Fixkosten pro Jahr sind 487 € für die Versicherung und 123 € Steuern. Für Wartung, Inspektion und Reparaturen fallen durchschnittlich insgesamt 292,98 € pro Jahr an (ADAC e.V., 2011). Für den Versuchszeitraum von zwei Wochen betragen die Parkkosten mit einem Monatsticket 37,5 €.

Pkw elektrisch

Der Karabag 500 E kostet in der Anschaffung 35.000 €. Nach 10 Jahren Laufzeit, mit einem verbleibenden Restwert von ca. 2.000 €, ergibt sich ein jährlicher Wertverlust von 3.300 €. Pro Jahr betragen die Versicherungskosten 420 €, dafür ist der elektrische Pkw die ersten fünf Jahre steuerfrei, danach betragen die Steuern 33 € pro Jahr. Für Wartung, Inspektion und Reparaturen fallen ca. 200 € pro Jahr an. Dieser Posten ist bei dem elektrischen Pkw günstiger als bei dem konventionellen Pkw, da elektrische Motoren und sonstigen Antriebskomponenten weniger störanfällig und günstiger zu reparieren sind. Folgende wartungsintensive Teile und Vorgänge entfallen beispielsweise bei einem elektrischen Pkw:

- Auspuffanlage
- Lichtmaschine
- Anlasser
- Getriebe
- Kupplung
- Keil- und Zahnriemen
- Ölwechsel und Ölfilter

Die Batterie des Pkw verfügt gemäß telefonischer Auskunft des Herstellers am Ende einer 10-jährigen Nutzungsdauer bzw. 2.000 Ladezyklen noch über 75 % der ursprünglichen Speicherkapazität. Diese Haltbarkeit deckt sich mit jüngsten Aussagen anderer Automobilhersteller. So sprachen am 12.09.2012 auf einem Kongress in Leipzig sowohl Herr Prof.

Wolfgang Steiger, Leiter Zukunftstechnologien der VW AG; als auch Herr Jürgen Laube, Projektleiter Produktion BMW i3 der BMW Group; von ca. 80 % Restkapazität nach 10 Nutzungsjahren. Der Hersteller des verwendeten Karabag gibt auf den Stromspeicher zwar nur 4 Jahre Garantie (bei maximal 1.500 km pro Monat), dennoch wurde in der Kalkulation aufgrund der getroffenen Prognosen zur Haltbarkeit kein Akkuwechsel innerhalb der ersten Nutzungsdekade eingeplant. Mit einem Monatsticket für ein Parkhaus in der Schweriner Innenstadt betragen die Parkkosten für den Versuchszeitraum wie beim fossilen Pkw auch 37,50 €.

Roller fossil

Ein qualitativ eher hochwertiger Roller kostet in der Anschaffung ca. 2.000 €. Abzüglich des Restwertes nach fünf Jahren Haltedauer in Höhe von 200 € errechnet sich ein jährlicher Wertverlust von 360 €. Weitere Kosten entstehen durch die Versicherung mit ca. 100 € pro Jahr und rund 250 € für Wartung, Inspektion und Reparaturen.

Roller elektrisch

Der Anschaffungspreis des im Versuch verwendeten elektrischen Rollers beträgt 2.800 €. Bei einer Haltedauer von fünf Jahren und einem Restwert von ca. 300 € entstehen Kosten für den Wertverlust in Höhe von 500 € pro Jahr. Weitere fixe Kosten sind die einkalkulierten, einmaligen Kosten für einen Ersatzakku von ca. 400 € und die Kosten der Versicherung von ca. 100 € pro Jahr. Für Wartung, Inspektion und Reparaturen fallen durchschnittlich ca. 150 € pro Jahr an. Dieser Posten ist bei dem elektrischen Roller günstiger als bei dem konventionellen Roller, da elektrische Motoren und sonstige Antriebskomponenten weniger störanfällig und günstiger zu reparieren sind.

Fahrrad

Für das Fahrrad wurde ein Anschaffungspreis von 1.000 € zugrunde gelegt. Bei einer Haltedauer von fünf Jahren ergibt sich ein jährlicher Wertverlust von 200 €. Der Restwert des Fahrrads nach fünf Jahren täglicher Nutzung zum Pendeln ist zu vernachlässigen und wurde nicht berücksichtigt. Für Wartung, Inspektion und Reparaturen fallen pro Jahr ca. 100 € an.

Pedelec

Das Pedelec kostet in der Anschaffung ca. 1.700 €. Unter der Annahme eines Restwert von 200 € nach fünf Jahren Haltedauer macht dies einen jährlichen Wertverlust von 300 €. Um die Leistungsfähigkeit des Pedelecs zu erhalten, wird einmal während der fünf Nutzungsjahre ein neuer Akku für 400 € einkalkuliert. Für Wartung, Inspektion und Reparaturen fallen pro Jahr ca. 150 € an.

ÖPNV und Laufen

Für ein Monatsticket wurden fixe Kosten in Höhe von 58 € berücksichtigt. Bei einer rein beruflichen Nutzung des Monatstickets entstehen demnach Kosten in Höhe von 1,45 € pro Einzelfahrt. Bei einer zusätzlichen privaten Nutzung von 50 % beträgt der Preis pro Strecke 0,97 €.

ÖPNV und Faltrad

Auch in dieser ÖPNV-Kombination wurde der Preis pro Fahrt mit einem Monatsticket bei zusätzlicher privater Nutzung von 50 % berechnet. Als weiterer Kostenfaktor wurde das Faltrad mit einem Anschaffungspreis von 500 € einbezogen. Die Haltedauer des Faltrades be-

trägt fünf Jahre, somit ergeben sich fixe Kosten in Höhe des Wertverlusts von 100 € im Jahr. Ca. 30 € fallen pro Jahr für die Wartung, Inspektion und Reparaturen des Faltrades an.

Der Preis für eine kWh Strom betrug in der Versuchszeit 0,2338 €. Ein Liter Super Benzin kostete 1,6603 €.

Die gesamten Fixkosten der Verkehrsmittel pro Jahr wurden auf die Versuchszeit heruntergerechnet und durch die Laufleistung während des Versuchs geteilt. Die verkehrsmittelspezifischen Kosten pro Kilometer ermöglichen den monetären Vergleich der Verkehrsmittel (9.5.11, S. 107).

6.4.4. Bewegung

Die Bewegung ist ein Parameter der persönlichen Dimension des Fahrers bzw. der Fahrerin.

Untersuchungen haben ergeben, dass Frauen pro Tag im Durchschnitt 6,7 und Männer 7,1 Stunden sitzen (Bundesministerium für Gesundheit, 2010). Idealerweise sollte jede Person ca. 10.000 Schritte pro Tag gehen. Dies steigert die Leistungsfähigkeit, Fitness und das Wohlbefinden. Krankheiten können verhindert und bestehende Krankheiten gelindert bzw. geheilt werden (Charité Ambulanz für Prävention und Integrative Medizin, 2011).

Nach neuesten Forschungsergebnissen gilt arbeitende Muskulatur als wichtiges Stoffwechselorgan. Arbeitend baut die Muskulatur Stresshormone ab und produziert eine Vielzahl an Botenstoffen. Diese Myokine wirken steuernd bis tief in alle wichtigen Stoffwechselwege ein und sind nachweislich sowohl für die körperliche Gesunderhaltung und Leistungsfähigkeit, als auch für die Hirnleistung, kognitive Funktionen und psychisches Wohlbefinden unverzichtbar (Besuch, 2011).

Unter den spezifischen Bedingungen des *Schweriner Versuchs* wiesen alle Verkehrsmittel bis auf die beiden Roller-Varianten echte Bewegungsphasen auf, entweder zu Fuß von der Haltestelle oder vom Parkhaus, oder das Fahren der gesamten Strecke mit Fahrrad oder Pedelec. Wie hoch oder niedrig die Unterschiede tatsächlich ausfallen, war in der Analyse von Interesse. Der Anteil körperlicher Bewegung an der Gesamtstrecke ist jedoch sehr stark von den spezifischen Rahmenbedingungen abhängig. Wer mit dem Pkw aus der eigenen Garage in die Tiefgarage des Arbeitgebers fährt, hat selbstverständlich einen deutlich geringeren Bewegungsanteil als die Testfahrer im Versuch, die zumindest eine Fußstrecke von 350 – 400 Metern zurückzulegen hatten.

Während der Testfahrten trugen die TeilnehmerInnen je ein SmartBand am Unterarm und am Bein, kurz über dem Knöchel (auf Höhe des Retinaculum mm. extensorum superius). Das SmartBand am Bein verfügte über einen triaxialen Beschleunigungsmesser. Das Messgerät zeichnete während des Versuchs die Bewegung jedes Teilnehmers/jeder Teilnehmerin in einem dreidimensionalen Koordinatensystem auf. Aus den Beschleunigungsdaten ließ sich die körperliche Bewegung berechnen.

Zur Ermittlung der Bewegungsintensität mit den verschiedenen Verkehrsmitteln wurden zwei Bewegungsformen des Beins aufgenommen: Reale Schritte und andere Beinbewegungen. Über Schwellwerte wurden gleichzeitig alle Bewegungen, die nicht vom Fuß, sondern aus den Bewegungen und Vibrationen der Fahrzeuge resultierten, herausgefiltert.

Die übrige Bewegung unter dem Schwellenwert einer Schrittbewegung wurde durch Kumulation der Einzel-Schrittereignisse in Schrittäquivalente umgerechnet. Dieses Verfahren bezieht sich auf in der Literatur bekannte Methoden (Mathie, 2004).

Um den durchschnittlichen Energieaufwand eines Schrittes zu berechnen, wurden die Schrittzahl und die Schrittenergie phasenunabhängig betrachtet. Die daraus errechnete Größe „Energie pro Schritt“ wurde verwendet, um die anderen Bewegungs-Energien der Beine in Schrittäquivalente umzurechnen. Die Schritte und die umgerechneten sonstigen Bewegungen wurden als Schrittäquivalente subsummiert. Dies ermöglichte einen Vergleich der gesamten Beinbewegungen während der Fahrt mit den verschiedenen Verkehrsmitteln.

Die Bewegungsdaten wurden mit der Statistik-Software Stata SE (Version 11) ausgewertet.

6.4.5. Stress

Der Stress ist der zweite Parameter der persönlichen Dimension des Fahrers bzw. der Fahrerin.

Der Anteil mentaler Erkrankungen und damit verbundener Krankheitstage ist in den letzten Jahren deutlich angestiegen. Es sollte daher untersucht werden, ob sich die Wahl des Verkehrsmittels auf den Stresslevel auswirkt, dem sich die Arbeitnehmer auf dem Weg zum Arbeitsplatz aussetzen.

Als Grundlage der Stressmessungen dienten die Daten der SmartBänder, die mit der Statistik-Software Stata SE (Version 11) ausgewertet wurden. Das Signifikanz-niveau der Auswertung betrug 15 %. Dieses erhöhte Niveau war aufgrund des kleinen Versuchsumfangs notwendig.

Zur Bestimmung der Stressbelastung zeichnete das SmartBand am Unterarm die Haut- und Außentemperatur sowie die elektrodermale Aktivität (Hautleitfähigkeit) auf. Die Hautleitfähigkeit wird durch Schweiß erhöht. Eine erhöhte Schweißproduktion gilt als Indikator für eine gesteigerte Aktivität des sympathischen Nervensystems aufgrund mentaler Beanspruchung. Die mentale Beanspruchung kann Stress, aber auch Aufmerksamkeit oder sonstige mentale Erregung sein. Der Anteil des Stresses ließ sich durch den Vergleich mit der Veränderung der Hauttemperatur bestimmen. Bei Stress kommt es durch die Ausschüttung des Hormons Adrenalin zu einer Verengung der Arteriolen, folglich sinkt die durchschnittliche lokalperiphere Durchblutung und damit auch die Hauttemperatur (Boucsein, 1988) (Schandry, 1988). Das Außenthermometer maß parallel die Außentemperatur als Referenzwert, um die Temperaturerhöhung der Haut rechnerisch von externen Faktoren bereinigen zu können.

Bewegung baut Stresshormone ab. Ohne Eile oder stressauslösende Erlebnisse während der Fahrt besteht demnach die Möglichkeit, nach der Fahrt entspannter zu sein als zuvor. Andererseits kann das Reagieren auf andere Verkehrsteilnehmer Stress auslösen, wodurch das Stressniveau nach Ende der Fahrt erhöht ist. Stress beeinflusst kurzfristig wie langfristig die Leistungsfähigkeit und die Gesundheit. Langanhaltender negativer Stress kann zu einem Burnout und Arbeitsausfall führen (Weibel, 2005).

Die Auswertung der Daten wurde über eine Regression mit Korrektur der personenbedingten Within-Cluster-Korrelation durchgeführt.

Stress kann - ähnlich wie die Geschwindigkeit - in verschiedenen Varianten gemessen und ausgedrückt werden. Die SmartBänder zeichneten mit hoher Granularität (10 Hz, d.h. 10 Messwerte pro Sekunde) quasi-kontinuierlich die Veränderungen der körperlich angezeigten Nervenaktivität auf. Diese Messmethode ermöglichte die Berechnung mehrerer Facetten von Stress-Reaktionen, und zwar die Anzahl der Stressereignisse, die Stärke der Stressreaktionen oder - wie in diesem Falle gewählt - die Summe der Stressbelastung, bestehend aus Anzahl und Stärke der Stressreaktionen. Da sich die Fahrzeit der Verkehrsmittel teilweise

deutlich unterschied, wurde darüber hinaus noch eine Normierung der Stressbelastung mit der Zeit vorgenommen, also die Stressbelastung pro Minute ausgedrückt. Mehrere Indikatoren konnten somit kombiniert und die gesamte Stresserfahrung der TeilnehmerInnen ausgewertet werden.

Zusätzlich wurde analysiert, ob der Stresslevel am Ende der Fahrt höher oder niedriger lag als zu Beginn. Damit sollte untersucht werden, inwieweit die Verkehrsmittelwahl den zu Fahrtbeginn gegebenen individuellen und situativen Stresslevel hebt oder senkt.

Ein Bestandteil der Stressberechnung war das Herausfiltern von Rauschen und Artefakten, die anhand der Andrucksensoren identifiziert wurden. Es kamen Filterverfahren der Signalprozess-Analyse zur Anwendung (Glättungsverfahren).

Um Verfälschungen der Stressmessungen wegen der Muskelaktivität des Körpers zu verhindern, wurde diese als externer Faktor für eine Temperaturerhöhung und Schweißabsonderung des Körpers über den triaxialen Beschleunigungsmesser in die Stressberechnung einbezogen.

Die Stichprobe des Versuchs war für die Messung des Parameters Stress sehr klein. Stärker als bei anderen Parametern hängt der Stresswert jeder einzelnen Fahrt sehr stark auch von Faktoren ab, die nichts mit der Verkehrsmittelwahl zu tun haben. Des Weiteren war der nicht vorhandene Termindruck während des Versuchszeitraumes nicht repräsentativ für den Alltagspendler. Die TeilnehmerInnen hatten ausreichend Zeit für den Versuch und eventuelle Verspätungen eingeplant, ihre Arbeitgeber waren informiert. Unter Normalbedingungen wäre eine erhöhte Stressbelastung, besonders bei den Verkehrsmitteln des motorisierten Individualverkehrs, zu erwarten. In diesen aktiven Verkehrsmitteln fährt der Fahrer bzw. die Fahrerin konstant schneller und versucht die verlorene Zeit wieder aufzuholen. Staus, Ampeln und Überholmanöver führen zu einem dauerhaft angespannten Zustand. In den passiven Verkehrsmitteln des ÖPNV gibt es eine Stressspitze, wenn beispielsweise die Verbindung verpasst wurde, danach muss der oder die TeilnehmerIn auf den nächsten Anschluss warten, persönlich kann der Prozess nicht beschleunigt werden. Vermutlich sorgte der fehlende Termindruck während des Versuchs zu einer Unterbewertung der Stressbelastung des Individualverkehrs.

Die im Rahmen des Versuchs erkannten grundsätzlichen Stressunterschiede lassen es als lohnenswert erscheinen, gerade diese Fragestellung in weiteren Projekten tiefergehend mit einer größeren Stichprobenzahl und längeren Versuchszeit zu untersuchen.

6.4.6. Streckenlänge

Die Streckenlänge ist den Parametern der gesellschaftlichen Dimension zugeordnet. Sie hat zwar unmittelbare Wirkung auf Parameter der zeitlich-monetären Dimension, doch steht sie für sich selbst betrachtet für das Individuum nicht im Vordergrund. Da die Streckenlänge eine wesentliche Auswirkung auf das Verkehrsaufkommen hat, wurde sie der gesellschaftlichen Dimension zugeordnet.

Neben der Streckenlänge sollte auch die Streckenwahl der TeilnehmerInnen bekannt sein. Aus städtebaulicher Sicht sind die Wahl des Verkehrsweges, die Länge der Pendelstrecke sowie das mit diesen Entscheidungen variierende Verkehrsaufkommen sehr interessant.

Für die TeilnehmerInnen war die Streckenwahl vom Start- zum Zielort frei wählbar (6.5.2, S. 48). Um die Unterschiede zwischen den gewählten Strecken und deren Auswirkungen auf die Fahrzeit und Kosten zu untersuchen, wurde die Streckenlänge mithilfe der GPS-Logger

(6.3.1, S. 35) ermittelt. Der unterschiedliche Weg der TeilnehmerInnen mit den verschiedenen Verkehrsmitteln konnte somit nachverfolgt werden.

Die Auswertung der Streckenlänge fand in Excel statt. Ein Bestandteil der Daten der GPS-Logger war die Distanz zwischen den im Sekundentakt aufgezeichneten Positionen der TeilnehmerInnen. Die zurückgelegte Strecke konnte sekundengenau in den Phasen (6.5.4, S. 53) abgelesen werden. Die Distanzen der einzelnen Sekunden wurden addiert und das Ergebnis war die Streckenlänge pro Phase. Ausreißer aufgrund von kurzzeitigem Abbruch der Verbindung zum Satelliten wurden über eine Werthöchstgrenze, die realistisch in einer Sekunde zurücklegbare Distanz, gefiltert. Die Werthöchstgrenze für die Pkw, Roller und den ÖPNV wurde bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h fixiert, was einer Distanz von 17 m/s entspricht. Die Ausreißerwerte wurden durch diesen verkehrsmittelspezifischen Höchstwert ersetzt. Die korrekte Auswertung des Parameters Streckenlänge wurde somit sichergestellt. Für das Pedelec galt die Werthöchstgrenze von 45 km/h bzw. 12,5 m/s., für das Fahrrad 40 km/h bzw. 11 m/s, für das Faltrad 30 km/h bzw. 8,5 m/s und schließlich für das Laufen 10 km/h und 2,8 m/s.

6.4.7. Energieverbrauch

Der Energieverbrauch stellt einen bedeutenden, aber bisher nur zweitrangig betrachteten Parameter der gesellschaftlichen Dimension dar.

Der Energieverbrauch in Form von Strom und Kraftstoff wurde für jedes Verkehrsmittel in unterschiedlicher Weise bestimmt und zwecks Vergleichbarkeit mit der Einheit Megajoule (MJ) ausgedrückt. Die Datenbasis dafür bildete das Transport Emission Estimation Model (TREMODO). Der Energieverbrauch der Versuchsfahrzeuge wurde - wie in den allermeisten Publikationen und Herstellerangaben üblich - Tank-to-Wheel betrachtet.

Die energieformspezifische Berechnung des Energieverbrauchs in MJ fand wie folgt statt:

Konventioneller Pkw und Roller

Der über die geeichte Zapfsäule der Tankstelle ermittelte Verbrauch von Super Benzin (6.3.5, S. 36) wurde zunächst mit der Einheit Liter ausgedrückt. Die während und am Ende des Versuchs betankte Menge ergab den Kraftstoffverbrauch. Auf Basis der mittleren Dichte des EU5 Kraftstoff mit 5 % Bioanteil erfolgte die Umrechnung auf den in MJ dargestellten Heizwert in Höhe von 41,9 MJ pro kg Kraftstoff.

Elektrische Pkw, Roller und Pedelec

Die durch die Strommesser (6.3.3, S. 35) dokumentierte Energieentnahme aus dem Stromnetz zum Laden der Akkus wurde zunächst in kWh gemessen. Multipliziert mit dem Faktor 3,6 ergab dies den Energieverbrauch in MJ. Die mit Ethanol zu betreibende Heizung war während des Versuchs defekt und konnte trotz der teils geringen morgendlichen Temperaturen nicht genutzt werden. Beim elektrischen Pkw wurde daher pro Fahrt pauschal eine kWh für die Heizung addiert. Der Wert von einer kWh basiert auf Erfahrungswerten des für diesen Versuchsabschnitt verantwortlich zeichnenden TÜV NORD.

ÖPNV

Die mit dem Bus zurückgelegte Strecke in Kilometern wurde mit dem durchschnittlichen Energiebedarf pro Person in Bussen von 0,97 MJ/km multipliziert. Weiter wurde die mit der Straßenbahn zurückgelegte Strecke in Kilometern mit dem durchschnittlichen Energiebedarf pro Person in der Straßenbahn in Höhe von 0,39 MJ/km multipliziert (IFEU Institut , 2011).

Die Ergebnisse wurden mit der Auslastung des ÖPNV von durchschnittlich 21 % (IFEU Institut, 2011) multipliziert, so dass 100 % des Energieverbrauchs auf die mitfahrenden Personen verteilt wurde. Addiert ergaben beide Ergebnisse den Energieverbrauch in MJ/Person als Pendler mit dem ÖPNV.

Zur Analyse des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen standen grundsätzlich folgende Methoden zur Wahl (Choudhury, 2002):

- Well-to-Tank (In der Betrachtung vom „Bohrloch zum Tank“ werden die CO₂-Emissionen der Rohstoffgewinnung, -verarbeitung und -veredelung zum finalen Energieträger betrachtet)
- Tank-to-Wheel (Vom „Tank zum Rad“ werden die CO₂-Emissionen bei der Verbrennung des Kraftstoffs während der Fortbewegung betrachtet)
- Well-to-Wheel (Vom „Bohrloch zum Rad“ ist die umfassendste Betrachtungsmethode und kombiniert Well-to-Tank und Tank-to-Wheel)

Der Energieverbrauch der fossil betriebenen Linienbusse wurde „Tank-to-Wheel“ und der elektrisch betriebenen Straßenbahnen „Well-to-Wheel“ betrachtet.

Fahrrad / Zu Fuß gehen

Für das Fahrrad und die Fortbewegung zu Fuß erfolgte keine Auswertung, da diese ausschließlich von Muskelkraft betrieben werden. Der unterschiedliche Kalorienverbrauch liegt deutlich unter der Messtoleranz der fossilen Kraftstoffe, daher wurde auf eine Einbeziehung in die Betrachtung des Energieverbrauchs verzichtet.

6.4.8. CO₂-Ausstoß

Der CO₂-Ausstoß ist wahrscheinlich der am öffentlichkeitswirksamsten diskutierte Parameter der gesellschaftlichen Dimension.

Diese Emissionen sollen einen Teil des Einflusses der Pendlerfahrt auf die Umwelt quantifizieren und somit die Umweltauswirkungen der Verkehrsmittel vergleichbar machen. Darüber hinausgehende umweltwirksame Parameter des Verkehrs wie z.B. Schadstoffausstoß oder Lärm wurden nicht gemessen, auch wenn sie ebenfalls von hoher Bedeutung sind.

Zur Berechnung des CO₂-Ausstoßes wurde die verbrauchte Energiemenge der Verkehrsmittel mit dem spezifischen CO₂-Gehalt je kWh Strom bzw. je Liter Benzin berechnet. Der CO₂-Ausstoß von Pkw wird üblicherweise mittels der „Tank-to-Wheel“-Methode betrachtet. Um dem Leser die Einordnung der Ergebnisse zu erleichtern, wurde für die Verbrennungsfahrzeuge (fossiler Pkw, Roller, Bus) in diesen Versuch diese Methode angewandt. Da die elektrisch angetriebenen Fahrzeuge (Straßenbahn, E-Pkw, E-Roller, Pedelec) in dieser Messmethode jedoch emissionsfrei dargestellt würden, wurde für dieses Fahrzeugsegment die Methode Well-to-Tank angewandt. Zur Erzeugung einer kWh im dem deutschen Strommix werden 559 g CO₂ emittiert, pro MJ sind dies umgerechnet 155 g CO₂ (Umweltbundesamt - Fachgebiet I 2.5 Energieversorgung und -daten, 2012). Die CO₂-Emission pro Person in einem Linienbus beträgt bei einer durchschnittlichen Auslastung von 21 % 75 g CO₂/km, in der Straßenbahn 72 g CO₂/km (Umweltbundesamt, 2009).

Ohne Beachtung der CO₂-Emission während der Vorkette zum fossilen Kraftstoff emittiert ein Pkw ca. 2.293 g CO₂ pro Liter Benzin, was einer Emission von 73 g pro MJ entspricht. Der 2-Takt-Roller emittiert 2.340 g CO₂ pro Liter Mischbenzin, pro MJ sind dies umgerechnet 74,5 g CO₂ (TÜV Nord Mobilität, 2012).

6.5. Durchführung des Versuchs

6.5.1. Allgemeine Informationen zur Durchführung

Der Versuch fand vom 16.04. - 27.04.12 in Schwerin statt. Der Zeitraum von zehn Werktagen war notwendig, um eine ausreichend belastbare Datenbasis zur Berechnung der untersuchten Parameter zu erhalten. Zudem wurde für eine aussagekräftige Energieverbrauchsmessung der konventionellen Fahrzeuge eine ausreichende Fahrleistung benötigt, da ansonsten keine valide Messung der Kraftstoffverbräuche hätte vorgenommen werden können.

Die Testfahrten fanden jeweils in der Hauptzeit des Berufsverkehrs statt, morgens aus dem Vorort in die Stadt, nachmittags wieder zurück in den Vorort. Um die Rahmenbedingungen des Berufspendlers korrekt abzubilden, konnten täglich somit jeweils nur eine Hin- und eine Rückfahrt durchgeführt werden. Weiterhin ließ auch das Ziel einer korrekten Messung der Energieverbräuche und Stresswerte keine mehrfachen Pendelfahrten pro Tag zu, weil ansonsten zum einen Fahrten mit warmem Motor gestartet worden wären und zum anderen sich die Stresssituation von der realen Situation der Berufspendler zu weit entfernt hätte.

6.5.2. Beschreibung der Fahrzeiten und Streckenführung

Wichtig für einen aussagekräftigen Versuchs war es, die Pendlerbewegungen von Berufstätigen möglichst realistisch nachzustellen. Als fiktiver Wohnort der TeilnehmerInnen fungierte daher ein Privathaus in der Schweriner Vorortsiedlung Friedrichsthal. Als fiktiver Arbeitsplatz diente das Altstädtischen Rathaus in der Schweriner Altstadt.

Während der morgendlichen Hauptverkehrszeit sind die TeilnehmerInnen zwischen 7:15 Uhr und 8:00 Uhr aus Friedrichsthal in die Altstadt gefahren. Nachmittags zwischen 16:15 Uhr und 17:00 Uhr fuhren die TeilnehmerInnen von ihrem fiktiven Arbeitsplatz zurück zu ihrem fiktiven Wohnort in Friedrichsthal. Die Strecke konnten die Teilnehmer selbst bestimmen. Je nach Wahl der Strecke betrug die minimale Streckenlänge 6,5 Kilometer. Jeder Teilnehmer ist den nach seiner Einschätzung geeignetsten Weg für sein jeweiliges Verkehrsmittel gefahren. Zur ersten Orientierung wurde den TeilnehmerInnen die verkehrsmittelspezifisch schnellsten Routen ausgehändigt (12.9, S. 190).

Die Strecke von Friedrichsthal bis ins Zentrum sieht auf der Karte sehr geradlinig und schnell zu befahren aus. Dieser Eindruck täuscht. Zum einen mussten in der Endmoränenlandschaft ca. 43 Höhenmeter überwunden werden (Abb. 22).

Höhenprofil der Strecke mit dem Fahrrad von dem Friedrichsthal in die Altstadt

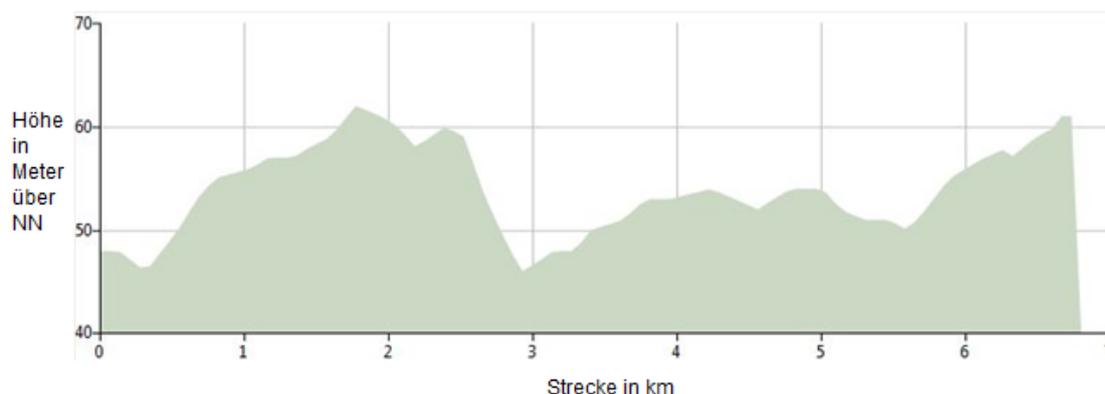


Abb. 22: Höhenprofil der Strecke mit dem Fahrrad von dem Friedrichsthal in die Altstadt

Zum anderen war die Einfallstraße zu Hauptverkehrszeiten sehr stark befahren. Eine besonders hohe Verkehrsdichte wies die Strecke im Bereich der Gadebuscher Straße, der Lübecker Straße und des Obotritenrings auf. Überwiegend ist die Strecke mit obligaten Fahrradwegen ausgestattet, die Qualität der Wege variiert jedoch sehr stark. Der ÖPNV ist relativ gut ausgebaut. Von Friedrichsthal aus wurden 2,3 km mit dem Bus zurückgelegt, an der Station „Lankow Siedlung“ mussten die TeilnehmerInnen umsteigen in die Straßenbahn. Die viertelstündige Taktung der Straßenbahnen sorgte für eine schnelle Weiterfahrt und war selbst in der Hauptverkehrszeit nicht überfüllt. Je nach verkehrsmittelspezifischer Streckenwahl war die Länge der Strecke zwischen 6,5 und 8 Kilometern. Die folgenden Abbildungen visualisieren die kürzeste Streckenwahl:

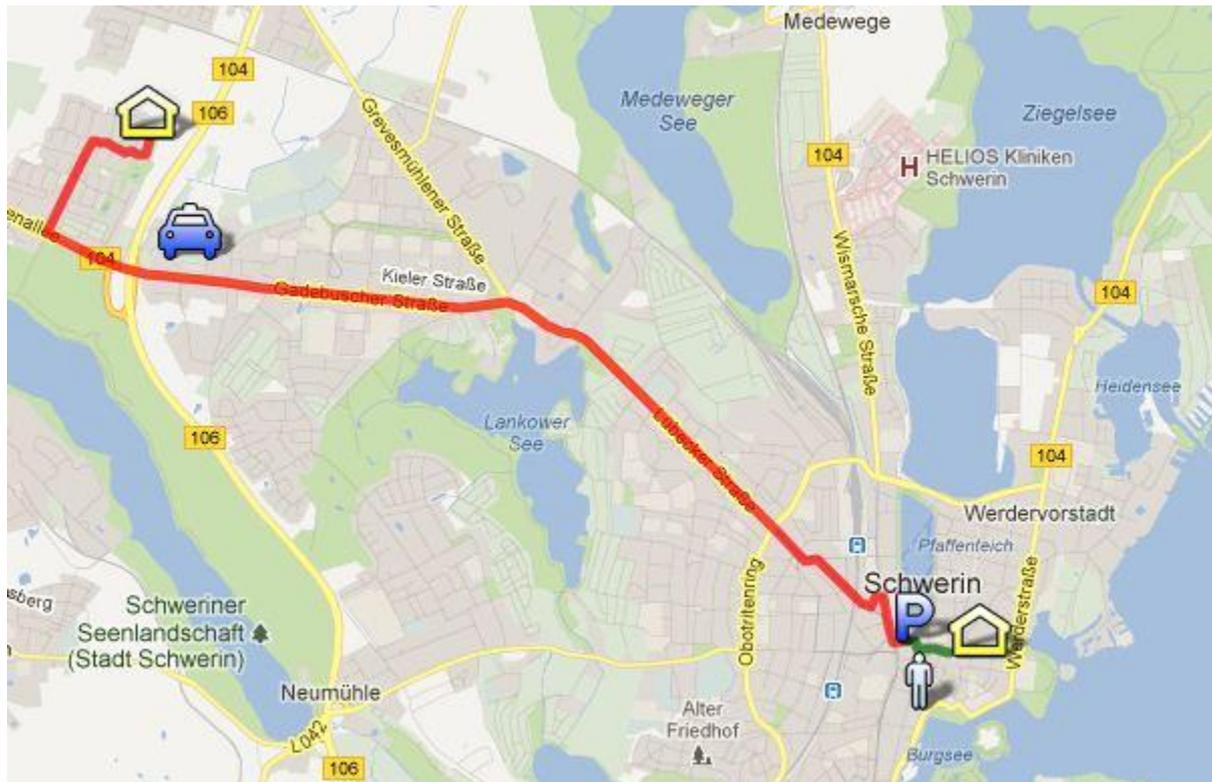


Abb. 23: Mögliche Strecke der Pkw

Die AutofahrerInnen mussten die längste Strecke zurücklegen. In Friedrichsthal wich die zulässige Streckenführung deutlich von der kürzesten Verbindung zwischen Start und Ziel ab. Im Zentrum wurde oftmals die in der Karte dargestellte Strecke gewählt. Teilweise wurden aber auch längere Routen aufgrund von Präferenzen der Teilnehmer für größere Straßen oder wegen aktueller Verkehrsverhältnisse gewählt. Die Pkw wurden im Parkhaus Marienplatz-Galerie in der Martinstraße abgestellt (in der Abbildungen mit „P“ gekennzeichnet), von dort gingen die Fahrer ca. 350 - 400 Meter zu Fuß zum Altstädtischen Rathaus.

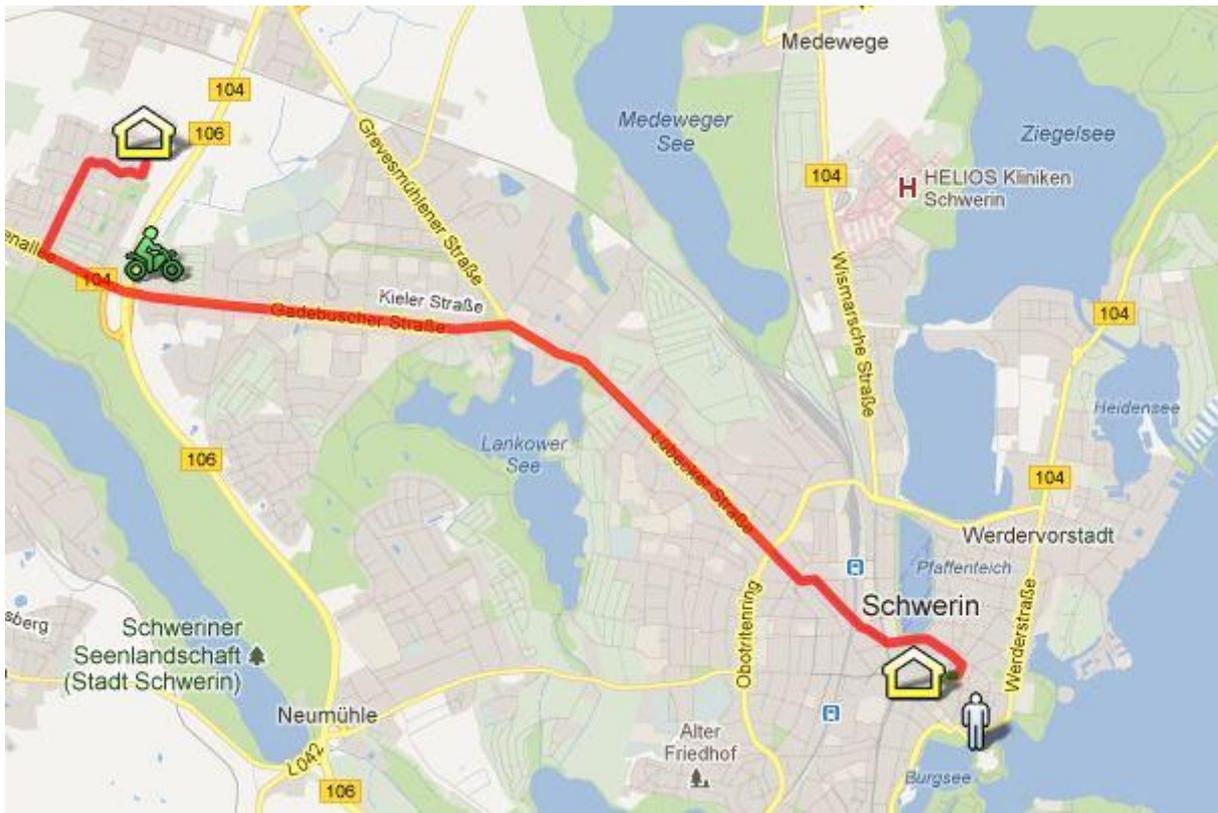


Abb. 24: Mögliche Strecke der Roller

Die RollerfahrerInnen waren im Vorort an die gleiche Streckenführung gebunden wie die Pkw. Im Zentrum konnten sie jedoch direkt bis ans Altstädtische Rathaus fahren und dort hinter dem Gebäude den Roller abstellen.

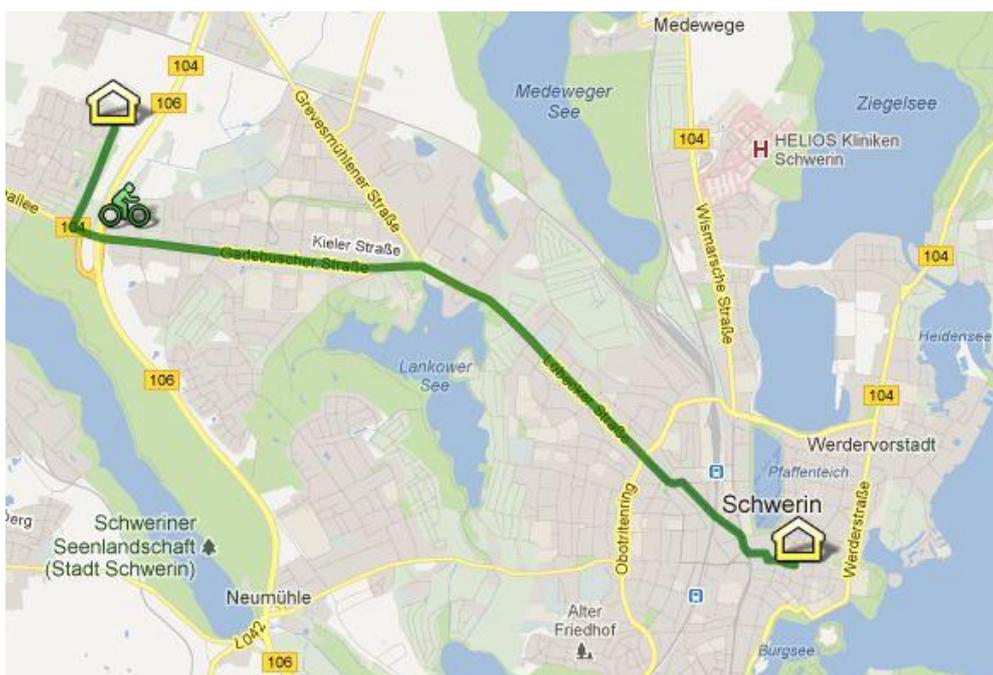


Abb. 25: Mögliche Strecke der Fahrräder und Pedelecs

Die Zweiräder hingegen konnten deutlich kürzere Strecken wählen. In der Vorortsiedlung gibt es für Fußgänger und Fahrräder zulässige Wege als Abkürzung vom Startpunkt in Richtung Innenstadt, im Zentrum ist das Befahren von Einbahnstraßen auch gegen die Pkw-Fahrrichtung gestattet.

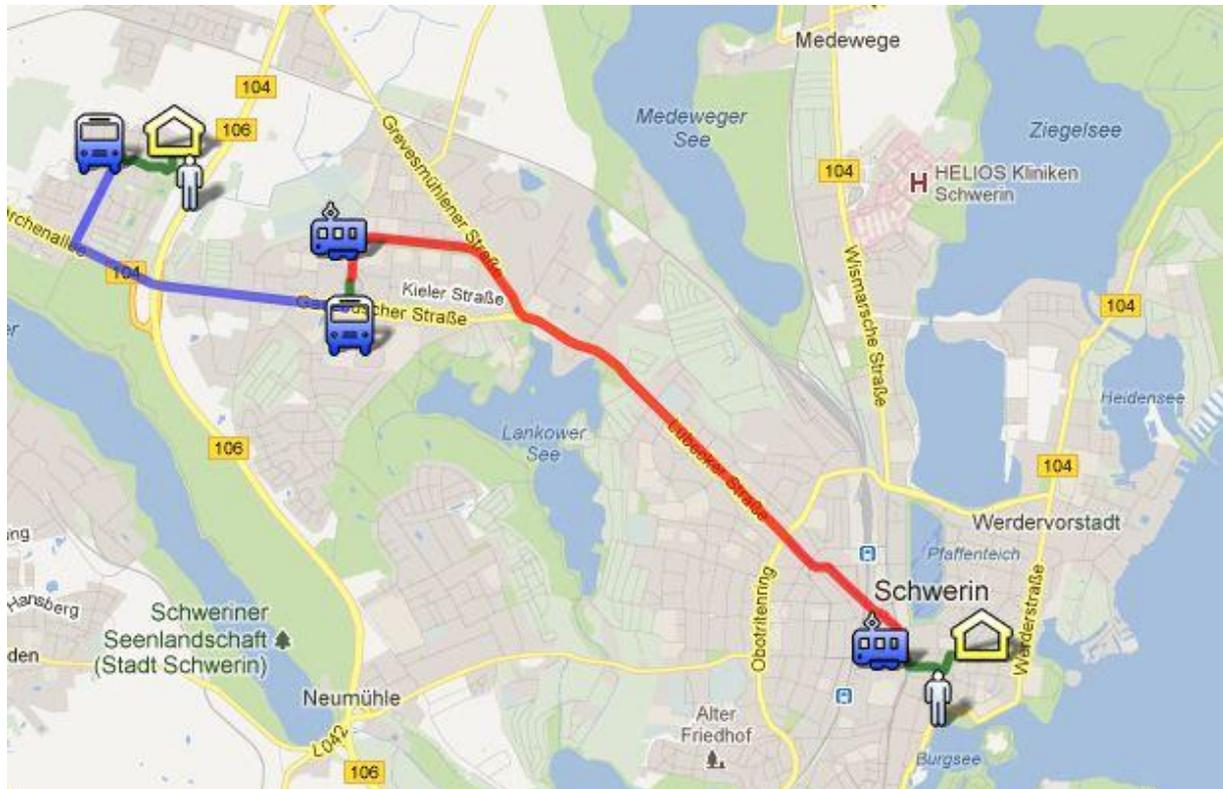


Abb. 26: Mögliche Strecke der TeilnehmerInnen mit der Kombination aus ÖPNV + Laufen

Die ÖPNV-Nutzer, die zu Fuß zur Haltestelle gingen, legten zuerst eine Strecke von 400 Meter zu Fuß vom fiktiven Wohnort zur Bushaltestelle zurück und nahmen dann den Bus bis zur Straßenbahnhaltestelle "Lankow-Siedlung". Dort stiegen sie in die Bahn um. In der Innenstadt legten sie die Strecke von der Haltestelle zum Altstädtischen Rathaus wiederum zu Fuß zurück (ca. 450 Meter).

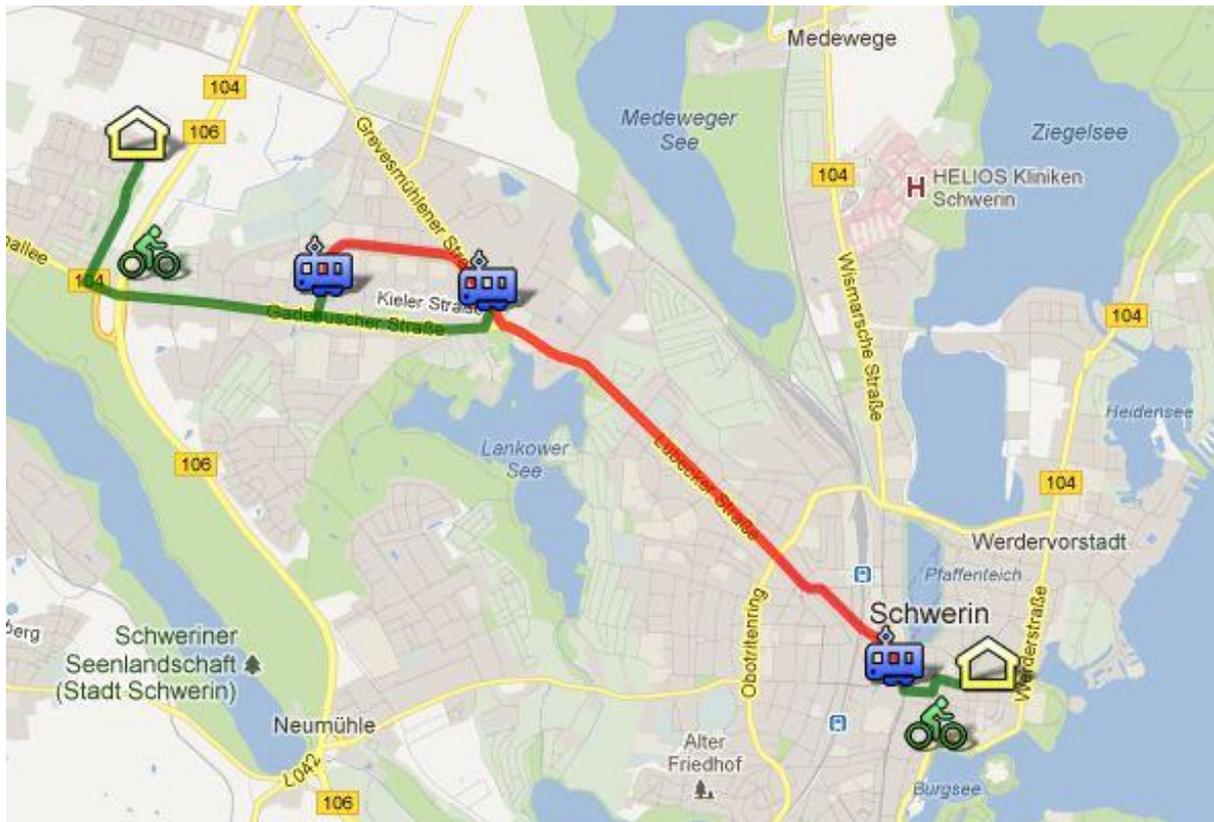


Abb. 27: Mögliche Strecke der TeilnehmerInnen mit der Kombination aus ÖPNV + Faltrad

Die Faltradnutzer fahren zunächst direkt bis zu einer der beiden Straßenbahnhaltstellen "Lankow-Siedlung" oder "Kieler Straße", nehmen von dort bis in die Innenstadt die Straßenbahn. Das letzte Teilstück fahren sie mit dem Faltrad direkt bis zum Altstädtischen Rathaus (ca. 450 Meter).

Jedes Verkehrsmittel war mit einer Kamera ausgestattet, die das Verhalten des Fahrers/der Fahrerin aufzeichnete und somit Kontrollen für die Einhaltung der StVO ermöglichte (6.3.6, S. 36). Die Einhaltung der StVO wurde zudem von einer versteckten Kamera an wechselnden, für die Testpersonen unbekanntenen Orten entlang der Versuchsstrecken kontrolliert.

6.5.3. Beschreibung des täglichen Versuchsablaufs

Jeden Werktag in der zweiwöchigen Versuchszeit trafen die TeilnehmerInnen um 7 Uhr am fiktiven Wohnort in Friedrichsthal ein. Es folgte eine kurze Befragung zum Gesundheitszustand, um krankheitsbedingte Verfälschungen der aufgenommenen Daten ausschließen zu können.

Danach legten die TeilnehmerInnen das technische Equipment an und schalteten die Geräte ein. Zum einen hatte der GPS-Logger somit ausreichend Zeit, eine Verbindung zum Satelliten aufzubauen, so dass das Gerät die Positionen der TeilnehmerInnen erfassen konnte. Zum anderen wurden mit den SmartBändern Referenzwerte für die Stressbelastung vor Beginn des Versuchs aufgezeichnet. Zur Sicherstellung einer korrekten Auswertung der Stressdaten wurden diese Referenzwerte als Basis für die Stressmessungen während der Fahrt genutzt. Nach Abschluss der technischen Vorbereitungen wurde den Teilnehmern nach dem Rotationssystem (6.5.5, S. 54) das jeweilige Verkehrsmittel zugeteilt. Ab 7:15 Uhr verließen die TeilnehmerInnen in kurzer Staffelung den Startort, um sich nicht gegenseitig zu beeinträchtigen. Nach einer verkehrsmittelspezifisch unterschiedlichen Fahrzeit von ca. 30

Minuten (im Einzelfall von bis zu 90 Minuten) trafen die TeilnehmerInnen am Zielort ein. Das Fahrrad und das Pedelec konnten direkt vor dem Altstädtischen Rathaus abgestellt werden. Die FahrerInnen der Roller hatten die Möglichkeit, ihre Zweiräder direkt hinter dem Altstädtischen Rathaus abzustellen. Die Pkw wurden in einem Parkhaus abgestellt, von wo der Fahrer/die Fahrerin die letzten 350 - 400 Meter zum Zielort zu Fuß ging. Mit Erreichen des Rathauses endete die Datenerhebung mit dem Ausschalten der technischen Geräte. Das technische Equipment wurde abgelegt und ein Fragebogen zur subjektiven Stressbelastung, dem eigenen Wohlempfinden und besonderen Vorkommnissen von den TeilnehmerInnen ausgefüllt (12.10, S. 200).

Für die Rückfahrt sind die TeilnehmerInnen gegen 16 Uhr im Altstädtischen Rathaus eingetroffen, haben sich - vergleichbar mit der Hinfahrt - für den Versuch vorbereitet und sind ab 16:15 Uhr zeitlich gestaffelt zurück zum morgendlichen Ausgangspunkt in Friedrichsthal gefahren.

6.5.4. Phasenabgrenzung

Für die detaillierte Auswertung der Daten wurde jede Fahrt - je nach Verkehrsmittel - in bis zu drei Phasen aufgeteilt. Die erste Phase war der Weg vom fiktiven Wohnort zum Hauptverkehrsmittel, die zweite Phase die Fahrt mit dem Hauptverkehrsmittel, die dritte Phase dann vom Abstellen bzw. Verlassen des Hauptverkehrsmittel bis zum fiktiven Arbeitsplatz im Altstädtischen Rathaus. Die Phasen der Rückfahrt, ausgehend vom Rathaus als Startort, wurden dementsprechend in umgekehrter Reihenfolge definiert.

Verkehrsmittel	Phase 1	Phase 2	Phase 3
	Weg bis zum Hauptverkehrsmittel	Weg mit dem Hauptverkehrsmittel	Weg nach dem Hauptverkehrsmittel
Pkw fossil		X	X
Pkw elektrisch		X	X
Roller fossil		X	
Roller elektrisch		X	
Fahrrad		X	
Pedelec		X	
ÖPNV + Laufen	X	X	X
ÖPNV + Faltrad	X	X	X

Tabelle 3: Relevante Phasen der Verkehrsmittel

Die in Tabelle 3 angegebene Phaseneinteilung galt für den Hinweg, beim Rückweg folgten die Phasen in umgekehrter Reihenfolge.

Mit den Rollern und den Zweirädern konnte man unmittelbar von Tür zu Tür fahren, die Pkw starteten direkt vor der Haustür, mussten dann in der Innenstadt aber am Arbeitsplatz in Ermangelung von eigenen Parkflächen in einem 350 - 400 Meter von Rathaus entfernten Parkhaus abgestellt werden. Beim ÖPNV war sowohl bis zur Haltestelle als auch von der Haltestelle bis zum Arbeitsplatz eine Wegstrecke zu Fuß bzw. mit dem Faltrad zurückzulegen.

Die Phasenabtrennung erfolgte bei den GPS-Geräten mittels Knopfdruck durch die Nutzer. In ca. 10 % der Fälle wurde dies durch die Nutzer vergessen bzw. erfolgte durch Fehlbedienung keine Aufzeichnung. In diesen Fällen wurden Beginn und Ende der Phasen durch das Projektteam im Vergleich der Geschwindigkeiten gemäß GPS-Daten und des Filmmaterials der Bordkameras rekonstruiert.

6.5.5. Rotationssystem

Nicht alle Probanden verfügten über die Pkw- und Roller-Fahrerlaubnis. Somit war es nicht möglich, jede Person einmal jedes Verkehrsmittel fahren zu lassen. Stattdessen musste ein Rotationssystem erarbeitet und angewandt werden, mit dem sichergestellt werden konnte, dass die Testpersonen die jeweils größtmögliche Anzahl von Verkehrsmitteln mit möglichst geringer Redundanz nutzen.

An jedem Versuchstag wurden acht der zehn Personen für die Fahrten benötigt. Immer zwei verschiedene Personen waren die „Reserve“, falls jemand krank oder terminlich verhindert war. Die TeilnehmerInnen wurden in drei feste Gruppen eingeteilt. Gruppe 1 bestand aus zwei Personen, die keinen Roller- und Pkw-Führerschein besitzen. Sie nutzten die beiden ÖPNV-Kombinationen, das Fahrrad und das Pedelec. Die Gruppe 2 bestand aus vier FahrerInnen, die alle Verkehrsmittel genutzt haben. Die Gruppe 3 nutzte zum Ausgleich für die eingeschränkte Verkehrsmittelwahl der Gruppe 1 nur die Roller und die Pkw. Täglich wurden den TeilnehmerInnen neue Verkehrsmittel zugeteilt.

6.5.6. Nachbereitung

Nach der Ankunft der TeilnehmerInnen in Friedrichsthal wurden alle Fahrzeuge auf Schäden überprüft. Bei den konventionellen Verkehrsmitteln wurde der Tankstand kontrolliert. Die Daten der Bordcomputer der beiden baugleichen Pkw wurden ausgelesen, dazu gehörten unter anderem die zurückgelegte Entfernung, der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch und die durchschnittliche Tagesgeschwindigkeit sowie die Gesamtzeit. Nachdem alle Verkehrsmittel gesichert waren, wurden die Akkus der Elektrofahrzeuge an die Haushaltssteckdose mit zwischengeschaltetem Strommessgerät angeschlossen und geladen. Am folgenden Tag konnten so die aufgenommenen Strommenge für den Ladevorgang abgelesen werden. Die Ladung aller Akkus erfolgte bei konstanter Temperatur in der Garage des Wohnhauses.

Jeden Abend wurden die Daten des technischen Equipments ausgelesen und gesichert. Zur frühzeitigen Identifizierung von Geräte- oder Gebrauchsfehlern wurden die Daten der GPS-Logger und der SmartBänder stichprobenweise auf Vollständigkeit und Korrektheit geprüft.

7. Auswertung der Versuchsdaten

In diesem Kapitel wird die grundsätzliche Vorgehensweise beschrieben und am Beispiel der Fahrzeit dargestellt. Die konkreten Ergebnisse für alle ausgewerteten Parameter sind im Anhang, Kapitel 12.1 zu finden.

Die grundlegenden Begriffe der Statistik mit Relevanz für diese Studie werden in 12.1.1 ab S. 117 erläutert, anhand eines Beispiels werden mögliche Anwendungen gezeigt.

7.1. Beschreibung der statistischen Auswertung

Prüfung auf Normalverteilung (Anderson-Darling-Test)

Die während des Versuchs mit dem technischen Equipment aufgenommenen Daten wurden mit dem Anderson-Darling-Test auf ihre Verteilung getestet (12.1.2, S. 120). Die Prüfung der Daten auf Normalverteilung ist ein notwendiges Verfahren zur Datenanalyse, da viele statistische Analyseverfahren auf Normalverteilungsannahmen beruhen und nur dann korrekte Ergebnisse liefern (D'Agostino, 1986). Es wurde mit einer Wahrscheinlichkeit für einen Alpha-Fehler von 5 % gearbeitet. Bei den Parametern Zeit und Strecke hat die Überprüfung mit dem Anderson-Darling-Test jedoch gezeigt, dass die Daten des Verkehrsmittels „ÖPNV und Faltrad“ nicht normalverteilt sind, weitere Verkehrsmittel waren nur knapp unter dem Schwellenwert. Mit dem Ziel der Vergleichbarkeit aller Verkehrsmittel untereinander wurden somit alle Verkehrsmittel mit einem nichtparametrischen Test untersucht. Dies verhinderte fehlerhafte Ergebnisse und den Verlust von Informationen durch Datenelimination.

Nichtparametrische Testverfahren (Kruskal-Wallis-Test)

Um signifikante Unterschiede zwischen den Verkehrsmitteln nicht nur optisch, sondern auch rechnerisch zu beweisen, wurde der Kruskal-Wallis-Test angewandt. Da die Daten nicht normalverteilt vorlagen, wurden die Signifikanzen mit diesem nichtparametrischen Testverfahren nachgewiesen.

Visuelle Darstellung der Verteilung in einem Boxplot

Boxplots ermöglichen einen visuellen Eindruck über die Streuung der Werte, die Lage des Medians, der Symmetrie der Verteilung, das Vorkommen von Ausreißern und die Positionen der Datenquartile. Verzeichnet werden der Median, der maximale und minimale Wert sowie die Ausreißer (Abb. 29, S. 58).

Diagramme zur Beschreibung der Daten

Die visuelle Aufbereitung der Daten mittels Diagrammen ermöglichte eine schnelle und umfassende Sichtung der Daten und vereinfachte das Erkennen von Datentrends. Für jeden untersuchten Parameter wurden zwei Diagramme erstellt. Das erste Diagramm vergleicht die verkehrsmittelspezifischen Mediane der Versuchsdaten, im zweiten werden die prozentualen Abweichungen der Datenmediane von einem Referenzwert dargestellt.

Ranking der Verkehrsmittel

Dieses Ranking der Verkehrsmittel spielt für die Auswertung und Diskussion der Ergebnisse eine entscheidende Rolle. Es wurden den Platzierungen Punktwerte zugeteilt. Die beste Platzierung erhielt zehn Punkte, die schlechteste null Punkte. Die Ergebnisse der Verkehrsmittel konnten somit für die Auswertung quantifiziert werden.

7.2. Statistische Auswertung am Beispiel der Fahrzeit

Am Beispiel der Fahrzeit werden nachfolgend die Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests auf signifikante Unterschiede zwischen den Medianen der Verkehrsmittel gezeigt (Abb. 28). Nach diesem rechnerischen Beweis werden die Ergebnisse in Boxplots dargestellt (Abb. 29). Sich den Daten von der Theorie in die Praxis nähernd, werden in den darauf folgenden Diagrammen die Mediane der Verkehrsmittelzeiten für die Hin-, Rück- und die Gesamtfahrt verglichen (Abb. 30). Für einen verbesserten Vergleich der Differenzen zwischen den verkehrsmittelspezifischen Medianen werden die prozentualen Abweichungen aller Verkehrsmittel vom schnellsten Verkehrsmittel in Abb. 31 gezeigt. Als letztes wird das Ranking der Verkehrsmittel in der Tabelle 4 dargestellt. Alle weiteren Auswertungen siehe Anhang 12.2 auf S. 124.

Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Fahrzeit von Tür zu Tür

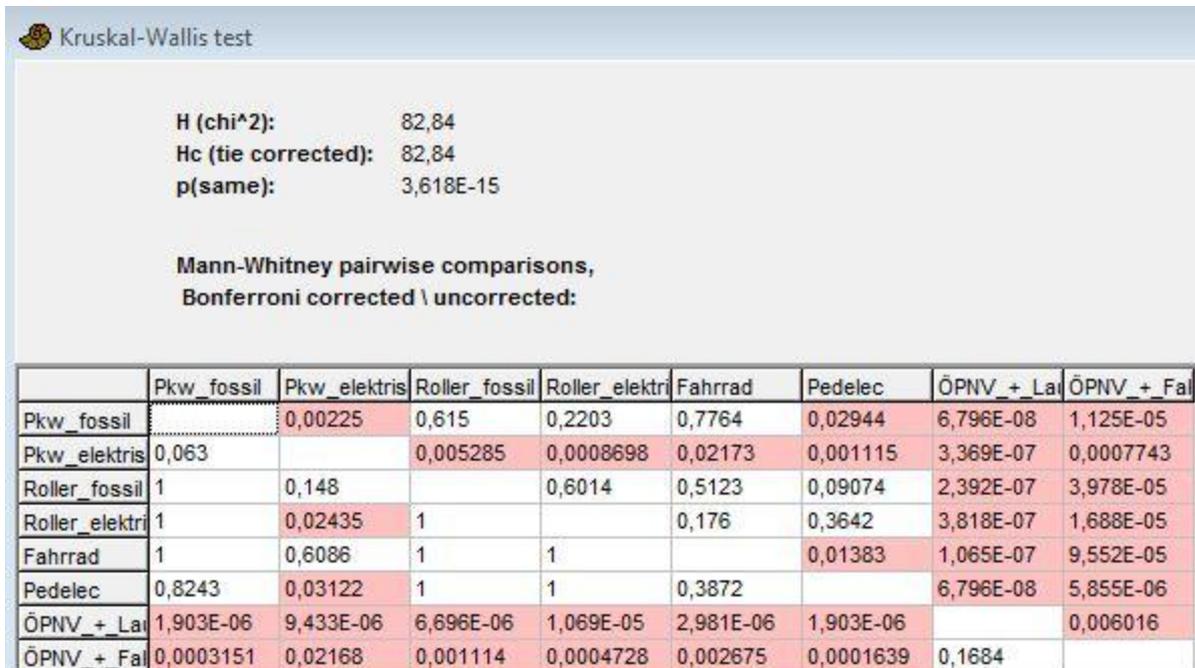


Abb. 28: Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Zeit mit den P-Werten für die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Nullhypothese

In der Abb. 28 werden über der Tabelle drei Werte angegeben, die folgende Aussagen zu den Versuchsdaten ermöglichen:

Der H-Wert ist der zu vergleichende χ^2 -Wert des Tests. Mit einem Schwellenwert wurde dieser von dem Programm „PAST“ automatisch verglichen. Die Ausgabe des χ^2 -Werts ermöglicht eine manuelle Kontrolle der Ergebnisse, um Fehler des Programms zu identifizieren und die Ergebnisse zu korrigieren. Der untere H Wert ist korrigiert und sollte zur manuellen Überprüfung der Daten im Bedarfsfall verwendet werden.

P (same) steht für die Wahrscheinlichkeiten des Eintreffens der Nullhypothese (H_0). Diese besagt, dass die Mediane der Verkehrsmittel keine Unterschiede aufweisen. Der Wert von P (same) liegt unter 0,05 bzw. 5 %, demnach unterscheidet sich mindestens ein Verkehrsmittel signifikant von den anderen. Welche Verkehrsmittel dies sind, zeigen die rot markierten Felder in der Abb. 28. In der Tabelle werden die Wahrscheinlichkeiten für das Eintreffen der

Nullhypothese (H_0) mittels des P-Werts abgebildet. Die H_0 besagt, dass die Mediane der verkehrsmittelspezifischen Fahrzeiten gleich sind. Diese Wahrscheinlichkeiten werden durch die Zahlen in den Tabellenfeldern der Abb. 28 dargestellt. Ein Feld beinhaltet immer den P-Wert für die jeweiligen zwei miteinander verglichenen Verkehrsmittel (siehe Achsenbeschriftung). Wenn der P-Wert unter 0,05 bzw. 5 % liegt, ist die Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen so gering, dass die Alternativhypothese (H_1) angenommen wird und die H_0 verworfen wird. Die Aussage der H_1 , dass die Mediane signifikant unterschiedlich sind, stimmt also für die Verkehrsmittel, die in den rot unterlegten Feldern miteinander verglichen werden. Gleichzeitig stehen die Zahlen in den Feldern für die Irrtumswahrscheinlichkeit der Aussage der H_1 . Die Werte oberhalb der Diagonalen in der Abb. 28 sind Bonferroni-korrigiert, die darunter nicht. Verwendet wurden die korrigierten Werte.

Lese- und Interpretationshilfe für die Abb. 28:

Die Mediane des elektrischen und des fossilen Pkw (oben Links in der Abb. 28) unterscheiden sich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,225 % nicht signifikant voneinander, im Umkehrschluss heißt dies, dass sie sich mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,775 % signifikant unterscheiden. Alle weiß unterlegten Wahrscheinlichkeiten, beispielsweise Pkw fossil und Roller fossil, unterscheiden sich mit einer hohen Wahrscheinlichkeit nicht signifikant voneinander. Die rechnerische Analyse zeigt, dass sich insbesondere die Fahrzeiten der Verkehrsmittelkombinationen (zum Beispiel ÖPNV und Faltrad) signifikant von denen der anderen Verkehrsmittel (zum Beispiel den Pkw) unterscheiden. Dies lässt sich anhand der durchgehenden Rotfärbung der Felder der ÖPNV-Kombinationen (siehe zwei rechte Spalten und zwei unterste Zeilen) feststellen. Desweiteren sind die Zahlen in den Feldern sehr klein, d.h. die Irrtumswahrscheinlichkeiten für signifikante Unterschiede sind sehr gering, demnach wird ein Unterschied umso deutlicher zu sehen sein. Der mathematische Nachweis für die signifikanten Unterschiede der verkehrsmittelspezifischen Mediane ermöglicht die korrekte Bewertung der Verkehrsmittel im Vergleich zueinander. Bewiesene signifikante Unterschiede zwischen den Medianen können beispielsweise als fundierte Ergebnisse des Versuchs gewertet werden, statt ein mögliches Produkt von Zufällen zu sein. Des Weiteren sollen mit den untersuchten Fahrten während des Versuchs allgemeingültige Aussagen für alle Pendler in Schwerin gemacht werden können. Ein signifikantes Ergebnis erlaubt die Annahme, dass während des Versuchs untersuchte Zusammenhänge auch in der Grundgesamtheit des Alltags bestehen. Nur mit dem Nachweis auf Signifikanz kann ein Unterschied oder Trend als nicht zufälliges Ergebnis des Versuchs gesehen werden.

Die durch den Kruskal-Wallis-Test Informationen zu signifikanten Unterschieden zwischen den verkehrsmittelspezifischen Medianen werden für die Interpretation der Abb. 30 und der Verkehrsmittel-Rankings in Tabelle 4 genutzt.

Boxplots der Fahrzeit von Tür zu Tür

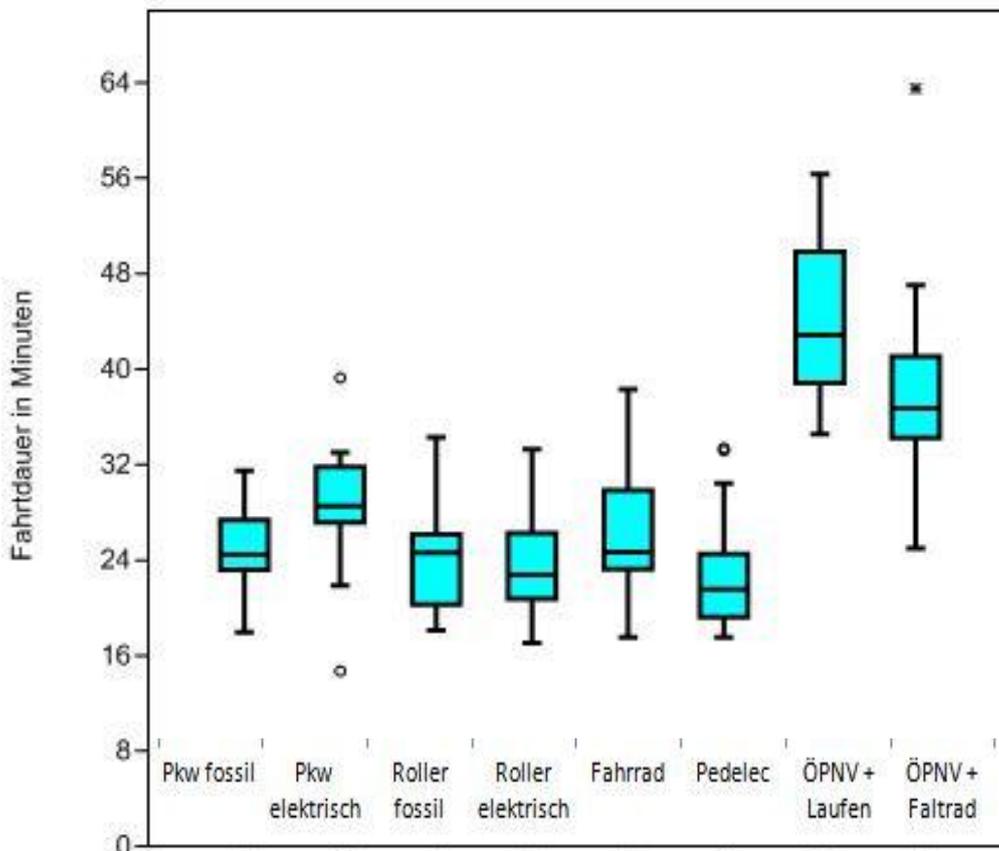


Abb. 29: Boxplots für den Parameter Fahrzeit

Die Mediane der ÖPNV-Kombinationen unterscheiden sich stark von denen der anderen Verkehrsmittel. Folglich kann von einer zu den anderen Verkehrsmitteln relativ längeren Fahrzeit ausgegangen werden. Die Mediane des elektrischen Rollers und des Pedelecs liegen tiefer als die Mediane der anderen Verkehrsmittel, ein erstes Indiz für eine kürzere Fahrzeit. Optisch auffällig ist auch der Boxplot des elektrischen Pkw. Die 50 % der Daten um den Median in der blauen Box sind sehr dicht aneinander, die anderen 50 % der Daten sind dafür weit gestreut. Auf den Versuch übertragen heißt dies, dass 50 % der Fahrten zeitlich sehr homogen waren, die anderen 50 % jedoch sehr heterogen. Die Verteilungen der Roller und des Pedelecs fallen durch ihre ausgeprägte Asymmetrie auf, da der Median nicht in der Mitte der Box liegt. Im Falle des fossilen Rollers und des Pedelecs lässt sich eine deutliche Konzentration der Fahrzeiten in der Box über dem Median feststellen. In der gesamten zeitlichen Varianz sind die Roller im Vergleich zu allen anderen Verkehrsmitteln am zuverlässigsten. Die Varianz lässt sich gleichsetzen mit der zeitlichen Zuverlässigkeit. Bei dem elektrischen Pkw, dem Pedelec sowie der Kombination aus ÖPNV und Laufen fallen Ausreißer auf. Diese repräsentieren moderate (Kreise) und extreme (Sterne) Abweichungen in der Fahrdauer. Bei einer Fahrt mit den ÖPNV-Kombinationen muss im Zweifelsfall immer von der maximalen Dauer ausgegangen werden. Der realistische Zeitbedarf übersteigt bei einer hohen Streuung der Daten den theoretisch nötigen Zeitbedarf bei weitem.

Diagramme für den direkten Datenvergleich der Fahrzeiten von Tür zu Tür

In den folgenden zwei Diagrammen werden die Ergebnisse für den Parameter "Zeit von Tür zu Tür" vorgestellt und in Relation zueinander gestellt.

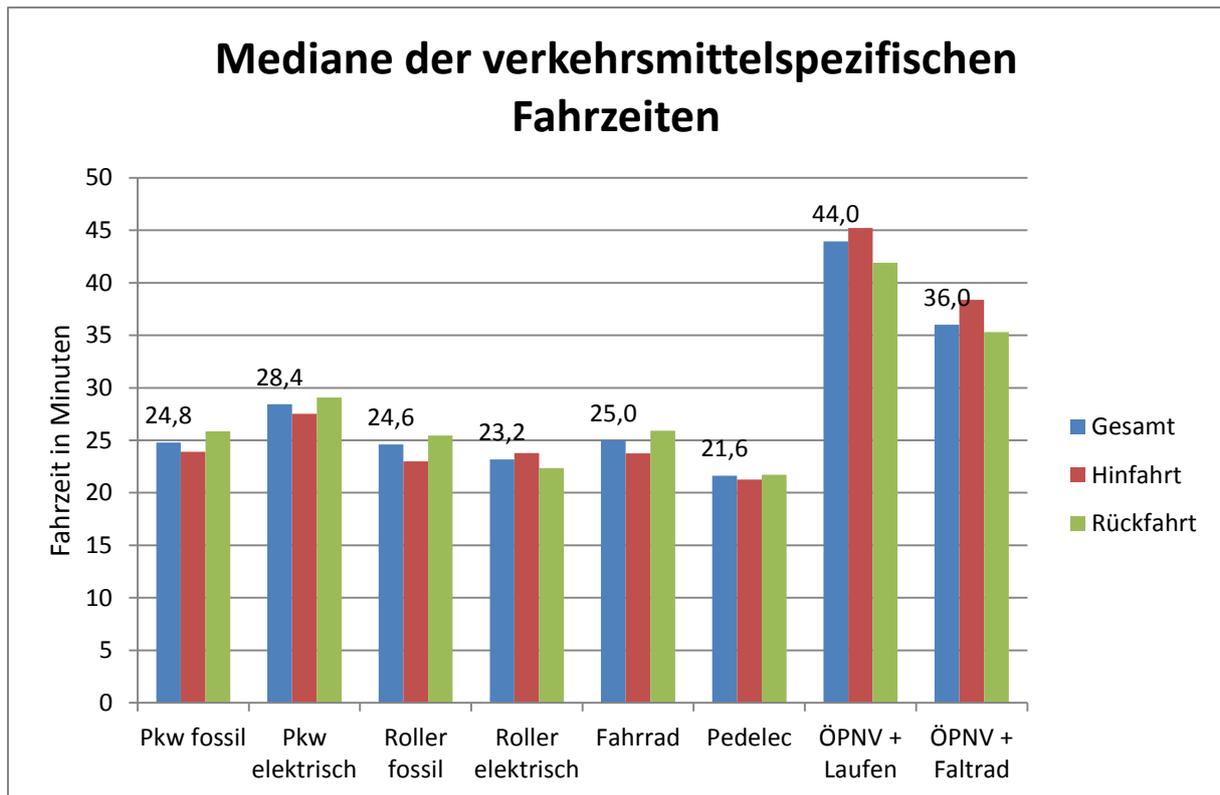


Abb. 30: Mediane der verkehrsmittelspezifischen Fahrzeiten pro Strecke in Minuten

Die mittleren Fahrzeiten der Verkehrsmittel wurden aus folgender Anzahl Daten berechnet: Pkw fossil: n = 20, Pkw elektrisch: n = 18, Roller fossil: n = 17, Roller elektrisch: n = 16, Fahrrad: n = 20, Pedelec: n = 20, ÖPNV und Laufen: n = 20, ÖPNV und Faltrad = 14. Es ist eine geringe bis moderate Differenz zwischen den Fahrzeiten der Hin- und Rückfahrt zu erkennen.

Insgesamt lässt sich das Ergebnis wie folgt zusammenfassen: Die beiden Verkehrsmittelkombinationen (ÖPNV und Laufen sowie ÖPNV und Faltrad) sind hoch signifikant ($p < 0,1\%$) langsamer als alle anderen Verkehrsmittel. Die schnellste Fortbewegung ermöglichte das Pedelec, jedoch deutlich ohne signifikanten Unterschied zum elektrischen Roller und knapp ohne signifikanten Unterschied zum fossilen Roller. Erstplatziert sind demnach diese drei Verkehrsmittel. Sehr knapp hinter dem ersten landet der fossile Pkw schlussendlich doch auf dem zweiten Platz. Da dieser keinen signifikanten Unterschied zu dem Fahrrad hat, teilen sich beide den zweiten Platz. Auf den dritten Platz kommt der elektrische Pkw. Den vierten Platz belegt die Verkehrsmittelkombination ÖPNV und Faltrad. Signifikant langsamer ist die Kombination aus ÖPNV und Laufen und damit letztplatziert.

Die Differenzen zwischen den Fahrzeiten der fossilen und elektrischen Verkehrsmittel sowie die starke Abweichung der ÖPNV-Kombinationen werden im *Kapitel 8.1.1* ab Seite 62 analysiert und mit möglichen Gründen erklärt.

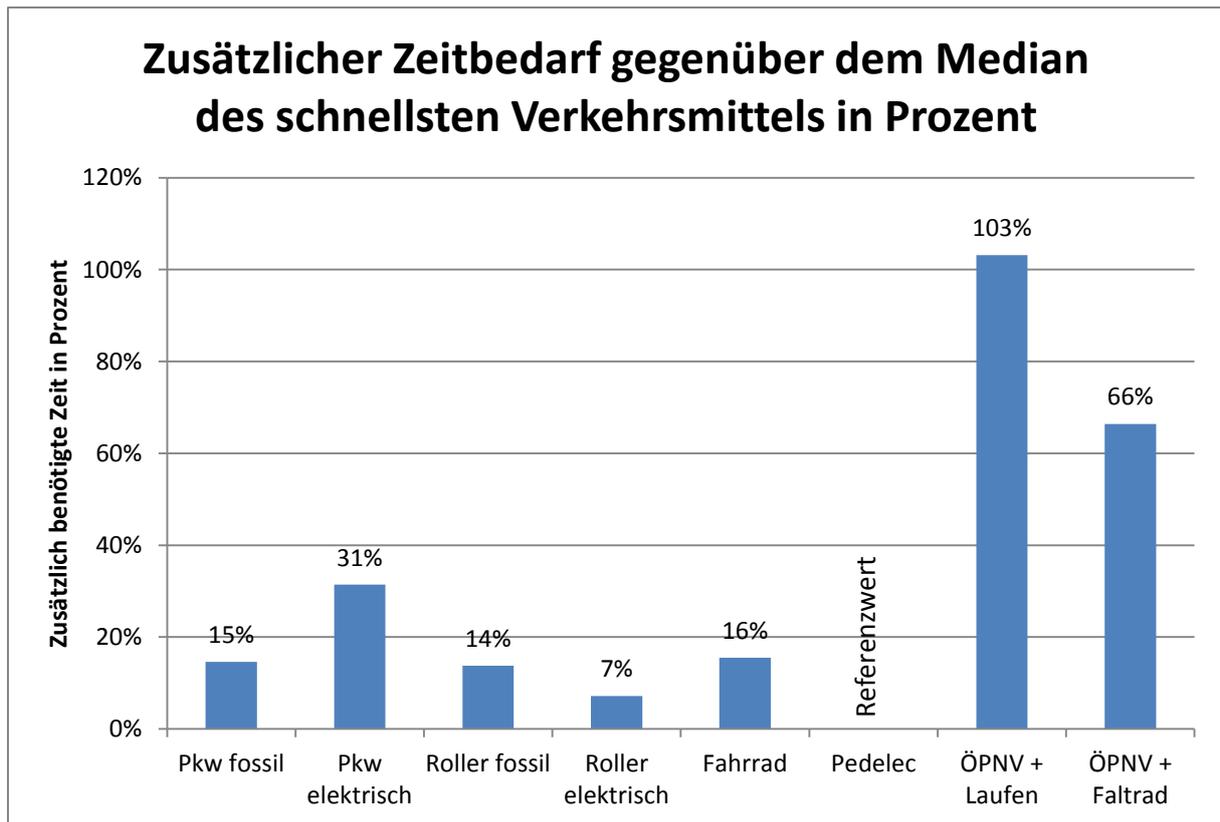


Abb. 31: Prozentuale Differenz zwischen dem schnellsten Verkehrsmittel von Tür zu Tür (elektrischer Roller) und den anderen Verkehrsmitteln

Das schnellste Verkehrsmittel, das Pedelec, war nur 7 % schneller als der elektrische Roller. Die Verkehrsmittelkombination ÖPNV und Laufen dagegen hat 103 % mehr Zeit für die Teststrecke benötigt. Alle weiteren Verkehrsmittel brauchten zwischen 14 % und 66 % mehr Zeit pro Strecke. Die durchschnittliche Abweichung aller Mediane der Verkehrsmittel vom schnellsten Wert betrug 15 %. Für detailliertere Informationen zu den Zusammensetzungen der Fahrzeiten bezüglich der Mobilitätsform siehe 9.5.5 auf S. 93 und dem Gebrauch von Zeitpauschalen für beispielsweise Vor- und Nachbereitung der Fahrt siehe 6.4.1 auf S. 37. Die auffällige Differenz zwischen dem besser platzierten fossilen Pkw und dem schlechter platzierten elektrischen Pkw kommt vermutlich insbesondere durch die notwendige Eingewöhnung der TeilnehmerInnen mit diesem neuen Verkehrsmittel und dem damit verbundenen vorsichtigen Umgang zustande.

Die gesamten Daten des Parameters "Fahrzeit von Tür zu Tür" sind in Tabellenform unter 12.8.1 auf S. 180 einsehbar.

Ranking der Verkehrsmittel nach der Fahrzeit von Tür zu Tür

In der Tabelle 5 sind die Verkehrsmittel nach ihrem zeitlichen Ergebnis bewertet. Die schnellsten Verkehrsmittel sind auf Platz 1, das langsamste auf Platz 5. Verkehrsmittel teilen sich Platzierungen, wenn zwischen den Ergebnissen keine signifikanten Unterschiede bestanden. Für die Profile der Auswertung wurden den Platzierungen Punktwerte zugeteilt. Die beste Platzierung erhielt zehn Punkte, die schlechteste null Punkte.

Platz	Verkehrsmittel	Anzahl Punkte
1	Pedelec Roller elektrisch Roller fossil	10
2	Pkw fossil Fahrrad	7,5
3	Pkw elektrisch	5
4	ÖPNV + Faltrad	2,5
5	ÖPNV + Laufen	0

Tabelle 4: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter "Zeit von Tür zu Tür" mit den Punktwerten für die Profil-Auswertungen

Die Gründe für den gleichen Zeitaufwand des nichtmotorisierten Fahrrads und des fossilen Pkw wird unter 9.5.7 auf S. 98 analysiert.

8. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Verkehrsmittel parameterübergreifend miteinander verglichen und Auffälligkeiten an den ermittelten Daten interpretiert. Dabei werden die Verkehrsmittel - Pkw, Roller und Fahrrad/Pedelec- zunächst in Gruppen unabhängig von ihrer Antriebsform gemeinsam betrachtet und erst im zweiten Schritt die Unterschiede zwischen den elektrischen und fossilen Varianten analysiert und bewertet. Schließlich erfolgt eine Einordnung der Ergebnisse in die aktuellen Vorgaben und Zielsetzungen der Bundesregierung in den Bereichen Radverkehr und Elektromobilität.

8.1. Motorisierter Individualverkehr (MIV)

8.1.1. Pkw

Die Pkw unterscheiden sich von den übrigen Verkehrsmitteln besonders durch ihre hohen Kosten, den Energieverbrauch und den CO₂-Ausstoß. Der fossile und elektrische Pkw unterscheiden sich jedoch auch untereinander signifikant in fast allen Parametern. Die Unterschiede in den Parametern Kosten, Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß sind eindeutig auf die unterschiedliche Motorisierung zurückzuführen und stellen deutliche Vorteile des Stromers dar. Die Abweichungen in den Parametern Zeit, Geschwindigkeit von Tür zu Tür sowie Stress sind nach hiesigem Erachtens jedoch nicht auf den Elektromotor an sich zurückzuführen, sondern sind eher mit dem ungewohnten Handling des Fahrzeugs zu erklären.

Keine bzw. keiner der TeilnehmerInnen war vor dem Versuch bereits einen Elektro-Pkw gefahren, mit dem fossilen Pkw hatten dagegen 75 % regelmäßige Erfahrungen. Die beiden Pkw-Varianten unterschieden sich jedoch nicht nur in der Antriebsform, sondern auch in der Art des Getriebes. Die meisten

TeilnehmerInnen fahren üblicherweise Fahrzeuge mit Schaltgetriebe. Durch diesen doppelten Mangel an Erfahrung waren die TeilnehmerInnen anscheinend unsicher im Umgang mit dem elektrischen Pkw, so dass sich daraus die deutlich höheren Stresswerte erklären ließen. Die geringfügig längere Fahrzeit lässt sich ebenfalls auf diese Unsicherheit und dem daraus resultierenden vorsichtigeren Fahrverhalten zurückführen. Der fossile Pkw war im zeitlichen Vergleich mit den anderen Verkehrsmitteln auf dem zweiten Platz, der elektrische Pkw kam auf den vierten. Nur die ÖPNV-Kombinationen brauchten mehr Zeit für die Strecke als der elektrische Pkw. Dieser war zwar das langsamste Verkehrsmittel des MIV, aufgrund der geringeren Streuung aber auch das zeitlich verlässlichste.

Es ist aufgrund der nachfolgend beschriebenen Beobachtungen davon auszugehen, dass sich bei entsprechender Gewöhnung der FahrerInnen beide Pkw hinsichtlich Fahrzeit, Geschwindigkeit und Stress auf dem Niveau des fossilen aneinander angleichen würden. Sofern der bei den Rollern festgestellte Unterschied in der Stressbelastung auf den geringeren Geräuschpegel und die geringere Vibrationen des Fahrzeugs zurückzuführen sind, könnte der Elektro-Pkw sogar besser abschneiden als die fossile Variante.

Vorteile (+) und Nachteile (-) Pkw

+	Witterungsschutz
+	Mobiler privater Raum
+	Aufgrund von Versuchsaufbau: etwas Bewegung
+	Geringe Stresswerte
-	Langsamer am Ziel als Roller und Pedelec
-	Zeitliche und finanzielle Belastung durch benötigten Parkplatz
-	Die höchsten Kosten pro Strecke
-	Fossiler Pkw: Höchster Energieverbrauch
-	Hoher CO ₂ -Ausstoß
-	Elektrischer Pkw: Eingewöhnungszeit an veränderte Handhabung notwendig

Aus den Differenzen der Pkw-Geschwindigkeiten lassen sich Rückschlüsse auf den Grund der zeitlichen Unterschiede gewinnen. Bei der mittleren Fahrtgeschwindigkeit mit dem Hauptverkehrsmittel gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Pkw. Beide Pkw kamen zusammen mit den Rollern auf den ersten Platz. Bei der Geschwindigkeit von Tür zu Tür dagegen zeigte sich eine Differenz von 2,4 km/h. Der fossile Pkw schaffte es nach den Rollern auf den zweiten Platz, der elektrische Pkw folgte auf dem dritten Platz. Beide Pkw wurden also während der eigentlichen Fahrt gleich schnell gefahren, trotzdem haben die TeilnehmerInnen mit dem elektrischen Pkw länger für die Strecke gebraucht. Die Erklärung liegt in der Zeit vor und nach der Fahrt. Die PendlerInnen mit dem elektrischen Pkw mussten sich vor dem Start und während des Parkens an die veränderte Handhabung gewöhnen. Der Startvorgang des elektrischen Pkw war beispielsweise durch eine ungewohnte Reihenfolge von Bedienvorgängen komplizierter als der oft praktizierte und gewohnte Start eines fossilen Pkw, das Automatikgetriebe hat offensichtlich beim ungeübten Rangieren im Parkhaus sein Übriges getan. Diese Umgewöhnung verursachte vermutlich den Zeitverlust.

Des Weiteren wirkte sich die Notwendigkeit der Umgewöhnung auch auf die Stressbelastung aus. Die mittlere Stressbelastung des fossilen Pkw war nach dem Pedelec die geringste des Versuchs, konträr dazu hatte der elektrische Pkw die höchste Stressbelastung. Der durch die Umgewöhnung bedingte Stress wurde an kalten Tagen möglicherweise durch die defekte Ethanol-Heizung des elektrischen Pkw noch verstärkt.

Im Zuge eines umfangreicheren und längeren Versuchs würden sich die Ergebnisse des elektrischen Pkw in der Stressbelastung und Fahrzeit vermutlich denen des fossilen Pkw anpassen. Sobald ein Versuchsaufbau eine Gewöhnung an das Verkehrsmittel zulassen würde, könnten sich die Teilnehmer an deren Handhabung gewöhnen. Im Kapitel 9.3 ab Seite 75 wurden diese vermuteten Effekte einer gesonderten Berechnung unterzogen und in Relation zu den Ergebnissen des vorliegenden Versuchs gestellt.

Während der Fahrt mit dem fossilen Pkw zeigt sich eine ausgeprägte personenabhängige Stressentwicklung. Die pkw-affinen TeilnehmerInnen entspannten sich während der Fahrt deutlich, die anderen wurden durch die grundsätzlich ungewohnte Fahrt in einem Pkw im Stadtverkehr gestresster.

In der subjektiven Bewertung des Stresses gemäß den Antworten im Fragebogen wurden die Stressbelastungen des elektrischen Pkw meist geringer wahrgenommen als dies objektiv gemessen wurde. Anscheinend ließ die Begeisterung für die Elektromobilität und dessen Vorzüge (z.B. Geräuscharm und schnelle Beschleunigung) den Stress im Nachhinein geringer erscheinen. Die Stressbelastung mit dem fossilen Pkw wurde dagegen tendenziell stärker wahrgenommen, als sie eigentlich war.

Im Paramater Kosten setzten sich die Pkw deutlich von den anderen Verkehrsmitteln ab. Eine Pendlerfahrt mit dem elektrischen Pkw war die teuerste aller Verkehrsmittel und kostete im Mittel 3,50 €, eine Fahrt mit dem fossilen Pkw 3,10 €. Mit dem nächst günstigeren Verkehrsmittel, den fossilen Rollern, kostet eine Fahrt ca. ein Drittel weniger. Der Unterschied zwischen den beiden Pkw resultierte aus einer stark unterschiedlichen Kostenstruktur. Mit einem Fixkostenanteil von 49 % an den Gesamtkosten war der fossile Pkw bei der im Versuch angenommenen Gesamtleistung günstiger als der elektrische Pkw, dessen Fixkosten bei diesen Laufleistungen aufgrund des hohen Anschaffungspreises bei knapp 80 % der Gesamtkosten liegen. Die variablen Kosten sind aufgrund der geringeren Kosten für Wartungen, Inspektionen und Reparaturen sowie dem geringen Energieverbrauch mit 20 % sehr gering. Der fossile Pkw hatte entgegen der niedrigen Herstellerangaben von 6,4 L Super Benzin pro 100 km (Innerorts) einen - aufgrund der kurzen innerörtlichen Fahrstrecke von ca.

7,5 km mit kaltem Motor - realen Verbrauch von ca. 8,6 Liter. Ab einer Laufleistung von ca. 15.000 km im Jahr wäre der elektrische Pkw unter den spezifischen Versuchsbedingungen somit günstiger. Die Steuerbefreiung des elektrischen Pkw senkt in geringem Maße die Fixkosten und mildert insofern die hohen Anschaffungskosten im Vergleich zum fossilen Bruder etwas ab.

Der Preis des im Versuch genutzten Fiat 500 E Karabag liegt ca. 7.000 € höher als neue, vergleichbare Elektro-Pkw, wie z.B. der Peugeot iOn. Bereits ab einer Laufleistung von ca. 8.500 km pro Jahr weisen die Elektrofahrzeuge bei der betrachteten Haltedauer von 10 Jahren und dem angenommenen Nutzungsprofil geringere Vollkosten auf als der fossile Pkw. Im Falle des von verschiedenen Herstellern angebotenen Batterieleasings und geringerem Anschaffungspreis tritt der Kostenvorteil bei ca. 10.000 km ein.

Das Ergebnis, dass der elektrische Pkw bereits ab dieser geringen Jahreslaufleistung wirtschaftlicher sein soll als das Verbrennungsfahrzeug überrascht zunächst, weil diese Aussage überhaupt nicht zur öffentlichen Diskussion um die angeblich so teure Elektromobilität passt. Nach Auffassung des Verfassers liegt dies daran, dass üblicherweise kürzere Haltedauern, wie sie in Firmenfuhrparks und im Leasinggeschäft praktiziert werden, bei der Berechnung zugrunde gelegt werden. Der typische Berufspendler, der sich für den privaten Gebrauch einen Kleinwagen zulegt, hat aber oftmals gar nicht die Absicht, das Fahrzeug nach so kurzer Zeit wieder zu verkaufen, sondern nutzt dieses auf die in der Kalkulation zugrunde gelegten 10-jährigen Haltedauer.

Der fossile Pkw hat mit deutlichem Abstand den höchsten Energieverbrauch aller Verkehrsmittel. Die Mediane der Pkw unterscheiden sich hoch signifikant um 12,4 Megajoule pro Fahrt. Diese Differenz im Energieverbrauch ergab sich aufgrund der höheren Energieeffizienz des elektrischen Pkw, da keine Energieverluste in Form von Wärme während der Fahrt anfallen. Auch die CO₂-Emissionen der Pkw unterscheiden sich signifikant, jedoch fällt der Unterschied mit knapp 350 Gramm pro Fahrt geringer aus als der Unterschied des Energieverbrauchs vermuten ließe, da die Stromproduktion des bundesdeutschen Strommix einen hohen CO₂-Ausstoß pro kWh beinhaltet.

Wenn das Ziel der Bundesregierung, bis 2020 eine Millionen Elektrofahrzeuge auf den deutschen Straßen zu haben (Bundesregierung, 2009) erreicht werden soll, ist deutlich mehr Aufklärung bei den Verbrauchern erforderlich. Weder die Kosten- noch die Energieeffizienzvorteile sind bislang ausreichend bekannt, die öffentliche Diskussion beschränkt sich bislang zu sehr auf die Frage der Reichweiten und Ladezeiten sowie auf die Herkunft der Energie (regenerativ oder deutscher Strommix). Die Fortschrittsberichte der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) sehen die Information und Aufklärung als wichtige Maßnahme zur Zielerreichung. Der *Schweriner Versuch* zeigte, dass noch sehr viel getan werden muss. Elektromobilität ist in der Theorie bereits sehr bekannt. Den meisten PendlerInnen fehlt es jedoch an realen Erfahrungen und dem notwendigen Hintergrundwissen über die neue Technologie. Die Handhabung war für viele TeilnehmerInnen ungewohnt, entsprechende Eingewöhnungszeiten waren erforderlich. Laut NPE soll bis 2014 die Marktvorbereitungsphase abgeschlossen und bis 2020 ein Massenmarkt für Elektromobilität geschaffen sein (Nationale Plattform Elektromobilität, 2011). Kaufentscheidungen werden häufig auf der Basis des Anschaffungspreises getroffen, dabei schneiden elektrische Pkw derzeit noch schlechter ab. Die beschriebenen Kostenvorteile (Energie, Wartung, Steuer) werden dabei oftmals nicht ausreichend berücksichtigt. Es wäre wünschenswert, dass die gemäß Pkw-EnVKV eingeführte Pkw-Energieverbrauchskennzeichnung nicht nur den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch bzw. CO₂-Ausstoß von Neuwagen sowie die damit auf Basis einer angenommenen Laufleistung

verbundenen Kraftstoffkosten dargestellt, sondern dass der Autohandel dazu verpflichtet wird, in einem verbindlichen Beratungsgespräch dem Kunden die Vollkosten der verschiedenen Antriebsarten aufzuzeigen. Dieser für die Automobilbranche sicherlich sehr ungewohnte Gedanke wurde in anderen - für den Endkunden ebenfalls schwer zu durchdringenden Bereich der Finanz- und Versicherungsprodukte - in vergleichbarer Weise realisiert. Die Ergebnisse des *Schweriner Versuchs* könnten dazu sicherlich eine erste Grundlage bilden, und so die Elektromobilität den Verbrauchern näher bringen und zu einer schnelleren Verbreitung im urbanen Raum beitragen.

8.1.2. Roller

Von den anderen Verkehrsmitteln setzten sich die Roller vor allem durch die geringe Fahrzeit, ihre hohe Geschwindigkeit von Tür zu Tür und die geringe körperliche Bewegung ab. Untereinander bestanden zwischen den beiden Roller-Varianten signifikante Unterschiede in den Parametern Kosten, Stress, Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß. Der elektrische Roller schnitt in jedem Parameter entweder gleich oder besser als der fossile Roller ab.

Beide Roller gehörten in der Fahrzeit und mittleren Geschwindigkeit von Tür zu Tür zu den erstplatzierten Verkehrsmitteln des Versuchs, insbesondere deshalb weil diese - wie auch das Fahrrad und Pedelec - direkt am Rathaus geparkt werden konnten. Dadurch erforderte die Rollerfahrt jedoch auch die geringste körperliche Bewegung von den TeilnehmerInnen. Mit dem Fahrrad hatten die TeilnehmerInnen im Mittel beispielsweise über 200 % mehr Bewegung als mit den Rollern. Selbst die Pkw-Fahrer hatten unter den besonderen Bedingungen des Versuchsaufbaus durch den Fußweg eine höhere Anzahl von Schrittäquivalenten zurückgelegt.

In der Handhabung war der elektrische Roller dem fossilen Roller sehr ähnlich, es war demnach keine Umstellung notwendig. Die Stressbelastung während der Fahrt war mit dem fossilen Roller dennoch deutlich höher als beim elektrischen Roller. Diese Differenz war kein Ergebnis eines Gewöhnungsprozesses wie beim elektrischen Pkw, da insgesamt 75 % der TeilnehmerInnen ihre Bedienungssicherheit des fossilen Rollers als sicher oder sehr sicher einstufen. Zwar hatten 38 % der TeilnehmerInnen keine Fahrerfahrungen mit dem fossilen Roller, beim elektrischen Roller waren es jedoch mit 86 % fast alle. Trotzdem war die Stressbelastung bei der Fahrt mit dem elektrischen Roller geringer. Ein Grund dafür könnten die starke Geräuschentwicklung und die stärkeren Vibrationen des fossilen Rollers während der Fahrt, aber auch dessen schnellere Beschleunigung aus dem Stand gewesen sein. Der elektrische Roller fuhr dagegen fast geräuschlos. Bei der Fahrt mit dem elektrischen Roller sank die Stressbelastung im Mittel, einige TeilnehmerInnen konnten sich also während der Fahrt entspannen. Im Vergleich mit den anderen Verkehrsmitteln schnitt der fossile Roller mit den zweihöchsten Wert der Stressbelastung nach dem elektrischen Pkw schlecht ab, die Stressbelastung des elektrischen Rollers war hingegen durchschnittlich.

Vorteile (+) und Nachteile (-) Roller	
+	Geringste Fahrzeit des Versuchs
+	Einfache Parkplatzsuche
+	Elektrischer Roller: geringer Energieverbrauch und CO ₂ -Ausstoß
-	Relativ hohe Kosten
-	Kein Witterungsschutz
-	Fossiler Roller: Geräuschentwicklung
-	Fossiler Roller: hohe Stresswerte
-	Durch gleiche Verkehrswege mit Pkw auch von Stau betroffen
-	Sehr wenig Bewegung
-	Fossiler Roller: Hoher Energieverbrauch und CO ₂ -Ausstoß

Es kann davon ausgegangen werden, dass bei langfristiger Nutzung der fossile Roller die höchsten Stresswerte aller untersuchten Verkehrsmittel aufweisen würde, da durch den bereits beschriebenen, zu erwartenden Gewöhnungseffekt beim elektrischen Pkw die Stressbelastung der TeilnehmerInnen mindestens auf das Niveau des fossilen Pkw und damit unterhalb des fossilen Rollers absinken würde.

Nach den Pkw hatten die Roller die höchsten Kosten pro Fahrt, wobei der elektrische Roller mit 1,40 € pro Fahrt um vierzig Cent günstiger war als der fossile Roller (1,80 €). Der höhere Anschaffungspreis des elektrischen Rollers (2.800 statt 2.000 €) und die einkalkulierten Kosten eines Ersatzakkus (400 €) amortisieren sich schnell durch die geringeren Kosten für Wartung, Reparatur und Inspektion sowie den deutlich geringeren Verbrauch an Energie. Der elektrische Roller reagierte im Verbrauch nicht so stark auf die verschiedenen Fahrstile der TeilnehmerInnen wie der fossile Roller, daher entstand bei dem elektrischen Roller nur eine sehr geringe Streuung im Preis pro Fahrt und beim Energieverbrauch. Durch den 2-Takt-Motor war der fossile Roller sehr ineffizient und verbrauchte hoch signifikant mehr Energie als der elektrische Roller und sogar mehr als der elektrische Pkw. Ohne dass dies im Versuch gemessen wurde, ist zu erwarten, dass der Ausstoß an Luftschadstoffen aufgrund der einfachen Verbrennungs- und Abgastechne am höchsten von allen beteiligten Verkehrsmitteln ausfällt. Der elektrische Roller verbrauchte nach Fahrrad und Pedelec die wenigste Energie. Gleiches gilt für den CO₂-Ausstoß: nach Fahrrad und Pedelec emittiert der elektrische Roller die geringste Menge CO₂, der fossile Roller hingegen nach den Pkw am meisten.

Die Jahresbilanz der Neuzulassungen aus dem Jahre 2011 zeigt mit 13,9 % Zuwachs bei den Motorrollern einen deutlichen Trend zu den günstigen und flexiblen Fortbewegungsmitteln (Pfalzgraf, 2012). Der Marktanteil von Elektrorollern scheint momentan noch sehr gering, konkrete Zahlen liegen jedoch nicht vor. Angesichts der Vorteile der Elektromobilität fehlt es für eine weitere Elektrifizierung dieses hoch effizienten Verkehrsmittels an Informationen und Anreizen. Einen Anreiz können insbesondere Arbeitgeber schaffen: mit der Einrichtung von speziellen, in der Nähe der Gebäudeeingänge gelegenen Rollerabstellflächen mit Stromanschluss, bestenfalls überdacht mit einem Solardach.

8.1.3. Fazit MIV

Mit der geringsten Fahrzeit, den niedrigsten Kosten, der geringsten Stressbelastung sowie dem geringsten Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß ist der elektrische Roller in der Kategorie des MIV am meisten zu empfehlen. Die Handhabung und der Umgang mit dem elektrischen Roller haben sich während des Versuchs als problemlos erwiesen. Der simple Umgang und die geringe Geräuschentwicklung während der Fahrt ermöglichten ein sehr entspanntes Fahren. Die Reichweite von ca. 50 km reicht für den täglichen Pendlerverkehr der meisten Arbeitnehmer in Deutschland völlig aus, zumal ein schnelles Aufladen an jeder Haushaltssteckdose- auch beim Arbeitgeber - möglich ist. Dazu kommt der geringe Platzbedarf des Rollers beim Parken. Dies ermöglicht das Abstellen des Rollers nahe der Arbeitsstelle bzw. dem Wohnhaus und spart damit Zeit auf der täglichen Pendlerstrecke. Des Weiteren entfallen die Fahrten zu einer Tankstelle, die mit dem fossilen Roller ca. einmal in der Woche gemacht werden mussten.

Aufgrund des geringen Energieverbrauchs ist der elektrische Roller, nach dem Pedelec, das umweltfreundlichste motorisierte Individualverkehrsmittel des Versuchs. Im Vergleich zu fossilen Rollern hat die elektrische Variante weniger bewegliche Teile, es ist also von einer höheren Lebenserwartung auszugehen.

8.2. Fahrrad und Pedelec

Das Fahrrad und das Pedelec unterscheiden sich von den anderen Verkehrsmitteln in allen Parametern. Zudem grenzen sie sich durch ihre herausragenden Ergebnisse in vielen Parametern deutlich von den anderen Verkehrsmitteln des Versuchs ab. Das Pedelec war beispielsweise trotz seiner geringen Motorisierung mit den Rollern das schnellste Verkehrsmittel des Versuchs. Das Fahrrad hat als einziges Verkehrsmittel keinen Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß.

Sehr sportliche TeilnehmerInnen fuhren auf dem Fahrrad sowie auf dem Pedelec Bestzeiten um 17 Minuten, die mit den Rollern konkurrieren konnten.

Körperlich weniger leistungsstarke TeilnehmerInnen (30 % der TeilnehmerInnen) fuhren deutlich langsamer (bis zu 38 Minuten).

Vorteile (+) und Nachteile (-) Fahrrad	
+	Kein Führerschein notwendig
+	Viel Bewegung
+	Sehr geringe Kosten
+	Kein Energieverbrauch
+	Kein CO ₂ -Ausstoß
-	Mittlere Stressbelastung
-	Gewisse Sportlichkeit notwendig
-	Kein Witterungsschutz
-	Begrenzte Transportkapazität

Das Pedelec gleicht diese in der körperlichen Leistungsfähigkeit der TeilnehmerInnen liegende Nachteile durch die Unterstützungsleistung des Elektromotors aus. Die Fahrt mit dem Fahrrad beinhaltete die meiste Bewegung aller Verkehrsmittel des Versuchs, jedoch direkt gefolgt vom Pedelec und der Kombination aus ÖPNV und Laufen. Im Mittel bewegten sich die TeilnehmerInnen auf dem Fahrrad über 20 % mehr als auf dem Pedelec.

Das Pedelec brauchte, gleichplatziert mit den Rollern, die kürzeste Zeit für die Pendlerstrecke. Das Fahrrad kam in der Dimension Zeit gemeinsam mit dem fossilen Pkw auf dem zweiten Platz. Ein Grund für dieses gute Ergebnis war die Tatsache, dass Pedelec und Fahrrad Abkürzungen nehmen konnten, die für Roller und Pkw gesperrt waren. Im Mittel wurde die Pendlerstrecke für die Räder durch mögliche Abkürzungen um 1 km verkürzt. Zudem konnten die Räder direkt vor dem Rathaus geparkt und die gesamte Pendlerstrecke mit den Hauptverkehrsmitteln zurückgelegt werden.

Vorteile (+) und Nachteile (-) Pedelec	
+	Geringste Fahrzeit des Versuchs
+	Geringste Stressbelastung
+	Kein Führerschein notwendig
+	Viel Bewegung
+	Geringe Kosten
+	Geringer Energieverbrauch
+	Geringer CO ₂ -Ausstoß
-	Kein Witterungsschutz
-	Begrenzte Transportkapazität

Kombiniert man die Bewertung der beiden Parameter Zeit und Bewegung, so könnte man die Fahrzeit auch als Zeit körperlicher Betätigung bezeichnen, die die Nutzer von motorisierten Verkehrsmitteln zusätzlich im Fitnessstudio oder auf der Laufstrecke verbringen müssen. Das Angebot von Duschen am Arbeitsplatz ermöglicht es den ArbeitnehmerInnen, die Fahrradstrecke auch sportlicher - sprich schweißtreibender - zurückzulegen, so dass sie zur vollwertigen sportlichen Betätigung ausreift.

Kombiniert man die Bewertung der beiden Parameter Zeit und Bewegung, so könnte man die Fahrzeit auch als Zeit körperlicher Betätigung bezeichnen, die die Nutzer von motorisierten Verkehrsmitteln zusätzlich im Fitnessstudio oder auf der Laufstrecke verbringen müssen. Das Angebot von Duschen am Arbeitsplatz ermöglicht es den ArbeitnehmerInnen, die Fahrradstrecke auch sportlicher - sprich schweißtreibender - zurückzulegen, so dass sie zur vollwertigen sportlichen Betätigung ausreift.

Das Fahrrad war dank des geringsten Anschaffungspreises aller Verkehrsmittel (im Versuch mit 1.000 € nicht am unteren Preisrand angesiedelt) und den geringsten Betriebskosten (keine Kraftstoffkosten) mit 0,07 € pro Kilometer das günstigste Verkehrsmittel des Versuchs,

gefolgt vom Pedelec mit 0,12 € pro Kilometer als günstigstes "motorisiertes" Verkehrsmittel. Der elektrische Pkw war über 400 % teurer als das Pedelec.

In der Stressbelastung unterschieden sich Fahrrad und Pedelec deutlich. Das Pedelec verursachte die geringste Stressbelastung, erst auf dem dritten Platz, nach dem fossilen Pkw, folgte das Fahrrad. Die Stressbelastung bei dem Pedelec ist demnach im Vergleich zu den anderen Verkehrsmitteln sehr gering, die des Fahrrads im Mittelfeld. Pedelec und Fahrrad wiesen starke Stress-Ausreißer auf, die meistens mit Extremereignissen auf der Fahrtstrecke zu erklären waren. Die körperliche Belastung könnte - trotz der stressabbauenden Wirkung von körperlicher Bewegung - ein systematischer Grund für die Unterschiede in der Stressbelastung sein. Dafür spricht auch die zunehmende Stressbelastung während der Fahrt mit dem Fahrrad.

Der Energieverbrauch des Fahrrads war null, der des Pedelecs der geringste aller motorisierten Verkehrsmittel. Das Pedelec verbrauchte weniger als 2 % der Energie, die der fossile Pkw für dieselbe Strecke benötigte. Dieser Unterschied ist insbesondere im geringeren Gewicht und der durch den Fahrer bzw. die Fahrerin zusätzlich aufgebrauchte Muskelkraft begründet. Passend zum Energieverbrauch emittierte das Fahrrad kein CO₂ und das Pedelec nur in sehr geringen Maßen. Der fossile Pkw emittierte über 3.000 % mehr CO₂.

In Dänemark und den Niederlanden stehen Fahrräder und Pedelecs deutlich höher im Kurs als in Deutschland. Jeder Deutsche legt im Durchschnitt 300 km pro Jahr mit dem Fahrrad zurück, die Dänen und Niederländer jeweils ca. 1.000 km. „Würden nur 30 % der Pkw-Fahrten bis sechs Kilometer mit dem Fahrrad zurückgelegt, könnte damit jährlich bundesweit der Ausstoß von CO₂ um über 6,6 Millionen Tonnen reduziert werden“ (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie im Auftrag von BUND, Brot für die Welt & EED, 2008, S. 593). Das Fahrrad und das Pedelec haben in diesem Versuch gezeigt, dass sie durchaus mit den anderen Verkehrsmitteln konkurrieren können. Entgegen den Vermutungen musste der Pendler bzw. die Pendlerin mit dem Pedelec keine zeitlichen Zugeständnisse an die Fahrzeuge des MIV machen. Die Nutzung des Fahrrads oder Pedelecs statt des Pkw bietet ein enormes Potential zur CO₂-Einsparung und könnte damit zu der Erreichung der deutschen Klimaziele beitragen. Weiter kann das Pendeln mit dem Fahrrad zur Gesundheit der Arbeitnehmer beitragen. Skandinavische Untersuchungen haben die positiven Gesundheitseffekte des Radfahrens quantifiziert: 0,15 € pro gefahrenem Kilometer. „Ein finnisches Verkehrsplanungshandbuch beziffert den Gesundheitszuwachs durch jeden neuen Fahrradnutzer mit 1.200 € pro Jahr“ (fairkehr GmbH, 2005).

Wie beim Roller auch haben insbesondere die Arbeitgeber die Möglichkeit, die Attraktivität der Zweiräder deutlich zu steigern. Elektrifizierte und leicht zugängliche Fahrradabstellanlagen in der Nähe der Gebäudeeingänge sind genauso leicht zu realisieren wie der Abschluss von Rahmenverträgen für Zweiradleasing oder Mietkauf, aus denen sich die Mitarbeiter günstig und ohne hohe Fixkostenbelastung eigene Räder erstehen können. Seit neuestem gibt es - in Analogie zu Pkw - erste Angebote von Gehaltsumwandlungsmodellen, bei denen die MitarbeiterInnen zusätzlich steuerliche Vorteile gewinnen können.

8.3. Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)

Die Kombinationen des ÖPNV unterscheiden sich in mehreren Parametern sehr deutlich von den anderen Verkehrsmitteln. Besonders auffällig sind unter den spezifischen Bedingungen des Versuchsaufbaus die Fahrzeiten und die Geschwindigkeiten von Tür zu Tür. Untereinander unterschieden sich die ÖPNV-Kombinationen in der Fahrzeit, der Geschwindigkeit von Tür zu Tür, den Kosten, der Bewegung, Streckenlänge, Energieverbrauch und - besonders deutlich - in der Stress-Korrelation. Die Geschwindigkeit des Hauptverkehrsmittels und der Stress pro Minute unterschieden sich nicht signifikant zwischen den beiden ÖPNV-Kombinationen.

Vorteile (+) und Nachteile (-) ÖPNV-Kombinationen	
+	Moderate Kosten
+	Passives Verkehrsmittel: Fahrzeit kann anders genutzt werden
+	Moderat viel Bewegung
+	Mittlere Stressbelastung
+	Geringer bis mittlerer Energieverbrauch und CO ₂ -Ausstoß
-	Zeitlich unzuverlässig
-	Streckenabhängig teilweise deutlich längere Fahrzeit

Mit dem ÖPNV benötigten die TeilnehmerInnen während des Versuchs die längste Zeit von allen Verkehrsmitteln für die Pendlerstrecke. Gleichzeitig unterschieden sich die beiden gewählten Kombinationen ÖPNV + Laufen sowie ÖPNV + Faltrad auch untereinander sehr deutlich. Die Variante mit dem Faltrad war im Mittel acht Minuten schneller am Ziel, insbesondere durch die geringeren Wartezeiten durch Wegfall eines Umstieges sowie durch die schnellere Fortbewegung in der Innenstadt von der letzten Haltestelle bis zum Rathaus. Zugleich betrug die Streckenlänge mit dem Faltrad im Mittel rund 400 Meter weniger als in der zweiten ÖPNV-Variante mit Bus und Straßenbahn. Bei beiden Kombinationen weisen die Daten der Fahrdauer eine hohe Streuung auf, die benötigte Pendlerzeit hat demnach auch immer etwas mit dem Zufall zu tun, ob Ein- und Umstiege ohne Verzögerung klappten oder nicht. Damit gehören die ÖPNV-Kombinationen mit dem Fahrrad zu den zeitlich unzuverlässigsten Verkehrsmitteln des Versuchs. Im Zweifelsfall muss bei den ÖPNV-Kombinationen immer mit einem höheren Zeitpuffer gerechnet werden.

Bei den Kosten pro Fahrt sind die ÖPNV-Kombinationen im mittleren Bereich des Rankings angesiedelt. Sie sind zwar teurer als das Fahrrad und das Pedelec, jedoch günstiger als Roller und Pkw. Den signifikanten Kostenunterschied zwischen den Kombinationen von 10 Cent pro Fahrt machen die Zusatzkosten für das Faltrad aus. Zwar kann das Faltrad im zusammengeklappten Zustand ohne Zusatzkosten im ÖPNV mitgeführt werden, jedoch fallen Anschaffungskosten sowie Kosten für Wartungen, Reparaturen und Inspektionen an.

Der Versuch zeigte zwischen den ÖPNV-Kombinationen einen schwach signifikanten Unterschied in der ausgeführten Bewegung. Das Laufen zur und das Warten an den Haltestellen erforderte mehr körperliche Bewegung als die Fahrt mit dem Faltrad. Die Daten der Kombination aus ÖPNV und Laufen weisen eine sehr hohe Streuung auf, da die TeilnehmerInnen die Wartezeit an Haltestellen unterschiedlich verbracht haben. Einige vertrieben sich die Wartezeit durch Bewegung (z.B. Auf- und Abgehen), während andere sitzend warteten. Auch bei der Kombination mit dem Faltrad gab es eine starke Streuung der Werte. Diese gründet neben leicht unterschiedlicher Streckenwahl auf unterschiedlichem Fahrverhalten (permanentes Treten oder Rollenlassen) oder auf der unterschiedlichen Wahl der Haltestelle für den Einstieg in die Straßenbahn. Im Vergleich mit den anderen Verkehrsmitteln des Versuchs liegt die Bewegungsmenge im Mittelfeld, nach Fahrrad und Pedelec und vor den Rollern und Pkw.

Die Stressbelastung bei beiden Kombinationen war fast identisch und bewegte sich im Vergleich zu den anderen Verkehrsmitteln im Mittelfeld. Bei der Kombination aus ÖPNV und

Faltrad wiesen die Daten eine höhere Streuung nach oben auf, da zum einen das erstmalige Handling des Faltrades beim Ein- und Aussteigen offensichtlich zu erhöhtem Stress beiträgt und zum anderen für einzelne TeilnehmerInnen die Fahrt mit dem Faltrad belastender war als mit dem Bus. Deutlich unterschieden sich jedoch die Entwicklungen der Stressbelastungen während der Fahrt: bei der Variante ÖPNV + Faltrad nahm diese deutlich schneller ab als bei der Kombination ÖPNV + Laufen. Anfängliche Probleme in der Handhabung des Faltrades beim Ein- und Ausstieg wichen scheinbar schnell einer gewissen Routine. Bei der Kombination aus ÖPNV und Laufen nahm die Stressbelastung dagegen auf der Wegstrecke oftmals stark zu. Die Umstiege und das Laufen in der Innenstadt scheinen besonders Stress auslösende Momente gewesen zu sein.

Beim Energieverbrauch gab es einen signifikanten Unterschied zwischen den Kombinationen, da die Busfahrt - im Gegensatz zur Fahrt mit dem Faltrad - Energie verbrauchte. Der Unterschied machte auf die Gesamtstrecke eine Differenz von 57 % aus. Entsprechend dem unterschiedlichen Energieverbrauch ergab sich bei Zugrundelegung des deutschen Strommix ein um 41 % höherer CO₂-Ausstoß.

Die Bequemlichkeit und zeitliche Effizienz des ÖPNV hängt stark von den örtlichen Gegebenheiten und den verfügbaren Verbindungen, der Taktung und den notwendigen Umstiegen ab. Letzteres verlängert die Fahrzeit besonders stark. Auf Langstrecken stellt der öffentliche Verkehr die umweltfreundlichste Art der Mobilität dar. In den meisten Parametern ist der ÖPNV gutes Mittelmaß, jedoch sollte ein besonderer Vorteil nicht vergessen werden: der ÖPNV ist ein passives Verkehrsmittel. Die PendlerInnen müssen nicht selbst fahren und können die Fahrzeit nutzenstiftend verbringen, sei es für Freizeit- oder Geschäftslektüre, oder sei es einfach zur Entspannung. Zudem kann der ÖPNV an günstig gelegenen Orten zu den schnellsten Verkehrsmitteln gehören, wie im Pendlertest von 2011 und 2012 in Bremen nachgewiesen wurde (ADAC e.V. und Radio Bremen, 2012).

Arbeitgeber haben zahlreiche Möglichkeiten, die Nutzung des ÖPNV zu unterstützen. Die Einführung und ggfs. Subventionierung eines Jobtickets stellt eine monetäre Möglichkeit der Förderung dar. Flexible Arbeitszeitgestaltung, die den MitarbeiterInnen die Anpassung an Fahrzeiten und Taktungen erleichtert, kann sogar eine absolute Voraussetzung zum Umstieg auf den ÖPNV bilden.

9. Profilanalyse für Verkehrsmittel-Rankings

9.1. Rankings der Verkehrsmittel

In der Übersicht folgen die Ranking-Ergebnisse der Verkehrsmittel in den einzelnen Parametern, getrennt nach den drei Dimensionen.

Zeitlich-monetäre Dimension

Platz	Fahrzeit	Kosten
1	Pedelec Roller elektrisch Roller fossil	Fahrrad
2	Pkw fossil Fahrrad	Pedelec
3	Pkw elektrisch	ÖPNV und Laufen
4	ÖPNV + Faltrad	ÖPNV und Faltrad
5	ÖPNV + Laufen	Roller elektrisch
6		Roller fossil
7		Pkw fossil
8		Pkw elektrisch

Tabelle 5: Ranking-Ergebnisse der zeitlich-monetären Dimension

In der Tabelle 5 sind die Platzierungen der Verkehrsmittel in den Parametern Fahrzeit und Kosten der zeitlich-monetären Dimension abgebildet.

Persönliche Dimension

Platz	Bewegung	Stress pro Minute
1	Fahrrad	Pedelec
2	Pedelec ÖPNV + Laufen	Pkw fossil
3	ÖPNV + Faltrad Pkw fossil Pkw elektrisch	Fahrrad Roller elektrisch ÖPNV + Laufen ÖPNV + Faltrad
4	Roller elektrisch Roller fossil	Roller fossil
5		Pkw elektrisch

Tabelle 6: Ranking-Ergebnisse der persönlichen Dimension

In der Tabelle 6 sind die Platzierungen der Verkehrsmittel in den Parametern Bewegung und Stress pro Minute der persönlichen Dimension abgebildet.

Gesellschaftliche Dimension

Platz	Fahrstrecke	Energieverbrauch	CO ₂ -Ausstoß
1	Pedelec Fahrrad	Fahrrad	Fahrrad
2	Pkw elektrisch ÖPNV und Faltrad Pkw fossil Roller elektrisch	Pedelec	Pedelec
3	Roller fossil ÖPNV + Laufen	Roller elektrisch	Roller elektrisch ÖPNV und Faltrad
4		ÖPNV und Faltrad	ÖPNV und Laufen
5		ÖPNV und Laufen	Roller fossil
6		Pkw elektrisch	Pkw elektrisch
7		Roller fossil	Pkw fossil
8		Pkw fossil	

Tabelle 7: Ranking-Ergebnisse der gesellschaftlichen Dimension

In der Tabelle 7 sind die Platzierungen der Verkehrsmittel in den Parametern Fahrstrecke, Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß der gesellschaftlichen Dimension abgebildet.

9.2. Charakterisierung der Pendlertypen und Gewichtung der Parameter

In der Realität wird kein Pendler alle dargestellten Parameter mit gleicher Priorität - sprich gleicher Gewichtung - in seine Entscheidung einfließen lassen. Tatsächlich wird er einzelne Parameter höher, andere niedriger bewerten. Daher wurden zur abschließenden Schnittmengenbewertung der Verkehrsmittel Profile für drei verschiedene Pendlertypen definiert:

- Der Umwelt- und Gesundheitsbewusste
- Der Zeit- und Komfortbewusste
- Der Kostenorientierte

Außerdem wurde das Profil des Stadt- und Verkehrsplaners definiert, der im Rahmen seiner gestalterischen Tätigkeit einen hohen Einfluss auf die Ausprägung vieler Parameter hat.

Die unterschiedlichen Prioritäten der Pendlertypen schlagen sich in der prozentualen Gewichtung der einzelnen Parameter nieder. Die neutrale Gewichtung jedes Parameters beträgt 14,3 %, jeder der sieben Parameter würde dann gleich stark in das Endergebnis einfließen (Tabelle 29). Die Bedeutung der für das Profil unwichtigen Parameter wurde durch einen geringen Prozentsatz im Endergebnis reduziert, die der wichtigen Parameter durch einen höheren Prozentsatz angehoben. Kein Parameter wurde vollständig auf null gesetzt. Die Gewichtungen der Parameter werden pendlertypspezifisch in Tabelle 8 bis Tabelle 11 dargestellt.

9.2.1. Pendlertyp: Der Umwelt- und Gesundheitsbewusste

Parameter	Neutrale Gewichtung	Profil-gewichtung	Differenz
Fahrzeit	14,3 %	5 %	-9,3 %
Kosten	14,3 %	5 %	-9,3 %
Bewegung	14,3 %	25 %	10,2 %
Stress pro Minute	14,3 %	18 %	3,7 %
Fahrstrecke	14,3 %	5 %	-9,3 %
Energieverbrauch	14,3 %	17 %	3,7 %
CO ₂ -Ausstoß	14,3 %	25 %	10,2 %

Tabelle 8: Gewichtung der Parameter für den Umwelt- und Gesundheitsbewussten

Der Umwelt- und Gesundheitsbewusste ist zum einen bestrebt, sein (Mobilitäts-) Verhalten so zu gestalten, dass sein individueller CO₂-Ausstoß sowie der Ressourcenverbrauch reduziert wird. Zum anderen achtet er auf seine individuelle physische und psychische Gesundheit. Daher sind in diesem Profil die Parameter CO₂-Ausstoß und Bewegung gleichermaßen am höchsten gewichtet, gefolgt vom weniger stark im unmittelbaren Fokus stehenden Energieverbrauch und dem Stress. Fahrstrecke, Fahrzeit und Kosten sind für diesen Pendlertyp nur von sekundärer Bedeutung.

9.2.2. Pendlertyp: Der Zeit- und Komfortbewusste

Parameter	Neutrale Gewichtung	Profil-gewichtung	Differenz
Fahrzeit	14,3 %	35 %	20,7 %
Kosten	14,3 %	5 %	-9,3 %
Bewegung	14,3 %	5 %	-9,3 %
Stress pro Minute	14,3 %	30 %	15,7 %
Fahrstrecke	14,3 %	15 %	0,7 %
Energieverbrauch	14,3 %	5 %	-9,3 %
CO ₂ -Ausstoß	14,3 %	5 %	-9,3 %

Tabelle 9: Gewichtung der Parameter für den Zeit- und Komfortbewussten

Das größte Gewicht legt dieser Pendlertyp auf die Fahrzeit von Tür zu Tür. Daneben spielt der Komfort eine besondere Rolle. Im Profil wurde dieser über die hohe Gewichtung des Parameters Stress berücksichtigt. Weitere Aspekte des Komforts wie z.B. die Privatsphäre des Individualverkehrs, die subjektive Wahrnehmung von Wettereinflüssen sowie die Bequemlichkeit wurden wegen der für diese Zwecke zu geringen Stichprobe nicht bewertet, auch wenn sie bei vielen Pendlern stärker berücksichtigt werden als der objektiv gemessene Stress. Von geringerer Relevanz sind bei der Definition dieses Profils die Kosten, die Bewegung, der Energieverbrauch und der CO₂-Ausstoß.

9.2.3. Pendlertyp: Der Kostenorientierte

Parameter	Neutrale Gewichtung	Profil-gewichtung	Differenz
Fahrzeit	14,3 %	5 %	-9,3 %
Kosten	14,3 %	40 %	25,7 %
Bewegung	14,3 %	5 %	-9,3 %
Stress pro Minute	14,3 %	5 %	-9,3 %
Fahrstrecke	14,3 %	20 %	5,7 %
Energieverbrauch	14,3 %	20 %	5,7 %
CO ₂ -Ausstoß	14,3 %	5 %	-9,3 %

Tabelle 10: Gewichtung der Parameter für den Kostenorientierten

Die Kostenminimierung steht bei diesem Pendlertyp deutlich im Vordergrund. Die Vollkosten der Verkehrsmittel stellen den objektiv wichtigsten Parameter dar, aber auch die oftmals stärker wahrgenommenen Einzelaspekte des Energie-/Kraftstoffverbrauchs und die Länge der Fahrstrecke wurden in diesem Profil als weitere, wichtige Parameter höher bewertet. Umwelt, Komfort und Zeit spielen bei den Menschen, die ihr Mobilitätsverhalten an den Kosten ausrichten (müssen) eine untergeordnete Rolle.

9.2.4. Der Stadt- und Verkehrsplaner

Parameter	Neutrale Gewichtung	Profil-gewichtung	Differenz
Fahrzeit	14,3 %	15 %	0,7 %
Kosten	14,3 %	5 %	-9,3 %
Bewegung	14,3 %	15 %	0,7 %
Stress pro Minute	14,3 %	15 %	0,7 %
Fahrstrecke	14,3 %	15 %	0,7 %
Energieverbrauch	14,3 %	15 %	0,7 %
CO ₂ -Ausstoß	14,3 %	20 %	5,7 %

Tabelle 11: Gewichtung der Parameter für den Stadt- und Verkehrsplaner

Das Profil des Stadt- und Verkehrsplaners repräsentiert in gewisser Weise das Allgemeinwohl aller PendlerInnen. Der Verkehr soll - abgesehen von der teilweise gezielten Verlangsamung des Pkw-Verkehrs in manchen Verkehrsräumen - möglichst zügig und störungsfrei ablaufen. Die PendlerInnen sollen in ihrer Arbeitsproduktivität nicht durch Verspätungen, Bewegungsmangel oder Stress eingeschränkt werden. Die Schadstoffgrenzwerte der Umweltzonen sowie die lokalen Aktivitäten zum Klimaschutz verlangen eine möglichst emissionsarme Ausgestaltung des Verkehrs. Der Energieverbrauch rückt durch die die Energie-wende sowie zunehmenden Aktivitäten im Bereich der Elektromobilität schrittweise stärker in den Vordergrund. Somit wurden in diesem Profil bis auf die Kosten des Individuums alle Parameter auf ein Niveau gesetzt, lediglich der CO₂-Ausstoß - und damit indirekt auch die sonstigen Schadstoffe - etwas höher eingestuft.

9.3. Ergebnisse Profilauswertung

Mit den im vorherigen Kapitel erläuterten Gewichtungen wurden die Parameter für die verschiedenen Pendlertypen und die Stadt- und Verkehrsplaner gewichtet und ein entsprechendes Ranking der Verkehrsmittel erstellt. In Tabelle 12 bis Tabelle 15 werden die Gewichtungen und Platzierungen dargestellt. Das Ergebnis ohne Gewichtung ist einsehbar unter 12.3 auf S. 164.

9.3.1. Ranking aus Sicht des umwelt- und gesundheitsbewussten Pendlers

Verkehrsmittel	Fahrzeit			Kosten			Bewegung			Stress pro Minute			Fahrstrecke			Energieverbrauch			CO ₂ -Ausstoß			Gesamt Punkte	Platz
	Ranking Punkte	Gewichtung	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtung	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtung	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtung	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtung	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtung	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtung	Gewichtete Punkte		
Pkw fossil	7,5	5,0	37,5	1,43	5,0	7,2	3,33	25,0	83,3	7,5	18,0	135,0	5	5,0	25,0	0	17,0	0,0	0	25,0	0,0	288	6
Pkw elektrisch	5	5,0	25,0	0	5,0	0,0	3,33	25,0	83,3	0	18,0	0,0	5	5,0	25,0	3,32	17,0	56,4	1,67	25,0	41,8	231	7
Roller fossil	10	5,0	50,0	2,86	5,0	14,3	0	25,0	0,0	2,5	18,0	45,0	0	5,0	0,0	1,67	17,0	28,4	3,32	25,0	83,0	221	8
Roller elektrisch	10	5,0	50,0	4,29	5,0	21,5	0	25,0	0,0	5	18,0	90,0	5	5,0	25,0	6,66	17,0	113,2	6,66	25,0	166,5	466	5
Fahrrad	7,5	5,0	37,5	10	5,0	50,0	10	25,0	250,0	5	18,0	90,0	10	5,0	50,0	10	17,0	170,0	10	25,0	250,0	898	1
Pedelec	10	5,0	50,0	8,57	5,0	42,9	6,66	25,0	166,5	10	18,0	180,0	10	5,0	50,0	8,33	17,0	141,6	8,33	25,0	208,3	839	2
ÖPNV + Laufen	0	5,0	0,0	7,15	5,0	35,8	6,66	25,0	166,5	5	18,0	90,0	0	5,0	0,0	5	17,0	85,0	5	25,0	125,0	502	4
ÖPNV + Faltrad	2,5	5,0	12,5	5,72	5,0	28,6	3,33	25,0	83,3	5	18,0	90,0	5	5,0	25,0	6,66	17,0	113,2	6,66	25,0	166,5	519	3

Tabelle 12: Gesamtergebnis aus Sicht des den Umwelt- und Gesundheitsbewussten

Das aus Sicht des umwelt- und gesundheitsbewussten Pendlertyps beste Verkehrsmittel ist das Fahrrad. Dieses bringt viel Bewegung, hat keinen Energieverbrauch und emittiert dementsprechend auch kein klimaschädliches CO₂. Einzig in der Stressbelastung ist das Fahrrad nicht vorbildlich. Stressanfällige oder körperlich beeinträchtigte Personen sollten daher eher auf die zweitplatzierte Empfehlung zurückgreifen, das Pedelec. Es hat einen geringen Energieverbrauch, erfordert ebenfalls körperliche Bewegung und verursacht die geringste Stressbelastung aller Verkehrsmittel. Auf dem dritten Platz folgt die Kombination aus ÖPNV und Faltrad, danach ÖPNV und Laufen. Trotz der geringen Bewegung mit dem elektrischen Pkw kam dieser dank des niedrigen Energieverbrauchs und CO₂-Ausstoßes auf den fünften Platz. Der fossile Pkw mit deutlichem Abstand auf Platz 6, der elektrische auf dem siebten Platz. Letztplatziert ist der fossile Roller, da dieser die geringste Bewegung auf dem Pendlerweg beansprucht, einen relativ hohen Energieverbrauch sowie hohe CO₂-Emissionen verursacht.

In einem längeren Versuch würden sich vermutlich die Fahrzeiten der beiden Pkw angleichen, die Stressbelastung wäre beim elektrischen Pkw erwartungsgemäß geringer als beim fossilen Pkw. Mit diesen Veränderungen würden die Pkw die Plätze 6 und 7 tauschen, der elektrische Pkw wäre demnach für eine langfristige Nutzung eher zu empfehlen als der fossile.

9.3.2. Ranking aus Sicht des zeit- und komfortbewussten Pendlers

Verkehrsmittel	Fahrzeit			Kosten			Bewegung			Stress pro Minute			Fahrstrecke			Energieverbrauch			CO ₂ -Ausstoß			Gesamt Punkte	Platz
	Ranking Punkte	Gewichtete Punkte	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtete Punkte	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtete Punkte	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtete Punkte	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtete Punkte	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtete Punkte	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtete Punkte	Gewichtete Punkte		
Pkw fossil	7,5	35,0	262,5	1,43	5,0	7,2	3,33	5,0	16,7	7,5	30,0	225,0	5	15,0	75,0	0	5,0	0,0	0	5,0	0,0	586	4
Pkw elektrisch	5	35,0	175,0	0	5,0	0,0	3,33	5,0	16,7	0	30,0	0,0	5	15,0	75,0	3,32	5,0	16,6	1,67	5,0	8,4	292	7
Roller fossil	10	35,0	350,0	2,86	5,0	14,3	0	5,0	0,0	2,5	30,0	75,0	0	15,0	0,0	1,67	5,0	8,4	3,32	5,0	16,6	464	5
Roller elektrisch	10	35,0	350,0	4,29	5,0	21,5	0	5,0	0,0	5	30,0	150,0	5	15,0	75,0	6,66	5,0	33,3	6,66	5,0	33,3	663	3
Fahrrad	7,5	35,0	262,5	10	5,0	50,0	10	5,0	50,0	5	30,0	150,0	10	15,0	150,0	10	5,0	50,0	10	5,0	50,0	763	2
Pedelec	10	35,0	350,0	8,57	5,0	42,9	6,66	5,0	33,3	10	30,0	300,0	10	15,0	150,0	8,33	5,0	41,7	8,33	5,0	41,7	959	1
ÖPNV + Laufen	0	35,0	0,0	7,15	5,0	35,8	6,66	5,0	33,3	5	30,0	150,0	0	15,0	0,0	5	5,0	25,0	5	5,0	25,0	269	8
ÖPNV + Faltrad	2,5	35,0	87,5	5,72	5,0	28,6	3,33	5,0	16,7	5	30,0	150,0	5	15,0	75,0	6,66	5,0	33,3	6,66	5,0	33,3	424	6

Tabelle 13: Gesamtergebnis aus Sicht des Zeit- und Komfortbewussten

Mit einem deutlichen Vorsprung an Punkten ist das Pedelec am besten für die tägliche Pendlerstrecke des zeit- und komfortbewussten Pendlertypen geeignet. In der Fahrzeit hat das Pedelec mit den Rollern am besten abgeschnitten. Zudem grenzt sich das Pedelec besonders durch die geringste Stressbelastung von den anderen Verkehrsmitteln ab. Auf dem zweiten Platz landet das Fahrrad, da es etwas langsamer ist und eine höhere Stressbelastung mit sich bringt. Auf den mittleren Plätzen folgen der elektrische Roller, der fossile Pkw, die Kombination aus ÖPNV und Faltrad und der fossilen Roller. Auf den siebten Platz wurde der elektrische Pkw eingestuft, da die Stressbelastung sehr hoch war. Das ungeeignetste Verkehrsmittel für die Ansprüche dieses Pendlertyps ist die Kombination aus ÖPNV und Laufen, da diese sehr langsam war.

Es wird erwartet, dass der elektrische Pkw bei längerfristiger Nutzung mit entsprechenden Gewöhnungseffekten den vierten statt den siebten Platz in der Reihenfolge der Empfehlungen für diesen Pendlertyp einnehmen würde.

9.3.3. Ranking aus Sicht des kostenorientierten Pendlers

Verkehrsmittel	Fahrzeit			Kosten			Bewegung			Stress pro Minute			Fahrstrecke			Energieverbrauch			CO ₂ -Ausstoß			Gesamt Punkte	Platz
	Ranking Punkte	Gewichtete Punkte	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtete Punkte	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtete Punkte	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtete Punkte	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtete Punkte	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtete Punkte	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtete Punkte	Gewichtete Punkte		
Pkw fossil	7,5	5,0	37,5	1,43	40,0	57,2	3,33	5,0	16,7	7,5	5,0	37,5	5	20,0	100,0	0	20,0	0,0	0	5,0	0,0	249	6
Pkw elektrisch	5	5,0	25,0	0	40,0	0,0	3,33	5,0	16,7	0	5,0	0,0	5	20,0	100,0	3,32	20,0	66,4	1,67	5,0	8,4	216	8
Roller fossil	10	5,0	50,0	2,86	40,0	114,4	0	5,0	0,0	2,5	5,0	12,5	0	20,0	0,0	1,67	20,0	33,4	3,32	5,0	16,6	227	7
Roller elektrisch	10	5,0	50,0	4,29	40,0	171,6	0	5,0	0,0	5	5,0	25,0	5	20,0	100,0	6,66	20,0	133,2	6,66	5,0	33,3	513	4
Fahrrad	7,5	5,0	37,5	10	40,0	400,0	10	5,0	50,0	5	5,0	25,0	10	20,0	200,0	10	20,0	200,0	10	5,0	50,0	963	1
Pedelec	10	5,0	50,0	8,57	40,0	342,8	6,66	5,0	33,3	10	5,0	50,0	10	20,0	200,0	8,33	20,0	166,6	8,33	5,0	41,7	884	2
ÖPNV + Laufen	0	5,0	0,0	7,15	40,0	286,0	6,66	5,0	33,3	5	5,0	25,0	0	20,0	0,0	5	20,0	100,0	5	5,0	25,0	469	5
ÖPNV + Faltrad	2,5	5,0	12,5	5,72	40,0	228,8	3,33	5,0	16,7	5	5,0	25,0	5	20,0	100,0	6,66	20,0	133,2	6,66	5,0	33,3	549	3

Tabelle 14: Gesamtergebnis aus Sicht des Kostenorientierten

Die erste Empfehlung für den kostenorientierten Pendlertyp mit der höchsten Gesamtpunktzahl aller Profilauswertungen (963 Punkte) stellt das Fahrrad dar. Das Fahrrad hat Bestwerte bei den Kosten, dem Energieverbrauch und der Fahrstrecke erreicht. An zweiter Stelle rangiert das Pedelec, welches ebenfalls bei der Fahrstrecke sehr gut abschneidet, jedoch etwas teurer in der Anschaffung, Wartung und im Verbrauch ist. Die Kombination aus ÖPNV und Faltrad kam aufgrund des geringen Preises und der nur moderat längeren Reisezeit auf den dritten Platz. Die weiteren Plätze sind wie folgt besetzt: elektrischer Roller, ÖPNV und Laufen, Pkw fossil und auf dem siebten Platz der fossile Roller. Auf dem letzten Platz ist der elektrische Pkw aufgrund der hohen Anfangsinvestition. Unter den Versuchsbedingungen ist der elektrische Pkw jedoch ab einer Laufleistung von ca. 15.000 km pro Jahr günstiger als

der fossile Pkw. Legt man die in 9.5.10 beschriebenen geringeren Anschaffungskosten für die neuen OEM-Modelle zugrunde, so liegt der Break-Even-Point bereits bei ca. 8.500 Kilometern. Weiter verbessern könnte sich der elektrische Pkw nach einer Gewöhnungsphase in der Stressbelastung und der Fahrzeit und würde somit den sechsten Platz erreichen.

9.3.4. Ranking aus Sicht des Stadt- und Verkehrsplaners

Verkehrsmittel	Fahrzeit		Kosten			Bewegung			Stress pro Minute			Fahrstrecke			Energieverbrauch			CO ₂ -Ausstoß			Gesamt Punkte	Platz	
	Ranking Punkte	Gewicht-ung	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewicht-ung			Gewichtete Punkte															
Pkw fossil	7,5	15,0	112,5	1,43	5,0	7,2	3,33	15,0	50,0	7,5	15,0	112,5	5	15,0	75,0	0	15,0	0,0	0	20,0	0,0	357	6
Pkw elektrisch	5	15,0	75,0	0	5,0	0,0	3,33	15,0	50,0	0	15,0	0,0	5	15,0	75,0	3,32	15,0	49,8	1,67	20,0	33,4	283	8
Roller fossil	10	15,0	150,0	2,86	5,0	14,3	0	15,0	0,0	2,5	15,0	37,5	0	15,0	0,0	1,67	15,0	25,1	3,32	20,0	66,4	293	7
Roller elektrisch	10	15,0	150,0	4,29	5,0	21,5	0	15,0	0,0	5	15,0	75,0	5	15,0	75,0	6,66	15,0	99,9	6,66	20,0	133,2	555	3
Fahrrad	7,5	15,0	112,5	10	5,0	50,0	10	15,0	150,0	5	15,0	75,0	10	15,0	150,0	10	15,0	150,0	10	20,0	200,0	888	1
Pedelec	10	15,0	150,0	8,57	5,0	42,9	6,66	15,0	99,9	10	15,0	150,0	10	15,0	150,0	8,33	15,0	125,0	8,33	20,0	166,6	884	2
ÖPNV + Laufen	0	15,0	0,0	7,15	5,0	35,8	6,66	15,0	99,9	5	15,0	75,0	0	15,0	0,0	5	15,0	75,0	5	20,0	100,0	386	5
ÖPNV + Faltrad	2,5	15,0	37,5	5,72	5,0	28,6	3,33	15,0	50,0	5	15,0	75,0	5	15,0	75,0	6,66	15,0	99,9	6,66	20,0	133,2	499	4

Tabelle 15: Gesamtergebnis aus Sicht des Stadt- und Verkehrsplaners

Das beste Verkehrsmittel aus Sicht der Stadtplanung ist das Fahrrad. Die Gründe liegen in der hohen Bewegung der PendlerInnen mit dem Fahrrad, geringen Umweltbelastung und dem fehlenden Energieverbrauch. Sehr knapp mit nur 4 Punkten unterschied auf dem zweiten Platz folgt das Pedelec, welches zwar einen Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß hat, in der Stressbelastung und Fahrzeit jedoch Bestwerte erzielt. Mit deutlichem Abstand folgen der elektrische Roller auf dem dritten Platz, die Kombination aus ÖPNV und Faltrad auf Platz vier, der fossile Pkw auf dem fünften, ÖPNV und Laufen auf dem sechsten und der fossile Roller auf dem siebten Platz. Am wenigsten zu empfehlen ist der elektrische Pkw aufgrund seiner hohen Stressbelastung.

Die Stressbelastung der TeilnehmerInnen während der Fahrt mit dem elektrischen Pkw würde nach einer Gewöhnungszeit voraussichtlich unter das Niveau des fossilen Pkw sinken, womit der elektrische Pkw dann auf Platz 4 landen würde.

9.4. Fazit Pendlertypauswertungen und Interessen der Stadtplanung

Aus den Rankings (Tabelle 16) der drei verschiedenen Pendlerprofile sowie der Stadt- und Verkehrsplanung ergibt sich das folgende Fazit.

Profil Platz	Ungewichtetes Ergebnis	Umwelt & Gesundheit	Zeit & Komfort	Kosten	Stadtplanung
1	Fahrrad	Fahrrad	Pedelec	Fahrrad	Fahrrad
2	Pedelec	Pedelec	Fahrrad	Pedelec	Pedelec
3	Roller elektrisch	ÖPNV + Faltrad	Roller elektrisch	ÖPNV + Faltrad	Roller elektrisch
4	ÖPNV + Faltrad	ÖPNV + Laufen	Pkw fossil	Roller elektrisch	ÖPNV + Faltrad
5	ÖPNV + Laufen	Roller elektrisch	ÖPNV + Faltrad	ÖPNV + Laufen	ÖPNV + Laufen
6	Pkw fossil	Pkw fossil	Roller fossil	Pkw fossil	Pkw fossil
7	Pkw elektrisch	Pkw elektrisch	Pkw elektrisch	Roller fossil	Roller fossil
8	Roller fossil	Roller fossil	ÖPNV + Laufen	Pkw elektrisch	Pkw elektrisch

Tabelle 16: Übersicht über die Platzierungen der Verkehrsmittel in der ungewichteten und den gewichteten Profilauswertungen

Das Pedelec und das Fahrrad bieten für alle Pendlertypen die meisten Vorteile. Zwar ist das Fahrrad öfter erstplatziert, der Abstand zum Pedelec ist jedoch meist nur sehr gering. Das Fahrrad ist das Verkehrsmittel mit den geringsten Kosten, der meisten Bewegung, der kürzesten Fahrstrecke, keinem Energieverbrauch und keinen CO₂-Emissionen. Das Pedelec grenzt sich als motorisiertes Verkehrsmittel durch den geringen Energieverbrauch, der kürzesten Fahrzeit und der geringsten Stressbelastung ab.

Die Roller sind hinsichtlich der zeitlichen Aspekte sehr gut, jedoch haben die PendlerInnen damit die geringste Bewegung. Der elektrische Roller ist aufgrund seiner geringen Stresswerte, Energieverbrauchs und CO₂-Emissionen in allen Profilen deutlich besser platziert als die fossile Variante.

Die ÖPNV-Kombinationen haben in der Fahrzeit von allen Verkehrsmitteln am schlechtesten abgeschnitten. Die weiteren Parameter spiegeln ein Mittelmaß wieder. Die Kombination aus ÖPNV und Faltrad liegt immer vor dem ÖPNV und Laufen, da sie sich zeitlich, in der Länge der Fahrstrecke sowie im Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß von der Kombination aus ÖPNV und Laufen unterscheidet. Bei dem kostenorientierten Pendlertyp ist die Position der ÖPNV-Kombinationen unterbewertet, da die Gewichtung der Fahrstrecke und des Energieverbrauchs ohne Bedeutung für den Pendler bzw. die Pendlerin im ÖPNV ist. Der Fahrchein deckt alle diese Kosten ab. Bei einer 70 prozentigen Gewichtung der Kosten, wäre die Kombination aus ÖPNV und Laufen auf dem dritten und ÖPNV und Faltrad auf den vierten Platz gekommen.

Der fossile Pkw bewegt sich nur im Mittelfeld der Empfehlungen, da dieser einen sehr hohen Energieverbrauch und einen hohen CO₂-Ausstoß hat. Der elektrische Pkw schneidet in diesen Parametern zwar besser ab, jedoch sind die Kosten bei der in Summe angenommen geringen Jahreslaufleistung sowie die Stressbelastung aufgrund der ungewohnten Bedienung sehr hoch. Mit mehr Eingewöhnungszeit und einer Laufleistung von über 15.000 km pro Jahr wäre der elektrische Pkw in jedem Profil besser platziert als der fossile Pkw.

Zwischen der faktenbasierten und emotionalen Entscheidung für ein Verkehrsmittel gibt es große Diskrepanzen. Obwohl der fossile Pkw selbst bei dem zeit- und komfortbewussten Pendlertyp nur den vierten Platz belegt, wird er im Allgemeinen als zeitsparend und bequem angesehen.

Alle Rankings hängen stark von der gewählten Strecke ab. Unter anderen Umständen, insbesondere bei einer abweichenden Streckenlänge, bei veränderten Parkmöglichkeiten sowie besserer Erreichbarkeit mit dem ÖPNV kann sich eine andere Rangfolge als im *Schweriner Versuch* ergeben. Es war nicht Ziel dieses Versuchs, allgemeingültige Empfehlungen herzu- leiten. Vielmehr ging es darum, an einem konkreten Beispiel die Entscheidungsparameter aufzuzeigen, um sowohl die Pendler als auch die Stadt- und Verkehrsplaner bei ihren indivi- duellen Entscheidungen zu unterstützen.

9.5. Auswertung von weiteren Einzelfragestellungen

Neben dem Vergleich der Verkehrsmittel für die einzelnen Parameter wurden mit dem Ziel einer umfassenden und praxisnahen Auswertung zudem weitere direkte intra- und interpa- rametrische Fragestellungen ausgewertet.

9.5.1. Auf welchem Verkehrsmittel hatten die individuellen Testpersonen am meisten Stress und auf welchem am wenigsten?

Für diese Fragestellung wurden die TeilnehmerInnen anonymisiert. In der Abb. 32 sind die TeilnehmerInnen daher mit TN 1 – TN 10 bezeichnet. Es wurde untersucht, auf welchem Verkehrsmittel die einzelnen TeilnehmerInnen welche Stressbelastung pro Minute hatten.

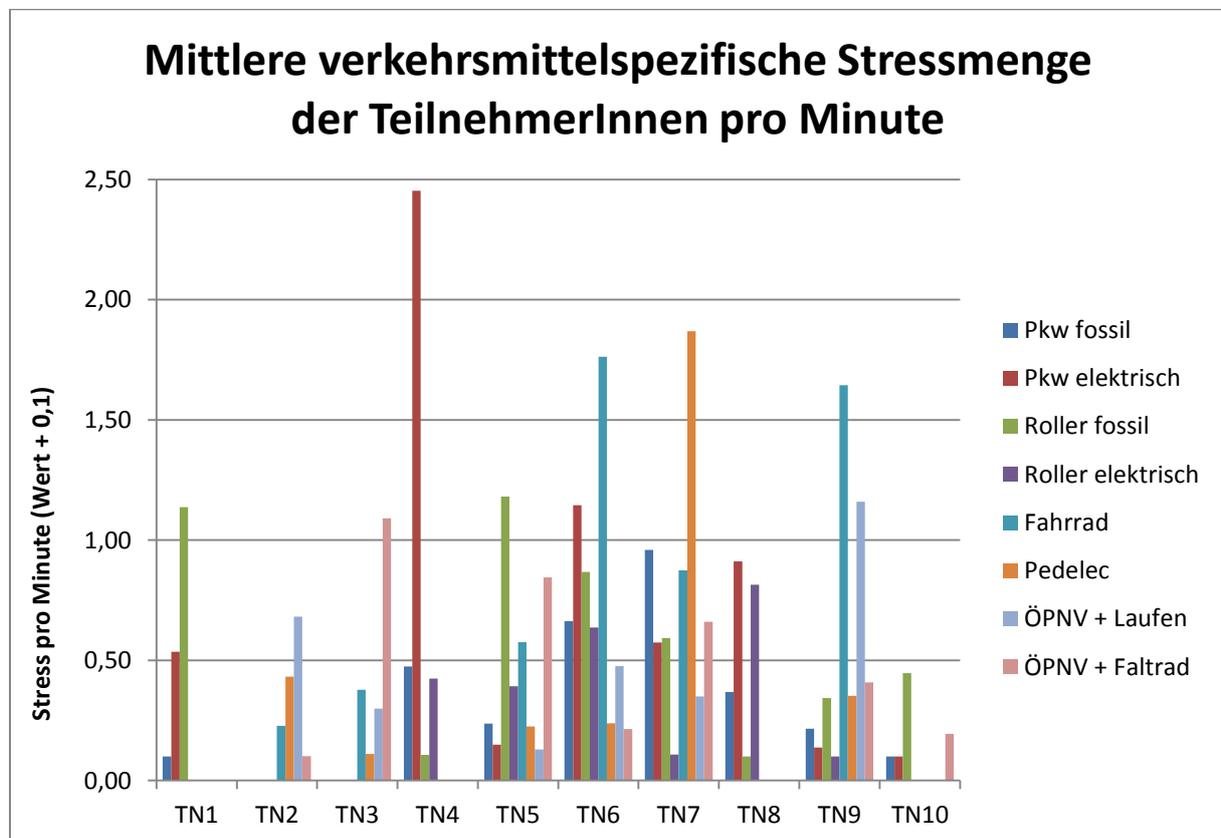


Abb. 32: Mittlerer verkehrsmittelspezifischer Stress der TeilnehmerInnen pro Minute

Als Datenbasis dienten 127 Stressdaten. Die Höhe des Balkes zeigt die Stressbelastung pro Minute an. Ein fehlender Balken bedeutet, dass keine spezifischen Daten für die Kombination aus TeilnehmerIn und Verkehrsmittel verfügbar waren. Ein Balken bis zum Wert 0,1 bedeutet, dass diese Person keinen Stress mit dem Verkehrsmittel erfahren hat. Jeden Stresswert wurden 0,1 zuaddiert, um diese auf den Diagramm sichtbar zu machen.

TN 4 hat die höchste verkehrsmittelspezifische Stressbelastung pro Minute von allen Teilnehmern, in allen anderen Verkehrsmitteln ist diese Person relativ stressfrei. TN 10 wies die insgesamt geringsten Stressbelastung bei allen Verkehrsmitteln auf, eng gefolgt von TN 2. Insgesamt die höchsten Stressbelastung - unabhängig vom Verkehrsmittel - hatten die TN 6 und 7. Diese beiden Personen weisen einen insgesamt erhöhten Stresslevel auf.

9.5.2. Gab es eine Differenz zwischen der subjektiv empfundenen Stressbelastung und den Stressmessungen der SmartBänder?

Die SmartBänder haben während der Fahrten die objektiv messbare Stressbelastung der TeilnehmerInnen über die Hautleitfähigkeit und Hauttemperatur aufgezeichnet (6.4.5, S. 44). Nach den Fahrten wurden die TeilnehmerInnen mittels eines Fragebogens zu ihrem subjektiven Eindruck der Stressbelastung während der Fahrt befragt (siehe Kapitel 6.5.3, S. 52 und Fragebogen 12.10, S. 200). Bei 84 Datensätzen lagen beide Werte vor. Da sich die Messskalen der Stressmessung von der Skala auf dem Fragebogen unterschieden, wurden die subjektiven Werte normiert. Der höchste Stresswert der Messung mit den SmartBändern betrug 3, der kleinste 0. Der höchste Wert wurde als „sehr stressige“ Fahrt und der geringste als „entspannte“ Fahrt interpretiert. Die Antworten auf den Fragebögen wurden auf dieses Skalenniveau umgerechnet, um eine Vergleichbarkeit der Angaben zu ermöglichen. Der Vergleich aller Datensätze mit den notwendigen Daten zeigt starke Abweichungen zwischen den subjektiven Einschätzungen und den objektiven Daten (Abb. 33).

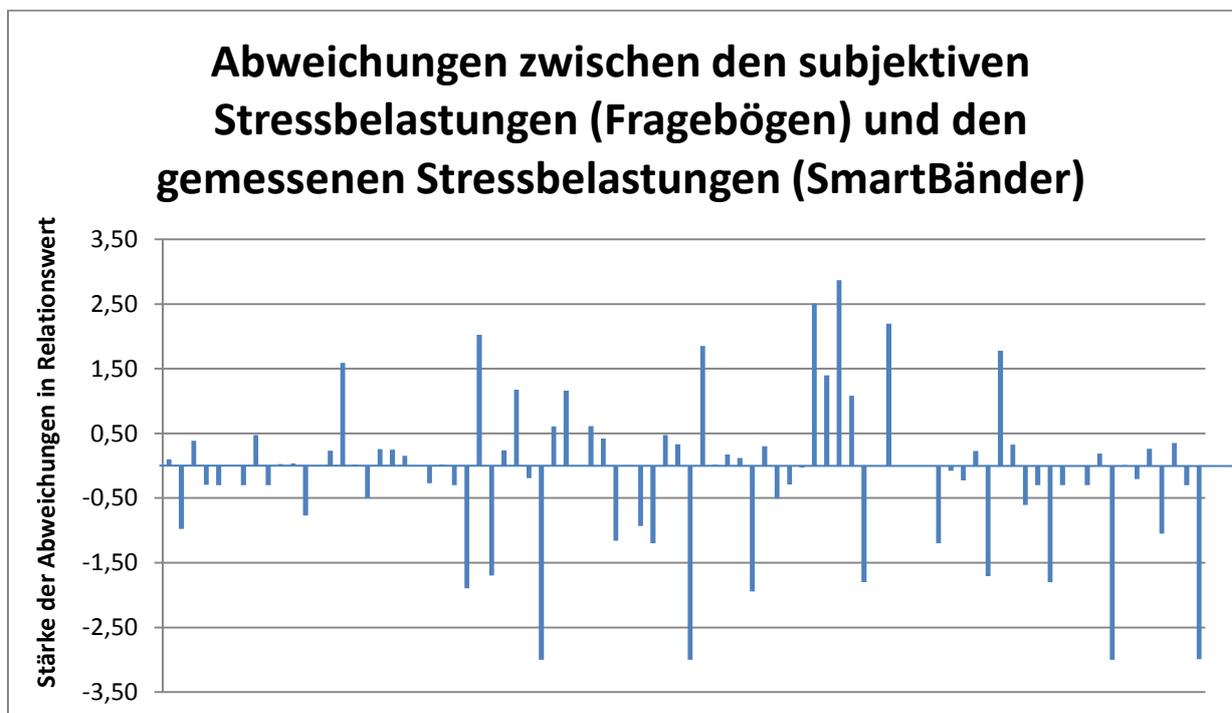


Abb. 33: Abweichungen zwischen dem subjektiven Stressempfinden und den während der Fahrt gemessenen Stressdaten

In der Abb. 33 sind die Abweichungen zwischen dem subjektiven Stressempfinden und der gemessenen Stressbelastung durch die SmartBänder abgebildet. Eine positive Abweichung (alle Balken, die nach oben gehen) bedeutet, dass die TeilnehmerInnen ihren Stress während der Fahrt geringer eingeschätzt haben, der gemessene Stresswert also höher als das subjektive Empfinden war. Eine negative Abweichung (alle Balken, die nach unten gehen) dagegen bedeutet, dass die TeilnehmerInnen ihren Stress während der Fahrt höher eingeschätzt haben, der gemessene Stresswert also niedriger als das subjektive Empfinden war. Kein Balken bedeutet, dass es keine Abweichung gab, die TeilnehmerInnen ihren Stresslevel analog zur objektiven Messung eingeschätzt haben. Die Größe der Balken gibt Aufschluss über die Höhe der Abweichung bei der nachträglichen Bewertung der Fahrt durch die TeilnehmerInnen. Die subjektive Einschätzung des Stresses hat in 89 % nicht der Realität entsprochen (Abb. 34).



Abb. 34: Tendenzen bei der Einschätzung der Stressbelastung während der Fahrt mit den Verkehrsmitteln (n = 84)

Der Vergleich der Selbsteinschätzung mit den Messdaten der SmartBänder hat ergeben, dass nur 11 % der TeilnehmerInnen ihre Stressbelastung unmittelbar nach Ankunft richtig eingeschätzt hat. Insgesamt 89 % der TeilnehmerInnen haben ihre reale Stressbelastung falsch eingeschätzt. 26 % TeilnehmerInnen haben ihre Stressbelastung geringfügig überschätzt, 17 % stark überschätzt. Auf der anderen Seite haben 33 % ihren Stress geringfügig unterschätzt, 13 % stark überschätzt. In der detaillierten Betrachtung nach Verkehrsmitteln ergeben sich sehr starke Unterschiede in den Tendenzen der Einschätzungen (Abb. 35).

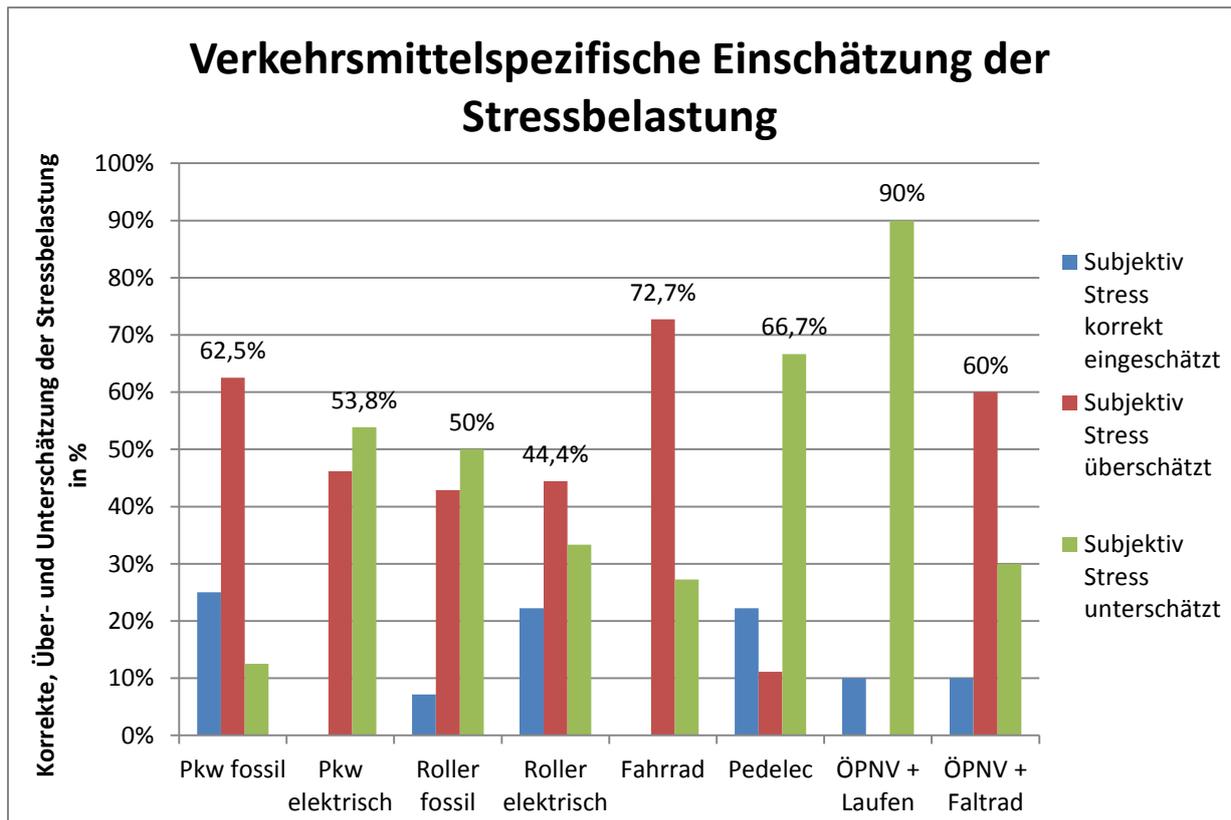


Abb. 35: Verkehrsmittelspezifische Einschätzung der Stressbelastung

Die Einschätzungen wurden aus folgender Anzahl Daten berechnet: Pkw fossil: $n = 8$, Pkw elektrisch: $n = 13$, Roller fossil: $n = 14$, Roller elektrisch: $n = 9$, Fahrrad: $n = 11$, Pedelec: $n = 9$, ÖPNV und Laufen: $n = 10$, ÖPNV und Faltrad = 14. Aufgrund der geringen Stichprobengröße des *Schweriner Versuchs* können diese Daten nur als Tendenzen interpretiert werden. Mit einer größeren Stichprobe wäre eine Quantifizierung der Unter- oder Überschätzung besser möglich gewesen.

Beim fossilen Pkw hat die Mehrheit der TeilnehmerInnen die Stressbelastung überschätzt. 25 % der TeilnehmerInnen haben den Stress korrekt eingeschätzt und 12,5 % unterschätzt. Tendenziell sind Pkw-FahrerInnen demnach bei der Fahrt entspannter als im Nachhinein angenommen. Die Fahrt mit dem elektrischen Pkw wurde von keinem der TeilnehmerInnen korrekt eingeschätzt. Mit 53,8 % haben etwas mehr den Stress unterschätzt als überschätzt (46,2 %). Eine generelle Tendenz zur falschen Wahrnehmung der Stressbelastung scheint demnach charakteristisch für die Fahrt mit dem elektrischen Pkw zu sein. Einfluss auf diese Tendenz könnte die Gewöhnungsgeschwindigkeit an die Umstellungen bei der Fahrt mit einem elektrischen Pkw, der neben dem Antrieb auch eine andere Schaltung (Automatik) hat als die meisten Pkw, gewesen sein. Eine ähnliche Tendenz lässt sich bei dem fossilen Roller erkennen, 50 % der TeilnehmerInnen haben den Stress unterschätzt, 42,9 % überschätzt und 7,1 % korrekt eingeschätzt. Die Überschätzung könnte an der unerwartet hohen Geräuscentwicklung des fossilen Rollers gelegen haben, da sich die Personen subjektiv von der Geräuscentwicklung des Rollers stark gestört gefühlt haben könnten. Bei der fast geräuschlosen Fahrt mit dem elektrischen Roller ist die Tendenz der subjektiven Stressbelastung ausgeglichener: 44,4 % der TeilnehmerInnen haben den Stress überschätzt, 33,3 % unterschätzt und 22,2 % richtig eingeschätzt, obwohl die FahrerInnen im Mittel mit dem elektrischen Roller etwas schneller gefahren sind (12.2.2.2, S. 129). In der Handhabung waren sich die Roller sehr ähnlich, nur die Geräuscentwicklung variierte. Der Trend zur Über-

schätzung ist beim Fahrrad mit 72,7 % sehr deutlich. Nur 27 % der TeilnehmerInnen haben den Stress unterschätzt und niemand hat die Belastung korrekt eingeschätzt. Die Fahrt im Straßenverkehr scheint subjektiv sehr viel stressiger als die Empfindung zu sein. Beim Pedelec ist dieser Trend genau gegenläufig, zwei Drittel der TeilnehmerInnen haben die Stressbelastung unterschätzt, 22 % haben die Belastung korrekt eingeschätzt und 11,1 % überschätzt. Eine Fahrt mit dem Pedelec wird demnach im Nachhinein als sehr viel entspannter erinnert, als dies messbar war. Den deutlichsten Trend in die gleiche Richtung zeigten die TeilnehmerInnen bei der Fahrt mit der Kombination aus ÖPNV und Laufen. Neunzig % haben die Stressbelastung unterschätzt, nur 10 % haben in der Einschätzung richtig gelegen und niemand hat diese über überschätzt. Bei der Kombination aus ÖPNV und Faltrad zeigt sich ein gegensätzlicher Trend, da 60 % der TeilnehmerInnen die Belastung überschätzt haben. Dreißig % haben die Fahrt unterschätzt und 10 % lagen mit ihrer Einschätzung korrekt. Die stark abweichende Wahrnehmung ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass sich die starken Stressmomente beim ÖPNV insbesondere auf die Umsteigephase konzentrieren und in der Regel im Nachhinein nicht so bewusst wahrgenommen werden.

9.5.3. Wie ist die Geschwindigkeitsverteilung der verschiedenen Verkehrsmittel?

Ergänzend zu den mittleren Geschwindigkeiten (12.2.2, S. 124) wurde die Dauer der Fahrten mit den verschiedenen Verkehrsmitteln zurückgelegten Abschnitte in sechs Geschwindigkeitskategorien untersucht. Für Roller und Fahrrad/Pedelec erfolgte die Betrachtung nur für die Strecke, die mit diesen Verkehrsmitteln zurückgelegt wurden, weil damit quasi von Tür zu Tür gefahren wurde. Für die Pkw und den ÖPNV wurde zusätzlich zur Fahrzeit mit dem Hauptverkehrsmittel auch noch die Verteilung der Geschwindigkeiten einschließlich der zu Fuß oder mit dem Faltrad zurückgelegten Streckenabschnitte ausgewertet.

Die erste Kategorie ist die Standzeit, die durch eine Geschwindigkeit von 0 – 3 km/h gekennzeichnet ist. 3 km/h wurde als obere Grenze für die Standzeit gewählt, weil zum einen sehr langsames Rollen beispielsweise im Stau vor einer Ampel nicht als Bewegung gewertet werden sollte und zum anderen die GPS-Geräte aufgrund eines nicht 100-prozentig konstanten Satellitenempfangs teilweise selbst im Stillstand geringfügige Bewegung aufzeichneten. Die zweite Kategorie wurde daher mit einer Geschwindigkeit von 3,01 – 20 km/h definiert. Die Kategorie drei von 20,01 – 30 km/h, die vierte mit 30,01 – 40 km/h, die fünfte mit 40,01 – 50 km/h und die sechste mit Geschwindigkeiten über 50 km/h. Die nachfolgenden Abbildungen visualisieren die zeitlichen Anteile des Pendlerwegs in den Geschwindigkeitskategorien in Prozent (Abb. 36 bis Abb. 46).

Geschwindigkeitskategorien Pkw fossil (nur Anteil Pkw)

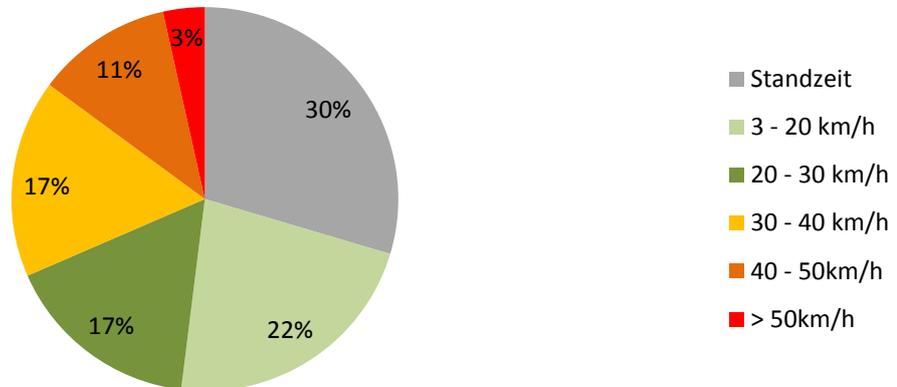


Abb. 36: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit dem fossilen Pkw

In der Abb. 36 sind die zeitlichen Anteile der Pendlerfahrten mit dem fossilen Pkw ohne den Fußweg vom Parkhaus zum Arbeitsplatz und zurück in sechs Geschwindigkeitskategorien dargestellt. Die Kategorie der Standzeit (0 – 3 km/h) nimmt mit 30 % die längste Zeit ein. Weitere Informationen zum Verhältnis zwischen Stand- und Fahrzeit siehe Fragestellung 9.5.4 auf Seite 92. Während der echten Fortbewegung war der fossile Pkw mit 22 % am häufigsten in der Geschwindigkeitskategorie 3,01 – 20 km/h unterwegs. Die Kategorien von 20,01 bis 40 km/h sind mit 17 % zeitlich in gleichen Anteilen gefahren worden. In der Kategorie 40,01 – 50 km/h wurde mit dem fossilen Pkw, relativ zu den anderen motorisierten Verkehrsmitteln, mit 11 % tendenziell eher wenig gefahren. Über der Geschwindigkeitsbegrenzung von 50 km/h befand sich der Pkw im Mittel während 3 % der Fahrzeit. Dieser Wert liegt unter dem zeitlichen Wert der Verkehrsmittelkombination aus ÖPNV und Faltrad.

Geschwindigkeitskategorien Pkw fossil (Tür zu Tür)

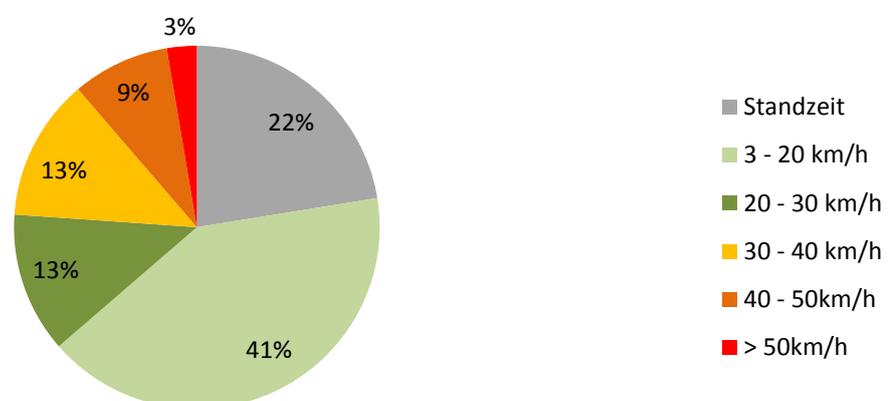


Abb. 37: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit dem fossilen Pkw einschließlich des Fußweges zwischen Parkhaus und Rathaus

Werden die zu Fuß zurück gelegten Strecken zwischen Parkhaus und Rathaus mit in die Berechnung einbezogen, so ergibt sich ein vollkommen anderes Bild. Der Anteil der Standzeit schrumpft durch die nun längere Strecke von 30 % auf 22 %, der der Kategorie 3 - 20 km/h wächst durch den Fußweg von 22 % auf 41 %, dafür schrumpfen die schnelleren Anteile auf insgesamt 37 % zusammen.

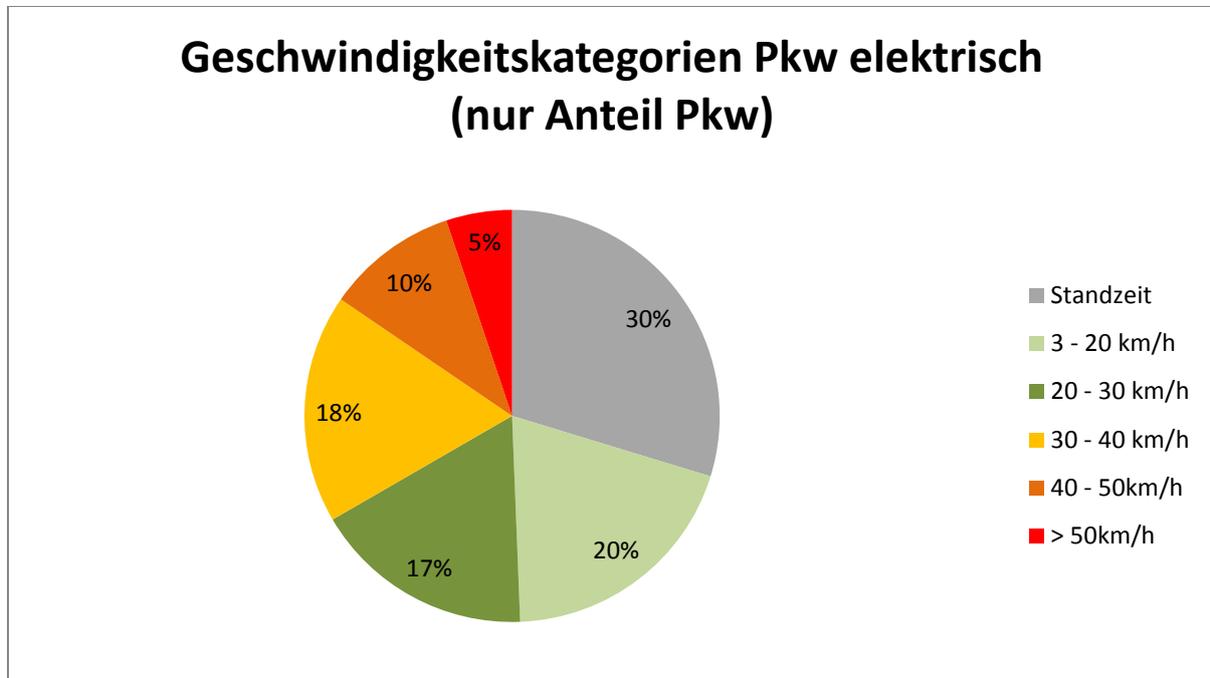


Abb. 38: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit dem elektrischen Pkw

In der Abb. 38 sind die zeitlichen Anteile der Pendlerfahrten mit dem elektrischen Pkw ohne den Fußweg vom Parkhaus zum Arbeitsplatz und zurück in sechs Geschwindigkeitskategorien dargestellt. Die Kategorie der Standzeit (0 – 3 km/h) nimmt als einzelne Kategorie die längste Zeit ein. Weitere Informationen zum Verhältnis zwischen Stand- und Fahrzeit siehe Fragestellung 9.5.4 auf S. 92. Die drei Kategorien von 3,01 bis 40 km/h sind mit 17 % - 20 % in zeitlich relativ gleichen Anteilen gefahren worden. In der Kategorie 40,01 – 50 km/h wurde mit dem fossilen Pkw, anteilig gleich mit der Verkehrsmittelkombination ÖPNV und Faltrad, mit 10 % am wenigsten gefahren. Über der Geschwindigkeitsbegrenzung von 50 km/h befand sich der Pkw im Mittel während 5 % der Fahrzeit. Dies ist der höchste Wert aller Verkehrsmittel des Versuchs.

Es sind keine großen Unterschiede zu den Zeiten der Geschwindigkeitskategorien zwischen dem elektrischen und fossilen Pkw zu erkennen.

Geschwindigkeitskategorien Pkw elektrisch (von Tür zu Tür)

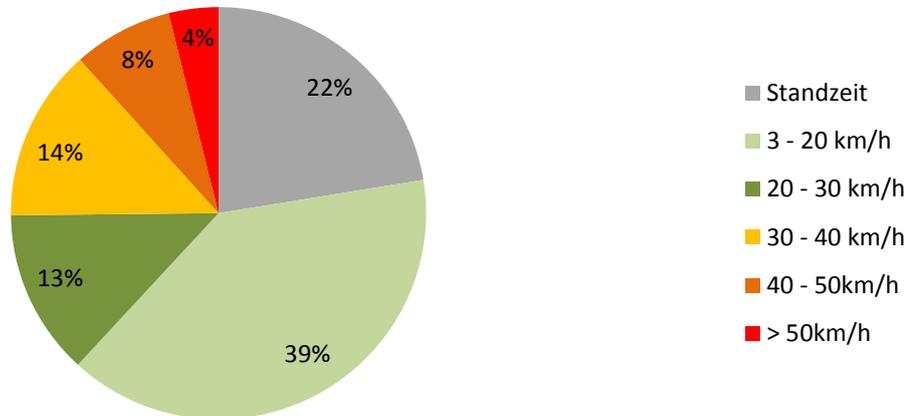


Abb. 39: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit dem elektrischen Pkw einschließlich des Fußweges zwischen Parkhaus und Rathaus

Werden die zu Fuß zurück gelegten Strecken zwischen Parkhaus und Rathaus mit in die Berechnung einbezogen, so ergibt sich ein vollkommen anderes Bild. Der Anteil der Standzeit schrumpft durch die nun längere Strecke von 30 % auf 22 %, der der Kategorie 3 - 20 km/h wächst durch den Fußweg von 20 % auf 39 %, dafür schrumpfen die schnelleren Anteile auf insgesamt 39 % zusammen.

Geschwindigkeitskategorien Roller fossil

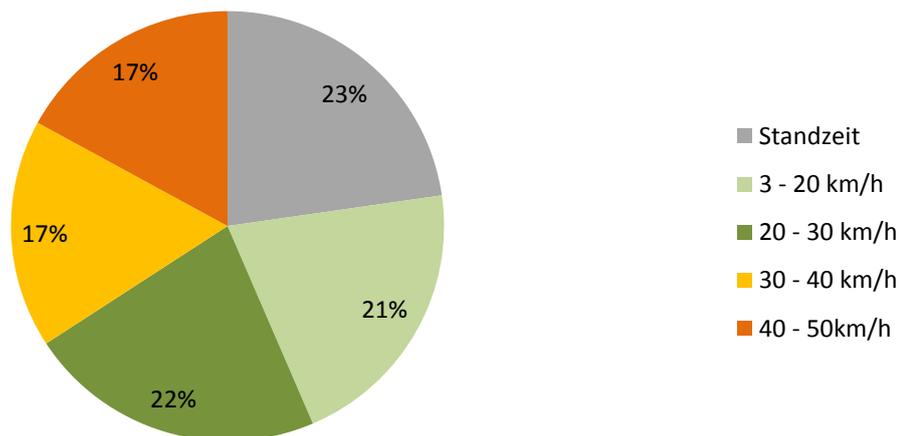


Abb. 40: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit dem fossilen Roller

In der Abb. 40 sind die zeitlichen Anteile der Pendlerfahrten mit dem fossilen Roller in fünf Geschwindigkeitskategorien dargestellt. Die Kategorie der Standzeit (0 – 3 km/h) nimmt als einzelne Kategorie knapp die längste Zeit ein. Weitere Informationen zum Verhältnis zwischen Stand- und Fahrzeit siehe Fragestellung 9.5.4 auf S. 92. Die Kategorien von 3,01 bis 30 km/h sind mit 21 % - 22 % zeitlich relativ gleich viel gefahren worden. Weiter war die zeit-

liche Verteilung in den Kategorien von 30,01 – 50 km/h mit 17 % identisch. Bei der Kategorie 40,01 – 50 km/h ist dies der größte zeitliche Anteil der Verkehrsmittel im Versuch. Über der Geschwindigkeitsbegrenzung von 50 km/h befand sich der fossile Roller niemals, die maximale Geschwindigkeit nach Herstellerangaben betrug 45 km/h.

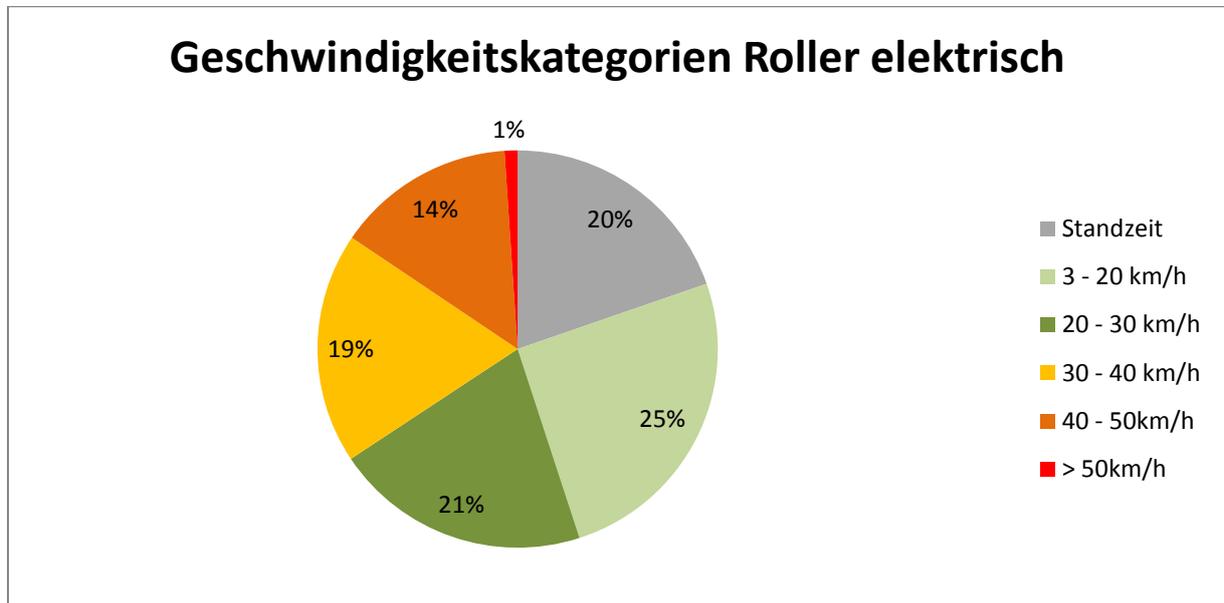


Abb. 41: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit dem elektrischen Roller

In der Abb. 41 sind die zeitlichen Anteile der Pendlerfahrten mit dem elektrischen Roller in sechs Geschwindigkeitskategorien dargestellt. Die Kategorie der Standzeit (0 – 3 km/h) nimmt als einzelne Kategorie bei diesem Verkehrsmittel nicht die längste Zeit ein. Weitere Informationen zum Verhältnis zwischen Stand- und Fahrzeit siehe Fragestellung 9.5.4 auf S. 92. In der Kategorie von 3,01 – 20 km/h wurde mit dem elektrischen Roller am meisten gefahren. Die Kategorien von 20,01 – 40 km/h wurden mit 19 % - 21 % zu relativ gleichen zeitlichen Anteilen gefahren. In der Kategorie 40,01 – 50 km/h wurde mit dem elektrischen Roller mit 14 % relativ viel gefahren. Über der Geschwindigkeitsbegrenzung von 50 km/h befand sich der elektrische Roller in 1 % der Zeit. Die von Hersteller angegebene Maximalgeschwindigkeit von 54 km/h liegt bei 54 km/h.

Mit Ausnahme der Kategorie über 50 km/h sind nur geringe Unterschiede zum fossilen Roller zu sehen. Auf der Versuchsstrecke war die Chance zum Ausfahren der Roller relativ selten geben, daher wirkt sich die unterschiedliche Maximalgeschwindigkeit der Roller nur in vernachlässigbaren Höhen aus. Über eine größere Stichprobe ließen sich die Auswirkungen noch konkreter berechnen.

Geschwindigkeitskategorien Fahrrad

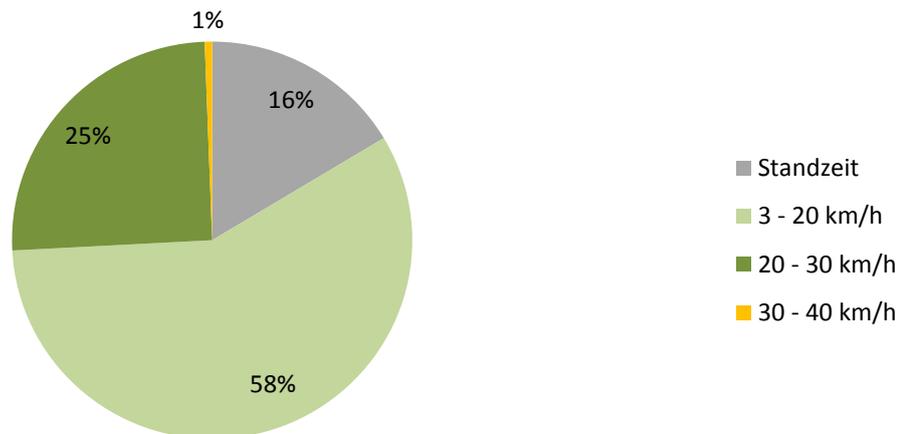


Abb. 42: Über den Versuchszeitraum prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit dem Fahrrad

In der Abb. 42 sind die zeitlichen Anteile der Pendlerfahrten mit dem Fahrrad in vier Geschwindigkeitskategorien dargestellt. Die Kategorie der Standzeit (0 – 3 km/h) nimmt mit 16 % nur einen geringen Teil der Zeit ein. Weitere Informationen zum Verhältnis zwischen Stand- und Fahrzeit siehe Fragestellung 9.5.4 auf S. 92. Deutlich mehr als die Hälfte der Zeit sind die TeilnehmerInnen mit dem Fahrrad in der Kategorie 3,01 – 20 km/h gefahren. Ein Viertel der Fahrzeit fuhren die Teilnehmer in der Kategorie 20,01 – 30 km/h. 1 % der Zeit wurde in der Kategorie 30,01 – 40 km/h gefahren. Wie zu erwarten war, weist das Fahrrad keine Anteile in den Kategorien über 40 km/h auf.

Geschwindigkeitskategorien Pedelec

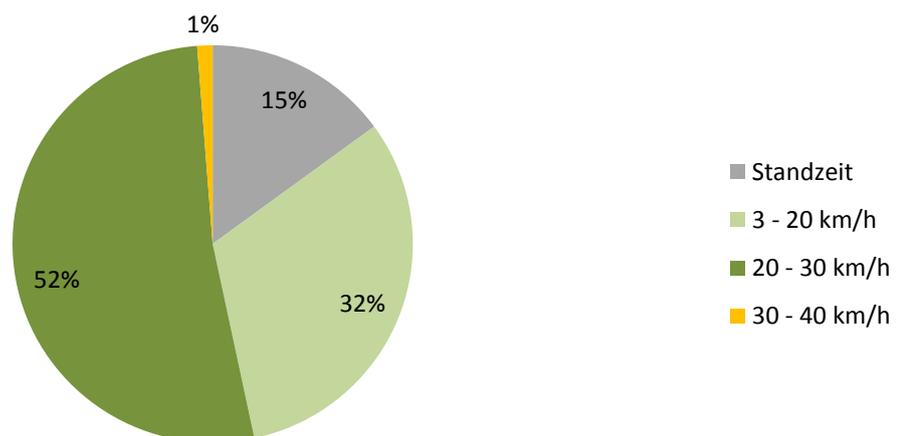


Abb. 43: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit dem Pedelec

In der Abb. 43 sind die zeitlichen Anteile der Pendlerfahrten mit dem Pedelec in vier Geschwindigkeitskategorien dargestellt. Die Kategorie der Standzeit (0 – 3 km/h) nimmt mit 15 % einen geringen Teil der Zeit ein. Weitere Informationen zu dem Verhältnis zwischen Stand- und Fahrzeit siehe Fragestellung 9.5.4 auf S. 92. Ein Drittel der Zeit sind die Teil-

nehmerInnen mit dem Fahrrad in der Kategorie 3,01 – 20 km/h gefahren. Etwas über die Hälfte der Fahrzeit führten die Teilnehmer in der Kategorie 20,01 – 30 km/h aus. 1 % der Zeit wurde - wie auch beim Fahrrad - in der Kategorie 30,01 – 40 km/h gefahren. Die Unterstützung des Elektromotors findet nur bis zu einer Geschwindigkeit von 25 km/h statt, von daher erstaunt der gleich hohe Anteil oberhalb von 40 km/h nicht.

Im Vergleich zwischen den prozentualen Anteilen der Zeiten des Fahrrads und des Pedelecs in den Geschwindigkeitskategorien fallen deutliche Unterschiede auf. Im Mittel sind die TeilnehmerInnen mit dem Pedelec rund doppelt so viel Zeit in der schnelleren Kategorie 20,01 – 30 km/h unterwegs gewesen, dafür nur rund halb so viel in der langsameren Kategorie 3,01 – 20 km/h. Ein Grund für den größeren zeitlichen Anteil in der höheren Geschwindigkeitskategorie war die Unterstützung des Fahrers bzw. der Fahrerin durch den Elektromotor des Pedelecs.

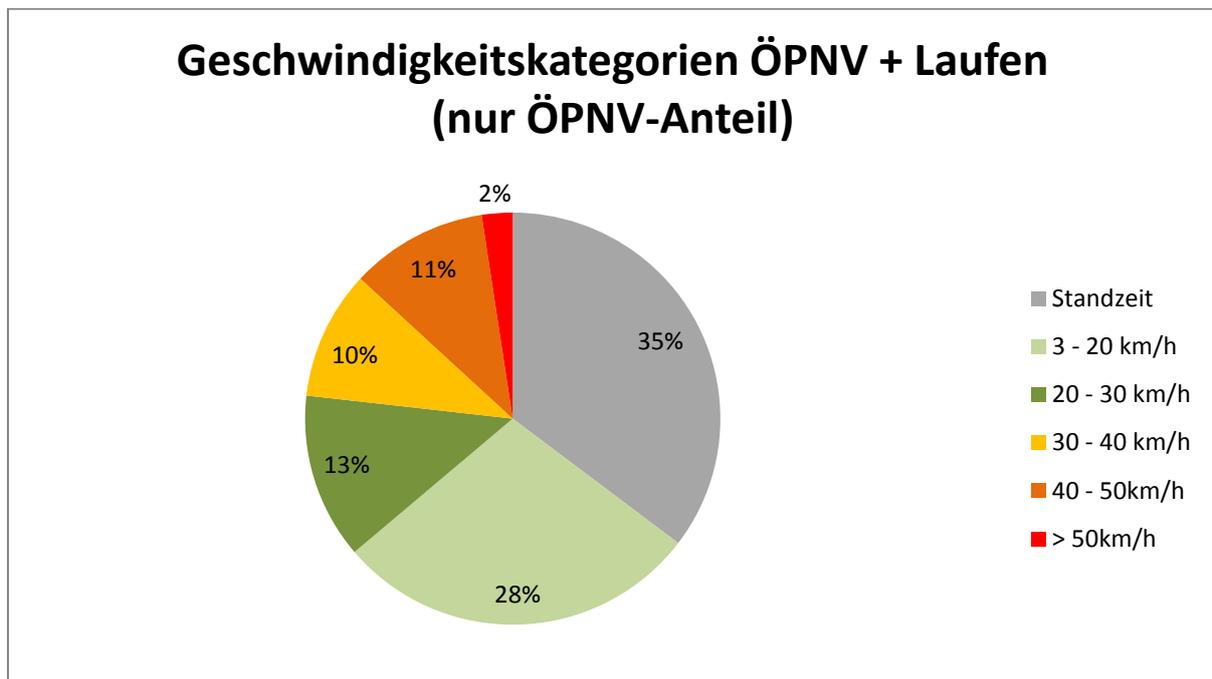


Abb. 44: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien der Kombination ÖPNV und Laufen, nur Anteil ÖPNV

In der Abb. 44 sind die zeitlichen Anteile der Pendlerfahrt mit der Kombination aus ÖPNV und Laufen ohne den Fußweg zu und von den Haltestellen in den sechs Geschwindigkeitskategorien dargestellt. Die Standzeit (0 – 3 km/h) nimmt als einzelne Kategorie bei diesem Verkehrsmittel mit 35 % die längste Zeit ein. Weitere Informationen zum Verhältnis zwischen Stand- und Fahrzeit siehe Fragestellung 9.5.4 auf S. 92. Ein weiteren großen Teil der Zeit wurde in der Kategorie 3,01 – 20 km/h gefahren. Die restlichen 36 % der Zeit verteilen sich relativ homogen auf die Geschwindigkeiten zwischen 20,01 – 50 km/h. Über der Geschwindigkeitsbegrenzung von 50 km/h befand sich der ÖPNV in 2 % der Zeit.

Geschwindigkeitskategorien ÖPNV + Laufen (von Tür zu Tür)

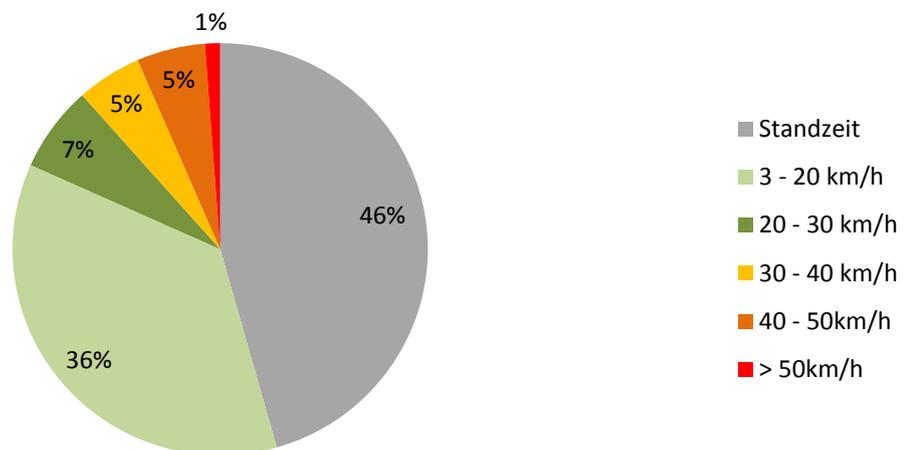


Abb. 45: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit der Kombination aus ÖPNV und Laufen von Tür zu Tür

Werden die zu Fuß zurück gelegten Strecken einschließlich der Wartezeiten an der ersten Haltestelle mit in die Berechnung einbezogen, so ergibt sich ein vollkommen anderes Bild. Der Anteil der Standzeit wächst von 35 % auf 46 %, der der Kategorie 3 - 20 km/h von 28 % auf 36 %, dafür schrumpfen die schnelleren Anteile. Hier wirken sich insbesondere die Wartezeiten an der ersten Haltestelle aus, bei einer Taktung des Busses zwischen 10 – 30 Minuten in der Hauptverkehrszeit.

Geschwindigkeitskategorien ÖPNV + Faltrad (nur ÖPNV-Anteil)

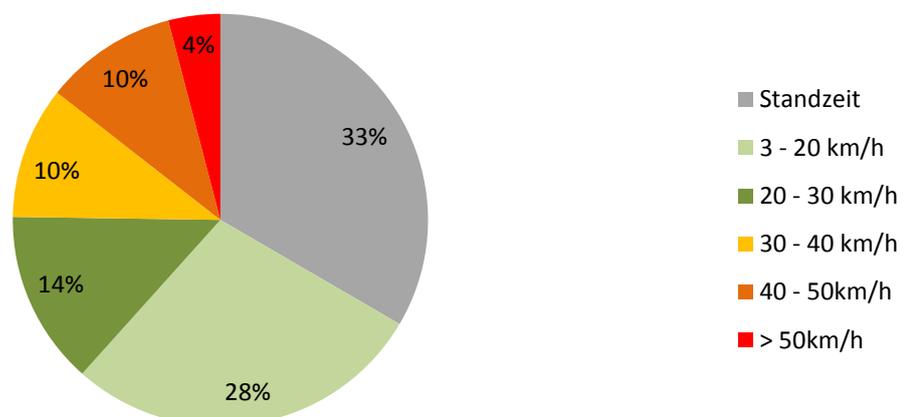


Abb. 46: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit der Kombination aus ÖPNV und Faltrad, nur ÖPNV-Anteil

In der Abb. 46 sind die zeitlichen Anteile der Pendlerfahrt mit der Verkehrsmittelkombination aus ÖPNV und Faltrad ohne die mit dem Faltrad zurückgelegte Strecke zu und von den Hal-

testellen in sechs Geschwindigkeitskategorien dargestellt. Die Standzeit (0 – 3 km/h) nimmt als einzelne Kategorie bei diesem Verkehrsmittel mit 35 % die längste Zeit ein. Weitere Informationen zum Verhältnis zwischen Stand- und Fahrzeit siehe Fragestellung 9.5.4 auf S. 92. Ein weiterer großer Teil der Zeit wurde in der Kategorie 3,01 – 20 km/h gefahren. Die restlichen 34 % der Zeit verteilen sich relativ homogen auf die Geschwindigkeiten zwischen 20,01 – 50 km/h. Über der Geschwindigkeitsbegrenzung von 50 km/h befand sich der ÖPNV in 4 % der Zeit.

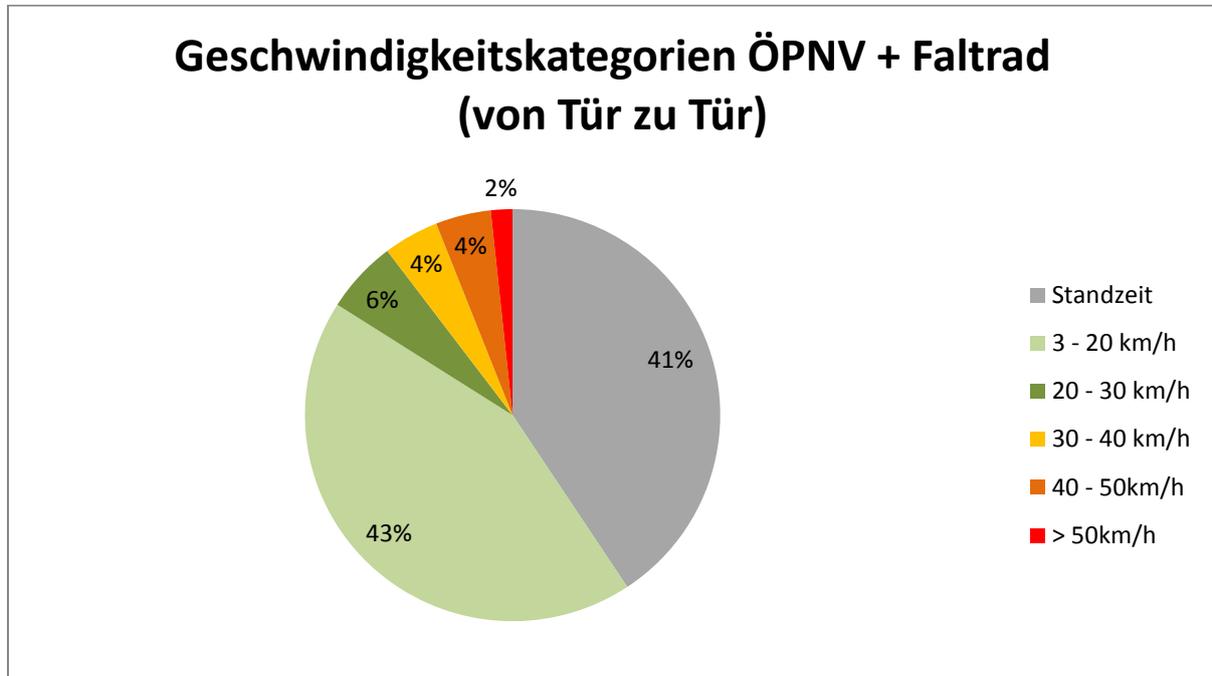


Abb. 47: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit der Kombination aus ÖPNV und Faltrad von Tür zu Tür

Werden die mit dem Faltrad zurück gelegten Strecken einschließlich der Wartezeiten an der ersten Haltestelle mit in die Berechnung einbezogen, so ergibt sich wiederum ein vollkommen anderes Bild. Der Anteil der Standzeit wächst von 33 % auf 41 %, der der Kategorie 3 - 20 km/h von 28 % auf 43 %, dafür schrumpfen die schnelleren Anteile. Hier wirken sich wiederum insbesondere die Wartezeiten an der ersten Haltestelle aus, dies trotz einer grundsätzlich recht guten Taktung der Straßenbahn von 15 Minuten in der Hauptverkehrszeit.

Zwischen den beiden Kombinationen mit dem ÖPNV lässt sich kaum ein Unterschied ausmachen, jedoch ist der zeitliche Anteil der Geschwindigkeit oberhalb 50 km/h bei der Kombination mit dem Faltrad doppelt so hoch wie bei der Kombination aus ÖPNV und Laufen. Die TeilnehmerInnen haben die gleiche Bahn benutzt, die Verdopplung basiert also lediglich auf dem statistischen Effekt, dass die Fahrt mit der Straßenbahn kürzer war als die Fahrt mit Bus und Straßenbahn, und insofern die Zeit, auf die sich die Prozentangabe bezieht, kürzer ist.

Trotz der Substitution der Busfahrt zur Straßenbahnhaltestelle mit dem Faltrad unterscheiden sich die Wartezeiten nur sehr gering. Das Umsteigen vom Bus in die Bahn und vom Faltrad in die Bahn scheint demnach zeitlich sehr ähnlich gewesen zu sein. Insgesamt hat die Kombination mit dem Faltrad im Mittel über den Versuchszeitraum zeitlich aber besser angeknipst (12.2.1 auf S. 124).

9.5.4. Wie viel Zeit verbrachten die Pendler wartend und fahrend?

Der Anteil der Fahrzeit an der Gesamtzeit ist ein Indikator für den Verkehrsplaner, aber auch für das Verkehrsaufkommen in den Hauptverkehrszeiten. Während der Standzeiten wird bei den fossilen Verkehrsmitteln überproportional viel Kraftstoff verbraucht, ohne dem Ziel näher zu kommen. Dadurch wird die Umwelt durch Schadstoffe und Lärm unnötig belastet. Ein Ziel der Stadtplanung stellt die Minimierung der Standzeiten für alle Verkehrsmittel - oder zumindest für die Verkehrsmittel des Umweltverbundes - dar. Die verkehrsmittelspezifischen Anteile der Wartezeiten während des Versuchs zeigt die Abb. 48.

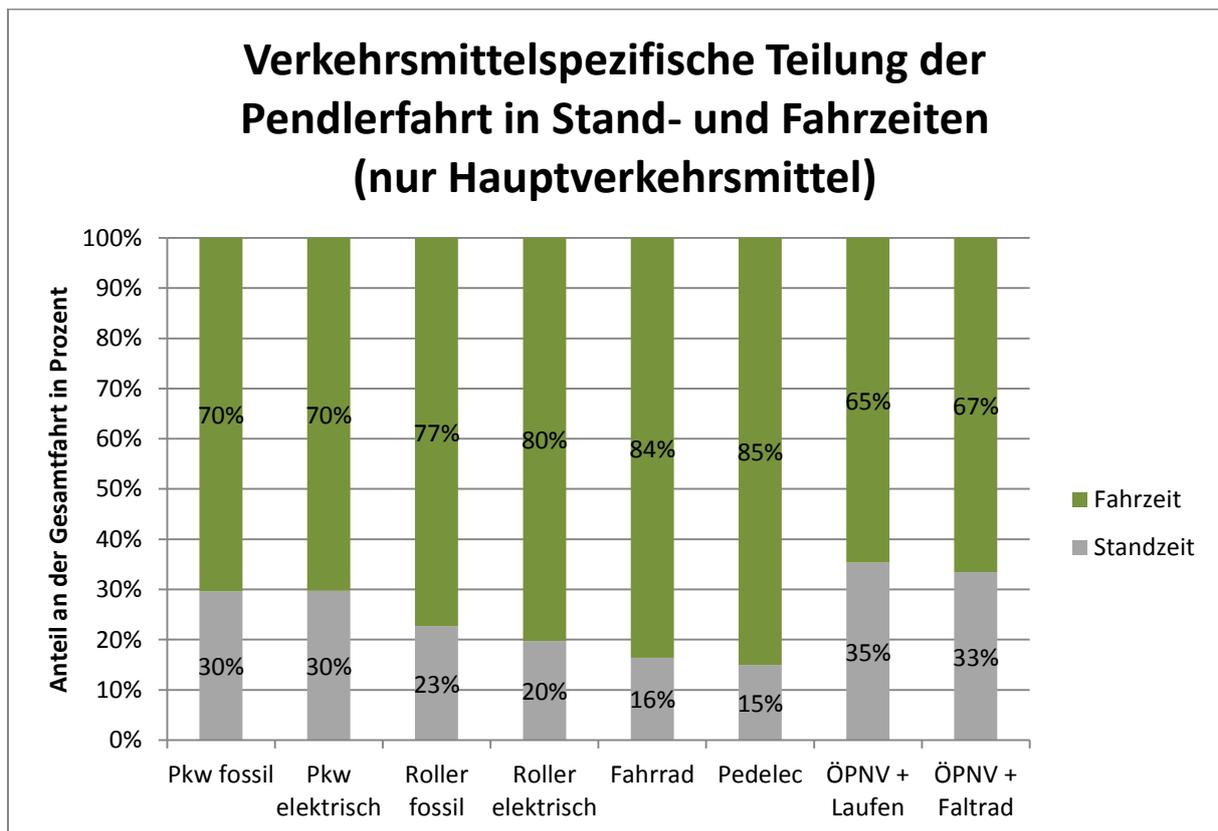


Abb. 48: Mittlere verkehrsspezifische Aufteilung der Fahrt in Stand- und Fahrzeiten, nur Hauptverkehrsmittel

Die Abb. 48 zeigt die verkehrsmittelspezifischen Anteile von Stand- und Fahrzeit an den Fahrten mit den Hauptverkehrsmitteln, also ohne die vor- und nachgelagerten Fuß- und Faltradstrecken. Während der Hauptverkehrszeiten standen die Pkw ca. ein Drittel der Zeit an Ampeln, Kreuzungen und anderen Verkehrshindernissen. Der dabei im Leerlauf verbrauchte Kraftstoff sowie die Umweltbelastung erfolgten, ohne dass der Fahrer bzw. die Fahrerin dem Ziel näher kam. Auch mit den ÖPNV-Kombinationen mussten die TeilnehmerInnen ca. ein Drittel der Zeit warten. Dies war neben den Standzeiten in den Verkehrsmitteln auch die Zeit des Wartens auf Abfahrten bzw. Anschlussverbindungen. Die Roller konnten aufgrund von möglichen Abkürzungen in Zonen, die für Pkw gesperrt waren, die Wartezeiten auf rund ein Fünftel der Gesamtzeit reduzieren. Am geringsten ist die Standzeit bei dem Fahrrad und dem Pedelec mit ca. einem Sechstel der Zeit.

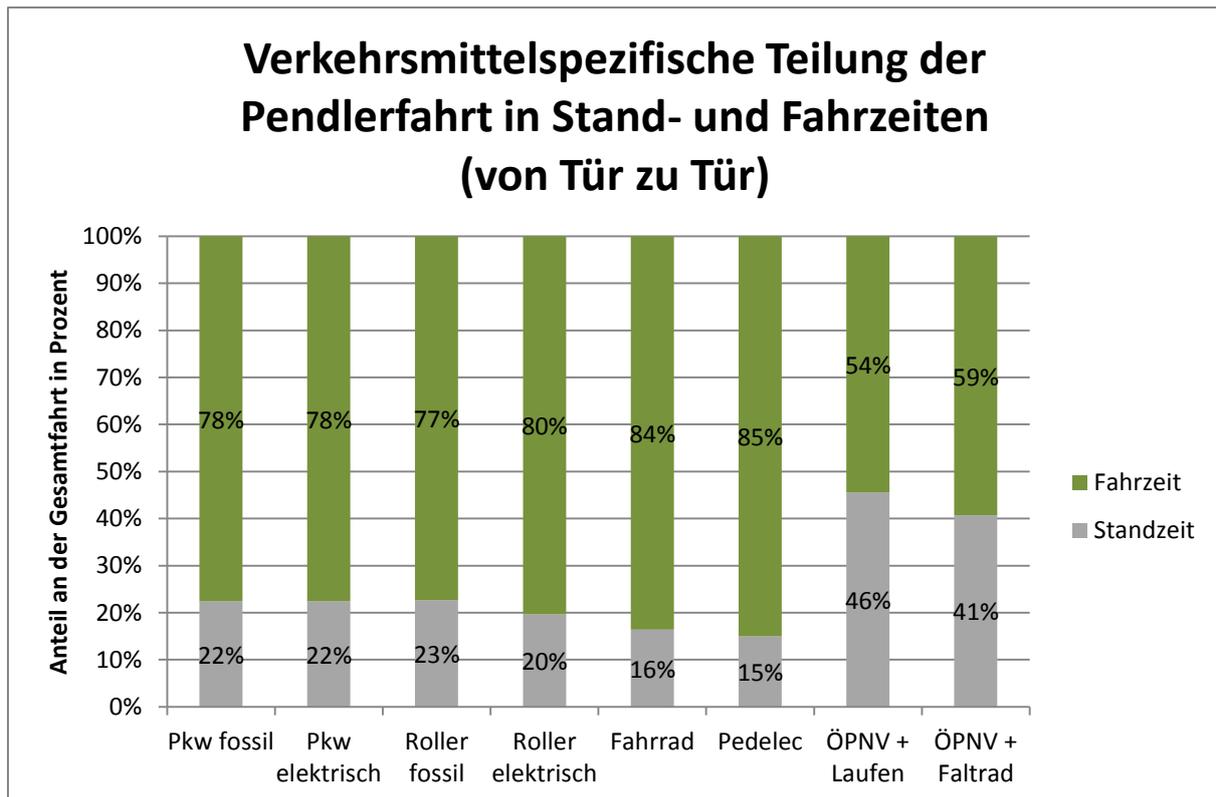


Abb. 49: Mittlere verkehrsspezifische Aufteilung der Fahrt in Stand- und Fahrzeiten, von Tür zu Tür

Werden die Fahrzeiten von Tür zu Tür betrachtet, verschiebt sich das Bild bei allen Verkehrsmitteln, bei denen davor und/oder danach noch Abschnitte zu Fuß oder mit dem Faltrad zurückgelegt werden. Diese sind beim ÖPNV darüber hinaus noch mit zusätzlichen Wartezeiten an der ersten Haltestelle versehen und erhöhen so den Anteil der Standzeiten. Bei den Pkw kommen die Fußwege zwischen Parkhaus und Rathaus hinzu, wobei diese Etappen mit keinen nennenswerten Standzeiten verbunden sind und insofern den Anteil der Fortbewegungszeit erhöhen, wenn auch nur exakt in Schrittgeschwindigkeit.

9.5.5. Wie verteilt sich die zurückgelegte Strecke und benötigte Zeit auf die verschiedenen Mobilitätsarten?

Diese Fragestellung untersucht die räumliche und zeitliche Nutzung der unterschiedlichen Mobilitätsart auf der Pendlerstrecke. Beispielsweise war der Pkw-Fahrer bzw. die Pkw-Fahrerin mit dem Pkw als Hauptverkehrsmittel unterwegs, vom Parkhaus zum fiktiven Arbeitsplatz musste der Fahrer bzw. die Fahrerin jedoch laufen. Laufen ist demnach die zweite Mobilitätsart auf dieser Pendlerstrecke. Die Mobilitätsart wechselten gemäß der Definition mit den Phasen (6.5.4, S. 53). Die Abb. 50 zeigt die Mobilitätsformen mit ihrem Anteil an der Fahrstrecke, in Abb. 51 mit ihrem zeitlichen Anteil an der gesamten Fahrzeit.

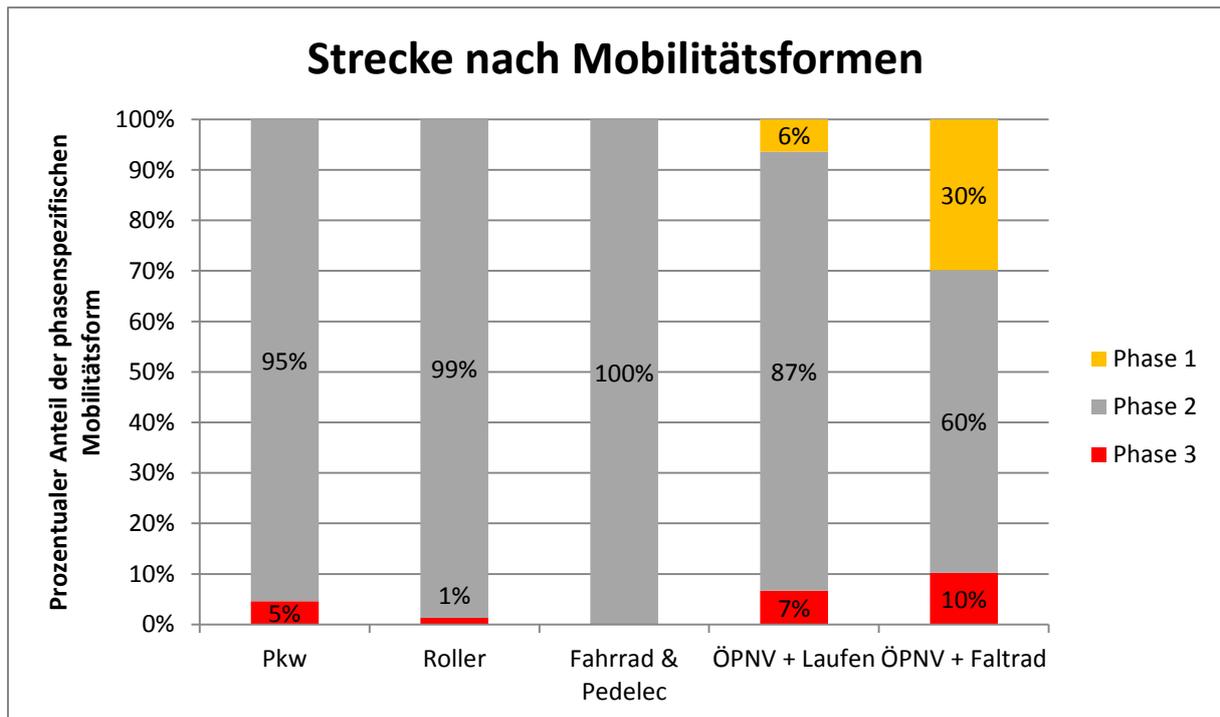


Abb. 50: Prozentuale Verteilung der Strecke mit den Verkehrsmitteln auf die Mobilitätsarten

Alle Anteile der verkehrsmittelspezifischen Mobilitätsformen auf der Pendlerstrecke werden in der Abb. 50 dargestellt. Für die zeitliche Teilung der Pendlerstrecke auf die Mobilitätsarten siehe Abb. 51.

Pkw

Für die Pendlerstrecke mit dem fossilen und elektrischen Pkw waren zwei Mobilitätsarten nötig. Der Anteil des Laufens in der ersten Phase war vernachlässigbar, da nur wenige Meter von der Haustür zu den vor dem Haus geparkten Pkw zurückgelegt wurden. Im Hauptverkehrsmittel, dem Pkw, wurden 95 % der Pendlerstrecke zurückgelegt. In der dritten Phase mussten die FahrerInnen 5 % der Strecke zu Fuß laufen. Dies war die Strecke von dem Parkhaus zum Rathaus.

Roller

Für die Pendlerstrecke mit dem fossilen und dem elektrischen Roller waren zwei Mobilitätsarten notwendig. Der Anteil des Laufens in der ersten Phase war auch bei den Rollern vernachlässigbar, da nur wenige Meter von der Haustür zu den vor dem Haus geparkten Pkw zurückgelegt wurden. Mit dem Hauptverkehrsmittel Roller wurden 99 % der Strecke zurückgelegt. In der dritten Phase mussten die FahrerInnen 1 % der Strecke zu Fuß laufen. Dies war die Strecke vom Parkplatz hinterm Rathaus bis zum Eingang.

Fahrrad und Pedelec

Bei den Fahrten mit Fahrrad und Pedelec wurde nur dieses Hauptverkehrsmittel genutzt. Anteile zu Fuß kamen nicht hinzu, somit macht das Hauptverkehrsmittel 100 % der Strecke aus. Möglich war dies, da direkt aus der Garage des Einfamilienhauses gestartet und die Räder direkt am Eingang des Rathaus abgestellt werden konnten.

ÖPNV und Laufen

Für die Pendlerstrecke mit der Kombination aus ÖPNV und Laufen waren - wie der Name der Kombination schon ausdrückt - zwei Mobilitätsarten notwendig, Die Strecke vom Woh-

nort zu der Bushaltestelle machte 7 % der Gesamtstrecke aus. Die nachfolgende Fahrt mit dem ÖPNV (Bus und Bahn) 87 %, wobei die Laufstrecke zum Wechseln zwischen Bus und Bahn vernachlässigbar gering war. Die Laufstrecke von der Bahnhofstelle in der Innenstadt zum Rathaus machte 6 % der Gesamtstrecke aus.

ÖPNV und Faltrad

Für die Pendlerstrecke mit der Kombination aus ÖPNV und Faltrad waren - wie ebenfalls der Name schon beinhaltet - zwei Mobilitätsarten nötig. Die Strecke vom Wohnort zur Bahnhofstelle „Lankow-Siedlung“ (ca. 2,3 Kilometer) machte 30 % der Gesamtstrecke aus. Selten fuhren die TeilnehmerInnen weiter bis zur Bahnhofstelle "Kieler Straße", in diesen Fällen machte der Anteil ca. 34 % der Strecke aus. Die nachfolgende Fahrt mit dem ÖPNV (nur Bahn) 60 %. Die Fahrstrecke mit dem Faltrad von der Bahnhofstelle in der Innenstadt zum Rathaus machte 10 % der Gesamtstrecke aus.

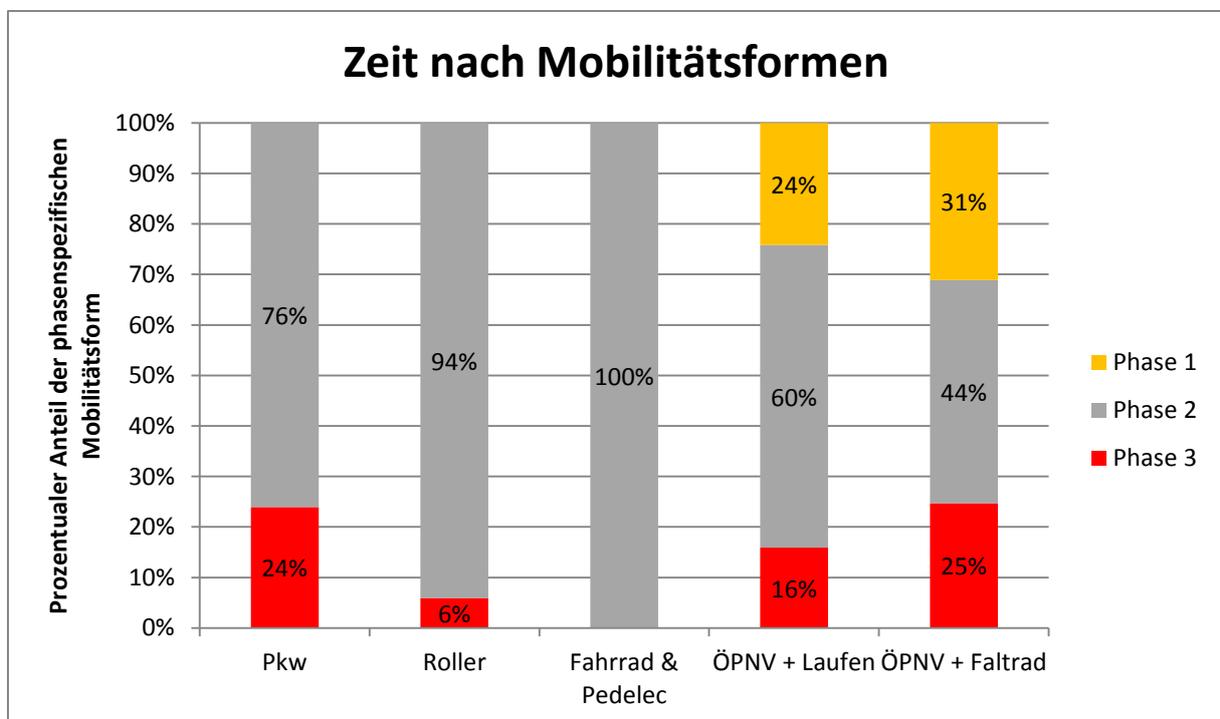


Abb. 51: Prozentuale Verteilung der Fahrzeit mit den Verkehrsmitteln auf die Mobilitätsarten

Pkw

Auch in der zeitlichen Unterteilung der Pendlerfahrt mit dem Pkw ist die erste Phase wieder vernachlässigbar. Obwohl in der dritten Phase nur 5 % der Strecke zurückgelegt wurden (Abb. 50), hat dies 24 % der Zeit in Anspruch genommen. Dies verlängerte die gesamte Fortbewegungsdauer überproportional, im Vergleich zu der Möglichkeit des Parkens direkt vor der Tür.

Roller

Wieder ist die erste Phase vernachlässigbar. Obwohl in der dritten Phase nur 1 % der Strecke zurückgelegt wurde, hat dies 6 % der Zeit in Anspruch genommen. Dies liegt daran, dass die mittlere Geschwindigkeit der Roller die schnellste des Versuchs war (12.2.2.2, S. 129), der Fußweg mit geringer Geschwindigkeit hat demnach überproportional viel Zeit benötigt und fällt sehr ins Gewicht.

Fahrrad und Pedelec

Bei 100 % Anteil der Strecke, sind dementsprechend auch 100 % der Zeit den Hauptverkehrsmitteln zu zurechnen.

ÖPNV und Laufen

Aufgrund der schnelleren Geschwindigkeit macht die Fahrt im ÖPNV trotz eines Anteiles von 87 % der Strecke nur 60 % der Zeit aus. Bei Laufphasen ist die Dauer aufgrund der geringen Geschwindigkeit länger. Auffällig ist die Diskrepanz zwischen der Phase 1 und Phase 3. Die Strecke ist bei beiden Phasen mit 6 % und 7 % sehr ähnlich, die Dauer unterscheidet sich mit 24 % und 16 % jedoch stärker. Als Grund wird die verlängerte Wartezeit auf den Bus in der Vorortsiedlung gesehen. Der Bus war nicht immer pünktlich, wenn dieser später kam, mussten die TeilnehmerInnen warten, war dieser zu früh, haben einige TeilnehmerInnen den Bus verpasst und mussten auch auf den nächsten warten. Die Busfahrt war demnach mit einem erhöhten Zeitaufwand verbunden, da die TeilnehmerInnen mehr Zeit wartend verbraucht haben.

ÖPNV und Faltrad

Aufgrund der schnelleren Geschwindigkeit macht die Fahrt in dem ÖPNV trotz einem Anteil von 60 % der Strecke nur 44 % der Zeit aus. Bei Phasen mit dem Faltrad ist die Dauer aufgrund der geringen Geschwindigkeit etwas länger. Auffällig ist die Diskrepanz zwischen der Phase 1 und Phase 3. In der ersten Phase wurden mit dem Faltrad 30 % der Gesamtstrecke in 31 % der Zeit zurückgelegt. Wenige Ampeln und Fahrradwege machten diese Fahrten außerhalb der Innenstadt wenig zeitintensiv. Bei der Fahrt in der Innenstadt von der Bahnhofstetelle zum Rathaus wurden nur 10 % der Gesamtstrecke zurückgelegt, aber 25 % der Zeit benötigt. Einige Gründe für den höheren Zeitbedarf der Fahrt mit dem Faltrad in der Innenstadt sind das höhere Verkehrsaufkommen, mehr Menschen auf den Fahrradwegen, mehr Ampeln und ggf. andere Untergründe wie beispielsweise Kopfsteinpflaster.

9.5.6. Wie viele Schrittäquivalente entfallen auf die Fahrt und den Fußweg?

Diese Fragestellung spielt nur bei den Pkw und bei der Kombination aus ÖPNV und Laufen eine Rolle, da bei allen anderen Verkehrsmitteln entweder kein nennenswerter Fußweg dazu gehörte. Bei den Pkw war dies der Weg vom Parkhaus zum Rathaus und zurück, bei dem ÖPNV der Fußweg von und zu den Haltestellen. Wie auch schon im Ergebnisteil der Bewegungsdaten (12.2.4, S. 137) wurde mit dem Mittelwert statt dem Median gearbeitet, da die Datenlage für den Median nicht geeignet war.

Die Bewegung verteilt sich in beiden Fällen in ähnlicher Weise auf die Mobilitätsarten (

Abb. 52 und Abb. 53).

Anteil der Bewegung während der Fahrt und während des Fußweges bei den Pkw

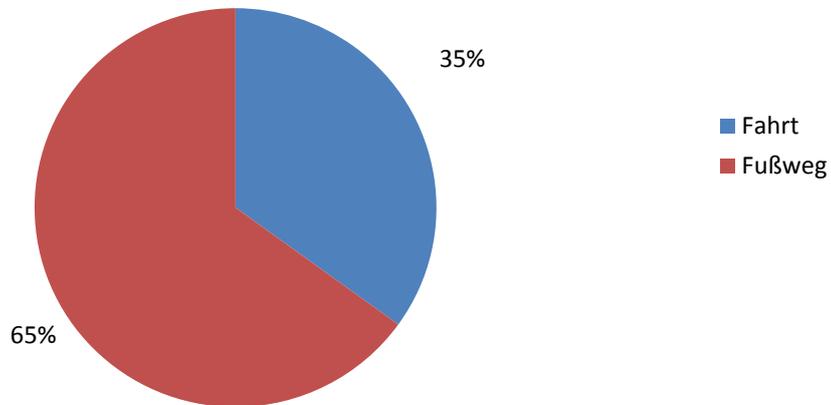


Abb. 52: Anteil der Bewegung während der Fahrt mit den Pkw und während des Fußweges

In

Abb. 52 ist die Verteilung der gesamten Bewegung beider Pkw (fossil und Elektro) von im Mittel 719 Schritten auf die verschiedenen Mobilitätsarten dargestellt. Nur 35 % dieser Bewegung entfällt auf die Fahrt mit dem Pkw. Den Hauptteil mit 65 % machte der Fußweg vom Parkhaus zum Rathaus und zurück aus.

Anteil der Bewegung während der Fahrt und während des Fußweges bei ÖPNV und Laufen

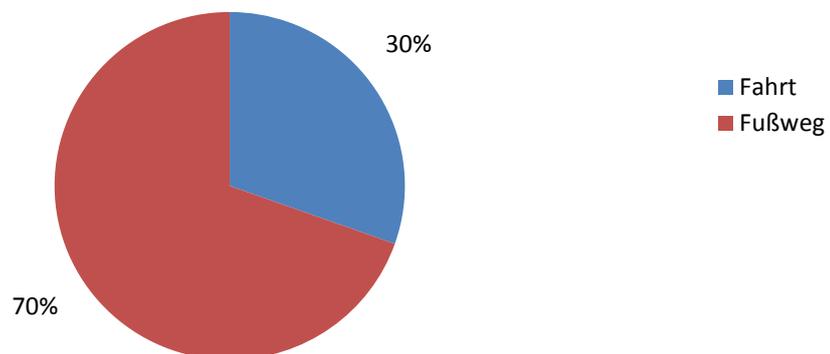


Abb. 53: Anteil der Bewegung während der Fahrt mit dem ÖPNV und während des Fußweges

In der Abb. 53 ist die gesamte Bewegung der Kombination aus ÖPNV und Laufen von im Mittel 1009 Schritten auf die beiden Mobilitätsarten verteilt. Nur 30 % entfallen auf die Fahrt, 70 % wird während der Laufstrecke von und zu Haltestellen geleistet.

9.5.7. Wie konnte die Pendlerfahrt mit dem Fahrrad fast zeitgleich der mit dem fossilen Pkw sein?

Für die Fahrten mit dem nicht motorisierten Fahrrad brauchten die Teilnehmer im Mittel 25 Minuten von Tür zu Tür, mit dem Auto wurden im Mittel 24,8 Minuten benötigt. Mit dem Kruskal-Wallis-Test wurde kein signifikanter Unterschied nachgewiesen, diese Abweichung kann demnach auch zufällig passiert sein (Abb. 35 und 12.2.1, S. 124). Die Pendlerbewegung mit dem Fahrrad war trotz der unterschiedlichen Höchstgeschwindigkeit somit gleich schnell wie mit dem fossilen Pkw.

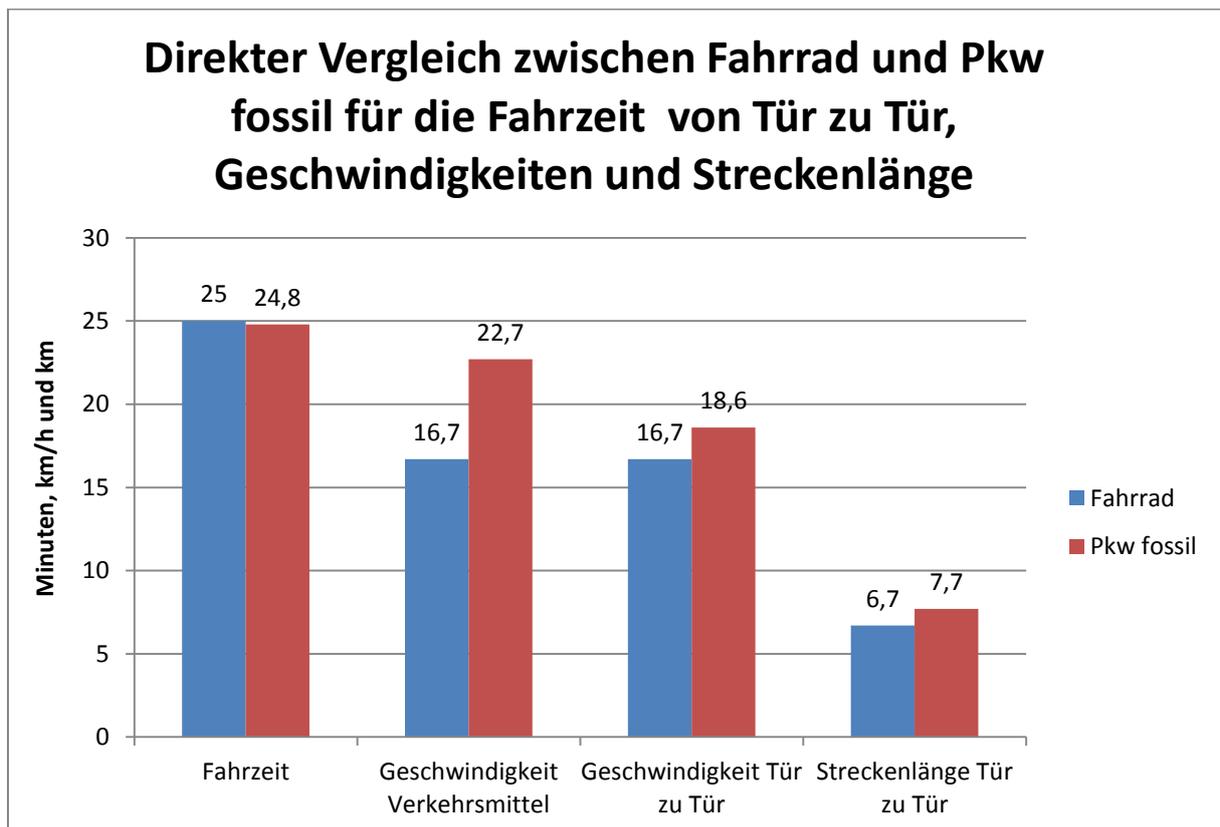


Abb. 54: Vergleich zwischen dem Fahrrad und den fossilen Pkw in Fahrzeit, Geschwindigkeit und Streckenlänge

Die mittleren Geschwindigkeiten der Verkehrsmittel (nur während der Fahrt) unterscheiden sich mit einer Differenz von 6 km/h deutlich voneinander. Die Höchstgeschwindigkeit des Pkw ist zwar höher als die des Fahrrads, jedoch hatte der Pkw deutlich mehr Standzeiten auf der Pendlerstrecke. Der Pkw fossil verbrachte 30 % im Stand, das Fahrrad nur 16 %. Weiterhin fuhr der Pkw nur 31 % der Zeit in Geschwindigkeitskategorien über 30 km/h, die für einen normalen Fahrradfahrer bzw. eine normale Fahrradfahrerin nur selten erreicht werden (9.5.3, S. 83). Ohne diesen Unterschied in der Standzeit und dem geringen zeitlichen Anteil des Pkw in den Geschwindigkeitskategorien über 30 km/h wäre der Unterschied in den mittleren Geschwindigkeiten noch höher gewesen. Dies zeigt der Parameter Geschwindigkeit von Tür zu Tür sehr gut. Auf die ganze Strecke gesehen betrug der Unterschied nur noch 1,9 km/h (Abb. 54). Einen großen Einfluss auf die Geschwindigkeit von Tür zu Tür hatte auch die Verteilung der Gesamtfortbewegungszeit auf die Mobilitätsarten. Mit dem Fahrrad konnte die ganze Strecke fahrend zurückgelegt werden, der Pkw musste im Parkhaus abgestellt werden und 5 % der Strecke laufend zurückgelegt werden. Das Laufen des Pkw-Fahrers bzw. der Pkw-Fahrerin machte aufgrund der geringeren Geschwindigkeit 24 % der gesamten Pendlerzeit mit dem Pkw aus (9.5.5, S. 93). Bei anderen Parksituationen könnte dieser Zeitfaktor

durch die Parkplatzsuche substituiert oder bei direkten Parkplätzen am Arbeitsplatz vermieden werden. Zeitlich macht sich auch der höhere Aufwand in der Haltung eines Pkw, beispielsweise durch regelmäßige Fahrten zur Tankstelle und Werkstatt, bemerkbar.

Als weiterer Einflussfaktor auf die geringe Zeitdifferenz zwischen dem Fahrrad und dem fossilen Pkw spielte auch die kürzere Fahrstrecke eine Rolle. Im Mittel ist fuhr das Fahrrad pro Strecke einen Kilometer weniger (Abb. 54). Der Hauptgrund für diese kürzere Fahrstrecke des Fahrrads war die Möglichkeit Abkürzungen zu nehmen, die dem Pkw vorenthalten blieben. Beispielsweise sind in Schwerin - aber auch oftmals andernorts - Einbahnstraßen für Pkw in der Gegenrichtung gesperrt, für Fahrräder jedoch meist freigegeben.

Mit dem Ziel eines kompletten Zeitvergleichs zwischen den Verkehrsmitteln würden personenabhängig noch Überlegungen zur Fitness und der Stressbelastung kommen. Wenn PendlerInnen auf Ihre Gesundheit achten und täglich Sport treiben möchten, müssten die PendlerInnen mit dem Auto eigentlich zusätzlich Zeit in Sport investieren, um die geringere Bewegung im Pkw ausgleichen zu können (12.2.4, S. 137). Die PendlerInnen mit dem Fahrrad wiederum müssten die höhere Stressbelastung im Vergleich zur Fahrt mit dem Pkw ausgleichen (12.2.5.1, S. 142). Diese weiteren zeitlichen Belastungen hängen jedoch von der Einstellung der PendlerInnen ab und sind somit von Mensch zu Mensch verschieden. Die genannten Faktoren sind nur der Vollständigkeit halber genannt, wurden aber nicht in der Auswertung der Fahrzeit berücksichtigt.

9.5.8. Wie setzen sich die Vollkosten bei den Verkehrsmitteln zusammen?

Die Vollkosten der Verkehrsmittel setzten sich aus den fixen und variablen Kosten zusammen (6.4.3, S. 39). Abb. 55 bis Abb. 62 zeigen die Zusammenstellung der Gesamtkosten der Verkehrsmittel.

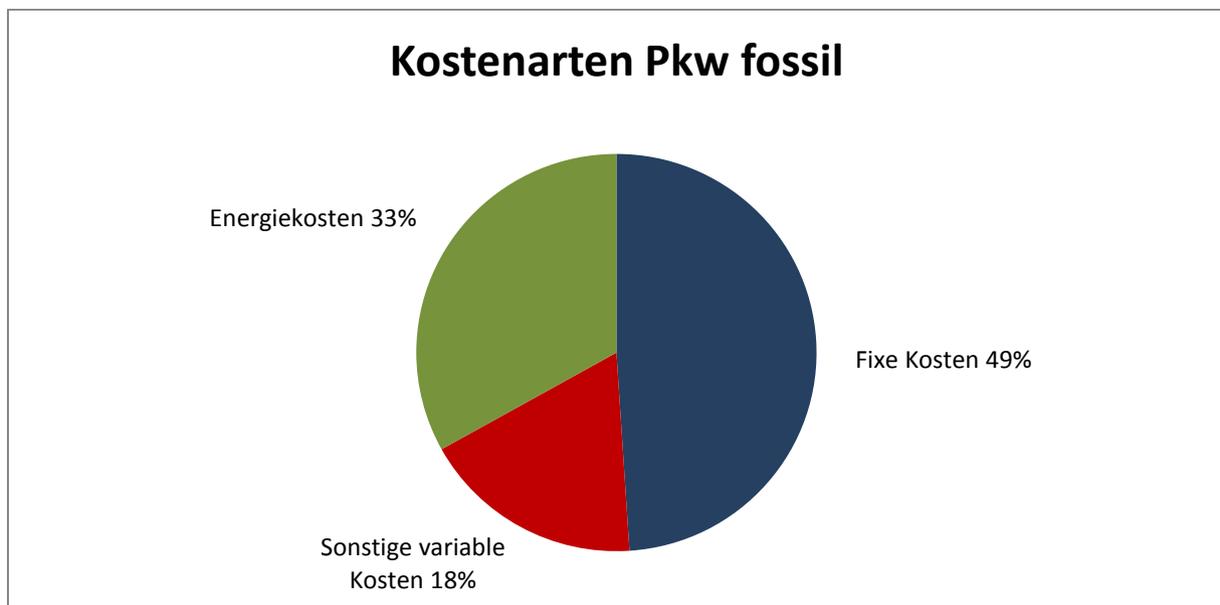


Abb. 55: Zusammensetzung der Vollkosten des fossilen Pkw

Die Energiekosten des fossilen Pkw sind in Relation zum Anschaffungspreis vergleichsweise sehr hoch, sie machen 33 % der Vollkosten aus. Viele FahrerInnen von Pkw betrachten oft nur die Energiekosten bei der Mobilitätsentscheidung. In diesem Denkmuster könnte für eine realistische Kosteneinschätzung nach der Faustformel vorgegangen werden, die Energiekosten mit dem Faktor 3 zu multiplizieren, um den wahren Preis der Mobilität mit dem Pkw ab-

schätzen zu können. Die vorgestellte Faustformel variiert etwas je nach Anschaffungspreis, Haltedauer, Reparaturen und dem Kraftstoffverbrauch bzw. Kraftstoffpreis. Zur Versuchszeit lag der Preis pro Liter Super Benzin bei 1,6603 €. Obwohl dieser Preis für das Jahr 2012 hoch einzuordnen ist, kann angenommen werden, dass der Anteil der Energiekosten langfristig steigen wird.

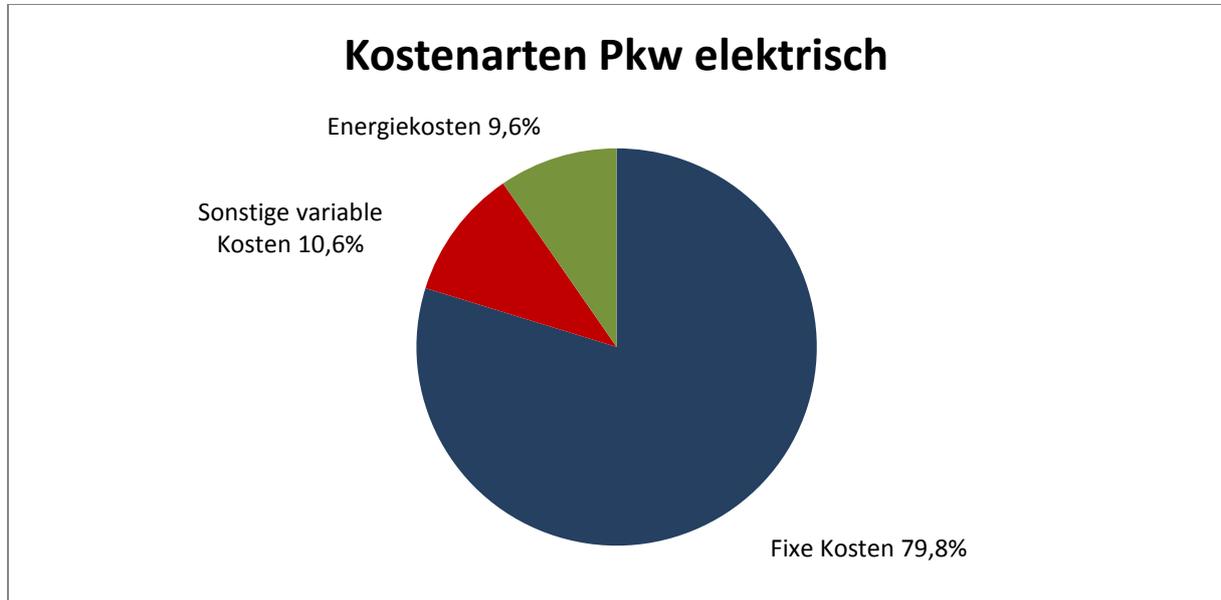


Abb. 56: Zusammensetzung der Vollkosten des elektrischen Pkw

Aufgrund der hohen Anschaffungskosten des elektrischen Pkw in Höhe von ca. 35.000 € besteht der Großteil der Gesamtkosten aus den fixen Kosten. Der Anteil der variablen Kosten an den Gesamtkosten des elektrischen Pkw macht Dank des effizienteren Elektromotors (Abb. 98, S. 156) und den geringen Strompreisen (Strompreis pro kWh während des Versuchs: 0,2338 €) zusammen knapp 20 % aus.

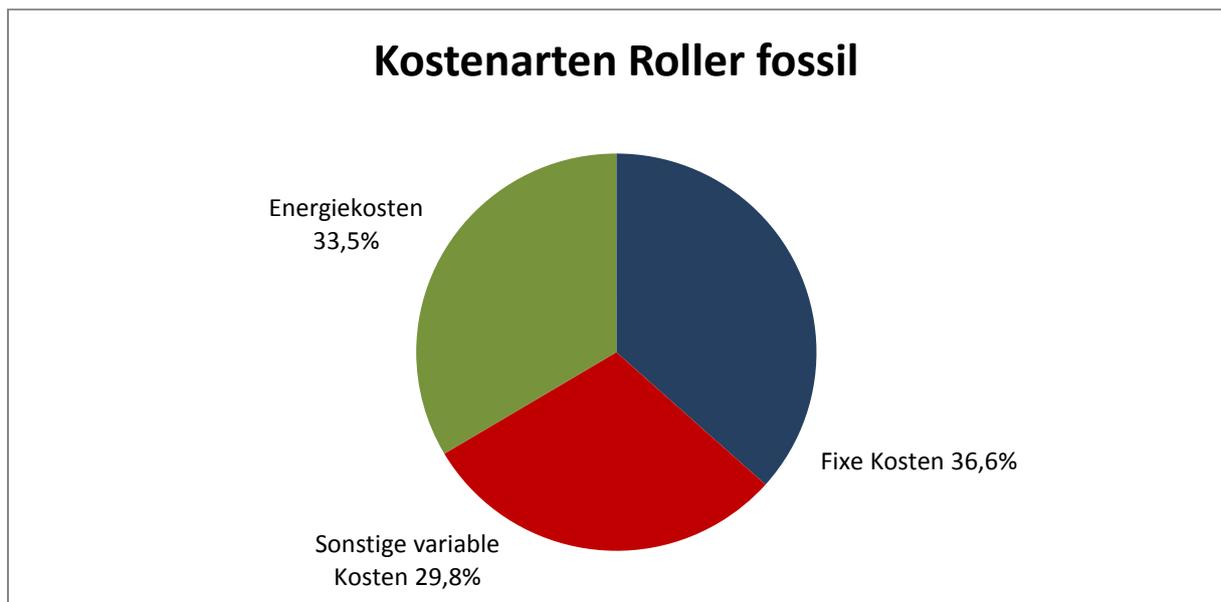


Abb. 57: Zusammensetzung der Vollkosten des fossilen Roller

Der fossile Roller verfügt über die ausgewogenste Aufteilung der Gesamtkosten auf die drei aggregierten Kostenarten. Die Energie- und sonstigen variablen Kosten machen zusammen 63,3 % und die fixen Kosten 36,6 % aus. Der im Versuch genutzte Roller gehört mit ca.

2.000 € in das eher hochpreisige Segment, dafür fallen die Wartungskosten gering aus. Gemäß einer Studie des ADAC könnten zwar in der Anschaffung durch den Kauf eines „Discount-Rollers“ ca. 1.000 € gespart werden, doch treten gemäß ADAC dann deutlich höhere Reparatur- und Wartungskosten sowie Energiekosten auf, die den Kostenvorteil - zusammen mit einer geringeren Lebensdauer - wieder aufzehren. Zudem bieten die Roller unter 1.000 € weniger Komfort sowie eine deutlich schlechtere Handhabung. Insofern stellen die beschriebenen Kosten - weitestgehend unabhängig von der Preisklasse des Rollers - die zu erwartenden Vollkosten dieses Fahrzeugs dar (ADAC e.V., 2012).

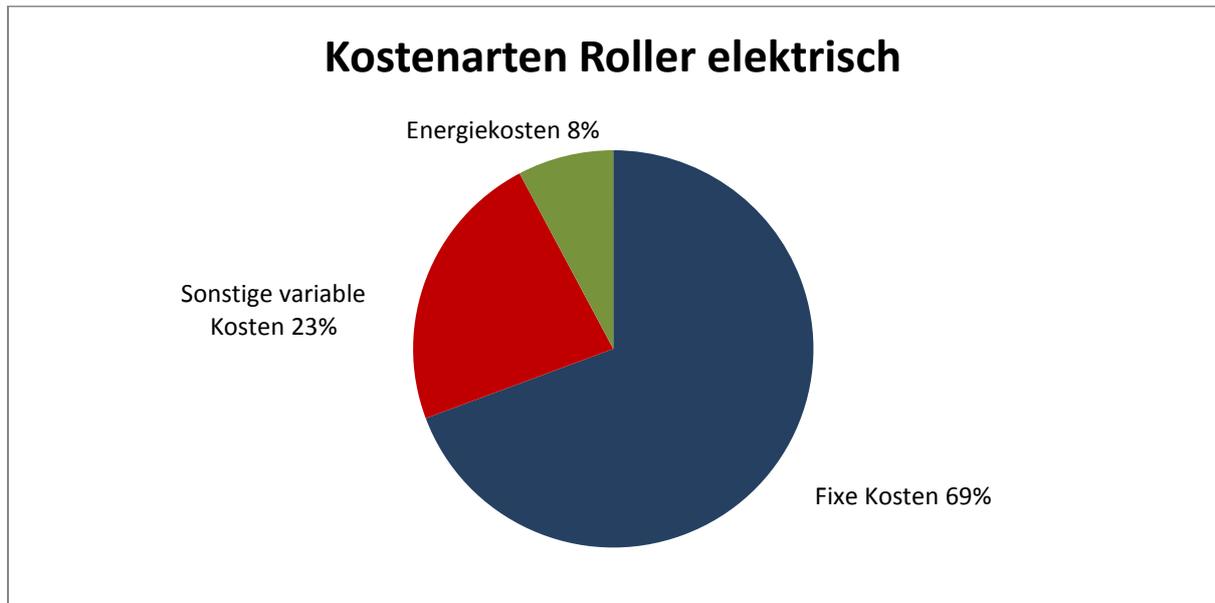


Abb. 58: Zusammensetzung der Vollkosten des elektrischen Roller

Beim elektrischen Roller machen die fixen Kosten einen größeren Teil der Gesamtkosten aus als beim fossilen Roller, da dessen Anschaffungspreis mit 2.799 € höher liegt. Dafür fallen die Energie- und Wartungskosten aber deutlich geringer aus als beim fossilen Pendant. Elektrische Motoren sind weniger störungsanfällig als Verbrenner inklusive der zusätzlichen Aggregate wie z.B. Anlasser, daher sind Inspektionen, Wartungen und Reparaturen günstiger.

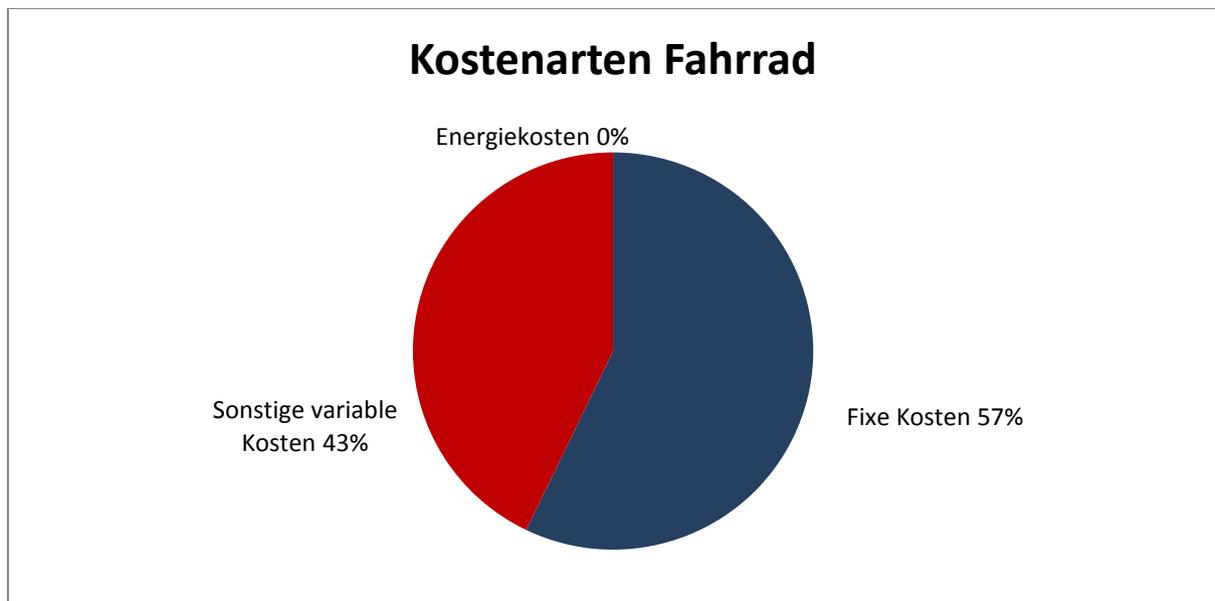


Abb. 59: Zusammensetzung der Vollkosten des Fahrrads

Beim Fahrrad fallen keine Energiekosten an. Im Versuch wurde ein Kaufpreis von 1.000 € angesetzt, eine günstigere Wahl würde den Anteil an fixen Kosten minimieren. Die sonstigen variablen Kosten bestehen aus den Kosten für Wartungen und Reparaturen.

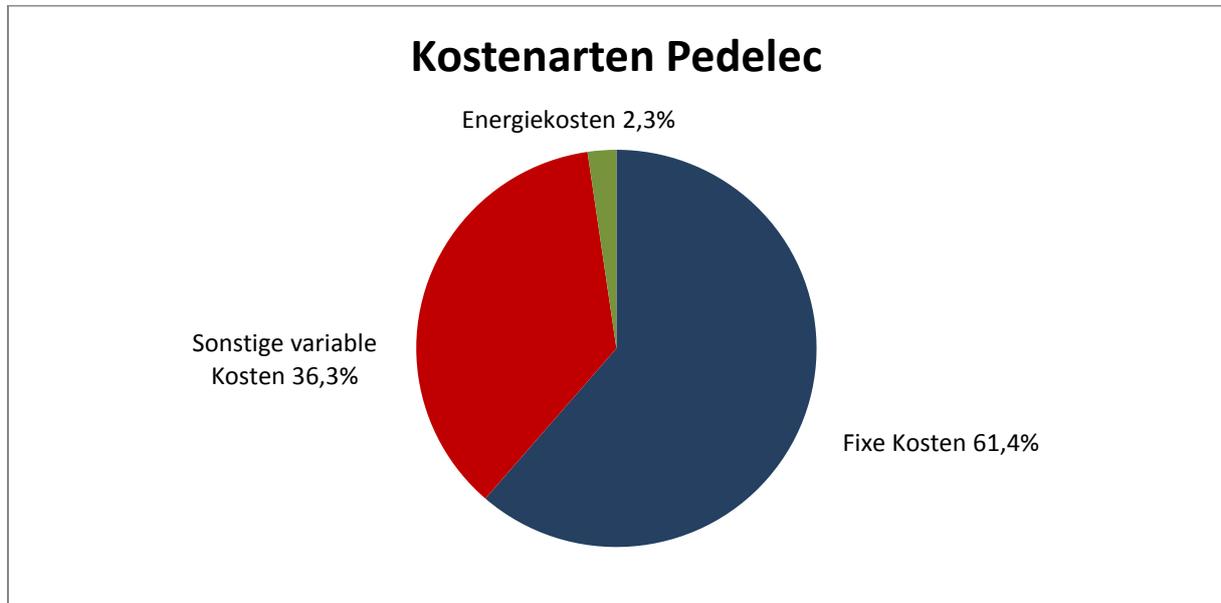


Abb. 60: Zusammensetzung der Vollkosten des Pedelec

Das Pedelec ist das günstigste "motorisierte" Verkehrsmittel des Versuchs. Wie auch beim Fahrrad machen die fixen Kosten einen Großteil der Gesamtkosten aus. Das genutzte Pedelec stammt mit 1.500 € Kaufpreis aus dem mittleren Preissegment. Die variablen Kosten setzen sich aus den Kosten für Wartungen und Reparaturen zusammen.

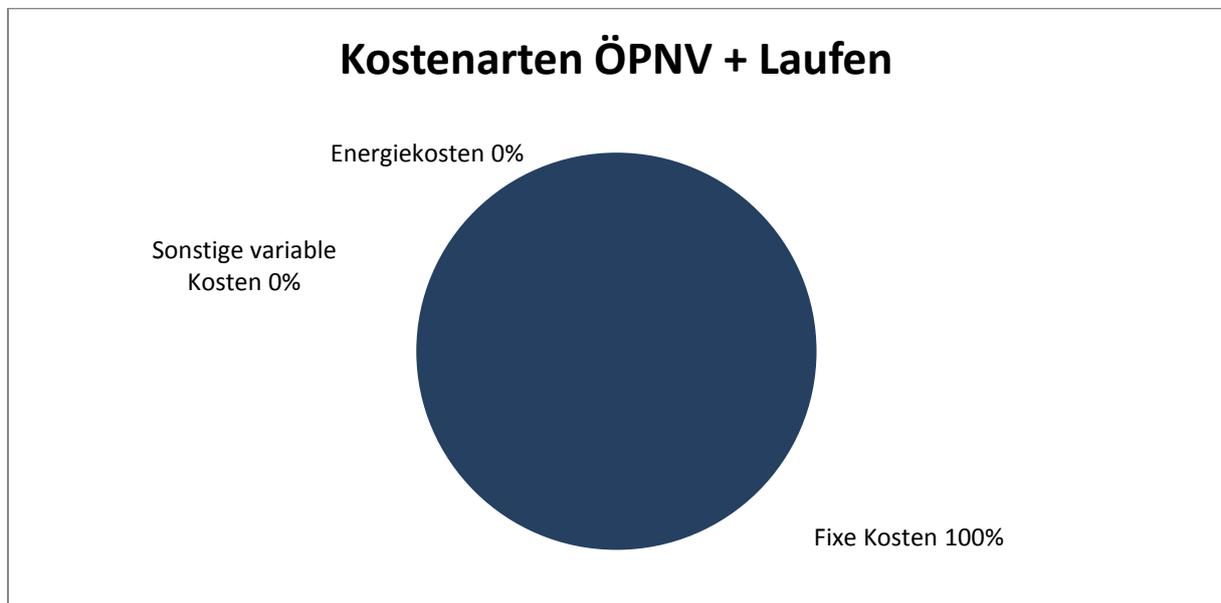


Abb. 61: Zusammensetzung der Vollkosten der Verkehrsmittelkombination aus dem ÖPNV und Laufen

Bei der Fahrt mit dem ÖPNV werden alle Kosten über den Preis des Fahrscheins abgedeckt. Im Falle des Versuchs wurde eine Monatskarte der Kostenberechnung zugrunde gelegt, daher handelt es sich um fixe Kosten.

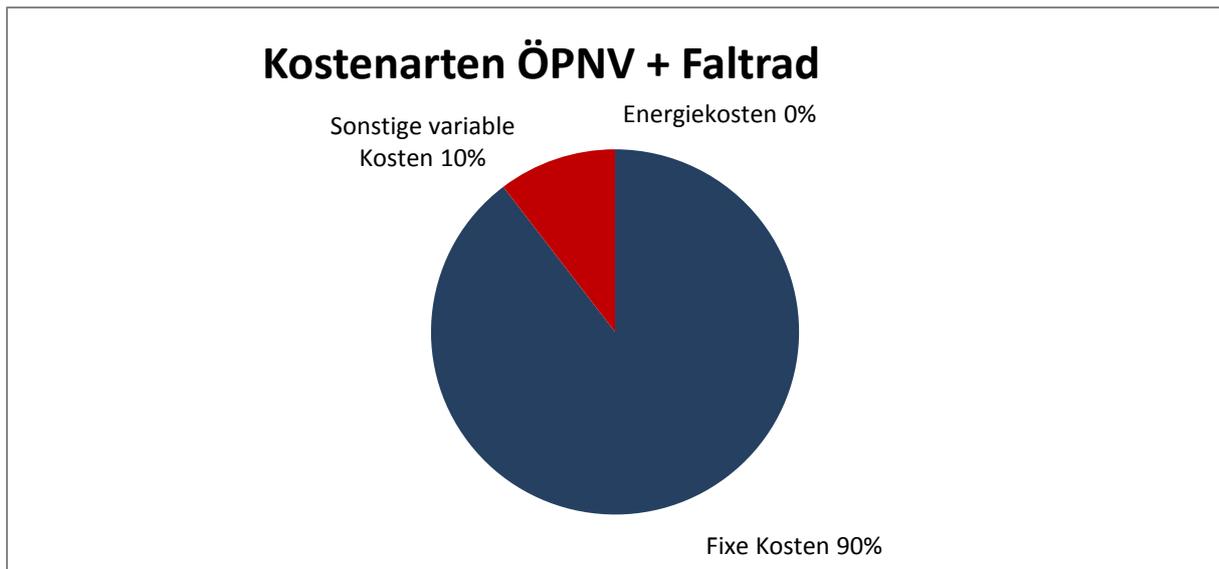


Abb. 62: Zusammensetzung der Vollkosten der Verkehrsmittelkombination aus dem ÖPNV und Faltrad

Bei der Fahrt mit dem ÖPNV werden wie im vorherigen Fall auch alle Kosten über das Monatsticket abgedeckt. Die variablen Kosten kommen durch die Fahrt mit dem Faltrad von und zu den Haltestellen des ÖPNV zum Endziel. Für das Faltrad wurde ein Kaufpreis von 500 € veranschlagt, die variablen Kosten des Faltrades für Wartungen und Reparaturen machen 10 % der Gesamtkosten aus.

9.5.9. Wie verändern sich die absoluten Kosten bei unterschiedlichen Entfernungen?

Aufgrund der unterschiedlich hohen Anteile fixer und variabler Kostenbestandteile verändert sich die Rangfolge der Verkehrsmittel bei unterschiedlichen zurückzulegenden Entfernungen.

Die nachfolgende Graphik stellt in vereinfachter Form die Kostenverläufe dar.

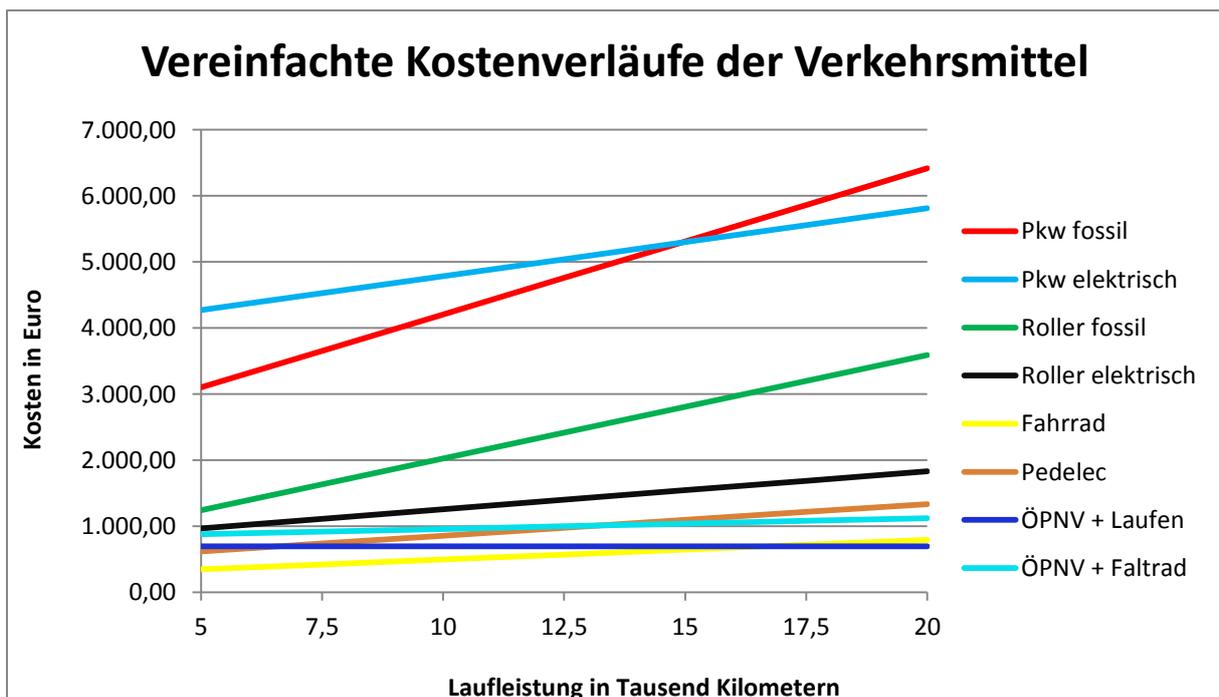


Abb. 63: Vereinfachte Vollkostenverläufe pro Jahr der verschiedenen Fahrzeuge

Bei der Berechnung der Kostenverläufe wurden folgende Vereinfachungen angenommen:

- der Wertverlust verändert sich nicht durch die erhöhte oder geringere Nutzung
- alle variablen Kosten verhalten sich linear gemäß der veränderten Laufleistung

Auf einer detaillierten Berechnung der Kostenkurve wurde verzichtet, weil innerhalb der dargestellten Laufleistungsspanne von 5.000 – 20.000 Kilometern die Auswirkungen zu vernachlässigen sind.

Die Geraden im Diagramm bilden die Gesamtkosten des Verkehrsmittels bestehend aus fixen und variablen Kosten ab. Der Schnittpunkt mit der y-Achse bei 0 Kilometern im Jahr entspricht den fixen Kosten des Verkehrsmittels. Diese bleiben unabhängig von der Laufleistung gleich. Die Steigung der Geraden visualisiert die proportional zur Laufleistung ansteigenden variablen Kosten.

Mit einer steigenden Laufleistung würde sich dementsprechend auch das Kostenranking verändern. In einer theoretischen Betrachtung funktioniert dies, jedoch sind Grenzen in der Praxis zu beachten. Das Zurücklegen von 16.500 Kilometern mit dem Fahrrad pro Jahr (45 Kilometer pro Tag, auch am Wochenende und bei schlechtem Wetter) ist für passionierte Radfahrer noch möglich, für die Allgemeinheit sicherlich nicht.

Die niedrigen variablen Kosten des elektrischen Pkw resultieren aus den in Kapitel 6.4.3 beschriebenen niedrigeren Kosten für Energie, Wartung, Reparatur und Inspektionen.. Aufgrund des Unterschieds in den variablen Kosten kreuzen sich die Kostenkurven der Pkw bei einer Abschreibungsdauer von 10 Jahren bei einer Jahreslaufleistung von ca. 15.000 km. Ab dieser Laufleistung ist der elektrische Pkw günstiger als der fossile Pkw. Der Restwert des elektrischen Pkw nach 10 Jahren wird mit 2.000 € um 500 € höher als der des fossilen Pkw angenommen. Diese Annahme stützt sich auf die Prognose, dass in 10 Jahren die Differenz zwischen den Kosten für fossile Kraftstoffe und elektrische Energie noch deutlich höher ausfallen wird als heute.

9.5.10. Wie fällt der Kostenvergleich bei unterschiedlichen Kraftstoffkosten und -verbräuchen sowie Anschaffungskosten aus?

Im Versuch wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit mit dem konventionellen Pkw ein umgebauter Fiat 500 E Karabag als elektrischer Pkw verwendet. Dieser ist mit ca. 35.000 € deutlich teurer als Elektrofahrzeuge, wie sie von einigen Automobilherstellern bereits angeboten werden. So kostet beispielsweise der Peugeot iOn nur ca. 28.000 €. Zudem werden Finanzierungsangebote mit Batterie-Leasing angeboten. Die Batterie wird auf Basis monatlicher Zahlungen gemietet, der Anschaffungspreis sinkt somit um einige Tausend €. In Europa zugelassene Fahrzeuge werden in solchen Finanzierungsmodellen - beispielsweise der Renault Zoe - bereits ab 21.000 € Anschaffungspreis plus ca. 70 € Leasingrate für die Batterie pro Monat angeboten. In einer Alternativbetrachtung werden die Kostenverläufe sowohl für die vollständige Kauf- als auch die Batterieleasingvariante berechnet.

Der Verbrauch des fossilen Pkw lag mit 8,6 L/100 km höher als erwartet und vom Hersteller angegeben. Gründe dafür waren wahrscheinlich die kurzen Strecken mit kaltem Motor mit erheblichem Stop-and-Go-Verkehr in der Hauptverkehrszeit, ebenfalls dazu beigetragen hat ggfs. der Fahrstil der auf diesem Fahrzeugtyp ungeübten FahrerInnen. Die Herstellerangabe des Verbrauchs innerorts beträgt 6,4 L/100km. Aufgrund der verbrauchserhöhenden Situation wird in einer Alternativbetrachtung ein Verbrauch in Höhe des herstellerseitig angegebenen innerstädtischen Verbrauchs plus 20 %, also 7,7 L/100km angenommen.

Somit ergeben sich folgende fünf Alternativ-Szenarien:

- Der fossile Pkw
 - o mit dem im Versuch gemessenen Verbrauch von 8,6 L/100km
 - o dem vom Hersteller angegebenen Verbrauch + 20 % (7,7 L/100km)
- Der elektrische Pkw mit einem Anschaffungspreis von
 - o 35.000 € (wie der im Versuch verwendete Karabag 500 E)
 - o 28.000 €, wie beispielsweise der Peugeot iOn
 - o 21.000 € und zusätzlichen Batterieleasingkosten in Höhe von 70 €/Monat

Die Kraftstoff- bzw. Energiekosten wurden jeweils mit den im Versuchszeitraum geltenden Preisen berechnet.

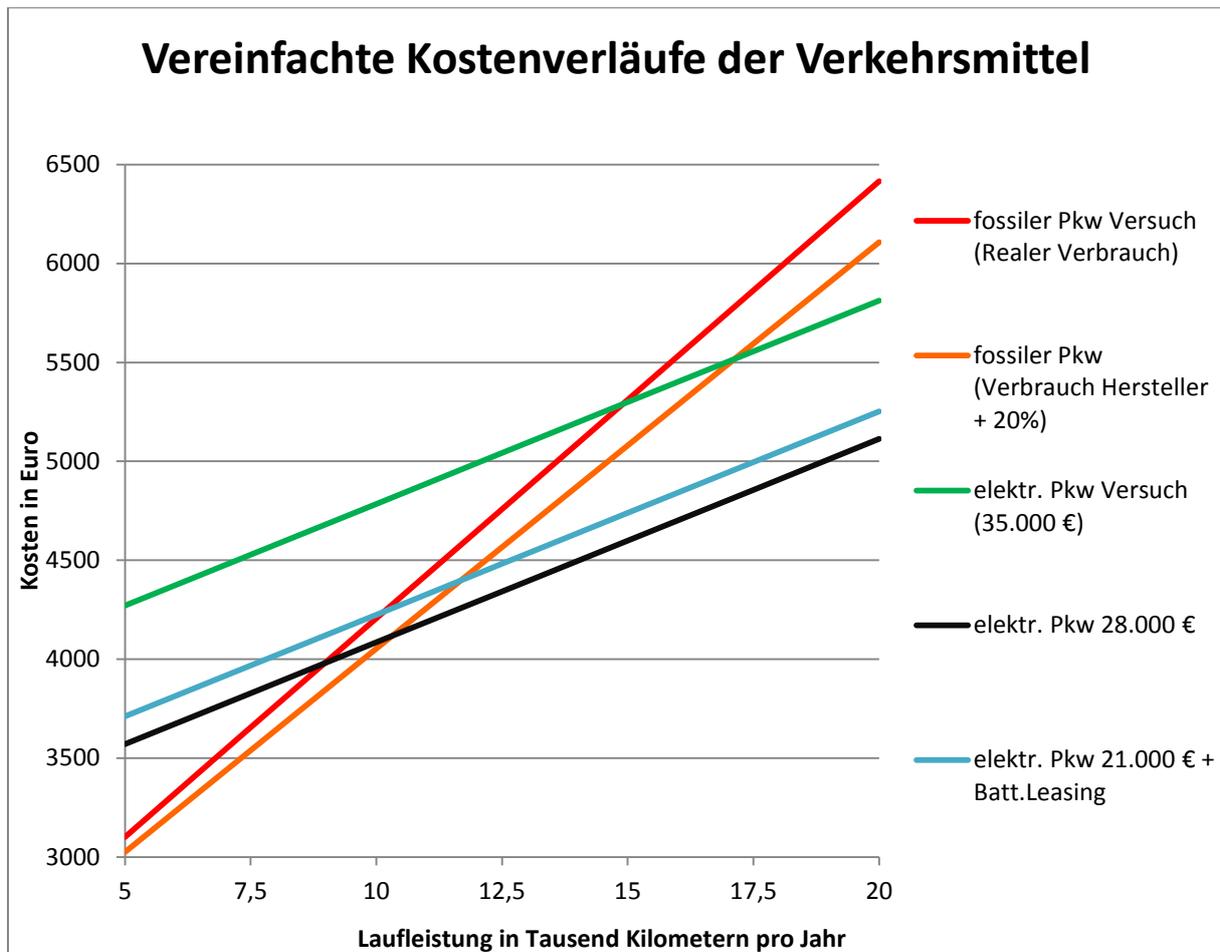


Abb. 64: Kostenverläufe der Pkw in den unterschiedlichen Kraftstoffverbräuchen sowie Preis- und Finanzierungsszenarien

Die vereinfachten Kostenverläufe der Szenarien zeigen die entstehenden Gesamtkosten in Abhängigkeit von der Laufleistung. Je nach Szenario ist der elektrische Pkw mit einer Jahreslaufleistung zwischen ca. 8.500 und 17.000 km wirtschaftlicher als der konventionelle Pkw. Tabelle 17 beinhaltet die Break-Even-Points für alle Szenarien.

Elektrischer Pkw	Fossiler Pkw	
	Realer Verbrauch im Versuch	Verbrauch Herstellerangabe + 20 %
Anschaffungspreis 35.000 € (ePkw des Versuchs)	15.000 km	17.000 km
Anschaffungspreis 28.000 €	8.500 km	10.500 km
Anschaffungspreis 21.000 € + Batterie-Leasing	10.000 km	12.000 km

Tabelle 17: Jahreslaufleistungen, ab denen der elektrische Pkw günstiger ist, als der fossile Pkw, in Abhängigkeit des Kaufpreises des elektrischen Pkw und den Kraftstoffkosten des fossilen Pkw

Die in Tabelle 17 dargestellten Laufleistungen stellen Orientierungswerte dar, die sich in Abhängigkeit einzelner Kostenparameter sowie des Kraftstoffverbrauchs erheblich verändern. Beispielsweise variiert die Jahreslaufleistung, ab der der elektrische Pkw im Vergleich zur konventionellen Variante wirtschaftlicher ist, in Abhängigkeit des Kaufpreises um 8.500 km. Bis 2014 werden 15 neue deutsche Elektro-Pkw auf den Markt kommen (Nationale Plattform Elektromobilität, 2012). Es wird davon ausgegangen, dass sich das Preisniveau der Elektrofahrzeuge bei zunehmenden Absatzzahlen weiter nach unten bewegen und somit die Wirtschaftlichkeit bei der zugrundeliegenden Haltedauer von 10 Jahren steigen wird.

Einen größeren Einfluss auf den Wirtschaftlichkeitsvergleich als der Kaufpreis des elektrischen Pkw übt jedoch der Kraftstoffverbrauch und die damit verbundenen Kraftstoffkosten aus.

Weiterhin wird der Wirtschaftlichkeitsvergleich von den Kraftstoffpreisen beeinflusst.

Die Preisentwicklung der fossilen Kraftstoffe wird in den kommenden Jahrzehnten stark von der Entwicklung der Weltwirtschaft abhängen. Eine wachsende Weltwirtschaft wird zu einem überproportionalen Anstieg des Energieverbrauchs führen, insbesondere die Nachfrage nach Diesel und Kerosin als die Kraftstoffe für den Lkw-Transport sowie die Luftfahrt wird deutlich steigen. Bei einer gleichzeitig abnehmenden Ölförderung führt dies zwangsläufig zu höheren Kraftstoffpreisen. Das Institut für Mobilitätsforschung hat in seiner Studie zur Entwicklung der Mobilität in Deutschland selbst in dem Szenario einer wirtschaftlichen Stagnation einen durchschnittlichen Ölpreis von 200 USD pro Barrel bis 2030 zugrunde gelegt (Institut für Mobilitätsforschung, 2010). Ob die Annahme dieser Studie zutrifft, der Ölpreis betrage auch bei einem Wachstum der Weltwirtschaft von durchschnittlich 1,5 % p.a. ebenfalls wie im Stagnationsszenario 200 USD im Durchschnitt der nächsten 18 Jahre, oder ob das gleichzeitig rückläufige Angebot zu einem noch schnelleren Preisanstieg führen wird, soll hier nicht diskutiert werden.

Geht man davon aus, dass die Verdopplung des Rohölpreises im Durchschnitt der nächsten 18 Jahre von ca. 100 auf 200 USD zu einem jährlichen Preisanstieg der fossilen Kraftstoffe führt, der 5 % über dem Strompreis liegt, so würde sich das Elektrofahrzeug im Vergleich zum Verbrennungsfahrzeug bereits bei deutlich geringeren Laufleistungen als in

Abb. 64 und Tabelle 17 dargestellt rechnen. Während des Versuchs im April 2012 lag der Preis für Super Benzin bei 1,66 €. Bei konstantem Strompreis und einer Verteuerung des Benzins um 5 % p.a. würde demnach ein Liter Super Benzin im Jahre 2015 1,92 €, 2020 2,45 € und 2030 knapp 4 € kosten. Wenn der Strompreis moderat um durchschnittlich 3 % pro Jahr steigen und der Benzinpreis um 8 % p.a., würde der Benzinpreis im Jahr 2015 bei 2,09 € pro Liter liegen, 2020 bei 3,07 € und 2030 bei 6,63 €. Die Energiekosten des im Versuch genutzten Fiat 500 E Karabag lägen bei konstanten Preisen über die gesamte Halte-

dauer von 10 Jahren und dem zugrunde gelegten Nutzungsprofil bei rund 4.400 €, die des fossilen Fiat 500 bei ca. 13.000 €.

Elektrischer Pkw (Anschaffungspreis 35.000 €)	Fossiler Pkw (Realer Verbrauch im Versuch)	
	5 % Preisanstieg Kraftstoffe	8 % Preisanstieg Kraftstoffe
Strompreise bleiben konstant	11.000 km	-
Strompreise steigen um 3 %	-	9.000 km

Tabelle 18: Jahreslaufleistungen ab denen der elektrische Pkw günstiger als der fossile Pkw ist in Abhängigkeit von der Entwicklung der Kraftstoff- und Stromkosten

Im ersten Alternativszenario (konstante Strompreise, 5 % Preisanstieg p.a. für Benzin) ist der elektrische Fiat im Durchschnitt der nächsten 10 Jahre bei einer Jahreslaufleistung von ca. 11.000 km wirtschaftlicher als der Verbrenner, im zweiten Szenario (3 % Preisanstieg p.a. bei Strom, 8 % bei Benzin) ab circa 9.000 km (Tabelle 18). In dem zweiten Szenario summieren sich die gesamten Energiekosten nach 10 Jahren bei dem elektrischen Pkw auf 5.200 €, bei dem fossilen Pkw auf 19.700 €.

9.5.11. Wie hoch sind die verkehrsmittelspezifischen Kosten pro Kilometer?

Die Kosten pro Kilometer machen die Verkehrsmittel unabhängig von der spezifischen Streckenwahl im *Schweriner Versuch* vergleichbar, auch wenn sich die Kilometerkosten bei deutlich kürzeren oder deutlich längeren Strecken durch die unterschiedliche Umlage der fixen Kosten auf die Laufleistung verändern. Je länger die Strecke, umso geringer fallen bei allen Verkehrsmittel die fixen Kosten pro Kilometer aus, je kürzer umso höher. Da die Anteile der fixen Kosten an den Vollkosten jedoch unterschiedlich sind, hat eine Verkürzung oder Verlängerung der Strecke unterschiedliche Auswirkungen bei den verschiedenen Verkehrsmitteln.

Im Folgenden werden die Kosten pro Kilometer in zwei Varianten betrachtet:

- (1) Kosten pro Kilometer für die mit dem Hauptverkehrsmittel zurückgelegte Strecke
Für die Kosten pro Kilometer der mit dem Hauptverkehrsmittel gefahrenen Strecke wurde die mit diesem zurückgelegte Distanz als Grundlage genutzt, also ohne die vor- und nachgelagerten Fuß- und Faltradwege.
- (2) Kosten pro Kilometer für die Gesamtstrecke von Tür zu Tür:
Grundlage für diese Berechnung war die gesamte Strecke vom Wohnort zum Arbeitsplatz, unabhängig von der Form der Fortbewegung.

9.5.11.1. Kosten pro Kilometer für die Strecke mit dem Hauptverkehrsmittel

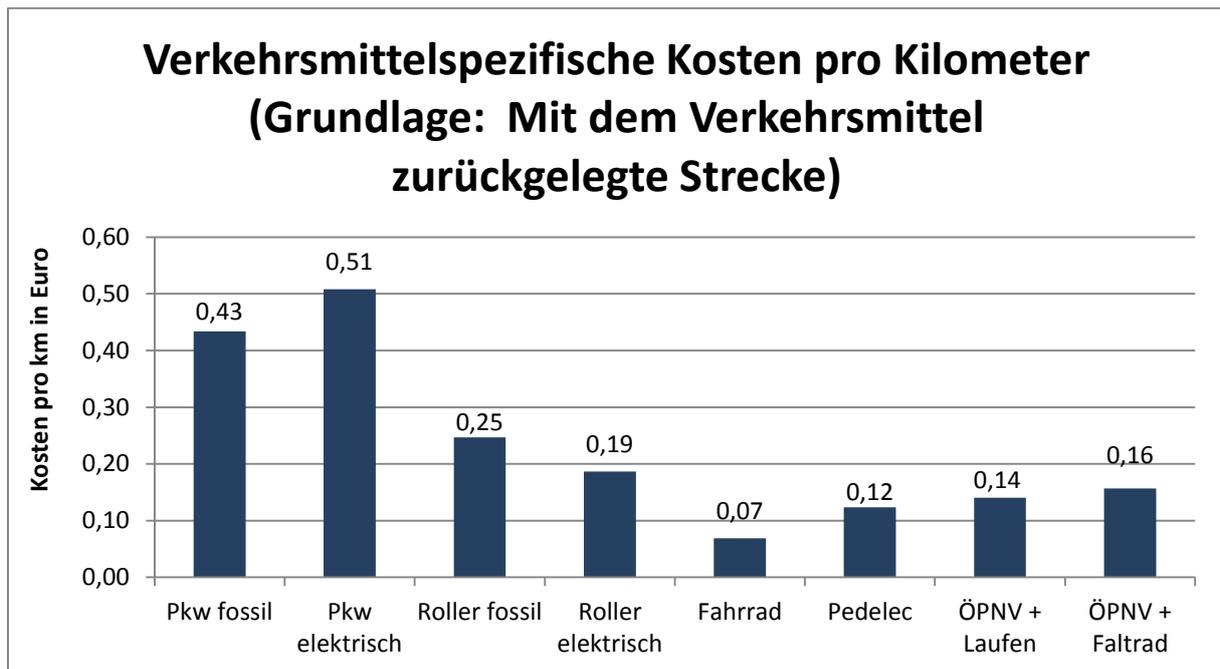


Abb. 65: Verkehrsmittelspezifischen Kosten pro Kilometer mit dem Hauptverkehrsmittel

Die verkehrsmittelspezifischen Kosten pro Kilometer variieren sehr stark. Am günstigsten ist die Fahrt mit dem Fahrrad, am teuersten mit dem elektrischen Pkw.

Insgesamt bildeten sich zwei sehr unterschiedliche Kostengruppen heraus: Die Gruppe der Pkw mit hohen Kosten pro Kilometer zwischen 0,43 und 0,51 €, sowie eine Gruppe mit allen restlichen Verkehrsmitteln mit Kosten zwischen 0,07 und 0,25 €. Ein Kilometer mit dem elektrischen Pkw kostet das Siebenfache von einem Kilometer mit dem Fahrrad. Das Pedelec ist das günstigste motorisierte Verkehrsmittel. Aufgrund der sehr geringen Energiekosten war der elektrische Roller günstiger als der fossile Roller

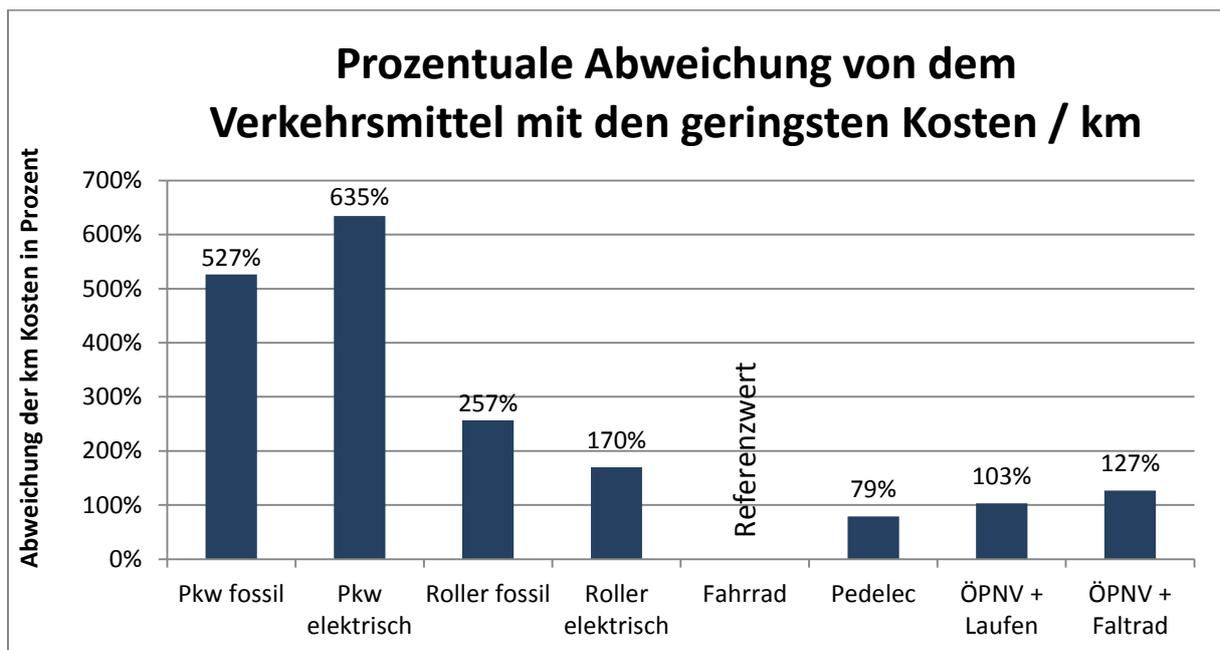


Abb. 66: Prozentuale Abweichung von dem Verkehrsmittel mit den geringsten Kosten pro Kilometer

Das Pedelec und die Verkehrsmittelkombinationen sind moderat teurer als das Fahrrad. Zwar sind es mit 79 % - 127 % hohe Prozentzahlen, jedoch sind diese Werte im Vergleich zu den Pkw sehr gering. Die Steigerung der Pkw geht bis zu einer prozentualen Abweichung von 635 % beim elektrischen Pkw.

9.5.11.2. Kosten pro Kilometer von Tür zu Tür

Die in Abb. 67 gezeigten Kosten pro Kilometer entsprechen der gesamten Strecke von dem Wohnort in Friedrichsthal bis zum Altstädtischen Rathaus in der Altstadt Schwerins.

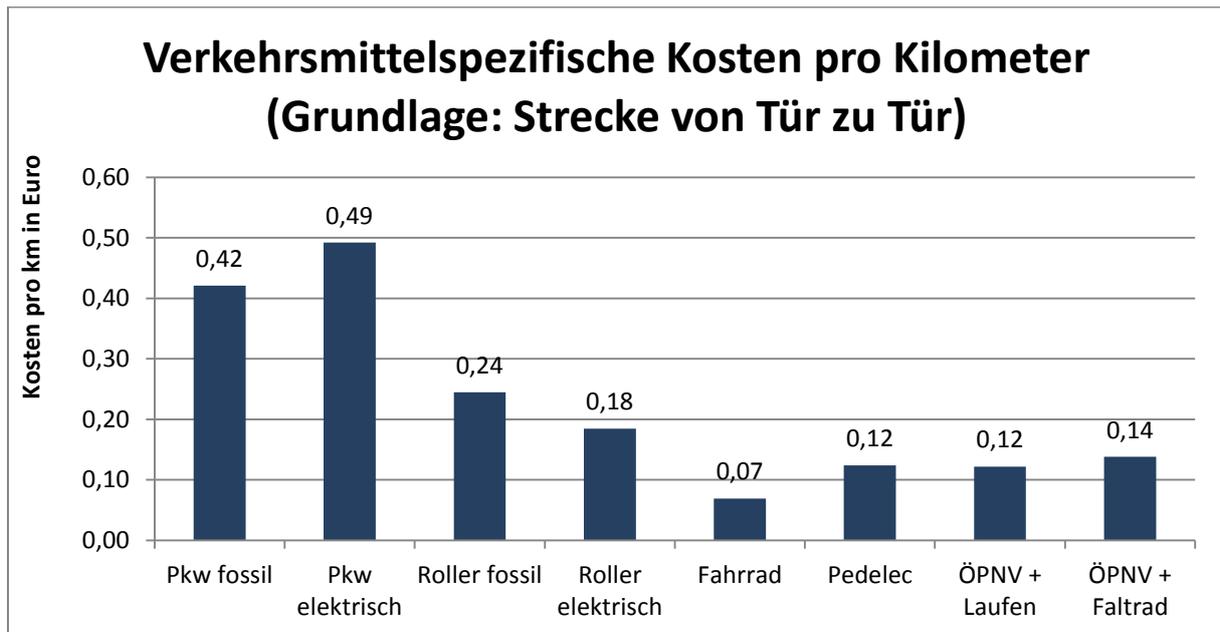


Abb. 67: Verkehrsmittelspezifischen Kosten pro Kilometer für die Strecke von Tür zu Tür.

Durch die Einbeziehung der zu Fuß zurückgelegten Streckenanteile in die Berechnung der Streckenkosten reduzieren sich diese bei den Pkw und den ÖPNV-Varianten. Die Kosten pro Kilometer bei dem fossilen Pkw senkten sich um 1 Cent, die des elektrischen Pkw um 2 Cent, der Kombination aus ÖPNV und Laufen um 2 Cent und der Kombination aus ÖPNV und Faltrad um 2 Cent. Fahrrad, Pedelec und Roller bleiben unverändert, weil diese von Tür zu Tür genutzt werden, die Strecken in beiden Auswertungen also gleich bleiben. Bei dem elektrischen Roller kommt es durch die 100 Meter Laufweg von Parkplatz zum Rathaus zu einer Verminderung der Kilometerkosten um fast 0,2 Cent, was zu einer Abrundung auf 18 Cent pro Kilometer führt.

9.6. Multimediale Ergebnispräsentationen

9.6.1. Projektfilm YouTube

Neben dem Bericht wurde der Versuch von einem Kamera-Team vor Ort filmisch mit dem Ziel dokumentiert, die Ergebnisse einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Dieser beinhaltet die wichtigsten Ergebnisse, Statements und Interviews der Beteiligten, Aufnahmen der Versuchsdurchführung der Bordkameras an bzw. in den Verkehrsmitteln sowie Aufnahmen vom Straßenrand. Die Filmdokumentation wird in HD Qualität über das Videoportal YouTube kostenfrei zur Verfügung gestellt. In unterschiedlichen Veranstaltungen zu Verkehr, Verkehrspolitik und Verkehrsfachlichkeiten werden Vorträge durch den Film unterstützt.

Thematisch werden im Film unter anderem die Durchführung des Versuchs, die Erfahrungen der TeilnehmerInnen, die Auswertung und die Ergebnisse vorgestellt. ZuschauerInnen verschiedener Zielgruppen wurden durch eine ansprechende Gestaltung und didaktische Aufbereitung der Daten als PendlerInnen direkt angesprochen. Entsprechend der Zusammenfassung (1 auf S. 9) werden die Vor- und Nachteile der Verkehrsmittel aufgezeigt und Empfehlungen für die Pendlertypen ausgesprochen.

9.6.2. Personenfilme YouTube

Die Personenfilme bestehen aus Interviews mit den TeilnehmerInnen nach Ablauf des Versuchs. Jede Versuchsperson wurde in der Videobeschreibung mit den persönlichen Mobilitätsvorlieben charakterisiert. Dies soll die Identifikation der ZuschauerInnen mit den PendlerInnen des Versuchs fördern und ein gesellschaftliches Umdenken anstoßen. Für eine objektive Entscheidung über das tägliche Verkehrsmittel bedarf es eines Anstoßes zum Realisieren der eigenen Prioritäten und Schwerpunktsetzungen. Die Personenfilme sollen den ZuschauerInnen Mut zur eigenen Veränderung machen.

10. Danksagungen

Alle in diesem Bericht interpretierten Daten stammen aus der Durchführungsphase mit den 10 TeilnehmerInnen. Wir danken allen TeilnehmerInnen für das tägliche Pendeln mit den verschiedenen Verkehrsmitteln bei allen Wetterlagen. Und den jeweiligen Arbeitgebern für den zeitlichen Freiraum zur Teilnahme am Versuch.

Ohne die Sponsoren der Verkehrsmittel wäre der Versuch ebenfalls in diesem Umfang nicht möglich gewesen. Wir danken dem Landkreis Nordwestmecklenburg für den Karabag 500 E, dem Autohaus Busse für den Fiat 500, den Stadtwerken Schwerin für das verwendete Pedelec, Fahrrad Kather für das Faltrad, der Nahverkehr Schwerin GmbH für die ÖPNV Wochenkarten, der Schweriner Stadtverwaltung für die Räume, der e-bility GmbH für die Rollerhelme und dem Land Mecklenburg-Vorpommern für die weitere Unterstützung, insbesondere auch für die Freistellung mehrerer Mitarbeiter als Probanden im Versuch.

Wesentlich an der Entstehung der Studie beteiligt war der TÜV Nord und bodymonitor. Multimedial aufgearbeitet wurden die Ergebnisse von der Simon Media Film und Medienproduktion. Für die medizinischen Untersuchungen der TeilnehmerInnen danken wir weiter der Praxis Dr. Lucas und Dr. med. Kadja Frey. Weiter danken wir Herrn Prof. Dr. Hans-Ulrich Pfretzschner von der Eberhard Karls Universität Tübingen für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung. Für redaktionelle Korrekturen bedanken wir uns bei Herrn Bernd Sievers und Herrn Bernd Lesny.

Unseren besonderen Dank wollen wir dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung für die Finanzierung und der Hochschule Wismar für die Antragsstellung aussprechen.

11. Literaturhinweise

ADAC e.V. (2012). *50er Roller im ADAC Test - Marke macht's - Vorsicht bei Angeboten aus dem Internet*. Abgerufen am 13. 09. 2012 von http://www.adac.de/sp/presse/meldungen/test/sonstige_tests/50er_Roller_im_ADAC_Test.aspx?ComponentId=132706&SourcePageId=86736#infogramm

ADAC e.V. (2011). ADAC Autokosten 2011, Version 1.1.

ADAC e.V. (2010). *ADAC Autotest Karabag 500 E*. Abgerufen am 06. 07. 2012 von http://www.adac.de/_ext/itr/tests/Autotest/AT4452_Karabag_500_E/Karabag_500_E.pdf

ADAC e.V. und Radio Bremen. (2012). *Praxistest - Schnell, sauber oder günstig in die Bremer Innenstadt?*. Abgerufen am 12. 09. 2012 von <http://www.radiobremen.de/wissen/dossiers/pendler/adactest100.html>

Amazon.de GmbH. (2012). *Kumpan electric Modell "1954" Elektroroller weiß*. Abgerufen am 29. 08. 2012 von <http://www.amazon.de/Kumpan-electric-Modell-1954-Elektroroller/dp/B004L2LBSI>

Aurich, A. (2009). *Liniennetz des Schweriner Nahverkehrs*. Abgerufen am 22. 06. 2012 von <http://www.schweriner-nahverkehr.de/liniennetz.htm>

Badura, D. S. (2012). *Fehlzeiten-Report 2012, Schwerpunktthema: Gesundheit in der flexiblen Arbeitswelt: Chancen nutzen, Risiken minimieren*. Berlin: Wissenschaftlichen Institut der AOK.

Bauer Digital KG. (2008). *Fiat 500 1.2 8V AZ 23/2008*. Abgerufen am 06. 09. 2012 von <http://www.autozeitung.de/fiat-500-1-2-8v-az-232008/Gebuendelte-Information/n264567/10>

Bertelsmann Stiftung. (2008). Abgerufen am 30. 08. 2012 von http://www.bertelsmann-stiftung.de/cps/rde/xchg/bst/hs.xsl/nachrichten_91824.htm

Besuch, C. F. (2011). Gespräch mit Herrn Michael Stramek.

BMVBS. (1998). *Erster Bericht der Bundesregierung über die Situation des Fahrradverkehrs in der Bundesrepublik Deutschland*. Bonn.

BMVBS. (2002). *Nationaler Radverkehrsplan 2002–2012*. Berlin: MEDIA CONSULTA Deutschland GmbH.

BMVBS. (2012). *Nationaler Radverkehrsplan 2012 - 2020*. Berlin.

bodymonitor.de. (2012). *Das BMS Smartband M*. Abgerufen am 06. 09. 2012 von <http://www.bodymonitor.de/Produkte/BMS+Smartband+M>

Boucsein, W. (1988). *Elektrodermale Aktivität*. Berlin: Springer.

Brocchi, D. (2012). *Kölner Sonntag der Nachhaltigkeit / Tag des guten Lebens*. Köln.

Bundesministerium für Gesundheit. (2010). *Ratgeber zur gesundheitlichen Prävention*. Berlin: Druckerei im Bundesministerium für Arbeit und Soziales.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. (2012). *Nationaler Radverkehrsplan 2020 im Kabinett beschlossen*. Abgerufen am 24. 09. 2012 von <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2012/188-ramsauer-nationaler-radverkehrsplan.html>

Bundesregierung. (2009). *Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung*. Berlin.

Charité Ambulanz für Prävention und Integrative Medizin. (2011). *Warum 10.000 Schritte am Tag?* Abgerufen am 18. 07. 2012 von http://zehntausendschritte.de/main/10000/index.php#warum_10000

Choudhury, R. (2002). *Well-to-Wheel Analyse des Energieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen von fortschrittlichen Kraftstoff/Fahrzeug-Systemen*. Brüssel: General Motors.

CRGRAPH. (2012). *Boxplot*. Abgerufen am 23. 07. 2012 von <http://www.crgraph.de/Boxplot.pdf>

D'Agostino, R. B. (1986). *Goodness-of-Fit Techniques*. New York City, USA: Dekker.

Dieter Hallen Medientechnik und Consulting. (2012). *GoPro Action Kameras + Zubehör*. Abgerufen am 06. 09. 2012 von http://www.hallen-medientechnik.de/media-shop/camcorder-gopro-action-kameras-zubeh%C3%83%C2%B6r-c-21_28_125.html

Duller, C. (2008). *Einführung in die nichtparametrische Statistik mit SAS und R*. Heidelberg: Physica Verlag.

E-bility GmbH. (2012). *Datenblatt*. Abgerufen am 22. 06. 2012 von <http://www.elektroroller-kumpan.de/de/products/scooter-1954/datasheet.php>

eRetail-Store UG. (2012). *E-Bike Kalkhoff Agattu Pedelec 7 Gang (Vorführmodell)*. Abgerufen am 25. 09. 2012 von <http://www.ebay.de/itm/E-Bike-Kalkhoff-Agattu-Pedelec-7-Gang-Vorfuehrmodell-/190564043131>

fairkehr GmbH. (2005). Vom Drahtesel zum Goldesel. *Fairkehr-Magazin Nr. 3*.

Fiat Group Automobiles Germany . (2012). *Der 1.2-Benziner*. Abgerufen am 10. 01. 2012 von <http://www.fiat500.de/#1.2-8v-benziner>

Gabler Wirtschaftslexikon. (2010). *Normalverteilung*. Abgerufen am 02. 08. 2012 von <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/normalverteilung.html>

Gabler Wirtschaftslexikon. (2010). *Varianz*. Abgerufen am 02. 08. 2012 von <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/varianz.html>

Grobe, T. im Auftrag der Techniker Krankenkasse. (2012). *Gesundheitsreport 2012*. Hannover und Hamburg: Merkur Druck GmbH.

H. Brennenstuhl GmbH. (2012). *Primera-Line Energiemessgerät PM 231 E*. Abgerufen am 06. 09. 2012 von <http://www.brennenstuhl.de/content.php?session=d149ce80af5609be07aa6b84e2953edc&Produkt e%2FSteckdosenleisten%2C+Schaltger%C3%A4te+%26+Adapter%2FPrimera->

Line+Adapter%2FPrimera-
Line+Energiemessger%C3%A4t+PM+231+E&seite=shop/produkte.php&hauptrubrik=1294&det

Hammer, Ø. (2012). PAST - PAleontological STatistics. University of Oslo, Norwegen.

Hartog, J; Boogaard, H; Nijland, H; Hoek, G. (2010). Do The Health Benefits Of Cycling Outweigh The Risks? *Environmental Health Perspectives* , S. S. 1 - 52.

Hochschule Wismar, F. G. (2011). *Inmod Broschüre*. Abgerufen am 15. 08 2012 von http://www.inmod.de/documents/broschuere_inmod.pdf

IFEU Institut . (2011). *UmweltMobilCheck*. Heidelberg: IFEU.

IFEU Institut. (2011). *TREMODO 5.25*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

infas Institut GmbH und DLR im Auftrag des BMVBS. (2008). *Mobilität in Deutschland 2008*. Bonn: BMVBS.

Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel GmbH. (2012). *Verkehrsmarkt Monitor Deutschland 2012*. Berlin.

Institut für Energie- und Umweltforschung. (2010). Datenbank Umwelt & Verkehr 2010.

Institut für Mobilitätsforschung. (2010). *Zukunft der Mobilität Szenarien für das Jahr 2030*. München.

Invitation to Tuscany Ltd. (2010). Abgerufen am 29. 08. 2012 von <http://www.invitationtotuscany.com/wp-content/uploads/2012/04/Fiat500.jpg>

Karabag GmbH. (2010). *Electric Car Configurator*. Abgerufen am 06. 07. 2012 von <https://elektroauto.karabag.de/%28S%28x51pr55nmq3bk45boxnpd55%29%29/default.aspx>

Karabag GmbH. (kein Datum). *Karabag Presse Bilder* . Abgerufen am 25. 09. 2012 von <https://elektroauto.karabag.de/%28S%28eob4n3reokglfaczeyn2ff2%29%29/presseBilder.aspx>

Korner, F. (2006). Bedeutung einiger häufig gebrauchter statistischer Kennzahlen. *Der Ornithologische Beobachter* , S. 1 - 3.

Löckenhoff + Schulte GmbH. (2012). *Dahon - Piazza D3 20" 3-Gang Faltrad*. Abgerufen am 29. 08. 2012 von <http://www.rad1.de/products/Fahrraeder/Falt-Klappraeder/Dahon-Piazza-D3-20-3-Gang-Faltrad.html?>

Mathie, M. C. (2004). Accelerometry: providing an integrated, practical method for long-term, ambulatory monitoring of human movement. *Physiol. Meas.* 25 , S. S1 – S20.

Moonraker Motorcycles Ltd. (2012). *PIAGGIO LIBERTY 50*. Abgerufen am 29. 08. 2012 von http://www.moonraker-motorcycles.co.uk/product_view.cfm?ID=7

Motor Presse Stuttgart GmbH & Co. KG. (2008). *Modellseite Piaggio Liberty 50/125*. Abgerufen am 15. 08. 2012 von <http://www.motorradonline.de/piaggio-liberty-50125/3508>

Nahverkehr Schwerin GmbH. (2012). *NVS_Platz-der-Jugend.ipg*. Schwerin, Mecklenburg-Vorpommern, Deutschland.

- Nationale Plattform Elektromobilität. (2012). *Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (Dritter Bericht)*. Berlin: BMVBS.
- Nationale Plattform Elektromobilität. (2011). *Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität*. Berlin: BMVBS.
- Paridon, H. (2012). Berufsbedingte Mobilität. *Fehlzeiten-Report 2012*, S. Kapitel 9.
- Pfalzgraf, B. (2012). *Motorrad Zulassungsstatistik 2011*. Abgerufen am 11. 09. 2012 von <http://www.motorradonline.de/branche/zulassungszahlen-2011-die-top-10-der-motorrad-modelle/357355>
- Piaggio Deutschland GmbH. (2007). *Technische Daten Piaggio Liberty 50*. Abgerufen am 22. 06. 2012 von http://www.de.piaggio.com/media/tech_specs_liberty_50_germany.pdf
- Planungsgemeinschaft Verkehr und plan&rat im Auftrag von BMVBS. (2007). *Zweiter Fahrradbericht der Bundesregierung*. Hannover.
- Rad-Häusl. (2011). *Die Kalkhoff Agattu Elektrorad Modelle*. Abgerufen am 25. 09. 2012 von <http://www.elektroraeder.com/elektro-rad/kalkhoff/kalkhoff-agattu.htm>
- Schäfer, T. (2009). *Methodenlehre II – Verfahren für nominalskalierte Daten*. Chemnitz.
- Schandry, R. (1988). *Lehrbuch der Psychophysiologie (2. Aufl.)*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Statista GmbH. (2012). *Mittelwert und arithmetisches Mittel*. Abgerufen am 02. 08. 2012 von <http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/91/mittelwert-und-arithmetisches-mittel/>
- Statista GmbH. (2012). *Normalverteilung*. Abgerufen am 02. 08. 2012 von <http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/95/normalverteilung/>
- Statista GmbH. (2012). *Standardabweichung*. Abgerufen am 02. 08. 2012 von <http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/126/standardabweichung/>
- Statistisches Bundesamt. (2012). *Erzeugung - Monatsbericht über die Elektrizitätsversorgung - II. Quartal 2012*. Abgerufen am 20. 09. 2012 von <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Energie/Erzeugung/Tabellen/BilanzElektrizitaetsversorgung.html>
- Statistisches Bundesamt. (2011). *Statistisches Jahrbuch 2011*. Wiesbaden.
- StatSoft (Europe) GmbH. (2010). *Bonferroni-Korrektur*. Abgerufen am 25. 07. 2012 von <http://www.statsoft.de/glossary/B/BonferroniAdjustment.htm>
- TranSystem Inc. (2010). *747A+*. Abgerufen am 06. 09. 2012 von <http://www.transystem.com.tw/product.php?b=G&m=pe&cid=4&sid=&id=59#1>
- TÜV Nord Mobilität. (17. 07. 2012). CO2 Datenbank.
- Umweltbundesamt - Fachgebiet I 2.5 Energieversorgung und -daten. (2012). *Entwicklung der spezifischen*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Umweltbundesamt. (2009). *Daten zum Verkehr*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Universität Zürich. (2010). *Kruskal-Wallis-Test*. Abgerufen am 23. 07. 2012 von <http://www.methodenberatung.uzh.ch/datenanalyse/unterschiede/zentral/kruskal.html>

Verkehrsclub Deutschland e.V. (2012). *Europaweiter autofreier Aktionstag am 22. September*. Abgerufen am 12. 09. 2012 von <http://www.vcd-blog.de/2010-09-17-europaweiter-autofreier-aktionstag-am-22-september/>

Weibel, R. (2005). Von Stress zu Burn-out. *world of wellness* , 46 - 49.

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie im Auftrag von BUND, Brot für die Welt & EED. (2008). *Zukunftsfähiges Deutschland in einer globalisierten Welt*. Fischer Verlag.

Zok, & Dammasch. (2012). Flexible Arbeitswelt: Ergebnisse einer Beschäftigtenbefragung. *Fehlzeiten-Report 2012* , S. Kapitel 5.

ZUM.de. (2012). *Aufgabe 4: Zapfsäule 1*. Abgerufen am 06. 09. 2012 von http://wiki.zum.de/Vera_8_interaktiv/Mathematik/Test_A

12. Anlagen

12.1. Statistik der Auswertung

12.1.1. Grundlegende Begriffe der Statistik

Nachfolgend werden grundlegende Begriffe der Statistik mit Relevanz für diese Studie erläutert und anhand eines Beispiels mögliche Anwendungen gezeigt. Diese Erläuterungen sollen einem verbesserten Verständnis der Ergebnisse dienen und die Ergebnisinterpretation nachvollziehbarer gestalten. *Bei den im Beispiel verwendeten Fahrzeiten handelt es sich bewusst um frei erfundene Werte, die eine einfache Erklärung der Sachverhalte unterstützen sollen.*

Grundgesamtheit

Die Grundgesamtheit ist die Gruppe der statistischen Einheiten, zu denen eine Aussage getroffen werden soll.

Beispiel: Wir betrachten die Fahrtdauer von einem Pkw und einem Fahrrad über einen Pendlerweg von 5 – 7 Kilometern in B-Stadt. Unsere Grundgesamtheit sind demnach alle Pkw- und FahrradfahrerInnen die täglich in den Hauptverkehrszeiten aus den Vororten um B-Stadt ins Zentrum pendeln. Für bzw. über diese Gruppe wollen wir Aussagen treffen.

Stichprobengröße (n)

Anzahl der unabhängigen Beobachtungen, welche die Daten geliefert haben.

Beispiel: Da für die Erhebung der mittleren Fahrzeiten von Pkw und Fahrrad nicht alle Fahrten der PendlerInnen in B-Stadt untersucht werden können, wird der Versuch mit einer Stichprobe durchgeführt. In diesem Beispiel verwenden wir der Einfachheit halber eine Stichprobengröße von drei Beobachtungen, also drei Fahrten. Wert für die Stichprobengröße beträgt demnach $n = 3$.

Mittelwert (m)

Der Mittelwert beschreibt den statistischen Durchschnittswert der Daten. Zur Berechnung werden alle Daten addiert und durch die Stichprobengröße (n) geteilt (Statista GmbH, 2012). Zur Berechnung fungiert folgende Funktion:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

(Korner, 2006)

Beispiel: Wir untersuchen die ersten drei Fahrten des Fahrrads: 17 Minuten, 18 Minuten und 18,5 Minuten. Der Mittelwert beträgt 17,8 Minuten.

Median (med)

Der Median ist der Wert in der Mitte, wenn die Daten eines Versuchs in aufsteigender Reihenfolge sortiert werden. Falls eine gerade Anzahl an Beobachtungen vorliegt, ist es der Durch-

schnitt der zwei Werte in der Mitte. Der Median ist sehr robust gegenüber Ausreißern und zeigt sich dadurch bei nicht normalverteilten Daten (dazu später in diesem Kapitel mehr) verlässlicher als der Mittelwert (Korner, 2006).

Beispiel: Der Median der ersten drei Fahrten des Fahrrads (17 Minuten, 18 Minuten und 18,5 Minuten) liegt bei 18 Minuten.

Varianz (s^2)

Die Varianz ist eine gebräuchliche Maßzahl zur Charakterisierung der Streuung von Daten um den Mittelwert (m). Gezeigt wird die Summe der Abweichung der einzelnen Werte von dem gemeinsamen Mittelwert. Zur Berechnung fungiert folgende Funktion:

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2$$

(Gabler Wirtschaftslexikon, 2010)

Beispiel: Die Varianz der drei Fahrten mit den verschiedenen Fahrzeiten beträgt 0,58 Minuten². Da die Abweichungen der einzelnen Werte von Mittelwert quadriert werden, ist auch die Einheit der Varianz im Quadrat.

Standardabweichung (sd)

Die Standardabweichung ist ein absolutes Streuungsmaß für Daten. Sie gibt die durchschnittliche Abweichung der einzelnen Daten vom Mittelwert an und berechnet sich aus der Wurzel der Varianz (s^2). Durch das Ziehen der Wurzel fällt das Quadrat der Einheit weg und die Abweichung ist einfacher zu Interpretieren (Statista GmbH, 2012). Zur Berechnung fungiert folgende Funktion:

$$sd = \sqrt{s^2}$$

Beispiel: Die Standardabweichung der Fahrzeit des Fahrrads beträgt 0,7 Minuten. Im Durchschnitt weichen die Fahrzeiten also um 0,7 Minuten von dem Durchschnittswert ab.

Normalverteilung

Die Normalverteilung ist ein Verteilungsmodell der Statistik. Die nach Vorkommen und Ausprägung visualisierte Dichtefunktion der normalverteilten Daten zeigen die Form der Gaußschen Glockenkurve, der Median (med) und der Mittelwert (m) sind also identisch (Statista GmbH, 2012). In dieser Verteilung liegen 68 % der Daten nicht weiter als eine Standardabweichung (sd) von dem Mittelwert (m) entfernt, 95 % nicht weiter als zwei Standardabweichungen (sd) (Gabler Wirtschaftslexikon, 2010).

Beispiel: Der Mittelwert der Fahrzeiten beträgt 17,8 Minuten. Die Standardabweichung 0,7 Minuten. Wenn die Daten normalverteilt wären, dürften 68 % der Daten nicht unter 17,1 Minuten (Mittelwert minus Standardabweichung) oder über 18,5 Minuten ($m + sd$) sein. In unserem Beispiel ist dies der Fall, da nur die Fahrt mit 17 Minuten aus diesen Grenzen fällt, d.h. 66 % der Daten sind nicht weiter als eine Standardabweichung (sd) vom

Mittelwert entfernt. Die Daten sind daher normalverteilt. Anmerkung: Es handelt sich bei dem Beispiel bewusst um eine geringe Stichprobengröße (n). Normalerweise werden Verteilungstests nur bei größeren Stichproben gemacht.

Verteilungstests

Nehmen wir nun in Anlehnung an unser Beispiel an, dass wir nicht nur drei Fahrten mit verschiedenen Fahrzeiten haben, sondern 158 (Anzahl Fahrten im *Schweriner Versuch*). Die Verteilung dieser Datenmengen ist nur mühsam „per Hand“ ausrechenbar, daher werden Verteilungstests zur Hilfe genommen. Für verschiedene Datenmengen, Ausprägungen und vermutete Verteilungen gibt es verschiedene Tests. Weitere Informationen zu dem für den *Schweriner Versuch* gewählten Test siehe 12.1.2, S. 120.

Hypothesen (H_0 und H_1)

Jedem Verteilungstest liegen zwei Hypothesen zugrunde. Die Hypothesen werden wie folgt dargestellt:

$$H_0: F(x) = F_0(x)$$

$$H_1: F(x) \neq F_0(x)$$

H_0 steht für die Nullhypothese. Diese Hypothese besagt, dass die Daten normalverteilt sind.

H_1 steht für die Alternativhypothese und besagt, dass die Daten nicht normalverteilt sind.

Mit dem berechneten Ergebnis des Verteilungstest wird die Nullhypothese (H_0) entweder betätigt (d.h. die Daten sind normalverteilt) oder abgelehnt (d.h. die H_1 ist richtig und die Daten sind nicht normalverteilt).

Signifikanztests

Mit Signifikanztests werden Daten auf Ihre Unterschiede getestet. Genau dies wollen wir auch in unserem Beispiel machen: Wir haben die Fahrzeiten von dem Pkw und dem Fahrrad. Das Fahrrad hat eine mittlere Fahrzeit von 18 Minuten, die mittlere Fahrzeit des Pkw ist 17,7 Minuten. Ist dieser Unterschied wirklich ein Unterschied zwischen den Verkehrsmitteln oder nur ein Zufall bei der Wahl des Tages, der Strecke, des Wetters oder anderen Faktoren? Diese Fragestellung kann mit den Signifikanztests untersucht werden.

Hypothesen

Jedem Signifikanztest liegen zwei Hypothesen zugrunde. Die Hypothesen werden wie folgt dargestellt:

$$H_0: F(x) = F_0(x)$$

$$H_1: F(x) \neq F_0(x)$$

Die Nullhypothese (H_0) steht für die Annahme, dass zwischen den Daten ohne Zufall kein Unterschied besteht, das Fahrrad und der Pkw im Mittel also die gleiche Fahrzeit haben.

Die Alternativhypothese (H_1) steht dafür, dass zwischen den Daten ohne Zufall ein Unterschied besteht, sich die Fahrzeiten von dem Fahrrad und dem Pkw im Mittel also unterscheiden.

Mit dem durch den Signifikanztest berechneten P-Wert wird die Nullhypothese (H_0) entweder betätigt (d.h. es besteht kein Unterschied zwischen den Daten) oder abgelehnt (d.h. die H_1 ist richtig und es besteht ein Unterschied zwischen den Daten).

P-Wert

Der P-Wert ist die Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen der Nullhypothese (H_0). In unserem Beispiel heißt dies, dass zwischen der Fahrzeit des Fahrrads und dem Pkw kein Unterschied besteht. Der P-Wert wird in % angegeben.

Beispielsweise könnte das Ergebnis eines Signifikanztests für die Unterschiede zwischen den mittleren Fahrzeiten vom Fahrrad und Pkw ein P-Wert von 3 % sein. Dies würde bedeuten, dass die Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen der Nullhypothese (H_0) bei nur 3 % liegt.

Signifikante Unterschiede

Ist die Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen der Nullhypothese (kein Unterschied in den Zeiten zwischen Fahrrad und Pkw) bei nur 3 %, liegt im Rückschluss die Wahrscheinlichkeit für einen Unterschied (Alternativhypothese ist also korrekt) bei 97 %. In dem Fall unseres fiktiven Beispiels könnte also davon ausgegangen werden, dass ein Unterschied der Fahrzeit des Fahrrads und des Pkw besteht. Signifikant ist dieser Unterschied, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit unter 5 % liegt. Die Signifikanz drückt die Sicherheit bei der Aussage und die Bedeutung für die Grundgesamtheit aus.

Genauer spricht man bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % - 5 % von knapp signifikant, bei 0,1 % bis 1 % von signifikant und bei weniger als 0,1 % von hoch signifikant (Korner, 2006).

Der Unterschied in unserem Beispiel wäre damit knapp signifikant.

Irrtumswahrscheinlichkeit

Die Irrtumswahrscheinlichkeit wird auch „Wahrscheinlichkeit für einen Alpha-Fehler“ genannt. In unserem Beispiel haben wir mit 97 %iger Sicherheit festgestellt, dass die mittleren Fahrzeiten unterschiedlich sind. Die gegensätzliche Aussage der restlichen 3 % bleibt aber bestehen. In diesem Fall besteht eine Wahrscheinlichkeit für einen Alpha-Fehler von 3 %, dass die Alternativhypothese (Unterschied vorhanden) also angenommen wurde, obwohl eigentlich die Nullhypothese (kein Unterschied) richtig ist, die Fahrzeuge in der Fahrzeit also eigentlich nicht unterschiedlich sind.

12.1.2. Prüfung auf Normalverteilung (Anderson-Darling-Test)

Die Prüfung der Daten auf Normalverteilung ist ein notwendiges Verfahren zur Datenanalyse, da viele statistische Analyseverfahren auf Normalverteilungsannahmen beruhen und nur

dann korrekte Ergebnisse liefern (D'Agostino, 1986). Die Überprüfung der Versuchsdaten auf Normalverteilung wurde mit dem Anderson-Darling-Test durchgeführt, da sich dieser Test durch seine sehr hohe Testgüte auszeichnet und für die dem Versuch zugrunde liegende Stichprobengröße eignet. Differenzen in den Randbereichen werden höher gewichtet, daher hat dieser Test eine vergleichsweise hohe Genauigkeit in der Untersuchung auf Normalverteilung (Duller, 2008).

Für die Überprüfung auf eine Normalverteilung der Versuchsdaten mit dem Anderson-Darling-Test wurde folgende Nullhypothese (H_0) und Alternativhypothese (H_1) verwendet:

$$H_0: F(x) = F_0(x)$$

$$H_1: F(x) \neq F_0(x)$$

Als Nullhypothese (H_0) wurde die Normalverteilung angenommen. Im Falle einer Wiederlegung der Nullhypothese, ist die Alternativhypothese (H_1) korrekt und die Daten somit nicht normalverteilt.

Zur praktischen Berechnung des Anderson-Darling-Tests in Excel fungierte folgende Funktion:

$$AD^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) \left[\ln(F_0(x_i)) + \ln(1 - F_0(x_{n-i+1})) \right]$$

Zum Vergleich für das Ergebnis AD^2 diene ein Schwellenwert. Bei diesen Versuchsdaten handelt es sich um eine vollkommen spezifizierte Verteilung, da keiner der Parameter aus der Stichprobe geschätzt wurden. Es wurden im Versuch erhobene Daten oder Literaturwerte genutzt. Dementsprechend wurde aus der Tabelle 19 der passende Schwellenwert ausgewählt.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	$n \rightarrow \infty$
$1 - \alpha = 0.90$	2.05	1.98	1.97	1.95	1.94	1.95	1.94	1.94	1.933
$1 - \alpha = 0.95$	2.71	2.60	2.55	2.53	2.53	2.52	2.52	2.52	2.492
$1 - \alpha = 0.99$	4.30	4.10	4.00	4.00	3.95	3.95	3.95	3.95	3.857

Tabelle 19: Schwellenwerte für den Anderson-Darling-Tests

Gewählt wurde der Schwellenwert für eine Stichprobe mit $n > 8$ und einer Irrtumswahrscheinlichkeit (Wahrscheinlichkeit für einen Alpha-Fehler) von fünf % (0,05).

Die Nullhypothese (also die Aussage, dass die Versuchsdaten normalverteilt sind) wurde bestätigt, wenn der Wert für AD^2 kleiner ist als der Schwellenwert. Die Versuchsdaten könnten in diesem Fall als normalverteilt angesehen werden. Dies ist von hoher Bedeutung für die weitere Auswertung, da zur Berechnung vieler Kennzahlen, beispielsweise dem Mittelwert oder der Standardabweichung, eine Normalverteilung der Daten vorausgesetzt wird (Korner, 2006).

Bei den Parametern Zeit und Strecke hat die Überprüfung mit dem Anderson-Darling-Test jedoch gezeigt, dass die Daten des Verkehrsmittels „ÖPNV und Faltrad“ nicht normalverteilt sind, weitere Verkehrsmittel waren nur knapp unter dem Schwellenwert. Die Berechnung des Mittelwerts und der Standardabweichung für die Verkehrsmittelkombination aus ÖPNV und Faltrad wäre daher nicht fehlerfrei möglich gewesen. Mit dem Ziel der Vergleichbarkeit aller Verkehrsmittel untereinander wurden somit alle Verkehrsmittel mit einem nichtparametri-

schen Test untersucht. Dies verhinderte fehlerhafte Ergebnisse und den Verlust von Informationen durch Datenelimination.

12.1.3. Nichtparametrisches Testverfahren (Kruskal-Wallis-Test)

Nichtparametrische Testverfahren setzen keine spezielle Verteilung der Daten voraus und werden daher auch verteilungsfreie Tests genannt (Schäfer, 2009). Um signifikante Unterschiede zwischen den Verkehrsmitteln nicht nur optisch, sondern auch rechnerisch zu beweisen, wurde der Kruskal-Wallis-Test angewandt. Dieser nichtparametrische Test überprüft die verkehrsmittelspezifischen Mediane der untersuchten Parameter auf signifikante Unterschiede. Der Test basiert auf dem Vergleich von Rangreihen, die mit den zu untersuchenden Daten erstellt werden. Grundlegend für das Ergebnis ist die Überlegung, dass sich die Daten in einer Reihenfolge dann homogen verteilen, wenn sich die zentralen Tendenzen nicht unterscheiden. Der Kruskal-Wallis-Test stellt eine Erweiterung des Mann-Whitney-Tests dar (Universität Zürich, 2010).

Für die Ermittlung von signifikanten Unterschieden zwischen den Versuchsdaten mit dem Kruskal-Wallis-Test wurde folgende Nullhypothese (H_0) und Alternativhypothese (H_1) verwendet:

$$H_0: F(x) = F_0(x)$$

$$H_1: F(x) \neq F_0(x)$$

Als Nullhypothese (H_0) wurde angenommen, dass zwischen den Daten kein signifikanter Unterschied besteht. Im Falle einer Wiederlegung der Nullhypothese bestätigte dies die Alternativhypothese (H_1) und es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Daten.

Durchgeführt wurde der Test mit dem Programm „PAST“ Version 2.16 (Hammer, Ø., 2012).

Als Basis zur Berechnung des Kruskal-Wallis-Tests fungierte folgende Funktion:

$$H = \left(\frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^l \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(n+1)$$

Die Schwellenwerte wurden von dem Programm für die entsprechenden Stichprobengrößen (n) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf % automatisch ermittelt.

Zur Verbesserung der Prüfung auf signifikante Unterschiede wurden die Daten mit dem Bonferroni-Test korrigiert. Dieser Test stellt sicher, dass auch bei mehreren Tests mit der gleichen Irrtumswahrscheinlichkeit keine irrtümlichen Signifikanzaussagen getroffen werden (StatSoft (Europe) GmbH, 2010)

Auf die Berechnung der mittleren absoluten Abweichung (MAD) wurde verzichtet, da der Kruskal-Wallis-Test diese schon in der Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für signifikante Unterschiede berechnet und einbezieht.

Durch den Ablauf des Versuchs ergab sich ein statistisches Problem. Die meisten statistischen Tests setzen voraus, dass die untersuchten Daten voneinander unabhängig sind. Dies ist in den Daten des *Schweriner Versuchs*, da ein Teilnehmer bzw. eine Teilnehmerin ggf. mehrere Male ein Verkehrsmittel genutzt hat, nicht immer gegeben. In seltenen Fällen kann es daher zu geringen Abweichungen in den Signifikanzen kommen.

12.1.4. Visuelle Darstellung der Verteilung (Boxplot)

Ein Boxplot ermöglicht einen schnellen Eindruck über die Häufigkeitsverteilung, die Symmetrie und das Vorkommen von Ausreißern. Das Diagramm zeigt den Schwerpunkt der Daten sowie den Median, den maximalen und den minimalen Wert (CRGRAPH, 2012).

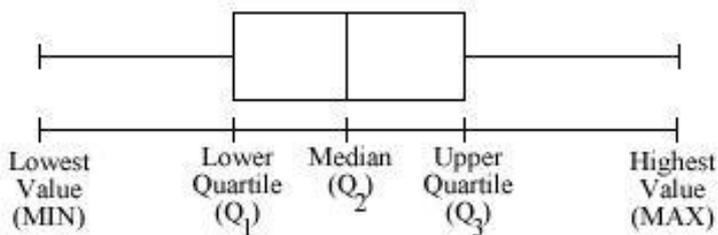


Abb. 68: Boxplot

Die Abb. 68 zeigt einen Boxplot für eine normalverteilte Datenmenge. Bei dieser Verteilung liegt der Median (Q_2) genau in der Mitte der Box. Die Box wird von den übrigen Daten durch das untere Quartil (Q_1) mit 25 % der Werte unter dem Median und durch das obere Quartil (Q_3) mit 25 % der Werte über dem Median abgegrenzt. Die horizontal abgehenden „Striche“, Whisker genannt, werden von dem minimalen (MIN) und dem maximalen (MAX) Wert begrenzt. In diesem Bereich befinden sich die restlichen 50 % der Daten.

Für den Bericht wurde eine vertiefte Darstellung mit Kennzeichnung der Ausreißer verwendet. Die Definition der Ausreißer fand über den Abstand zwischen den Werten und dem Median statt. Die unteren Ausreißer wurden über den Abstand zwischen Q_1 und Q_2 , die oberen über den Abstand zwischen Q_2 und Q_3 definiert. Diese Abstände werden Tiefe bzw. Höhe der Box genannt. In dieser vertieften Darstellung gehen die Whisker bis zu dem Wert, der maximal 1,5 mal so weit vom Rand der Box entfernt liegt, wie die Höhe bzw. Tiefe der Box ist. Liegt ein Wert 1,5 – 3 mal so weit wie die Höhe bzw. Tiefe der Box entfernt, ist dieser mit einem Kreis gekennzeichnet. Dies sind die leichten Ausreißer. Liegt der Wert über 3 mal so weit entfernt, ist dieser mit einem Stern gekennzeichnet. Dies sind die starken Ausreißer.

Diese Ausreißer entspringen der „natürlichen“ Variation der Daten aufgrund der unterschiedlichen TeilnehmerInnen. Vor der Auswertung wurden die Ausreißer, die sicher aufgrund von Fehlfunktionen oder fehlerhafte Bedienung der Geräte zurück zu führen waren, ausgeschlossen.

12.1.5. Diagramme zur Beschreibung der Ergebnisse

Die visuelle Aufbereitung der Daten mittels Diagrammen ermöglichte eine schnelle und umfassende Sichtung der Daten und vereinfachte das Erkennen von Datentrends. Für jeden untersuchten Parameter wurden zwei Diagramme erstellt.

Das erste Diagramm vergleicht die verkehrsmittelspezifischen Mediane der Versuchsdaten, beispielsweise die mittlere Fahrzeit oder die mittleren Kosten pro Fahrt. Im zweiten Diagramm werden die prozentualen Abweichungen der Datenmediane von einem Referenzwert dargestellt. Als Referenzwert fungierte immer der Median des am besten abschneidenden Verkehrsmittels, beispielsweise dem Verkehrsmittel mit der kürzesten Fahrzeit oder den geringsten Kosten. Der Median wurde als robustes und verteilungsunabhängiges Lagemaß bewusst dem Mittelwert vorgezogen, da die Datenstreuung zwischen den Verkehrsmitteln stark variiert.

Die Stichprobengröße (n) ist unter den Diagrammen angegeben. Die Anzahl n variiert je nach Verkehrsmittel, da Datensätze mit Messfehlern aufgrund Geräte- oder Bedienungsfehler ausgeschlossen wurden.

12.1.6. Ranking der Verkehrsmittel

Die Ergebnisse der Verkehrsmittel wurden in eine Reihenfolge gebracht. Das Verkehrsmittel mit dem besten Ergebnis bekam den ersten Platz, das Verkehrsmittel mit dem schlechtesten Ergebnis den letzten Platz. Verkehrsmittel teilen sich Platzierungen, wenn der Kruskal-Wallis-Test ergab, dass zwischen den Ergebnissen keine signifikanten Unterschiede bestehen.

Dieses Ranking der Verkehrsmittel spielt für die Auswertung und Diskussion der Ergebnisse eine entscheidende Rolle. Es wurden den Platzierungen Punktwerte zugeteilt. Die beste Platzierung erhielt zehn Punkte, die schlechteste null Punkte. Die Ergebnisse der Verkehrsmittel konnten somit für die Auswertung quantifiziert werden.

12.2. Auswertung der einzelnen Parameter

12.2.1. Fahrzeit von Tür zu Tür

Die Auswertung der Fahrzeit wurde bereits im Kapitel 7.2 dargestellt, um den Ablauf beispielhaft darstellen zu können. Im Folgenden wurden alle weiteren Parameter auf gleiche Weise ausgewertet.

12.2.2. Geschwindigkeit

Bei der Geschwindigkeit wurde zwischen zwei Betrachtungsweisen unterschieden:

- (1) Zum einen die Geschwindigkeit von Tür zu Tür, also mit allen Phasen und
- (2) zum anderen die Geschwindigkeit des Hauptverkehrsmittels. Als Hauptverkehrsmittel war für die Kombination aus ÖPNV und Laufen der ÖPNV (Bus und Straßenbahn) gewertet. Bei ÖPNV und Laufen war es die Zeit in der Straßenbahn. Bei den Pkw fiel die Laufzeit vom Parkhaus zum Rathaus weg, die Pkw waren demnach die Hauptverkehrsmittel. Mit dem Fahrrad, Pedelec und Roller fuhr man quasi von Tür zu Tür, insofern wird die vollständige Strecke mit dem Hauptverkehrsmittel zurückgelegt.

12.2.2.1. Mittlere „Tür zu Tür“-Geschwindigkeit (alle Phasen)

Kruskal-Wallis-Test der Geschwindigkeit von Tür zu Tür

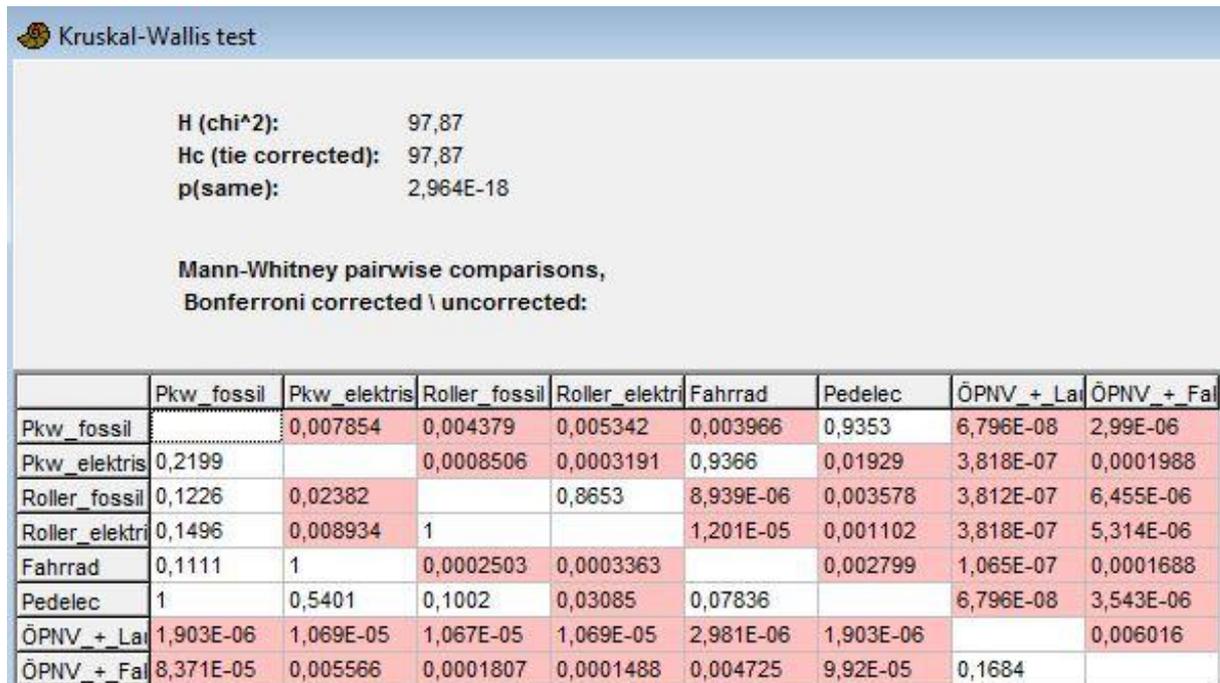


Abb. 69: Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Geschwindigkeit von Tür zu Tür (allen Phasen)

Besonders die Geschwindigkeiten der Verkehrsmittelkombinationen mit dem ÖPNV unterscheiden sich oft hoch signifikant ($p < 0,1\%$) von denen der anderen Verkehrsmitteln. Die ÖPNV-Kombinationen werden sich dementsprechend deutlich von den Geschwindigkeiten der anderen Verkehrsmittel unterscheiden. Insgesamt ist eine heterogene Verteilung der Geschwindigkeiten aller Verkehrsmittel zu erwarten, da es viele vom Kruskal-Wallis-Test nachgewiesene signifikante Unterschiede zwischen den Verkehrsmitteln gibt.

Boxplots für die Geschwindigkeit von Tür zu Tür

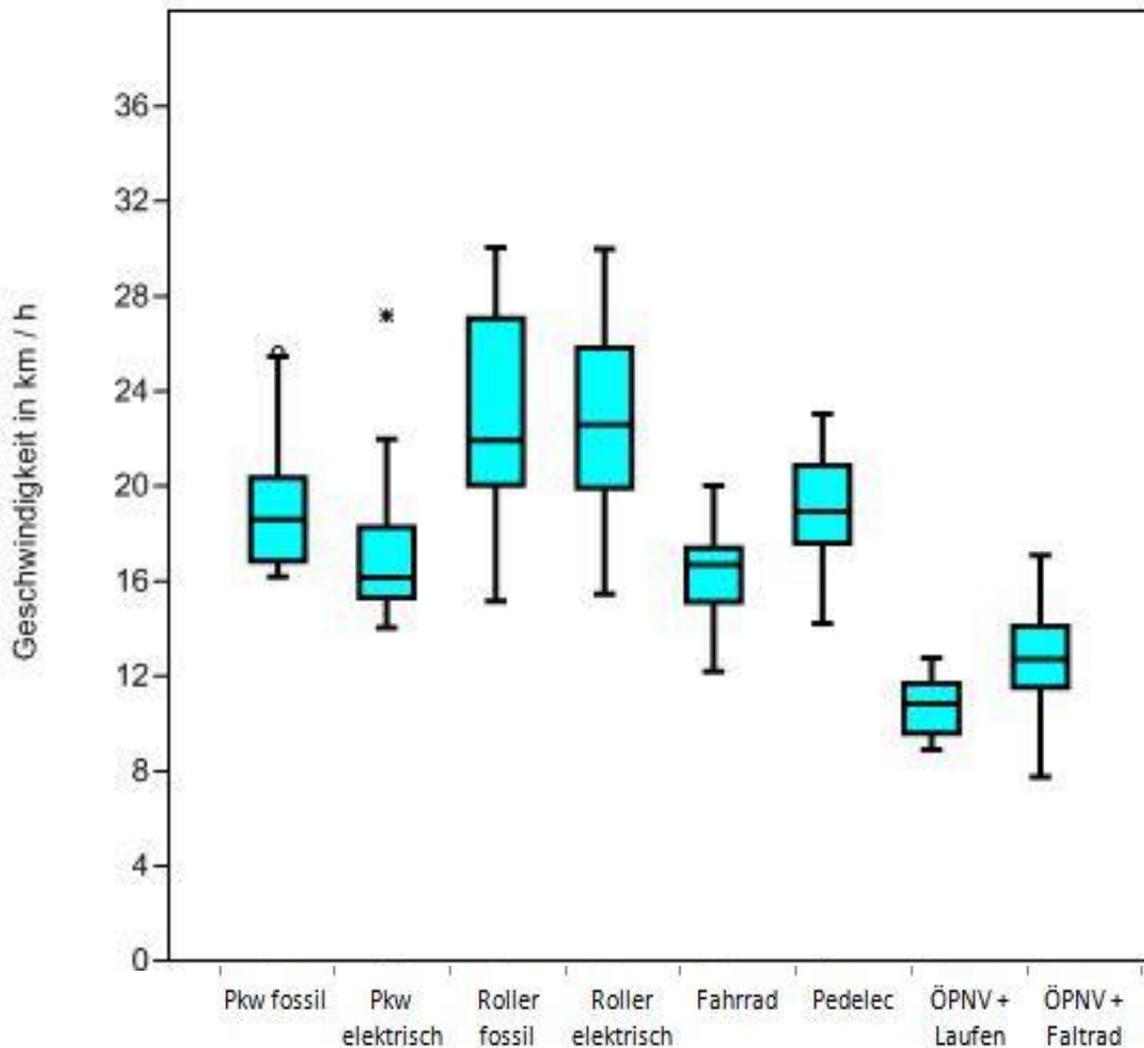


Abb. 70: Boxplots des Parameters Geschwindigkeit von Tür zu Tür (allen Phasen)

Die Mediane der ÖPNV-Kombinationen liegen tiefer als die der anderen Verkehrsmittel, für die ÖPNV-Kombinationen kann also von einer langsamen Geschwindigkeit ausgegangen werden. Der Median des elektrischen Rollers liegt am höchsten, ein Hinweis für eine schnelle Geschwindigkeit. Auffällig sind die blauen Boxen des Pedelec und des fossilen Pkw, da diese sehr ähnlich liegen. 50 % der Fahrten sind bei beiden Verkehrsmitteln in ähnlichen Geschwindigkeiten abgelaufen. Stark unterscheiden sich die anderen 50 % (gezeigt durch die blaue Box) der Werte: Bei dem Pedelec eher zu geringerer Geschwindigkeit tendierend, bei dem elektrischen Pkw zu mittlerer. Die Verteilungen der ÖPNV-Kombinationen fallen durch ihre ausgeprägte Symmetrie auf. Durchweg gibt es bei allen Verkehrsmitteln eine moderate Streuung der Werte. Alle Fahrten fanden demnach in relativ gleicher mittlerer Geschwindigkeit statt. Eine relativ große Streuung (in Relation zu der Größe der Box) hat der elektrische Pkw, die auf die ungewohnte Bedienung und personenabhängige Unsicherheiten zurück zu führen ist. Auch die verminderte mittlere Geschwindigkeit im Vergleich zum fossilen Pkw zeugt von einer vorsichtigeren Fahrweise.

Diagramme für den direkten Datenvergleich der Geschwindigkeiten von Tür zu Tür

In den folgenden zwei Diagrammen werden die Ergebnisse für den Parameter Geschwindigkeit (von Tür zu Tür, alle Phasen) vorgestellt und in Relation zueinander gestellt.

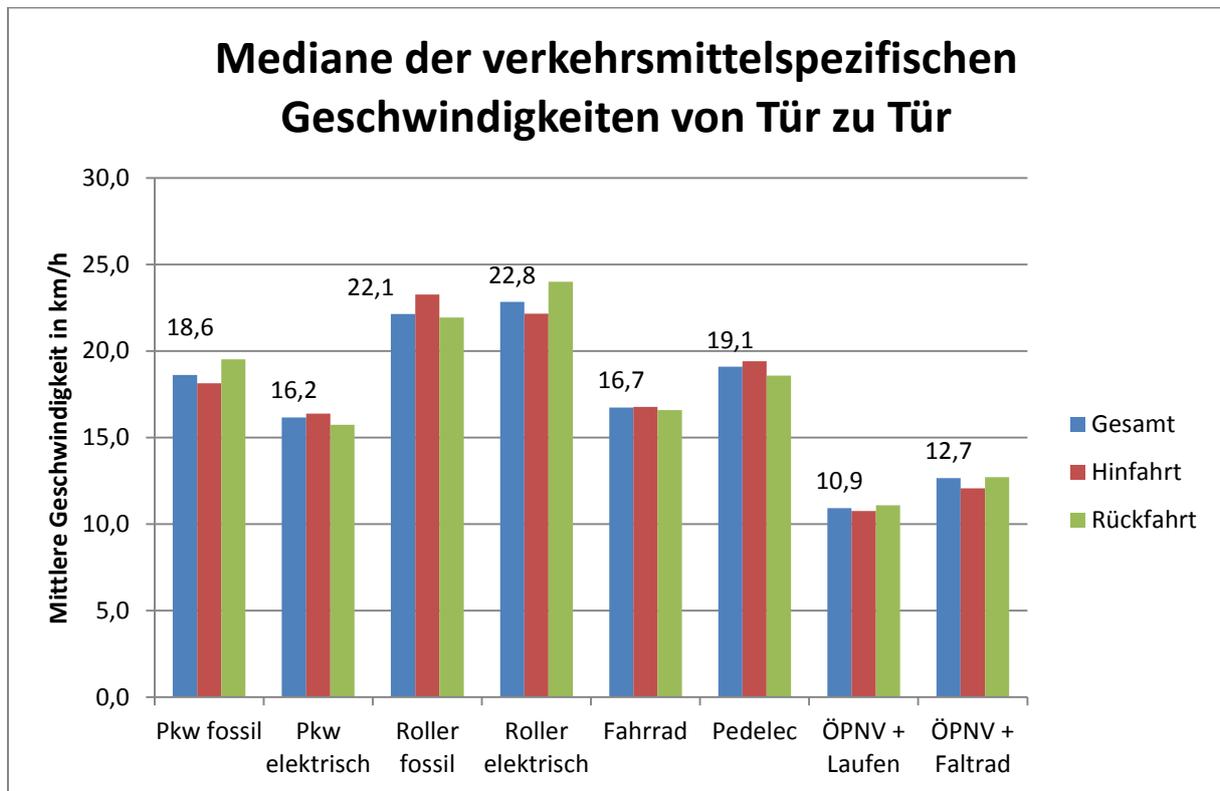


Abb. 71: Mediane der verkehrsmittelspezifischen Geschwindigkeiten (Tür zu Tür, alle Phasen)

Die Mediane der verkehrsmittelspezifischen Geschwindigkeiten wurden aus folgender Anzahl Daten berechnet: Pkw fossil: $n = 20$, Pkw elektrisch: $n = 16$, Roller fossil: $n = 16$, Roller elektrisch: $n = 16$, Fahrrad: $n = 20$, Pedelec: $n = 20$, ÖPNV + Laufen: $n = 20$, ÖPNV + Faltrad = 14. Moderate Differenzen zwischen der Hin- und Rückfahrt ließen sich nur bei dem fossilen Pkw und den Rollern beobachten.

Die ÖPNV-Kombinationen sind hoch signifikant ($p < 0,01$ %) bis signifikant (p zwischen 0,01 % und 1 %) langsamer als alle anderen Verkehrsmittel. Am schnellsten war der elektrische Roller. Signifikant langsamer war der fossile Roller am zweitschnellsten. Auf dem dritten Platz sind das Pedelec und der fossile Pkw ohne signifikanten Unterschied. Das Fahrrad und der elektrische Pkw teilen sich ohne signifikanten Unterschied den vierten Platz. Auf dem fünften Platz ist die Verkehrsmittelkombination ÖPNV und Faltrad, letzter wurde ÖPNV und Laufen. Weitere Informationen zu den Differenzen der Geschwindigkeiten der Verkehrsmittel siehe Abb. 72. Für weitere Unterschiede der Signifikanzen siehe Abb. 69.

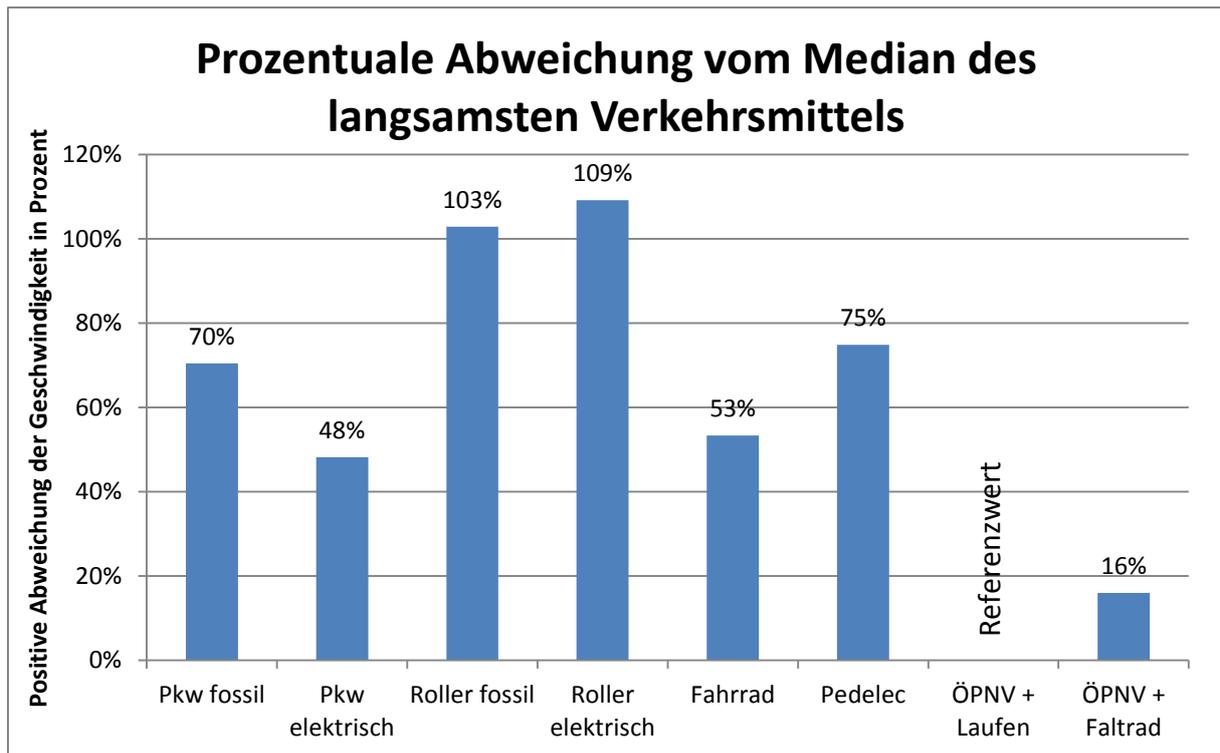


Abb. 72: Prozentuale Differenz zwischen dem langsamsten Verkehrsmittel (ÖPNV und Laufen) und den anderen Verkehrsmitteln

Das schnellste Verkehrsmittel, der elektrische Roller, war um 109 % schneller als die Verkehrsmittelkombination aus ÖPNV und Laufen. Die ÖPNV-Kombinationen untereinander wichen nur um 16 % voneinander ab. Alle anderen Verkehrsmittel waren zwischen 48 % und 103 % schneller als das langsamste Verkehrsmittel. Die durchschnittliche Abweichung aller Verkehrsmittel von der langsamsten Geschwindigkeit von Tür zu Tür betrug 20 %.

Die gesamten Daten des Parameters Zeit in Tabellenform sind unter 12.8.2.1 auf S. 181 einsehbar.

Ranking der Verkehrsmittel nach der Geschwindigkeit von Tür zu Tür

In der Tabelle 20 sind die Verkehrsmittel nach ihrer Geschwindigkeit von Tür zu Tür bewertet. Das schnellste Verkehrsmittel ist auf Platz 1, das langsamste auf Platz 6. Verkehrsmittel teilen sich Platzierungen, wenn zwischen den Ergebnissen keine signifikanten Unterschiede bestanden. Für die Profile der Auswertung wurden den Platzierungen Punktwerte zugeteilt. Die beste Platzierung erhielt zehn Punkte, die schlechteste null Punkte.

Platz	Verkehrsmittel	Anzahl Punkte
1	Roller elektrisch Roller fossil	10
2	Pedelec Pkw fossil	7,5
3	Fahrrad Pkw elektrisch	5
4	ÖPNV + Faltrad	2,5
5	ÖPNV + Laufen	0

Tabelle 20: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter Geschwindigkeit von Tür zu Tür

12.2.2.2. Geschwindigkeit des Hauptverkehrsmittels

Kruskal-Wallis-Test für die mit dem Hauptverkehrsmittel zurückgelegten Streckenabschnitte

Kruskal-Wallis test

H (chi²): 67,75
Hc (tie corrected): 67,75
p(same): 4,205E-12

Mann-Whitney pairwise comparisons,
Bonferroni corrected \ uncorrected:

	Pkw_fossil	Pkw_elektris	Roller_fossil	Roller_elektri	Fahrrad	Pedelec	ÖPNV+_Lai	ÖPNV+_Fal
Pkw_fossil		0,1388	0,6444	0,6674	2,563E-07	0,000161	1,574E-06	9,552E-05
Pkw_elektris	1		0,2662	0,3758	1,037E-05	0,01245	0,0001833	0,00607
Roller_fossil	1	1		0,8653	1,853E-05	0,00484	6,452E-05	0,002405
Roller_elektri	1	1	1		1,389E-05	0,003232	4,922E-05	0,001472
Fahrrad	7,176E-06	0,0002904	0,0005188	0,0003889		0,002799	0,6456	0,003891
Pedelec	0,004507	0,3486	0,1355	0,09048	0,07836		0,02226	0,7003
ÖPNV+_Lai	4,407E-05	0,005133	0,001807	0,001378	1	0,6234		0,08964
ÖPNV+_Fal	0,002675	0,17	0,06735	0,04122	0,1089	1	1	

Abb. 73: Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Geschwindigkeit des Hauptverkehrsmittels mit den P-Werten für die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Nullhypothese

Wie zu erwarten unterschieden sich die Verkehrsmittel Fahrrad, Pedelec und die ÖPNV-Kombinationen von den anderen Verkehrsmitteln (Roller und Pkw) in der Geschwindigkeit signifikant. Für die Verkehrsmittel kann man aufgrund der durch den Kruskal-Wallis-Test nachgewiesenen Unterschiede erkennen, dass es mindestens zwei zusammengehörige Gruppen der Geschwindigkeiten gibt. Die Pkw und Roller sind die schnelleren Verkehrsmittel, die übrigen Verkehrsmittel tendenziell eher langsamer auf der mit dem Hauptverkehrsmittel zurückgelegten Strecke. Innerhalb der langsameren Gruppe gibt es einige signifikante Unterschiede, bei den ÖPNV-Kombinationen jedoch auch einige, die keine signifikanten Unterschiede vorweisen. Zusammenfassend sagen die Ergebnisse des Tests aus, dass es drei Niveaus der Geschwindigkeiten unter den Verkehrsmitteln gibt.

Boxplots der Geschwindigkeit des Hauptverkehrsmittels

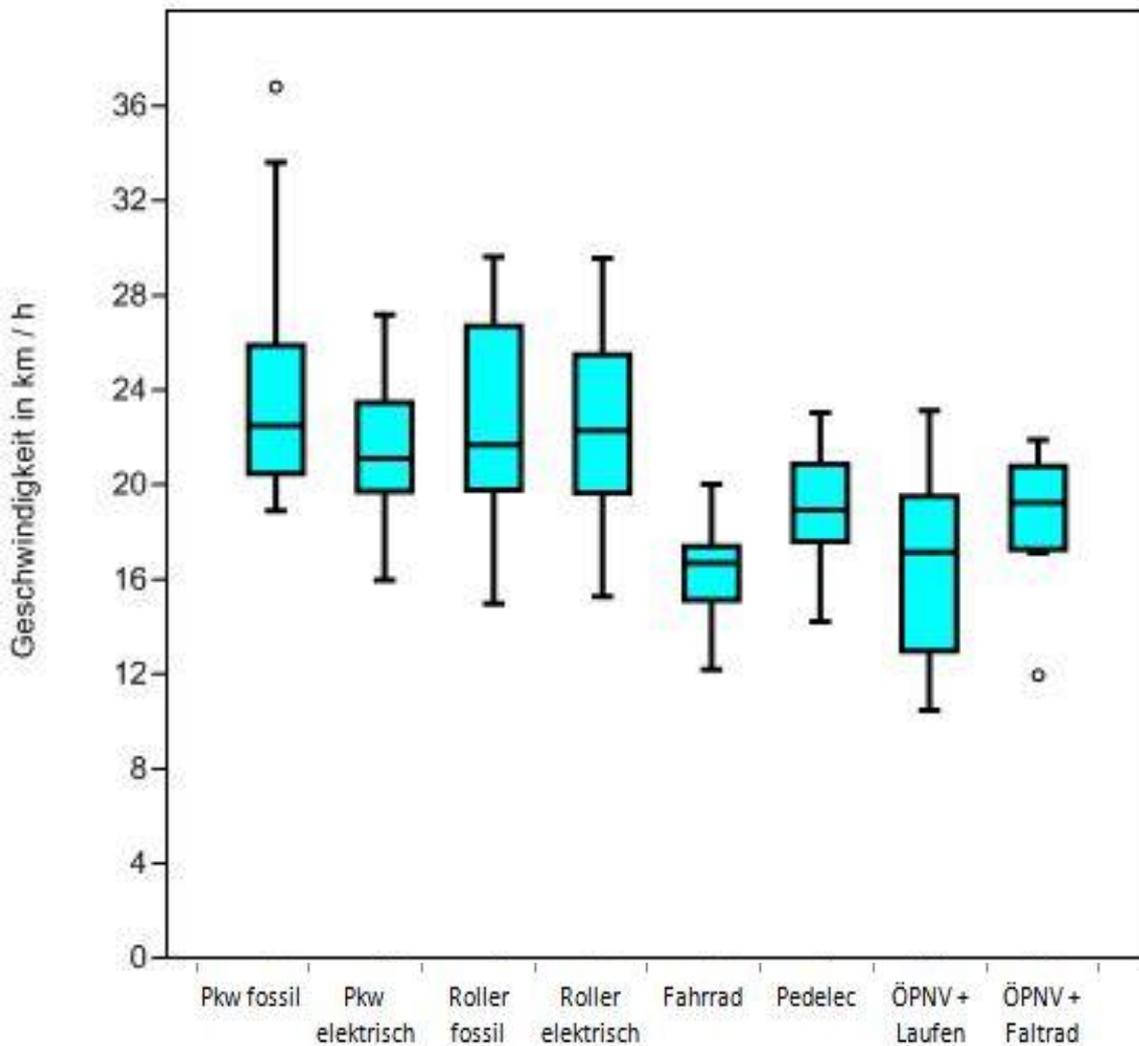


Abb. 74: Boxplots des Parameters Geschwindigkeit des Hauptverkehrsmittels

Der Eindruck des Kruskal-Wallis-Tests bestätigt sich: Die Mediane des Fahrrades und der Kombination aus ÖPNV und Laufen liegen relativ auf gleicher Höhe und bilden somit eine Gruppe (Abb. 74). Mit leicht höher liegenden Medianen grenzen sich das Pedelec und die Kombination aus ÖPNV und Faltrad als weitere langsame Gruppe ab. Die schnelle Gruppe der Roller und Pkw zeichnet sich durch deutlich höher gelegene Mediane aus. Bei dem fossilen Pkw fallen die extrem gestreuten Werte innerhalb des positiven Whiskers sowie ein positiver Ausreißer auf. Auch bei dem elektrischen Pkw, den Rollern sowie bei der Kombination aus ÖPNV und Laufen ist die starke Streuung der 50 %-Werte um den Median besonders auffällig. Den höchsten Maximalwert für die mittlere Geschwindigkeit hat der fossile Pkw mit ca. 37 km/h, den kleinsten Minimalwert die Kombination aus ÖPNV und Laufen mit ca. 11 km/h. Bei dem Median der Verkehrsmittelkombination ÖPNV und Laufen fällt die starke Verteilungsasymmetrie in Richtung des ersten Quartils auf. Beim Pedelec und dem elektrischen Pkw geht die Asymmetrie in Richtung des dritten Quartils.

Diagramme für den direkten Datenvergleich der Geschwindigkeiten im Hauptverkehrsmittel

In den folgenden zwei Diagrammen werden die Ergebnisse für den Parameter Geschwindigkeit des Hauptverkehrsmittels vorgestellt und in Relation zueinander gestellt.

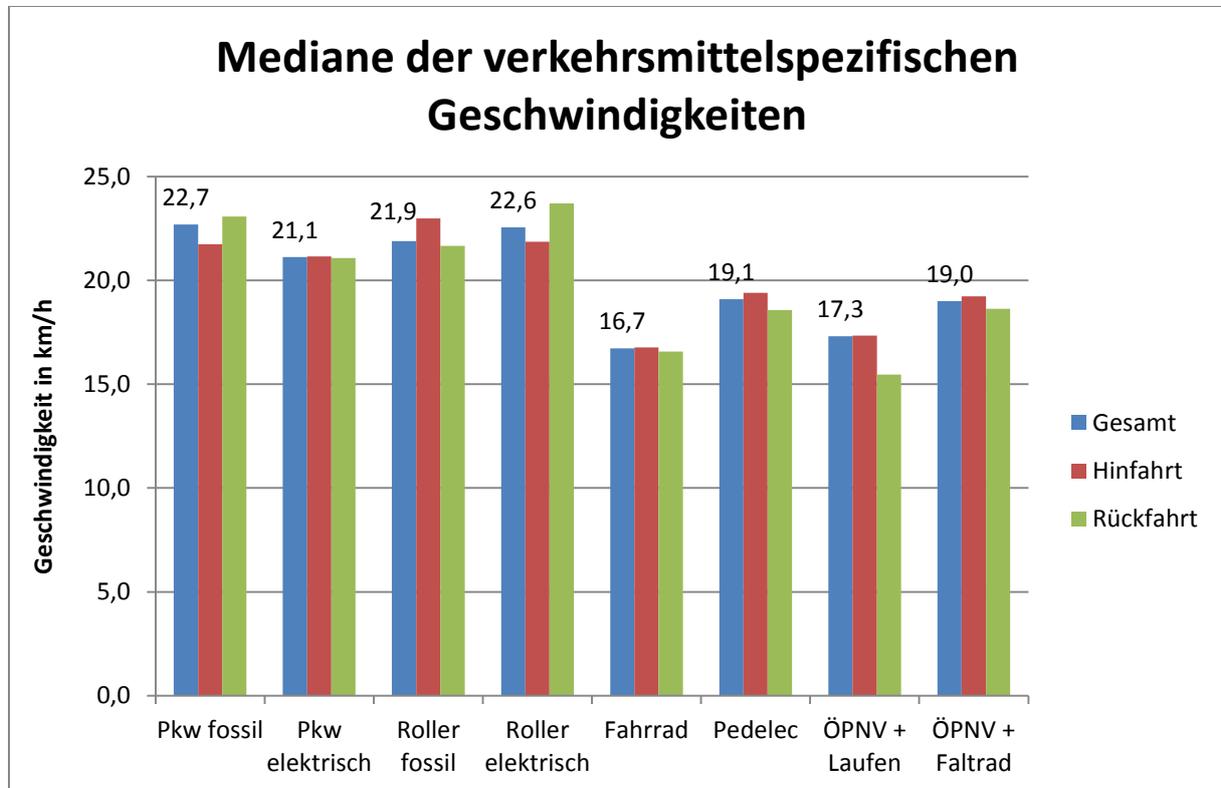


Abb. 75: Mediane der Geschwindigkeiten des Hauptverkehrsmittels

Die Mediane wurden aus folgender Anzahl Daten berechnet: Pkw fossil: $n = 20$, Pkw elektrisch: $n = 16$, Roller fossil: $n = 16$, Roller elektrisch: $n = 16$, Fahrrad: $n = 20$, Pedelec: $n = 20$, ÖPNV + Laufen: $n = 20$, ÖPNV + Faltrad = 14. Bei allen Verkehrsmitteln ließen sich leichte bis moderate Unterschiede zwischen der Hin- und Rückfahrt beobachten, außer beim elektrischen Pkw und dem Fahrrad.

Den ersten Platz teilen sich die Roller und die Pkw, da der Unterschied in den Geschwindigkeiten zwischen diesen vier Verkehrsmitteln nicht signifikant ist. Die Kombination aus ÖPNV und Faltrad unterscheidet sich nicht signifikant von dem Pedelec, daher bilden beide zusammen den zweiten Platz. Zwar unterscheiden sich die ÖPNV-Kombinationen untereinander auch nicht signifikant, jedoch ist die Kombination aus ÖPNV und Laufen sehr viel näher an dem Wert des Fahrrads als an der Kombination mit dem Faltrad. Der dritte und gleichzeitig letzte Platz wird demnach vom Fahrrad und der Kombination aus ÖPNV und Laufen belegt. Weitere Informationen zu den Differenzen der Verkehrsmittel-Geschwindigkeiten siehe Abb. 76.

Mithilfe eines Vergleichs der Geschwindigkeit von Tür zu Tür und der Geschwindigkeit des Hauptverkehrsmittels ließen sich in *Kapitel 8* ab S. 62 Informationen zur Dauer der Anpassung an die Handhabung neuer Verkehrsmittel gewinnen.

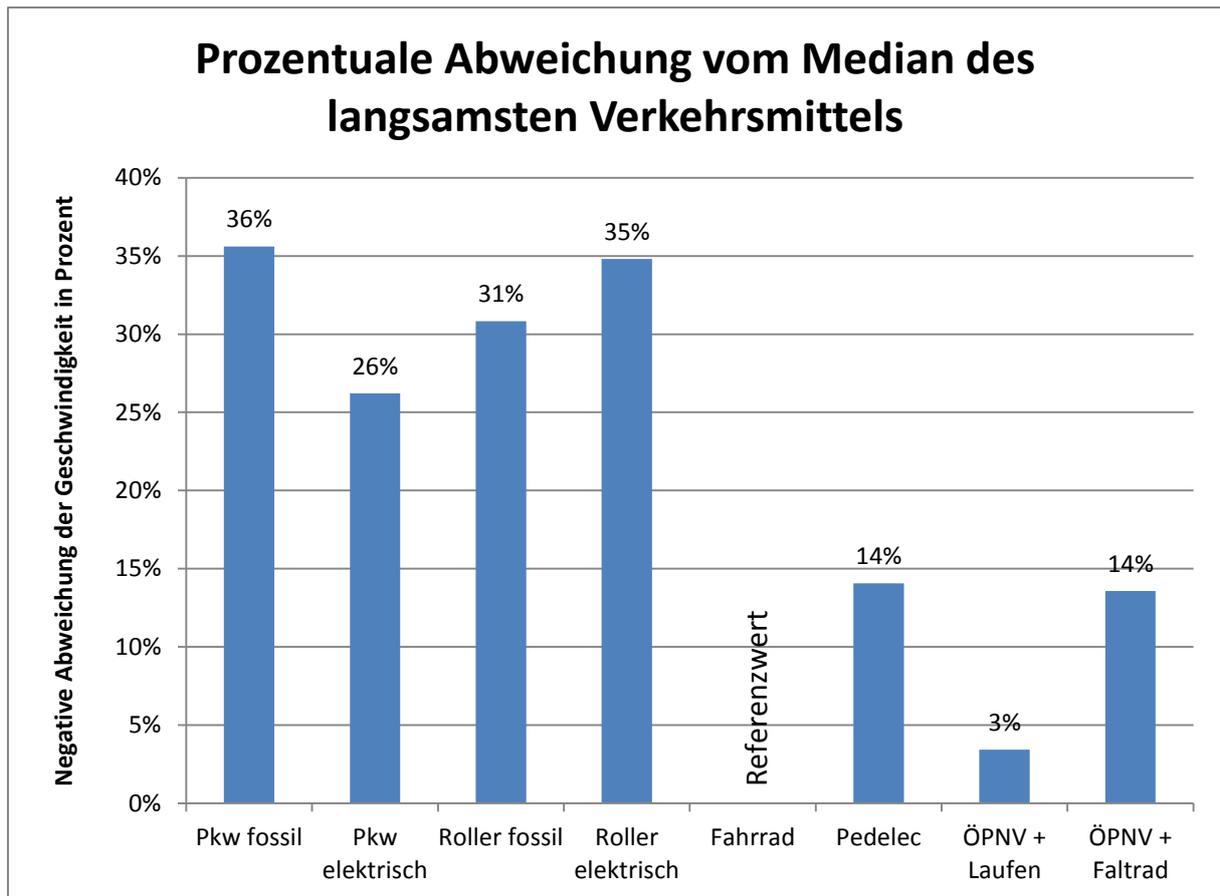


Abb. 76: Prozentuale Differenz zwischen dem Hauptverkehrsmittel mit dem geringsten Geschwindigkeits-Median (Fahrrad) und den anderen Verkehrsmitteln

In den Abweichungen lassen sich wieder sehr gut die drei Geschwindigkeitsgruppen unterscheiden. Die schnellste Gruppe aus beiden Pkw und Roller mit einer Abweichung vom Fahrrad zwischen 26 – 36 %. Die Gruppe der mittleren Geschwindigkeit mit dem Pedelec und der Kombination aus ÖPNV und Faltrad mit einer Abweichung von 14 %. Die langsamste Gruppe des Fahrrads und der Kombination aus ÖPNV und Laufen mit einer sehr geringen Abweichung zueinander von 3 %. Die durchschnittliche Abweichung aller Verkehrsmittel vom schnellsten Wert beträgt 20 %.

Die gesamten Daten des Parameters Zeit in Tabellenform sind unter 12.8.2.2, S. 182 einsehbar.

Ranking der Verkehrsmittel nach der Geschwindigkeit des Hauptverkehrsmittels

In der Tabelle 21 sind die Verkehrsmittel nach Ihrem Ergebnis im Parameter Geschwindigkeit des Hauptverkehrsmittels bewertet. Die schnellsten Verkehrsmittel sind auf Platz 1, die langsamsten auf Platz 3. Verkehrsmittel teilen sich Platzierungen, wenn zwischen den Ergebnissen keine signifikanten Unterschiede bestanden. Für die Profile der Auswertung wurden den Platzierungen Punktwerte zugeteilt. Die beste Platzierung erhielt zehn Punkte, die schlechteste null Punkte.

Platz	Verkehrsmittel	Anzahl Punkte
1	Roller fossil Roller elektrisch Pkw fossil Pkw elektrisch	10
2	Pedelec ÖPNV und Faltrad	5
3	Fahrrad ÖPNV und Laufen	0

Tabelle 21: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter Verkehrsmittel-Geschwindigkeit

12.2.3. Kosten

Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Kosten

 Kruskal-Wallis test

H (chi²): 136,4
Hc (tie corrected): 136,9
p(same): 2,301E-26

Mann-Whitney pairwise comparisons,
Bonferroni corrected \ uncorrected:

	Pkw_fossil	Pkw_elektris	Roller_fossil	Roller_elektri	Fahrrad	Pedelec	ÖPNV_+_La	ÖPNV_+_Fal
Pkw_fossil		6,134E-05	3,792E-07	3,76E-07	6,385E-08	6,541E-08	7,977E-09	1,039E-06
Pkw_elektris	0,001718		2,194E-06	2,169E-06	5,573E-07	5,749E-07	3,124E-08	4,752E-06
Roller_fossil	1,062E-05	6,144E-05		1,515E-06	3,539E-07	3,645E-07	2,427E-08	3,506E-06
Roller_elektri	1,053E-05	6,072E-05	4,241E-05		3,508E-07	3,613E-07	2,397E-08	3,462E-06
Fahrrad	1,788E-06	1,56E-05	9,908E-06	9,822E-06		6,179E-08	7,41E-09	9,627E-07
Pedelec	1,832E-06	1,61E-05	1,02E-05	1,012E-05	1,73E-06		6,912E-07	1,417E-06
ÖPNV_+_La	2,234E-07	8,746E-07	6,796E-07	6,712E-07	2,075E-07	1,935E-05		4,468E-08
ÖPNV_+_Fal	2,909E-05	0,0001331	9,816E-05	9,694E-05	2,696E-05	3,968E-05	1,251E-06	

Abb. 77: Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Kosten mit den P-Werten für die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Nullhypothese

Die Kosten pro Strecke aller Verkehrsmittel unterscheiden sich signifikant voneinander. Das Ranking der Verkehrsmittel nach Kosten wird demnach eindeutig sein. Desweiteren sind die Zahlen in den Feldern sehr klein, d.h. die Irrtumswahrscheinlichkeiten für einen signifikanten Unterschied sind sehr gering, demnach werden Unterschiede deutlich erkennbar sein.

Boxplots der Kosten

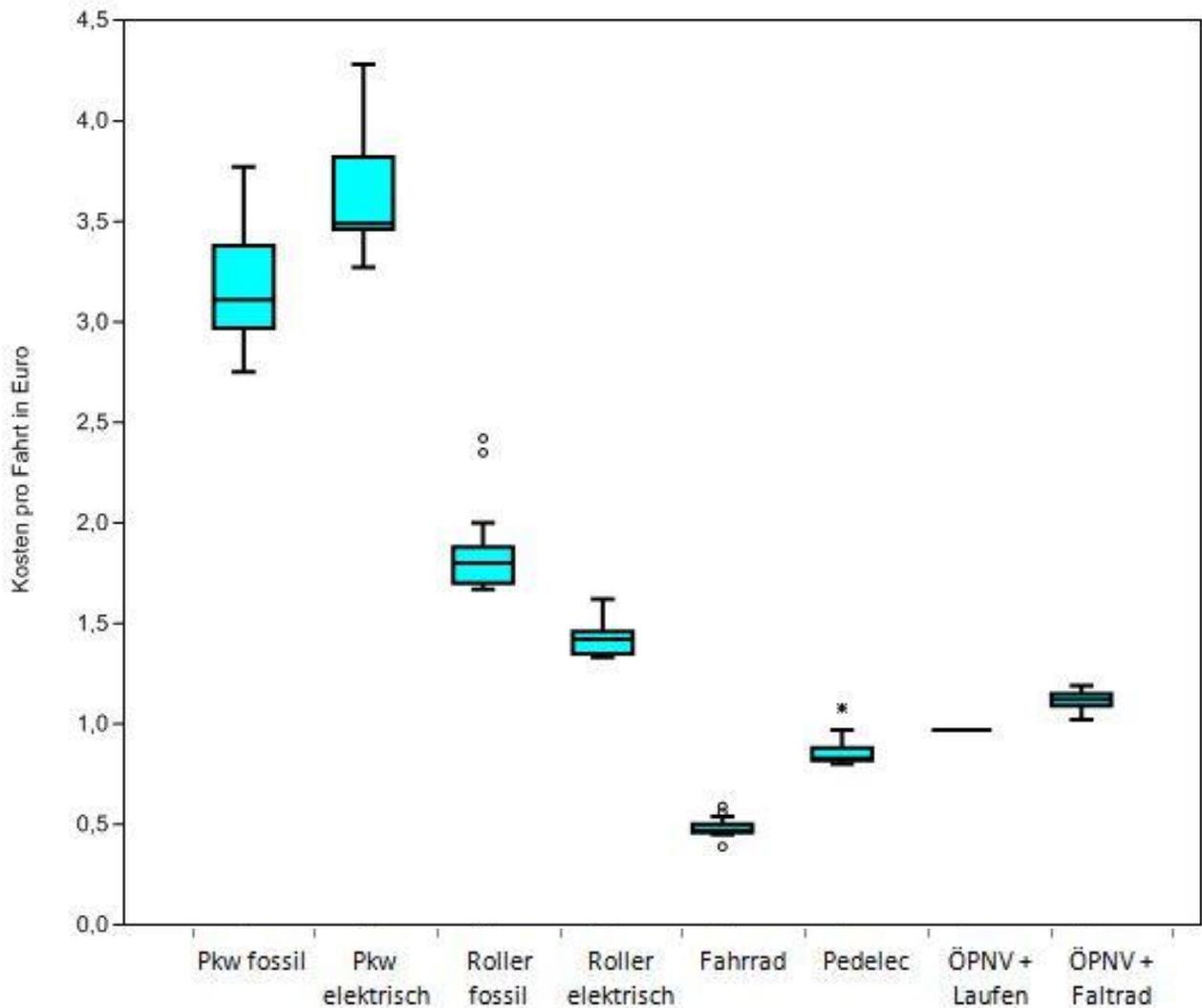


Abb. 78: Boxplots des Parameters Kosten

Die Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests lassen sich anschaulich in Boxplots darstellen (Abb. 78). Die Mediane und Verteilungen der beiden Pkw unterscheiden sich sehr stark von denen der anderen Verkehrsmittel. Die Unterschiede sind auf den ersten Blick zwar zwischen einigen Verkehrsmitteln nicht sehr groß, jedoch muss auch die Streuung der Werte in die Abwägung mit einbezogen werden. Diese ist bei den betreffenden Verkehrsmitteln sehr gering und macht den Abstand damit bedeutender. Die mittleren Kosten pro Fahrt der Pkw werden eindeutig höher sein als die der anderen Verkehrsmittel. Die Streuung der Kosten pro Fahrt bei den Pkw ist sehr hoch, dies hängt mit einem fahrtspezifischen Kraftstoffverbrauch und einer ggf. längeren Strecke und den damit leistungsabhängig verteilten Kosten zusammen. Keiner der Mediane liegen auf gleicher Höhe, da sich alle signifikant von den anderen unterscheiden. Obwohl nur sehr geringe Differenzen zwischen den Medianen bestehen, sind alle unterschiedlich, da eine sehr geringe Streuung bei den meisten Medianen sehr gering ist. Besonders fällt dies beispielsweise bei der Verkehrsmittelkombination ÖPNV und Laufen oder dem Fahrrad auf. Bei den Pkw fällt weiterhin eine starke Asymmetrie der Datenverteilung in den Boxen auf. Die Daten der unteren Quartile sind - besonders bei dem elektrischen Pkw - stark komprimiert um den Median, in diesen Preisbereichen befindet sich demnach ein Datenschwerpunkt der Beobachtungen.

Diagramme für den direkten Datenvergleich der Kosten

In den folgenden zwei Diagrammen werden die Ergebnisse für den Parameter Kosten vorgestellt und in Relation zueinander gestellt.

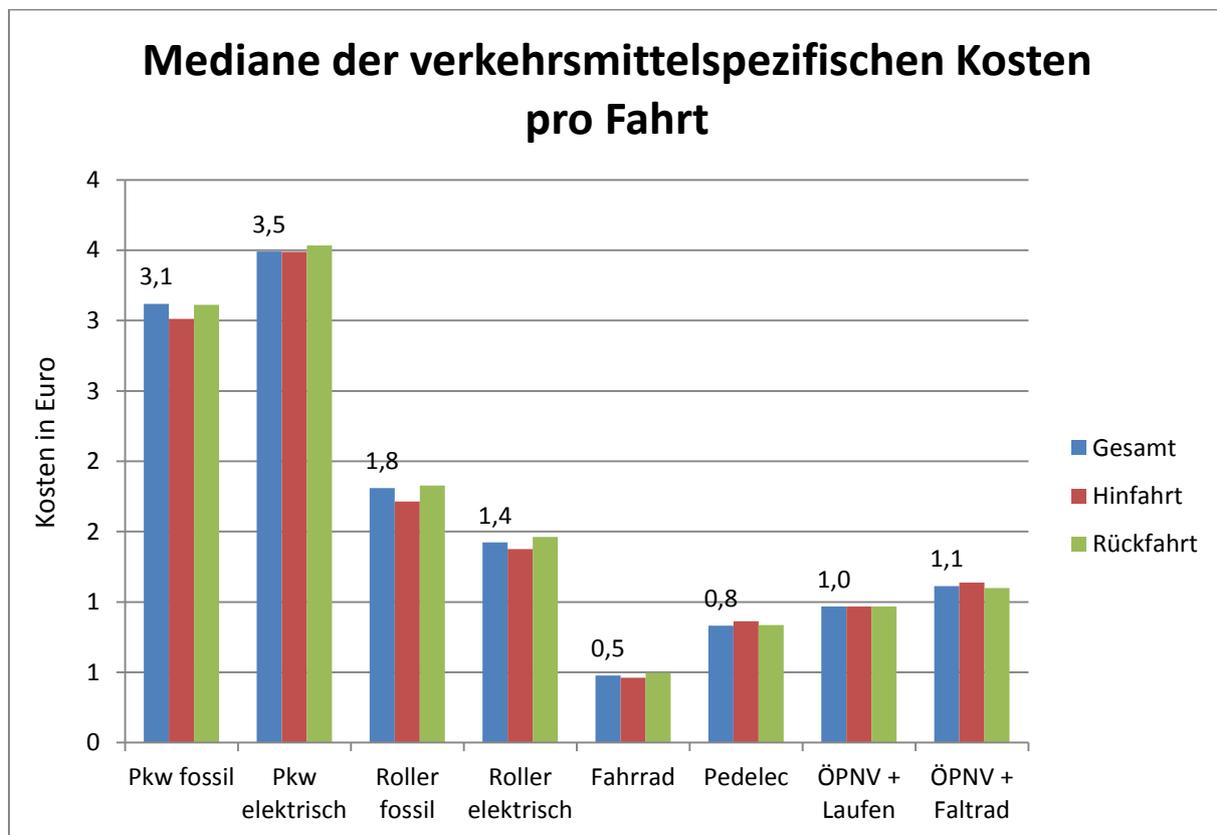


Abb. 79: Mediane der verkehrsmittelspezifischen Kosten pro Fahrt

Die Mediane wurden aus folgender Anzahl Daten berechnet: Pkw fossil: $n = 20$, Pkw elektrisch: $n = 15$, Roller fossil: $n = 16$, Roller elektrisch: $n = 16$, Fahrrad: $n = 20$, Pedelec: $n = 20$, ÖPNV + Laufen: $n = 20$, ÖPNV + Faltrad = 14. Eine moderate Differenz zwischen der Hin- und Rückfahrt konnte nur bei den Pkw festgestellt werden.

Mit 50 Cent pro Fahrt nimmt das Fahrrad den ersten Platz im Ranking ein. Als günstigstes motorisiertes Verkehrsmittel kommt das Pedelec auf Platz zwei. Da alle Verkehrsmittel signifikant unterschiedlich zueinander sind, geht die Reihenfolge der Platzierungen vom dritten zum letzten Platz wie folgt weiter: dritter Platz: ÖPNV und Laufen, vierter ist der ÖPNV mit Faltrad, fünfter ist der elektrische Roller, sechster der fossile Roller, siebter der fossile Pkw und letzter der elektrische Pkw. Weitere Informationen zu den Differenzen der Kosten siehe Abb. 80.

Die starken Unterschiede zwischen den Verkehrsmitteln, aber auch zwischen der fossilen und elektrischen Variante eines Verkehrsmittels, beruhen auf der spezifischen Kostenzusammensetzung aus fixen und variablen Kosten. Ab einer bestimmten Laufleistung sind die Kosten der elektrischen Varianten mit hohen Fixkosten und geringen variablen Kosten geringer als die der fossilen Verkehrsmittel. Im *Kapitel 9.5.10* auf S. 104 wird die verkehrsmittelspezifische Kostenzusammensetzung analysiert und Aussagen zu den Schwellenwerten der Laufleistung getroffen.

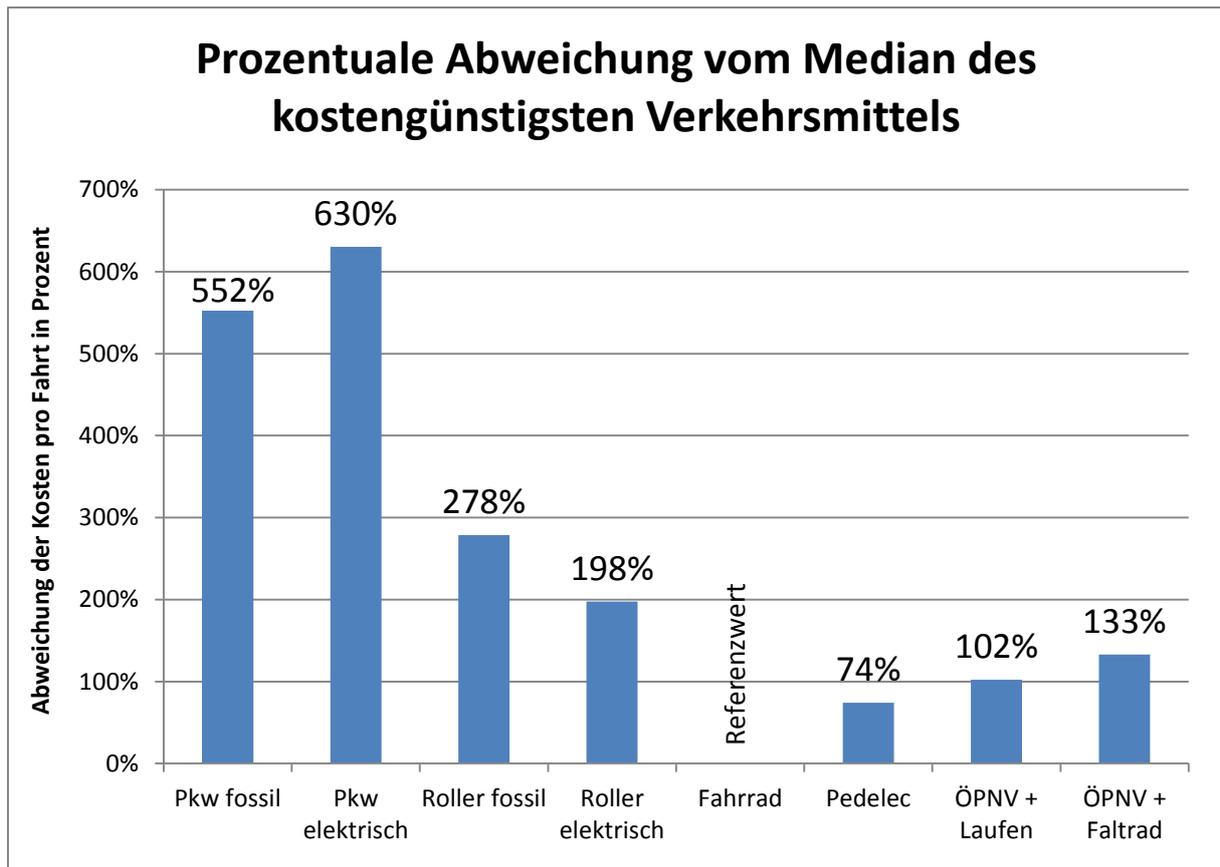


Abb. 80: Prozentuale Differenz zwischen dem kostengünstigsten Verkehrsmittel (Fahrrad) und den anderen Verkehrsmitteln

Die Verkehrsmittel können entsprechend ihrer Abweichung in zwei Gruppen gesehen werden: Die Gruppe eins der Pkw weicht um 552 % - 630 % von den Kosten des Fahrrads pro Strecke ab. Eine Fahrt in dem elektrischen Pkw ist 7 Mal so teuer wie mit dem Fahrrad. Bei dem fossilen Pkw ist es ein Faktor von über 6 Mal. Die zweite Gruppe aus den restlichen Verkehrsmitteln weicht moderat um 74 % - 278 % ab. Die mittlere Abweichung aller Verkehrsmittel von dem kostengünstigsten Wert beträgt 165 %.

Die gesamten Daten des Parameters Kosten in Tabellenform sind unter 12.8.3 auf S. 183 einsehbar.

Ranking der Verkehrsmittel nach den Kosten

In der Tabelle 22 sind die Verkehrsmittel nach Ihrem Ergebnis im Parameter Kosten bewertet. Das kostengünstigste Verkehrsmittel ist auf Platz 1, das teuerste auf Platz 8. Für die Profile der Auswertung wurden den Platzierungen Punktwerte zugeteilt. Die beste Platzierung erhielt zehn Punkte, die schlechteste null Punkte.

Platz	Verkehrsmittel	Anzahl Punkte
1	Fahrrad	10
2	Pedelec	8,57
3	ÖPNV und Laufen	7,15
4	ÖPNV und Faltrad	5,72
5	Roller elektrisch	4,29
6	Roller fossil	2,86
7	Pkw fossil	1,43
8	Pkw elektrisch	0

Tabelle 22: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter Kosten

12.2.4. Bewegung von Tür zu Tür

Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Bewegung

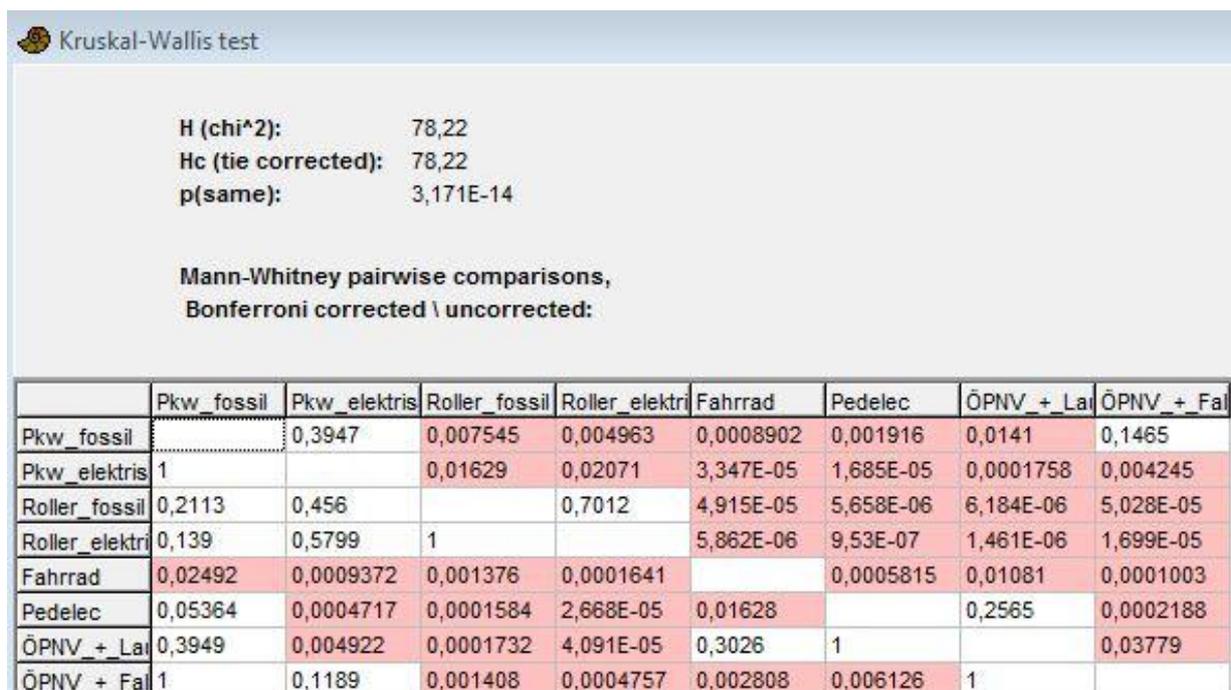


Abb. 81: Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Bewegung von Tür zu Tür mit den P-Werten für die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Nullhypothese

Die Abb. 81 zeigt, dass sich die Bewegung pro Strecke bei den meisten Verkehrsmitteln signifikant unterscheidet. Nicht signifikant unterschiedlich sind die Pkw zueinander, der Pkw fossil und die Kombination aus ÖPNV und Laufen sowie ÖPNV und Laufen zu Pedelec. Desweiteren sind die Zahlen in den Feldern tendenziell eher geringer, d.h. die Irrtumswahrscheinlichkeiten für einen signifikanten Unterschied sind sehr gering, demnach wird ein Unterschied deutlich erkennbar sein.

Boxplots der Bewegung

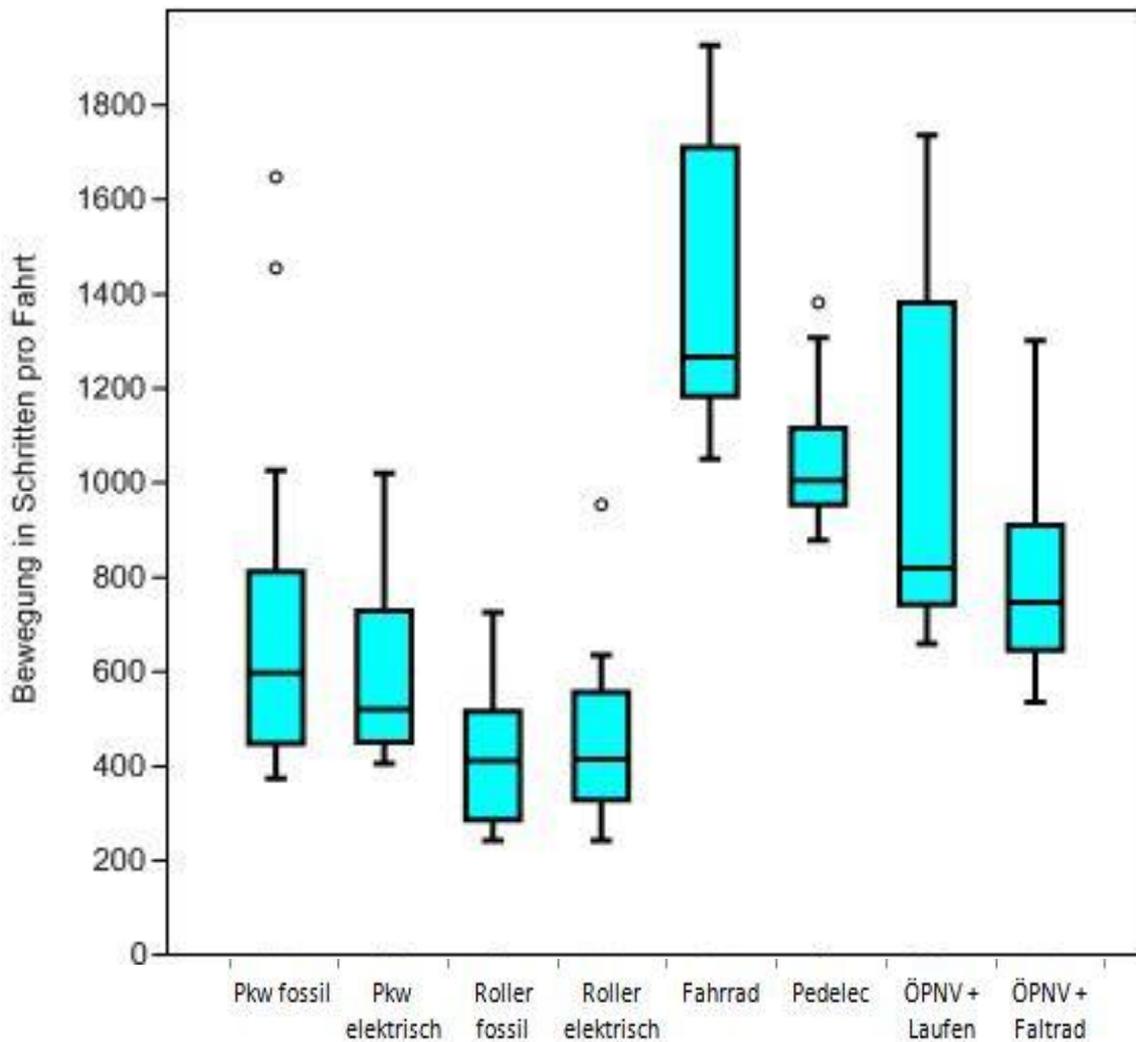


Abb. 82: Boxplots des Parameters Bewegung

Die Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests lassen sich anschaulich in Boxplots darstellen (Abb. 82). Insgesamt weisen die Daten - speziell des Fahrrads und der Kombination aus ÖPNV und Laufen - eine sehr große Streuung auf. Die Mediane und Verteilungen der Pkw untereinander und der Roller untereinander sind sich sehr ähnlich. Bei dem fossilen Pkw fallen zwei Ausreißer in positiver Richtung auf, die den Median leicht nach oben verschieben. Beim Fahrrad und der Kombination aus ÖPNV und Laufen besitzen die Daten eine hohe Streuung. Dies zeugt davon, dass es mehrere Wege an das Ziel gab, die sich in ihrer Bewegungsintensität unterschieden. Weiter zeigt die nur geringfügig tiefere Lage sowie die große Schnittmenge der Kombination aus ÖPNV und Laufen mit dem Fahrrad, wie viel mehr Bewegungsenergie Laufen gegenüber Fahrradfahren inklusive der Phasen des Sich-Rollen-Lassens beinhaltet. Die Daten des Pedelec haben eine geringe Streuung, was an der Trittkraftunterstützung durch den Elektromotor liegt. Die Median der Kombination aus ÖPNV und Faltrad liegt nur wenig unter dem der Kombination ÖPNV und Laufen.

Diagramme für den direkten Datenvergleich der Bewegung

In den folgenden drei Diagrammen werden die Ergebnisse für den Parameter Bewegung vorgestellt und in Relation zueinander gestellt.

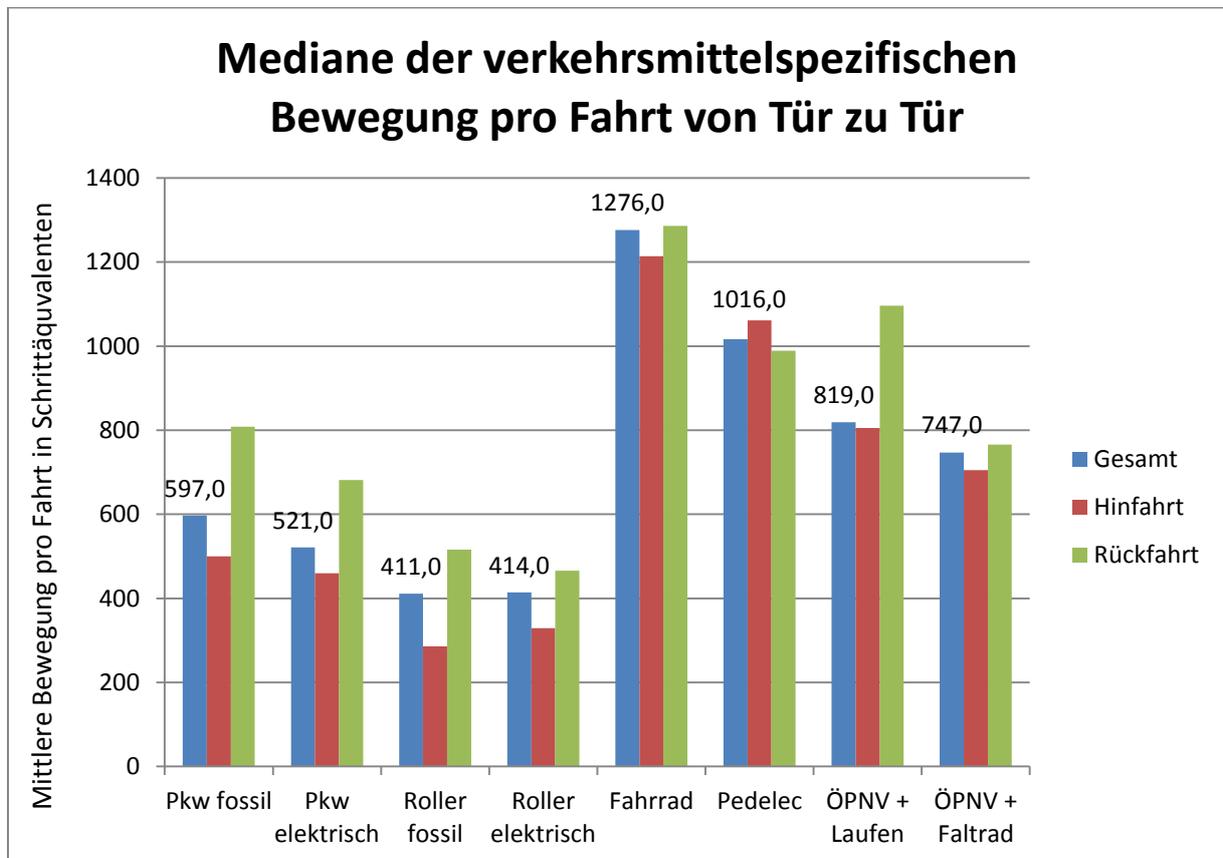


Abb. 83: Mediane der verkehrsmittelspezifischen Bewegung pro Fahrt von Tür zu Tür

Die Mediane wurden aus folgender Anzahl Daten berechnet: Pkw fossil: $n = 15$, Pkw elektrisch: $n = 14$, Roller fossil: $n = 13$, Roller elektrisch: $n = 18$, Fahrrad: $n = 16$, Pedelec: $n = 16$, ÖPNV + Laufen: $n = 17$, ÖPNV + Faltrad = 15. Eine Differenz zwischen der Hin- und Rückfahrt konnte bei allen Verkehrsmitteln festgestellt werden, besonders stark war diese Differenz bei den Pkw, den Rollern und der Kombination aus ÖPNV und Laufen. Nachfolgend wurde zur Interpretation das arithmetische Mittel gegenüber dem Median vorgezogen, da bei der Berechnung des Mittelwerts die Diskrepanz zwischen der Hin- und Rückfahrt geringer angezeigt wurde (Abb. 84).

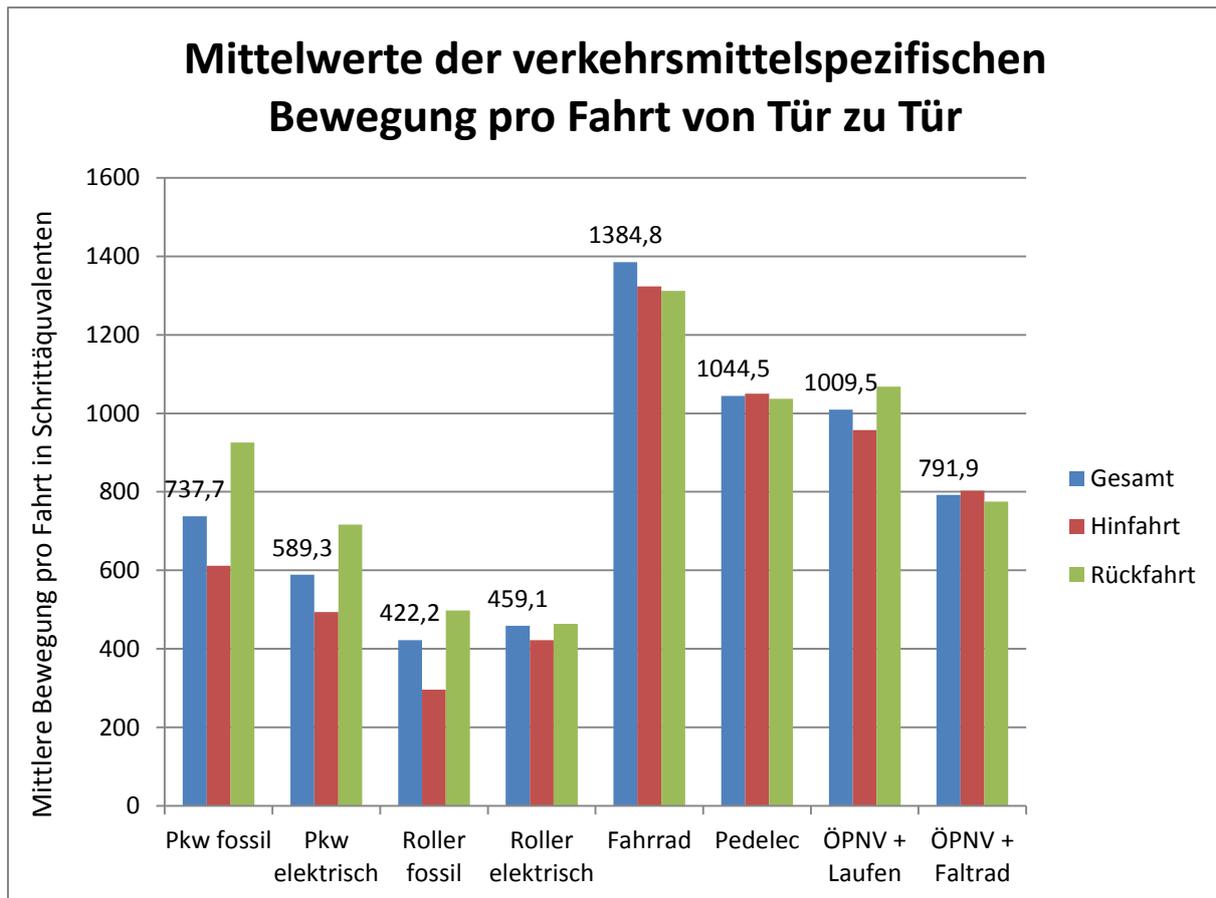


Abb. 84: Mittelwerte der verkehrsmittelspezifischen Bewegung pro Fahrt von Tür zu Tür

Im Mittelwert sind die Werte insgesamt etwas höher, an der relativen Lage zueinander hat sich jedoch bis auf eine überproportionale Steigerung der Werte von ÖPNV und Laufen nichts geändert. Die Mittelwerte vom Pedelec und der Kombination aus ÖPNV und Laufen werden fast gleich angezeigt. Dies deckt sich mit den Ergebnissen des Kruskal-Wallis-Tests, der beiden Verkehrsmitteln aufgrund ihrer Datenverteilung keinen signifikanten Unterschied nachgewiesen hat,

Zur Bewertung der Bewegung lassen sich die Ergebnisse grob in zwei Gruppen einteilen. Der bewegungsintensivsten Gruppe gehört auf dem ersten Platz nur das Fahrrad an, Pedelec und die Kombination aus ÖPNV und Laufen belegen den zweiten Platz. Die tendenziell eher bewegungsärmere dritte Gruppe besteht aus der Kombination ÖPNV und Faltrad sowie den beiden Pkw. Dieser nicht signifikante Unterschied zwischen den drei Verkehrsmitteln kommt von der großen Streuung der verkehrsmittelspezifischen Bewegungsdaten (Abb. 82, S. 138). Der vierte und damit letzte Platz wird durch die beiden Roller belegt. Weitere Informationen zu den Differenzen der Bewegung siehe Abb. 85.

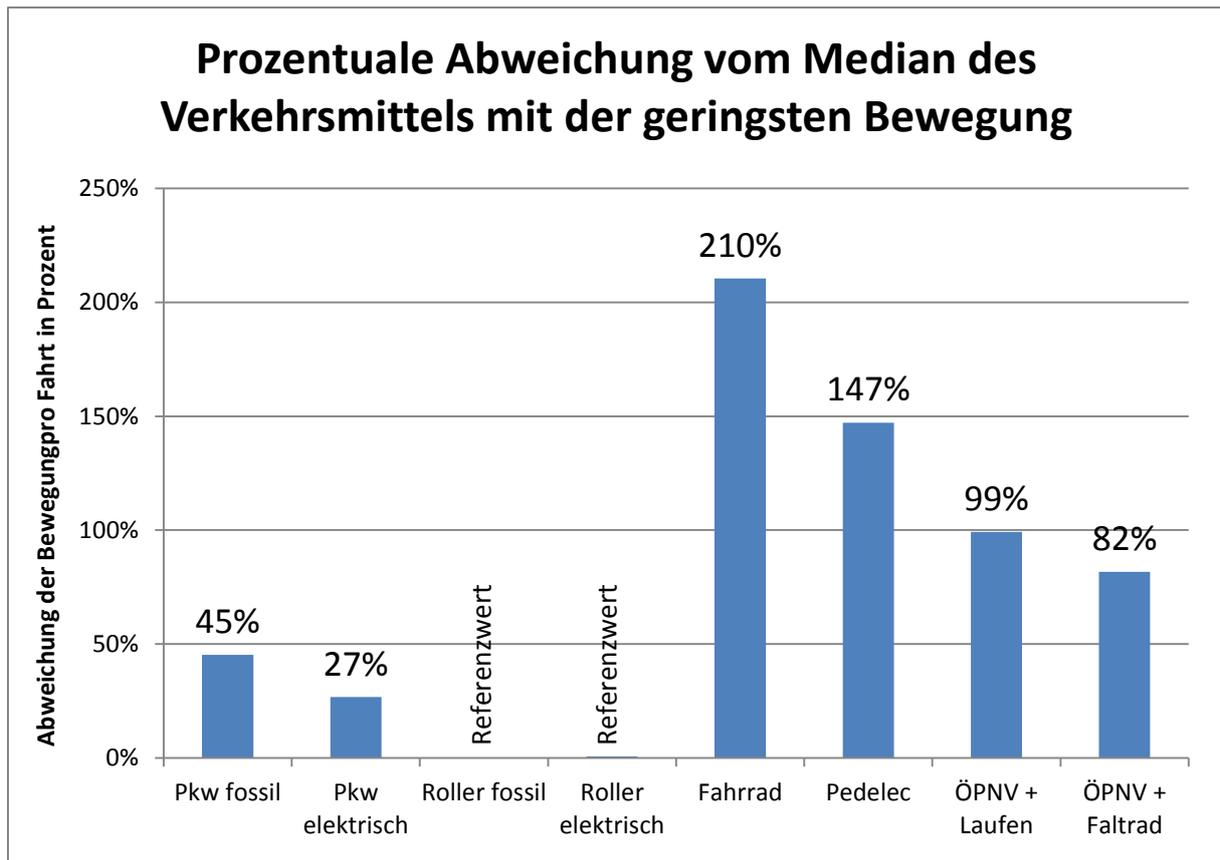


Abb. 85: Prozentuale Differenz zwischen den Verkehrsmitteln mit der geringsten Bewegung (beide Roller) und den anderen Verkehrsmitteln

Den geringsten prozentualen Unterschied hat der elektrische Pkw mit 27 %, den größten das Fahrrad mit 208 %. Die Abweichungen aller anderen Verkehrsmittel bewegen sich zwischen 45 – 147 %.

Die gesamten Daten des Parameters Bewegung in Tabellenform sind unter 12.8.4 auf S. 184 einsehbar.

Ranking der Verkehrsmittel nach der Bewegung

In der Tabelle 23 sind die Verkehrsmittel nach Ihrem Ergebnis im Parameter Bewegung bewertet. Das bewegungsreichste Verkehrsmittel ist auf Platz 1, die bewegungsärmsten auf Platz 4. Für die Profile der Auswertung wurden den Platzierungen Punktwerte zugeteilt. Die beste Platzierung erhielt zehn Punkte, die schlechteste null Punkte.

Platz	Verkehrsmittel	Anzahl Punkte
1	Fahrrad	10
2	Pedelec ÖPNV + Laufen	6,66
3	ÖPNV + Faltrad Pkw fossil Pkw elektrisch	3,33
4	Roller elektrisch Roller fossil	0

Tabelle 23: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter Bewegung

12.2.5. Stress

Um die Stresswirkung der Verkehrsmittel richtig bewerten zu können, wurden zwei verschiedene Werte ermittelt, die zueinander in Beziehung gesetzt werden:

- (1) Der Stressbelastung pro Minute ermöglicht die verkehrsmittelspezifische Bewertung der mittleren Stressbelastung. Zwecks zeitlicher Normierung wurden die absoluten Stresswerte - errechnet aus der Anzahl und ihrer jeweiligen Stressintensität - durch die Fahrzeit dividiert. Eine längere Fahrt erzeugt auch mehr Stressmomente. Dieser Effekt wird durch die unterschiedlichen Fahrzeiten hervorgerufen und nicht direkt durch die Verkehrsmittel. Die zeitliche Normierung ermöglicht eine von der Fahrdauer unabhängige Bewertung der Verkehrsmittel.
- (2) Der Stress-Korrelationswert zeigt die Entwicklung der Stressbelastung während der Phasen an. Mithilfe dieses Indikators lässt sich beurteilen, ob ein Verkehrsmittel mit zunehmender Fahrzeit mehr Stress verursacht.

In der Messung wirkten sich viele verschiedene Ursachen auf die Stressbelastung aus:

- das Verkehrsmittel mit seinen Besonderheiten und ggfs. Unbekanntheiten
- die Strecke mit ihren überschaubaren und auch gefährlicheren Abschnitten
- mögliche Gefahrensituationen mit und ohne anderen Verkehrsteilnehmern
- die Stressbelastung der Teilnehmer, die sich aus Ereignissen vor und nach der Testfahrt ergeben
- der Umgang der einzelnen Testpersonen mit Stress.

Weil der im Versuch gemessene Stress vielen Einflussfaktoren unterliegt, ist zu erwarten gewesen, dass die Werte eine deutlich stärkere, weniger von den Verkehrsmitteln abhängige Streuung aufweisen.

12.2.5.1. Stressbelastung pro Minute

Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Stressbelastung pro Minute

Die TeilnehmerInnen haben bei den Fahrten mit den verschiedenen Verkehrsmitteln in Ihren Stress-Reaktionen sehr unterschiedlich reagiert. Der Kruskal-Wallis-Test zeigte keine signifikanten Unterschiede, da die Streuung der Werte im positiven und negativen Bereich sehr hoch ist. Aufgrund der kleinen Stichprobe des *Schweriner Versuchs* lassen sich die Unterschiede nicht signifikant nachweisen. Wegen der geringen Signifikanz ist jedoch der Median als Lageparameter sehr geeignet, um tendenzielle Unterschiede zwischen den Verkehrsmitteln des Versuchs zu identifizieren. In der folgenden Stress-Auswertung wurden daher Verkehrsmittel in ihrer Stressbelastung als unterschiedlich gesehen, wenn die Mediane um 0,2 oder mehr voneinander abweichen.

Boxplots der Stressbelastung pro Minute

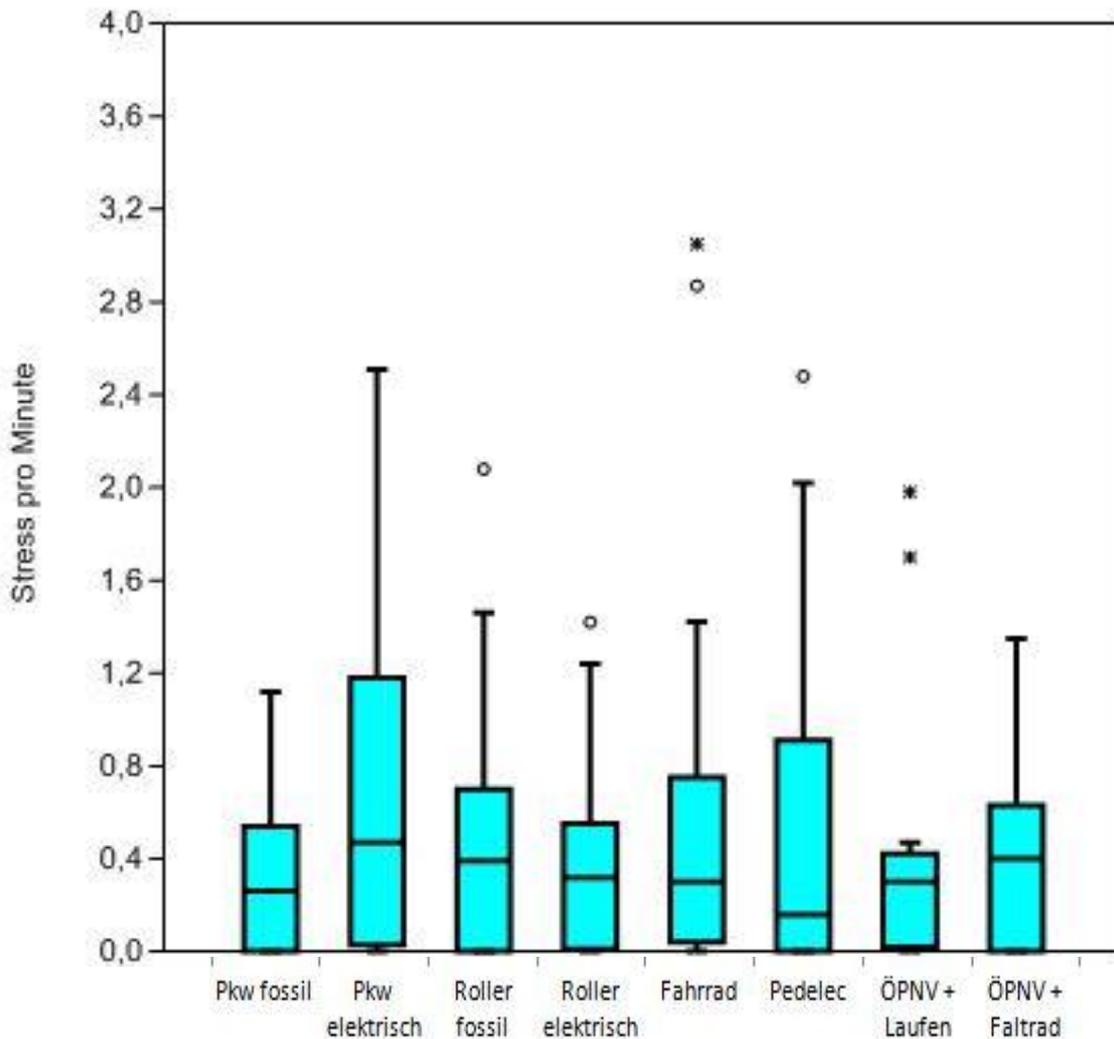


Abb. 86: Boxplots des Parameters Stressbelastung pro Minute

Auffällig in der Darstellung ist, dass sich die Boxen aller Verkehrsmittel überlappen. Dies ist darin begründet, dass der Nullwert keinen Stress während der Fahrt bedeutet. Bei allen Verkehrsmitteln, außer dem Fahrrad und dem elektrischen Pkw liegen 25 % der Daten (der untere Whisker) auf null, also ohne Stress. Der Median liegt beim Pedelec am tiefsten, dort hatten demnach die TeilnehmerInnen bei 50 % der FahrerInnen keinen oder sehr geringen Stress. Den höchsten Median hat der elektrische Pkw. Insgesamt fällt eine sehr hohe Streuung bei allen Verkehrsmitteln auf. Des Weiteren sind geringe und extreme Ausreißer bei den Rollern, dem Pedelec und der Kombination aus ÖPNV und Faltrad zu beobachten. Die TeilnehmerInnen haben sehr unterschiedliche Stressreaktionen während der Fahrt gezeigt, daher sind die Streuung und die Ausreißer für diese Messung nichts Ungewöhnliches.

Die Fahrten mit den höchsten Stresswerten je Verkehrsmittel (Abb. 86) wurden durch Sichtung der Videoaufnahmen und Abgleich mit den Fragebögen vertieft analysiert. Vermutungen über Ausreißer in den Ergebnissen konnten somit begründet werden. Dabei wurde festgestellt, dass der höchste Stresswert des fossilen Pkw vermutlich aufgrund von zähfließendem Verkehr und Stau zustande kam. Während der Ausreißer-Fahrt mit dem elektrischen Pkw stand der Teilnehmer bzw. die Teilnehmerin unter starkem Zeitdruck. Dies wird als Grund für die hohe Stressbelastung während der Fahrt vermutet. Nach Angaben des Fahrers bzw. der

Fahrerin des elektrischen Rollers resultierte die hohe Stressbelastung in der Ausreißerfahrt durch Kälte, Stau und das schlechte Fahrgefühl auf Kopfsteinpflaster. Beide Ausreißer des Fahrrads sind vermutlich aufgrund der Streckenwahl aufgetreten. Der Teilnehmer bzw. die Teilnehmerin mit der höchsten Stressbelastung ist auf einer verwinkelten Seitenstraße statt auf der Hauptstraße gefahren, die als Einbahnstraße in der Fahrtrichtung des Fahrers bzw. der Fahrerin nur für Fahrräder freigegeben war. Dem Fahrrad begegneten dementsprechend viele Pkw aus der Gegenrichtung, wobei viele Fußgänger die Fahrt auf dem Fuß- bzw. Radweg erschwerten. Während der Fahrt mit der zweihöchsten Stressbelastung verirrte sich der Fahrer bzw. die Fahrerin in der Schweriner Altstadt und litt vermutlich deshalb an einer hohen Belastung während der Fahrt.

Die Pedelec-Fahrt mit der höchsten Stressbelastung fand bei stärkerem Regen statt, so dass diese Wetterverhältnisse den Fahrer bzw. die Fahrerin überdurchschnittlich belastet haben.

Die anderen Extremwerte konnten weder mithilfe der Videoaufnahmen und noch mittels der Angaben im Fragebögen begründet werden. Mögliche Erklärungen für diese starken Stressausschläge könnten auch persönliche, nicht in der Nutzung des Verkehrsmittels bzw. der Strecke liegende Gründe sein.

Diagramme für den direkten Datenvergleich der Stressbelastung pro Minute

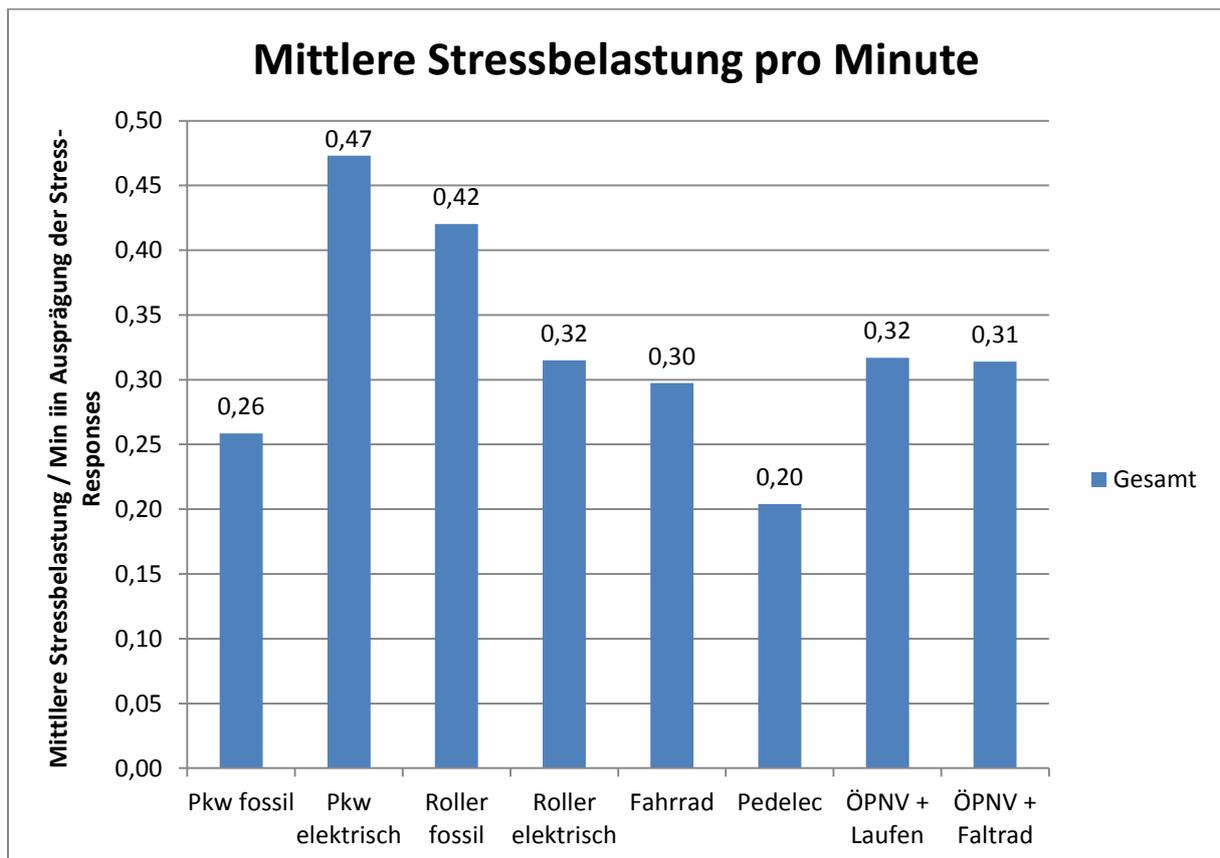


Abb. 87: Mediane der verkehrsmittelspezifischen Stressbelastung pro Minute

Die wurden aus folgender Anzahl Daten berechnet: Pkw fossil: n = 17, Pkw elektrisch: n = 15, Roller fossil: n = 16, Roller elektrisch: n = 11, Fahrrad: n = 18, Pedelec: n = 20, ÖPNV + Laufen: n = 16, ÖPNV + Faltrad = 14. Die Differenz zwischen der Hin- und Rückfahrt wurden nicht in die Abb. aufgenommen, da die Stichprobengröße zu klein war und die Streuung sehr hoch.

Bei der Fahrt mit dem Pedelec hatten die TeilnehmerInnen im Mittel am wenigsten Stress pro Minute. Das Pedelec ist demnach auf dem ersten Platz. Mit einem gering höheren Median folgt der fossile Pkw auf dem zweiten Platz. Mit Abweichungen unter 0,2 teilen sich das Fahrrad, der elektrische Roller und die ÖPNV-Kombinationen den dritten Platz. Weit abgeschlagen sind der fossile Roller auf dem vierten und der elektrische Pkw auf dem fünften Platz.

Für Erklärungsansätze der hohen Stressbelastung während der Fahrt mit dem elektrischen Pkw siehe *Kapitel 8.1.1* ab S. 62.

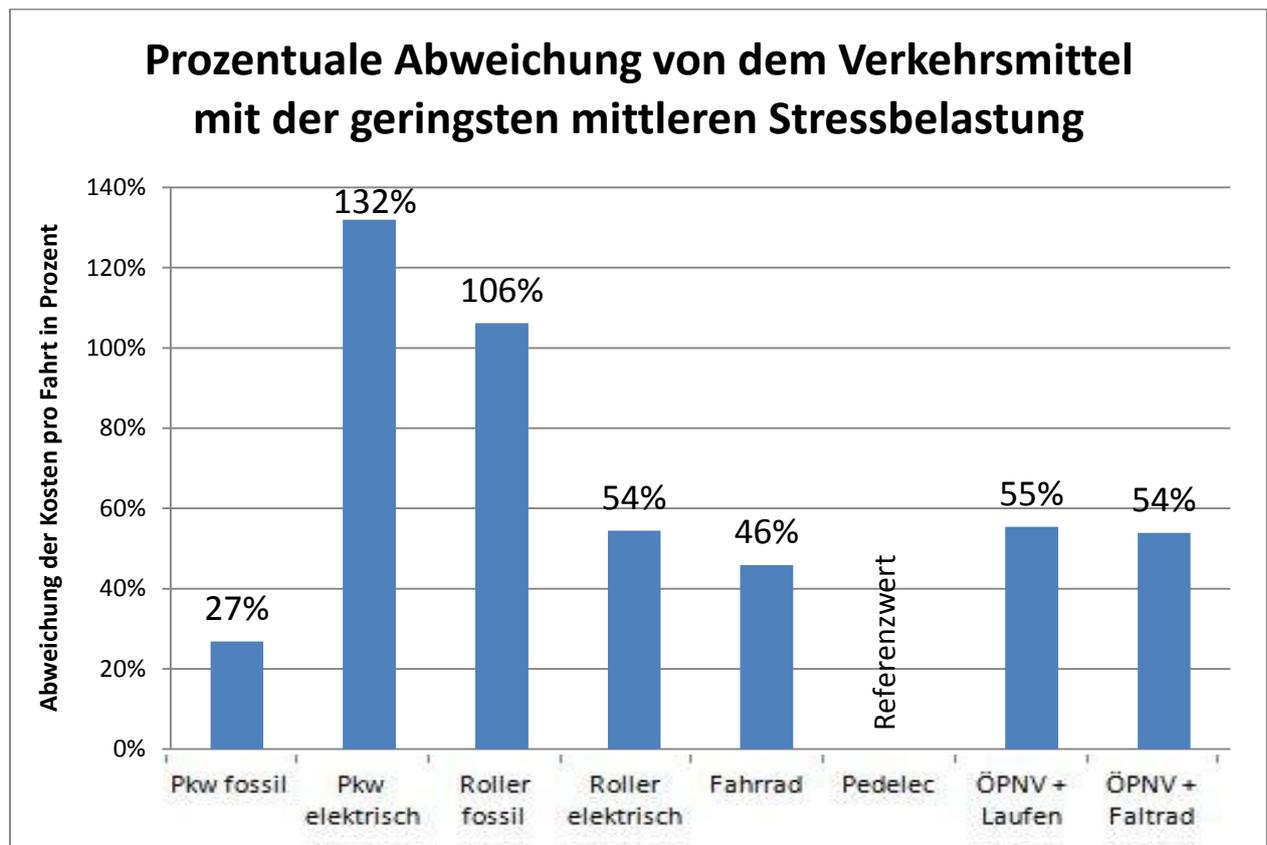


Abb. 88: Prozentuale Abweichung zwischen dem Verkehrsmittel mit der geringsten Stressbelastung und den anderen Verkehrsmitteln

Die mittlere Stressbelastung pro Minute liegt beim fossilen Pkw um 27 % höher als bei dem Pedelec. Die größte Abweichung hat der elektrische Pkw mit 132 %. Alle anderen Verkehrsmittel weichen um 46 – 106 % von der Stressbelastung des Pedelecs ab. Die gesamten Daten des Parameters Stressbelastung pro Minute sind in Tabellenform unter 12.8.5 auf S. 185 einsehbar.

Ranking der Verkehrsmittel nach der Stressbelastung pro Minute

In Tabelle 24 sind die Verkehrsmittel nach ihrem Ergebnis im Parameter Stress bewertet. Das Verkehrsmittel mit der geringsten Stressbelastung pro Minute ist auf ersten Platz, das mit der größten auf dem sechsten Platz. Verkehrsmittel teilen sich Platzierungen, wenn zwischen den Ergebnissen keine erheblichen Unterschiede (0,2 oder weniger) bestanden. Für die Profile der Auswertung wurden den Platzierungen Punktwerte zugeteilt. Die beste Platzierung erhielt zehn Punkte, die schlechteste null Punkte.

Platz	Verkehrsmittel	Anzahl Punkte
1	Pedelec	10
2	Pkw fossil	7,5
3	Fahrrad Roller elektrisch ÖPNV + Laufen ÖPNV + Faltrad	5
4	Roller fossil	2,5
5	Pkw elektrisch	0

Tabelle 24: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter Stressbelastung pro Minute

12.2.5.2. Stresskorrelation

Hinsichtlich der Stressbelastung während der Fahrten zum Arbeitsplatz ist es nicht nur von Interesse, wie viel Stress dabei auf den Fahrer einwirkt. Es kommt auch darauf an, ob die Stressbelastung während der Fahrt zu- oder abnimmt.

Dazu wird die Korrelation des Stresses mit der Zeit gemessen, kurz bezeichnet als Stresskorrelation.

Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Stresskorrelation

Da die Stresskorrelation auf den Daten der Stressbelastung pro Minute mit einer sehr hohen Streuung basiert, konnten für die Stresskorrelation keine Signifikanten in den Unterschieden berechnet werden. Die Werte sind demnach als Trend zu werten.

Boxplots der Stresskorrelation

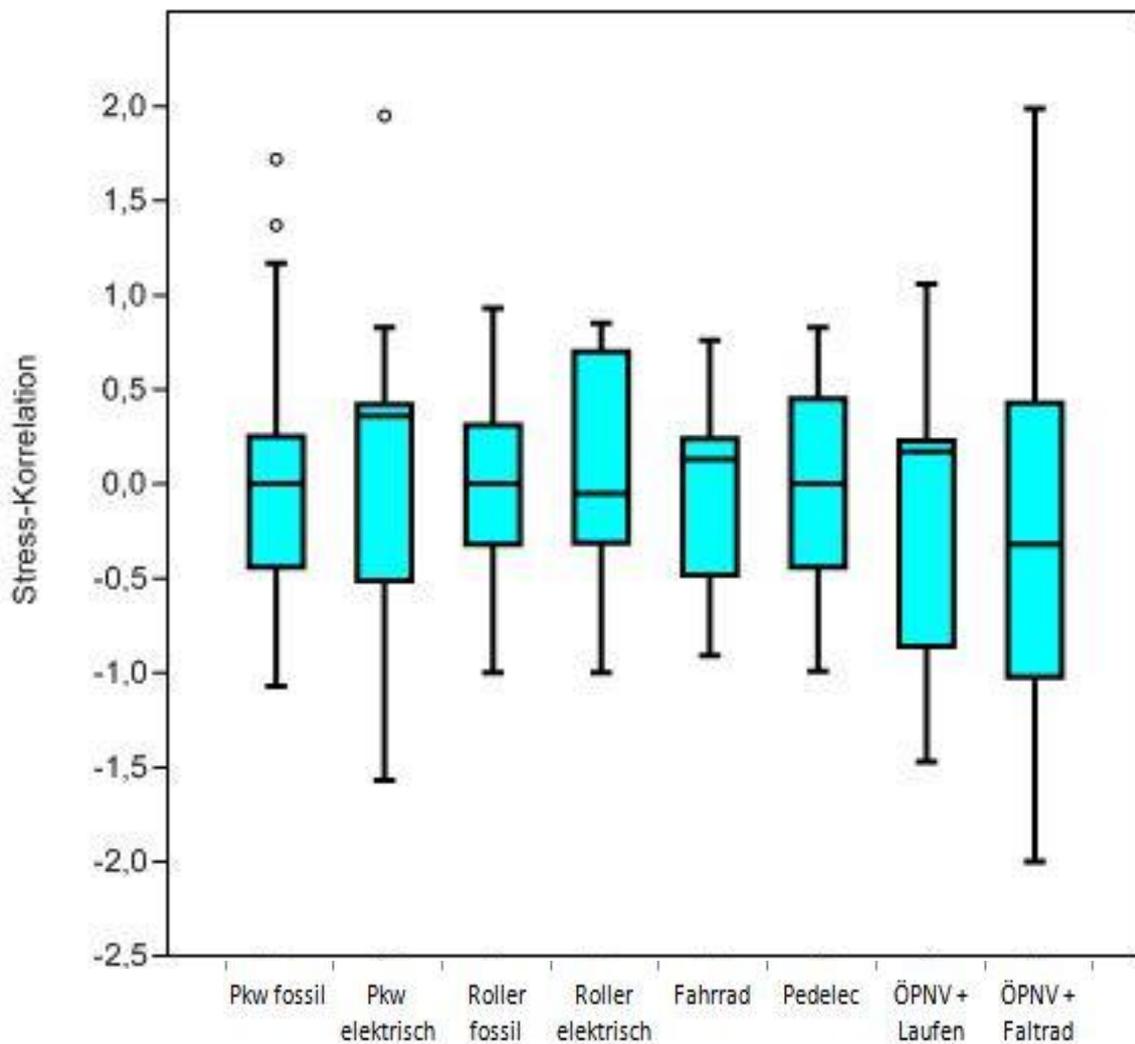


Abb. 89: Boxplots des Parameters Stresskorrelation

Der Wert Null steht dabei für keine Veränderung des Stress-Levels über die Zeit. Ist der Wert über null, so bestand eine positive Korrelation zwischen dem Stress und der Zeit, die Stressintensität stieg somit mit der Zeit und war am Ende der Phase höher als am Anfang. Ein Wert unter null zeigt eine negative Korrelation, die Stressintensität sank somit während der Fahrt und war am Ende geringer als am Anfang. Alle Verkehrsmittel verfügen über eine hohe Streuung, demnach kamen bei allen Verkehrsmitteln positive und negative Korrelationen vor. Der Median eignet sich sehr gut, um einen grundsätzlichen Trend zu erkennen. Beim fossilen Pkw, dem fossilen Roller und dem Pedelec fand im Mittel keine Veränderung der Stressbelastung über die Zeit statt.

Diagramme für den direkten Datenvergleich der Stresskorrelation

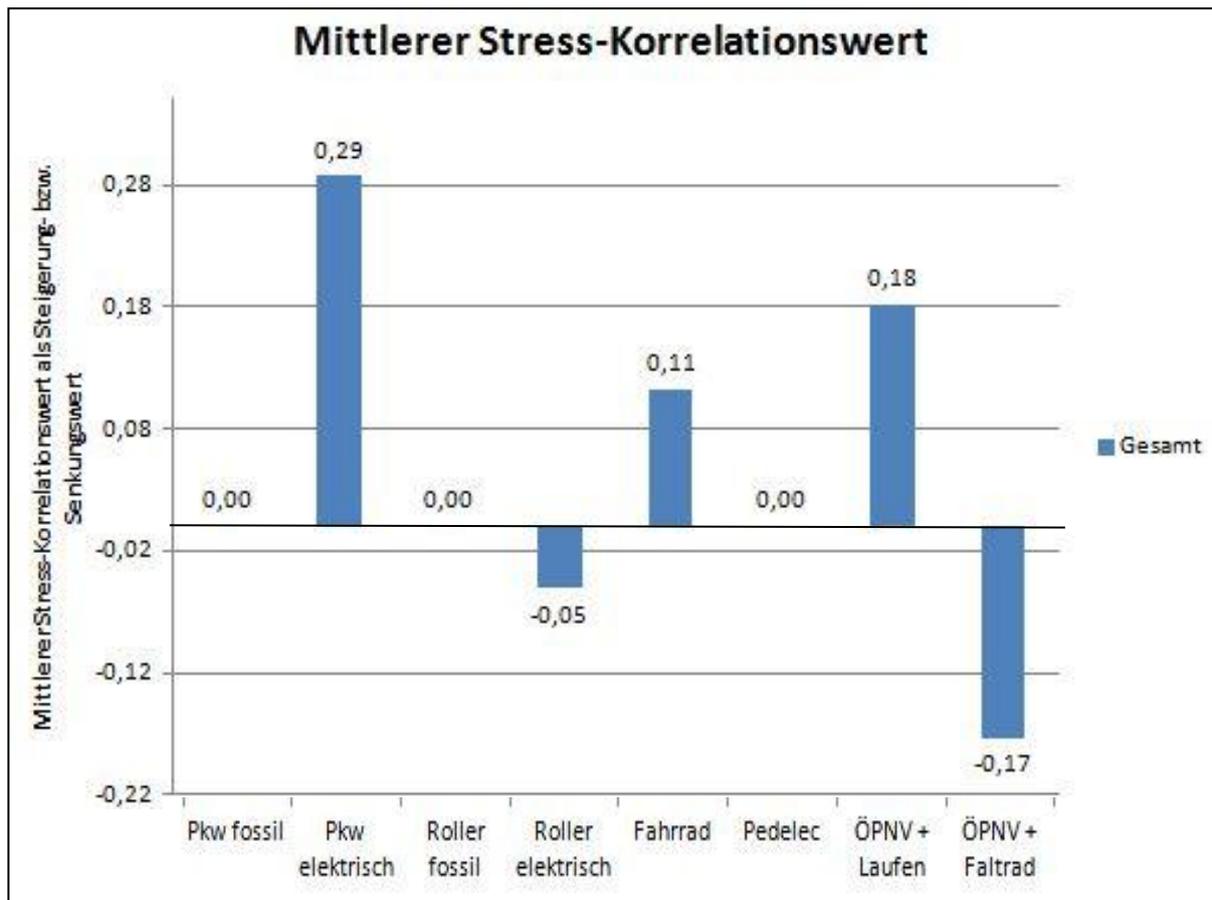


Abb. 90: Mediane der verkehrsmittelspezifischen Stresskorrelationen

Die Mediane wurden aus folgender Anzahl Daten berechnet: Pkw fossil: $n = 16$, Pkw elektrisch: $n = 14$, Roller fossil: $n = 16$, Roller elektrisch: $n = 11$, Fahrrad: $n = 18$, Pedelec: $n = 19$, ÖPNV + Laufen: $n = 16$, ÖPNV + Faltrad = 16. Die Differenz zwischen der Hin- und Rückfahrt wurden nicht in die Abb. aufgenommen, da die Stichprobengröße zu klein war und die Streuung sehr hoch.

Ein negativer Wert der Stresskorrelation bedeutet, dass der Stress während der Fahrt gesunken ist, ein positiver, dass der Stress gestiegen ist. Null steht für keine Veränderung in dem Stress-Level über die Fahrt. Am stärksten gesunken ist das Stress-Level während der Fahrt bei der Kombination aus ÖPNV und Faltrad. Diese Verkehrsmittelkombination liegt daher auf dem ersten Platz. Der zweite Platz geht an den elektrischen Roller, da auch eine negative Korrelation zu beobachten war. Ohne Veränderung des Stress-Levels bleiben der fossile Pkw, der fossile Roller und das Pedelec auf Platz drei. Die positiven Korrelationen wurden wie folgt platziert: Das Fahrrad auf dem vierten, die Kombination aus ÖPNV und Laufen auf dem fünften und der elektrische Pkw auf dem sechsten Platz. Für weitere Informationen zu den Differenzen der verkehrsmittelspezifischen Stress-Korrelationen siehe

Abb. 91.

Im *Kapitel 8* ab S. 62 wird die Stresskorrelation mit dem Parameter Stressbelastung pro Minute für die Verkehrsmittel zusammen betrachtet und interpretiert. Besondere Schwerpunkte bilden dabei der elektrische Pkw und die Kombination aus ÖPNV und Faltrad.

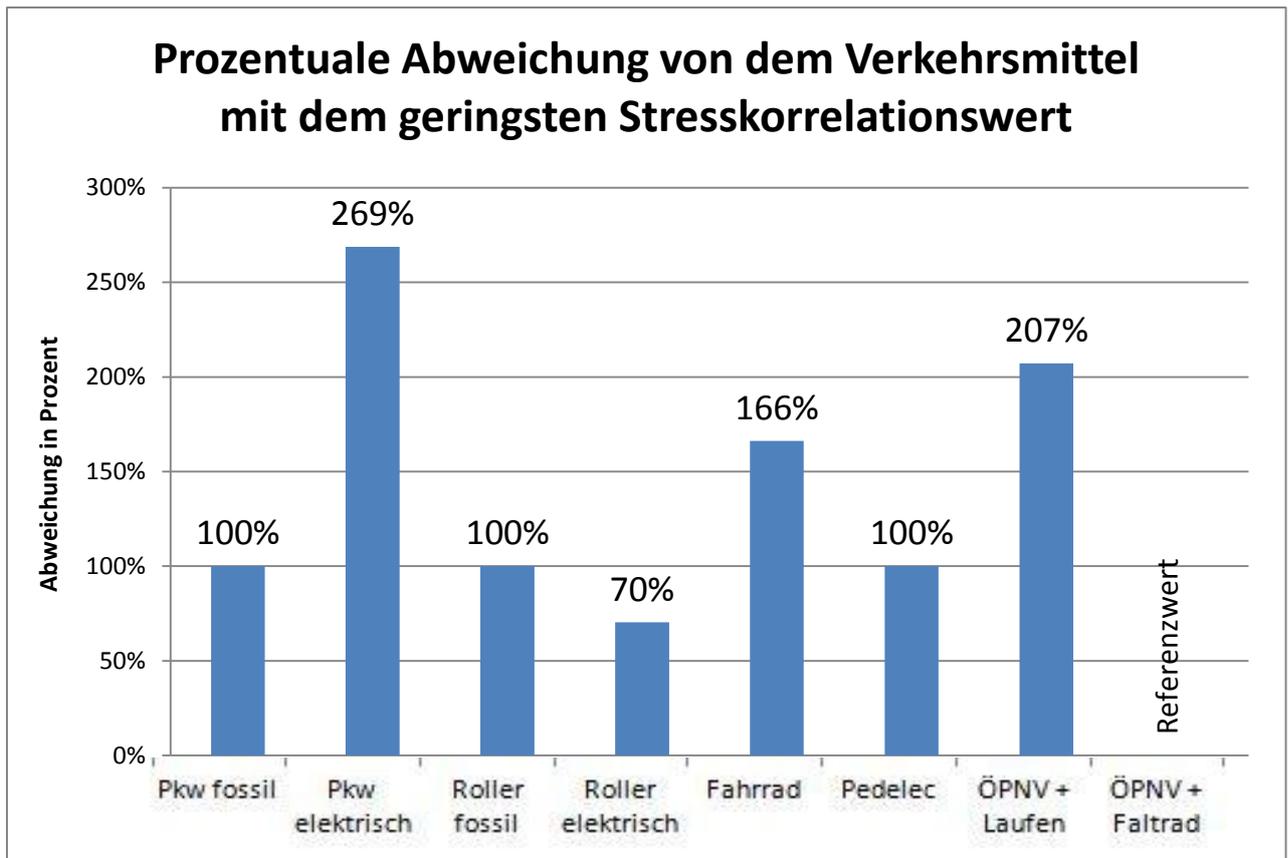


Abb. 91: Prozentuale Differenz zwischen dem Hauptverkehrsmittel mit der größten Reduzierung des Stresses über die Fahrt (ÖPNV und Faltrad) und den anderen Verkehrsmitteln

In den Abweichungen lassen sich sehr gut die drei Korrelationsgruppen unterscheiden. Die Verkehrsmittel mit den sinkenden Stresswerten während der Fahrt, die Kombination aus ÖPNV und Faltrad sowie der elektrische Roller bilden die erste Gruppe. Bei den Verkehrsmitteln, die mit 100 % angegeben sind, also dem fossilen Pkw, dem fossilen Roller und dem Pedelec, fand keine Veränderung der Stressbelastung pro Minute statt. Beim Fahrrad, der Kombination aus ÖPNV und Laufen sowie dem elektrischen Pkw nahm die Stressbelastung mit der Dauer der Fahrt zu. Die durchschnittliche Abweichung aller Verkehrsmittel von dem Wert mit der negativsten Korrelation betrug 100 %.

Die gesamten Daten des Parameters Stresskorrelation in Tabellenform sind unter 12.8.5 auf S. 185 einsehbar.

Ranking der Verkehrsmittel nach der Stresskorrelation

In der Tabelle 25 sind die Verkehrsmittel nach ihrem Ergebnis im Parameter Geschwindigkeit des Verkehrsmittels bewertet. Das Verkehrsmittel mit der negativsten Korrelation (also der größten Entspannung während der Fahrt) sind auf Platz 1, das mit der positivsten Korrelation (die TeilnehmerInnen wurden also während der Fahrt gestresster) auf Platz 6. Verkehrsmittel teilen sich Platzierungen, wenn zwischen den Ergebnissen keine Unterschiede bestanden. Für die Profile der Auswertung wurden den Platzierungen Punktwerte zugeteilt. Die beste Platzierung erhielt zehn Punkte, die schlechteste null Punkte.

Platz	Verkehrsmittel	Anzahl Punkte
1	ÖPNV + Faltrad	10
2	Roller elektrisch	8
3	Pkw fossil Roller fossil Pedelec	6
4	Fahrrad	4
5	ÖPNV + Laufen	2
6	Pkw elektrisch	0

Tabelle 25: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter Stresskorrelation

12.2.6. Streckenlänge von Tür zu Tür

Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Streckenlänge von Tür zu Tür

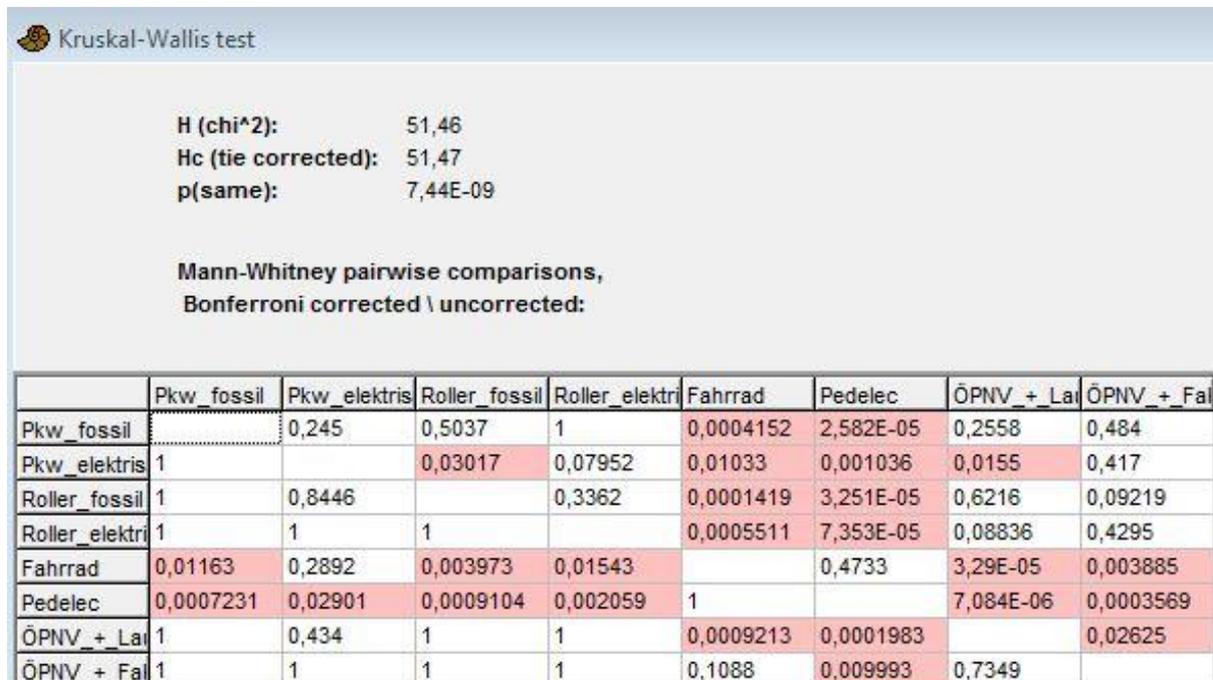


Abb. 92: Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Streckenlänge (von Tür zu Tür) mit den P-Werten für die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Nullhypothese

Die Abb. 92 zeigt, dass sich besonders die Streckenlänge der Verkehrsmittel Fahrrad und Pedelec signifikant von denen der anderen Verkehrsmittel unterscheiden. Zu erwarten ist, dass beide Verkehrsmittel die kürzeste Streckenlänge aufweisen. Weiter unterscheidet sich der elektrische Pkw signifikant von dem fossilen Roller und der Kombination aus ÖPNV und

Laufen. Die ÖPNV-Kombinationen unterscheiden sich untereinander auch signifikant. Die Zahlen in den roten Feldern sind teilweise relativ groß, d.h. die Unterschiede sind demnach größtenteils nur knapp signifikant ($p = 1 - 5\%$). Die Unterschiede zwischen den Verkehrsmitteln sollten in der weiteren Auswertung trotzdem deutlich erkennbar sein.

Boxplots der Streckenlänge von Tür zu Tür

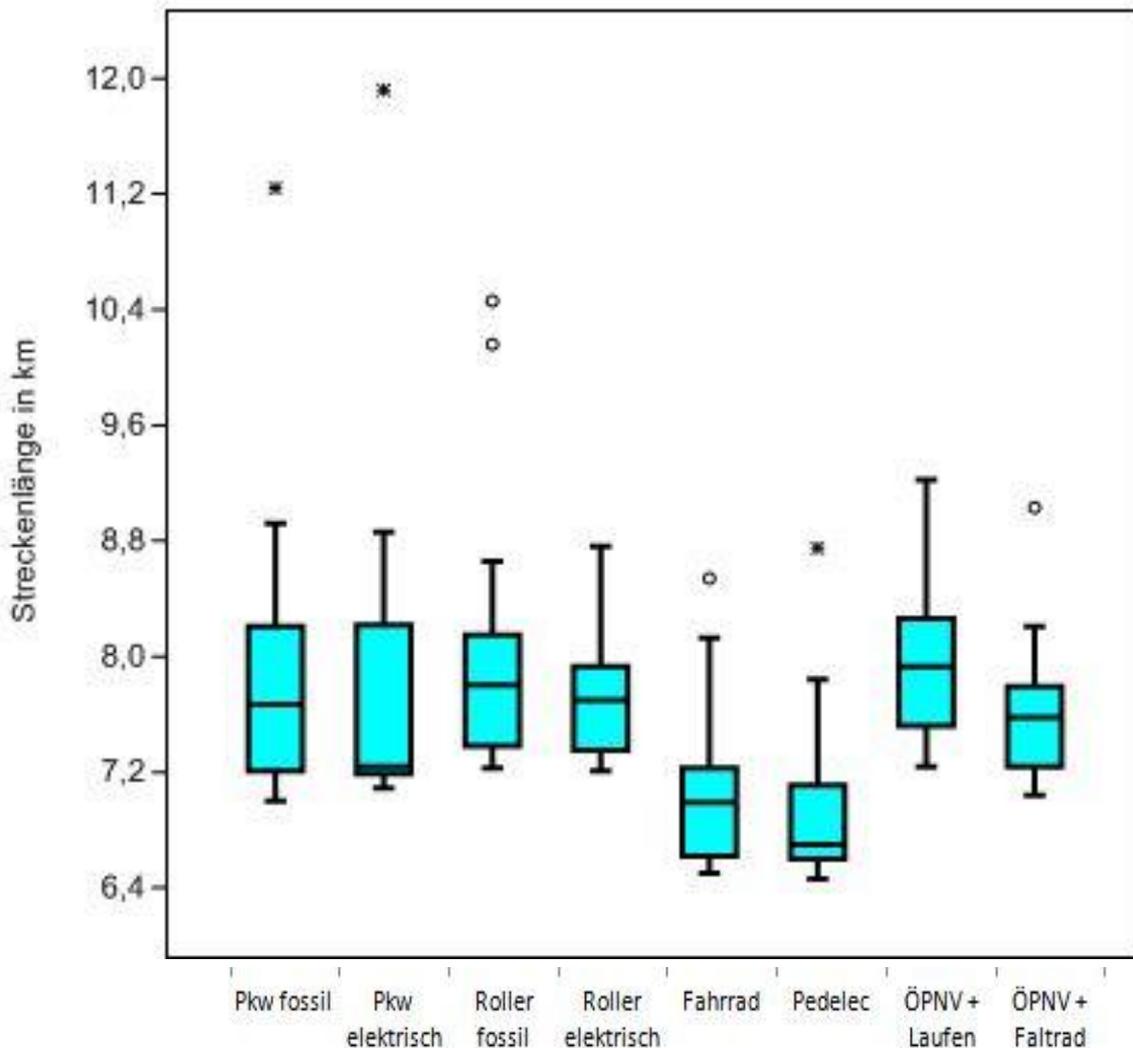


Abb. 93: Boxplots des Parameters Streckenlänge von Tür zu Tür

Die Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests lassen sich anschaulich in Boxplots darstellen (Abb. 93). Die Mediane der Verkehrsmittel Fahrrad und Pedelec unterscheiden sich von denen der anderen Verkehrsmittel. Folglich kann von einer in Relation zu den anderen Verkehrsmitteln kürzeren Fahrstrecke ausgegangen werden. Auffällig ist die starke Asymmetrie des elektrischen Pkw, des Pedelecs und des Fahrrads. In dem Wertebereich des stark verdichteten Teils der Box, wo der Median nah an die Außenbegrenzung kommt, gab es eine Sicherheit der Werte. In diesem Bereich sind 25 % der Werte, ein Indiz für gute Grundbedingungen der Versuchsfahrt an mindestens 25 % der Fahrtermine. Die hohen Maximum- und Minimumwerte zeugen von vielen Faktoren, die die Fahrt positiv oder negativ beeinflusst haben. Der fossile Roller hat einen extremen Ausreißer nach oben, diese Fahrt ist durch Umwege länger ausgefallen sein als normal. Auch beim Fahrrad, dem Pedelec und der Kombination aus ÖPNV und Laufen sind die Whisker sehr lang, es scheint verschiedene

Wege gegeben zu haben, Aufgrund der freigestellten Streckenwahl haben die TeilnehmerInnen unterschiedlich lange Strecken mit den Verkehrsmitteln zurück gelegt. Das Potential für „versteckte“ Abkürzungen scheint für diese Verkehrsmittel am höchsten gewesen zu sein. Mit dem fossilen Pkw wurden auch Abkürzungen gefunden (siehe Whisker nach unten), mit dem elektrischen Pkw hat sich anscheinend keiner bzw. keine der TeilnehmerInnen getraut diese Abkürzungen zu nehmen. Die Varianz bei der Kombination aus ÖPNV und Faltrad ist am geringsten, die Streckenlänge lässt sich demnach kaum variieren. Die Ausreißer können als Irrfahrten auf der Suche nach dem Weg gewertet werden.

Diagramme für den direkten Datenvergleich der Streckenlänge von Tür zu Tür

In den folgenden zwei Diagrammen werden die Ergebnisse für den Parameter Streckenlänge von Tür zu Tür vorgestellt und in Relation zueinander gestellt.

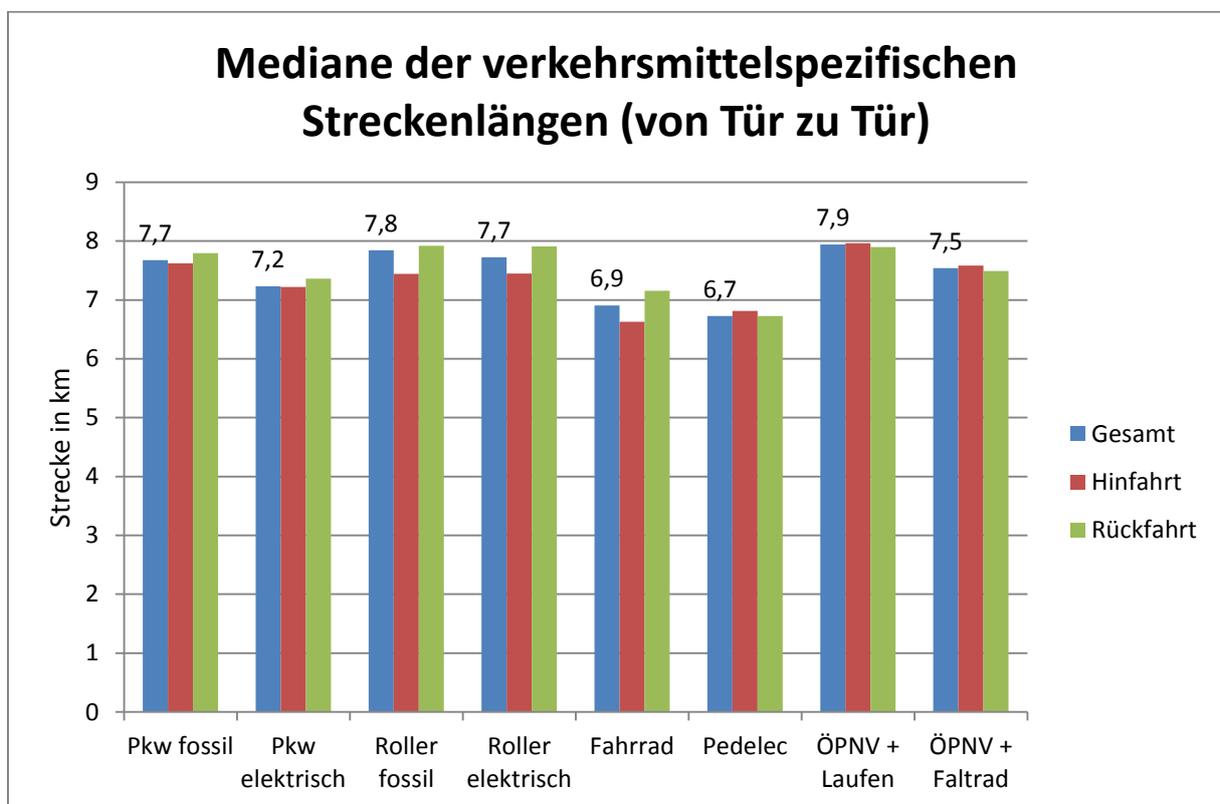


Abb. 94: Mediane der Strecken, die von den Verkehrsmitteln zurückgelegt wurde, um an das Ziel zu kommen

Die Mediane wurden aus folgender Anzahl Daten berechnet: Pkw fossil: n = 20, Pkw elektrisch: n = 16, Roller fossil: n = 16, Roller elektrisch: n = 16, Fahrrad: n = 20, Pedelec: n = 20, ÖPNV + Laufen: n = 20, ÖPNV + Faltrad = 14. Starke bis moderate Differenzen zwischen der Hin- und Rückfahrt ließen sich bei den Rollern und Pkw feststellen.

Das Fahrrad und das Pedelec haben keinen signifikanten Unterschied zueinander und sind beide mit der kürzesten Strecke auf dem ersten Platz. Die restlichen Verkehrsmittel teilen sich in zwei Gruppen: Die Pkw, die Kombination aus ÖPNV und Faltrad sowie der elektrische Roller unterscheiden sich nicht signifikant und sind daher zusammen auf dem zweiten Platz. Der dritte und letzte Platz ist von dem fossilen Roller und der Kombination aus ÖPNV und Laufen besetzt. Das Fahrrad und das Pedelec könnten aufgrund von möglichen Abkürzungen, die für motorisierten Verkehr gesperrt sind, die Streckenlänge im Mittel um ca. einen

Kilometer pro Fahrt verkürzt haben. Weitere Informationen zu den Differenzen der gefahrenen Strecke durch die Verkehrsmittel siehe Abb. 95.

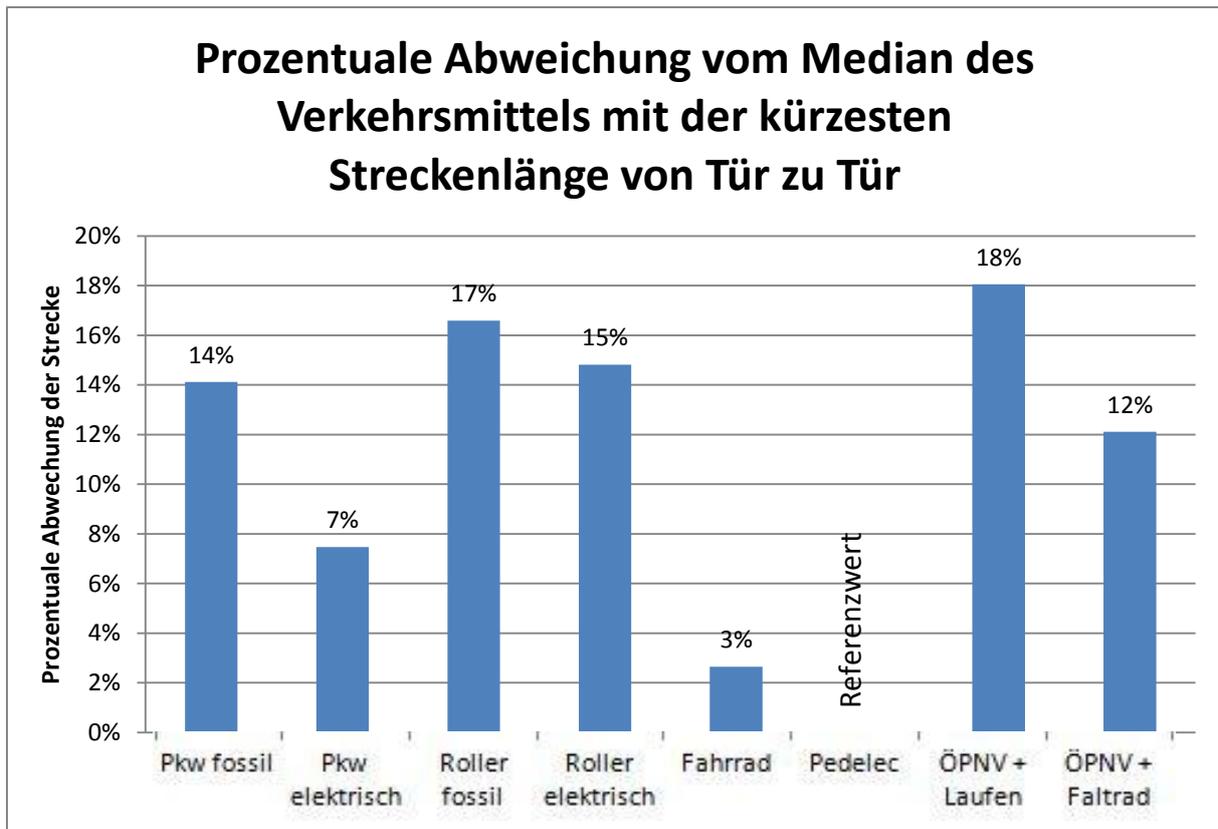


Abb. 95: Prozentuale Differenz zwischen dem Verkehrsmittel mit der kürzesten Strecke von Tür zu Tür (Pedelec) und den anderen Verkehrsmitteln

Das Fahrrad hatte eine nur 3 % längere Strecke, die Kombination aus ÖPNV und Laufen eine 18 % längere Strecke. Die durchschnittliche Abweichung aller Verkehrsmittel von der kürzesten Strecke beträgt 13 %. Auch in dieser Darstellungsform lassen sich die drei Gruppen gut erkennen: Der Referenzwert, das Pedelec, und das Fahrrad sind fast identisch, die Verkehrsmittel mit dem längsten Weg, setzten sich mit 17 – 18 % vom Rest der Verkehrsmittel ab.

Die gemessenen Daten des Versuchs für den Parameter Streckenlänge sind unter 12.8.6 auf S. 187 einsehbar.

Ranking der Verkehrsmittel nach der Streckenlänge von Tür zu Tür

In der

Tabelle 26 sind die Verkehrsmittel nach Ihrem Ergebnis im Parameter Streckenlänge von Tür zu Tür bewertet. Die Verkehrsmittel mit der kürzesten Strecke sind auf Platz 1, die mit der längsten auf dem dritten Platz. Verkehrsmittel teilen sich Platzierungen, wenn zwischen den Ergebnissen keine signifikanten Unterschiede bestanden. Für die Profile der Auswertung wurden den Platzierungen Punktwerte zugeteilt. Die beste Platzierung erhielt zehn Punkte, die schlechteste null Punkte.

Platz	Verkehrsmittel	Anzahl Punkte
1	Pedelec Fahrrad	10
2	Pkw elektrisch ÖPNV und Faltrad Pkw fossil Roller elektrisch	5
3	Roller fossil ÖPNV + Laufen	0

Tabelle 26: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter Strecke

12.2.7. Energieverbrauch

Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Energieverbrauch

Kruskal-Wallis test

H (chi²): 136,9
Hc (tie corrected): 137,3
p(same): 1,835E-26

Mann-Whitney pairwise comparisons,
Bonferroni corrected \ uncorrected:

	Pkw_fossil	Pkw_elektris	Roller_fossil	Roller_elektri	Fahrrad	Pedelec	ÖPNV_+_La	ÖPNV_+_Fal
Pkw_fossil		3,676E-07	3,805E-07	3,766E-07	7,977E-09	5,54E-08	6,7E-08	1,029E-06
Pkw_elektris	1,029E-05		1,478E-06	1,459E-06	2,321E-08	2,878E-07	3,638E-07	3,309E-06
Roller_fossil	1,065E-05	4,139E-05		1,525E-06	2,439E-08	2,983E-07	3,766E-07	3,479E-06
Roller_elektri	1,055E-05	4,084E-05	4,269E-05		2,403E-08	2,951E-07	3,727E-07	0,4404
Fahrrad	2,234E-07	6,498E-07	6,83E-07	6,729E-07		6,158E-09	7,89E-09	4,403E-08
Pedelec	1,551E-06	8,06E-06	8,353E-06	8,264E-06	1,724E-07		5,492E-08	7,861E-07
ÖPNV_+_La	1,876E-06	1,019E-05	1,055E-05	1,044E-05	2,209E-07	1,538E-06		0,0001001
ÖPNV_+_Fal	2,882E-05	9,264E-05	9,742E-05	1	1,233E-06	2,201E-05	0,002802	

Abb. 96: Kruskal-Wallis-Test für Parameter Energieverbrauch mit den P-Werten für die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Nullhypothese

Die Abb. 96 zeigt, dass sich die Energieverbräuche aller Verkehrsmittel hoch signifikant ($p < 0,1\%$) voneinander unterscheiden, bis auf die Energieverbräuche des elektrischen Roller und der Verkehrsmittelkombination ÖPNV und Faltrad. Demnach wird es ein klares Ranking

der Verkehrsmittel geben, wobei eine Platzierung von den nicht signifikant unterschiedlichen Verkehrsmitteln geteilt wird. Desweiteren sind die Zahlen in den Feldern sehr klein, d.h. die Irrtumswahrscheinlichkeiten für einen signifikanten Unterschied sind sehr gering, demnach wird ein Unterschied deutlich erkennbar sein.

Boxplots der Energieverbräuche

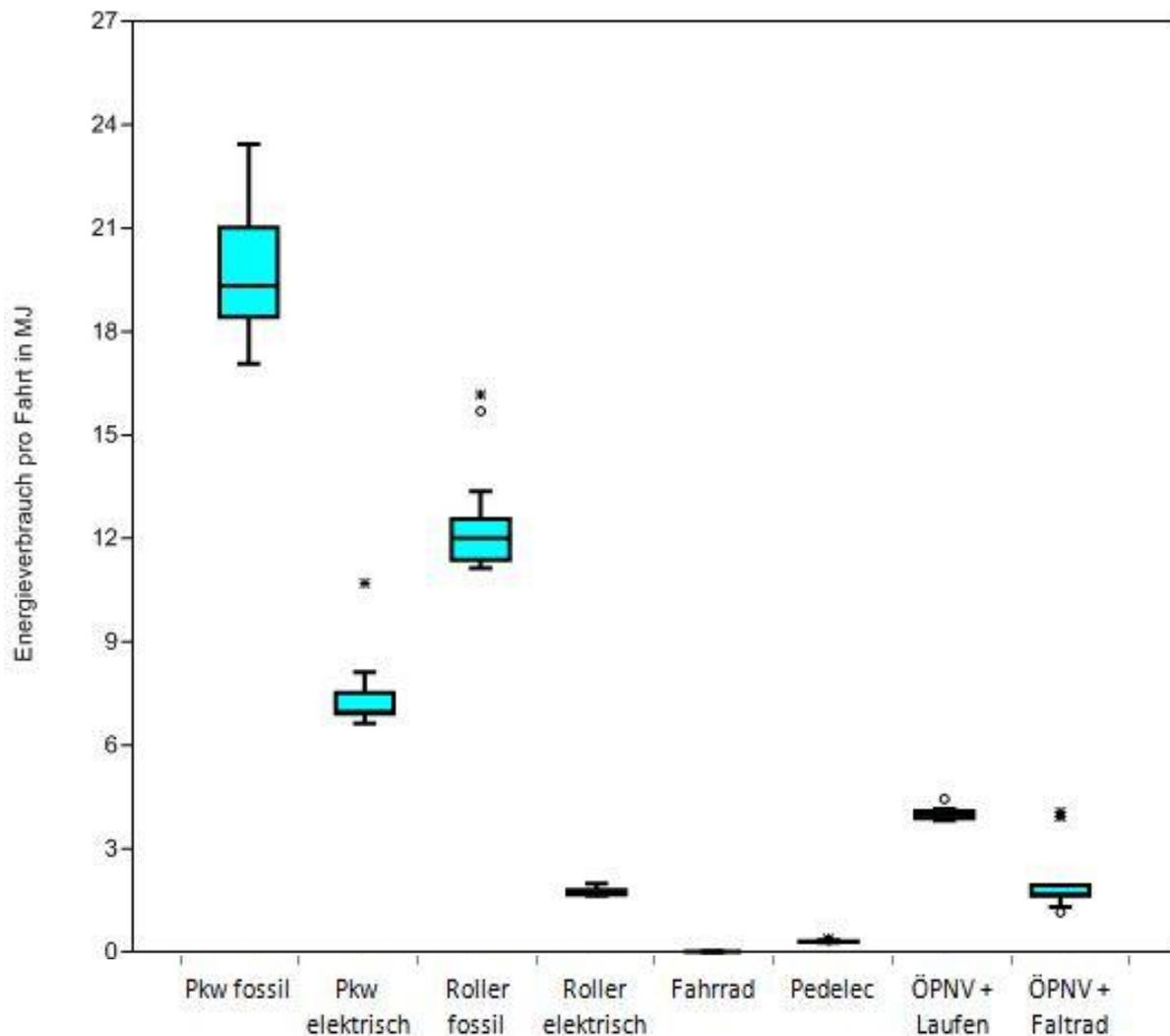


Abb. 97: Boxplots des Parameters Energieverbrauch

Die Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests lassen sich anschaulich in Boxplots darstellen (Abb. 97). Die Mediane und Verteilungen der Verkehrsmittel unterscheiden sich sehr stark. Nur die Werte von dem elektrischen Roller und der Verkehrsmittelkombination ÖPNV und Faltrad liegen auf gleicher Höhe, die Streuung der Werte in den Quartilen unterscheiden sich aber. Die Verbräuche der elektrischen Varianten des Pkw und des Rollers variieren nur sehr gering, ganz im Gegenteil zu den fossilen Varianten. Diese Unterschiede sind weder mit dem Fahrverhalten der Nutzer (Rotationsprinzip, jeder Teilnehmer ist beide Varianten gefahren) noch mit unterschiedlichen Streckenprofilen zu erklären. Es erweckt den Anschein, als ob die elektrischen Varianten somit einen konstanteren Energieverbrauch - unabhängig vom Fahrverhalten des Fahrers - aufweisen. Bei den Pkw und dem fossilen Roller fällt eine starke Asymmetrie der Datenverteilung auf. Die Daten im Quartil unter dem Median sind sehr komprimiert, 25 % der Fahrten waren in diesem Teilbereich der Energieverbräuche. Die Daten

des elektrischen Rollers, des Pedelecs und der ÖPNV-Kombinationen liegen sehr komprimiert um den Median. Fünfzig Prozent der Werte befinden sich in einer geringen Entfernung zum Median, ein verlässlicher Wert für den Energieverbrauch.

Die geringe Streuung der Werte bei den ÖPNV-Varianten liegt daran, dass diese nicht gemessen, sondern auf der Basis durchschnittlicher Werte für den ÖPNV in Deutschland (IFEU Institut, 2011) berechnet wurden und sich nur geringfügig gemäß der Streckenlänge (Wahl der Haltestelle insbesondere beim Faltrad) unterscheiden.

Diagramme für den direkten Datenvergleich der Energieverbräuche

In den folgenden zwei Diagrammen werden die Ergebnisse des Parameters Energieverbrauch vorgestellt und in Relation zueinander gestellt.

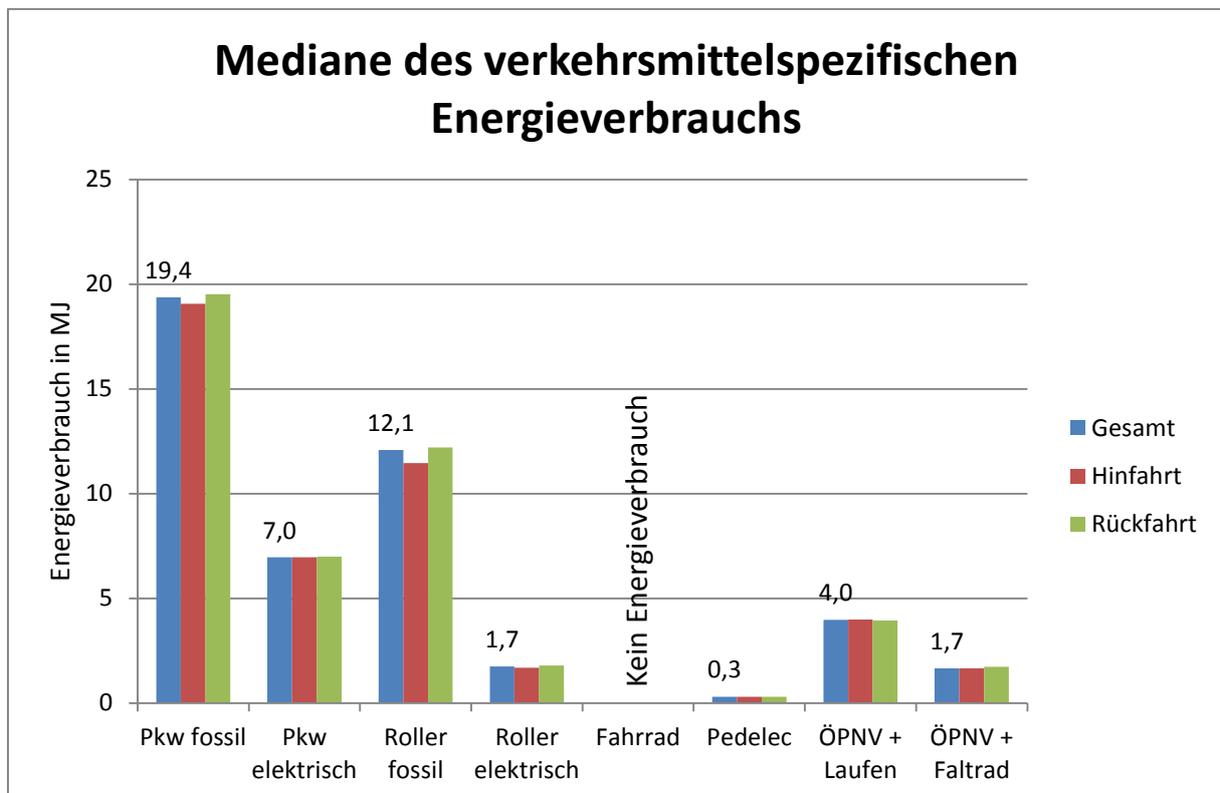


Abb. 98: Mediane des Energieverbrauchs der Verkehrsmittel pro Fahrt

Die Mediane wurden aus folgender Anzahl Daten berechnet: Pkw fossil: n = 20, Pkw elektrisch: n = 18, Roller fossil: n = 20, Roller elektrisch: n = 20, Fahrrad: n = 20, Pedelec: n = 20, ÖPNV + Laufen: n = 19, ÖPNV + Faltrad = 14. Differenzen zwischen der Hin- und Rückfahrt wurden aufgrund der Auswertung auf Tagesbasis nicht aufgenommen, daher werden nun die Gesamtverbräuche in der Abb. 98 dargestellt.

Das Fahrrad fährt ohne Verbrauch von elektrischer oder fossiler Energie. Es wird zwar Körperenergie verbraucht, diese wurde insbesondere wegen der Geringfügigkeit der Energiemengen nicht einbezogen. Wegen der genetischen Differenzen der Nahrungsverwertung und des Stoffwechsels zwischen Menschen hätten sich diese auch bei der Nutzung der anderen Verkehrsmittel deutlich unterschiedlich ausgeprägt, dort aber in ihrer Geringfügigkeit im Vergleich zur fossilen und elektrischen Energie untergegangen.

Die Vergleichbarkeit der verkehrsmittelspezifischen Energieverbräuche, unabhängig von der Energieform (Strom oder Benzin), wurde durch die Umrechnung auf Megajoule erreicht

(6.4.7, S. 46). Den zweiten Platz belegt in dem Versuch das Pedelec mit dem geringsten Energieverbrauch eines motorunterstützten Verkehrsmittels. Der elektrische Roller und die Kombination aus ÖPNV und Faltrad unterscheiden sich nicht signifikant und sind daher zusammen auf dem dritten Platz. Die nachfolgenden Plätze vier bis sieben sind in der Reihenfolge von ÖPNV und Laufen, dann der elektrische Pkw, der fossile Roller und auf dem letzten Platz der fossile Pkw. Weitere Informationen zu den Differenzen im verkehrsmittelspezifischen Energieverbrauch siehe Abb. 99.

Die deutlichen Unterschiede zwischen den fossilen und elektrischen Verkehrsmitteln sind auf eine höhere Energieeffizienz zurück zu führen. Während bei einem fossilen Motor ein Großteil der Energie in Wärme statt Arbeit verloren geht, arbeitet der Elektromotor mit einem sehr geringeren Energieverlust. Im *Kapitel 8* wird diese Thematik weiter vertieft und weitere Unterschiede zwischen den Verkehrsmitteln dargestellt.

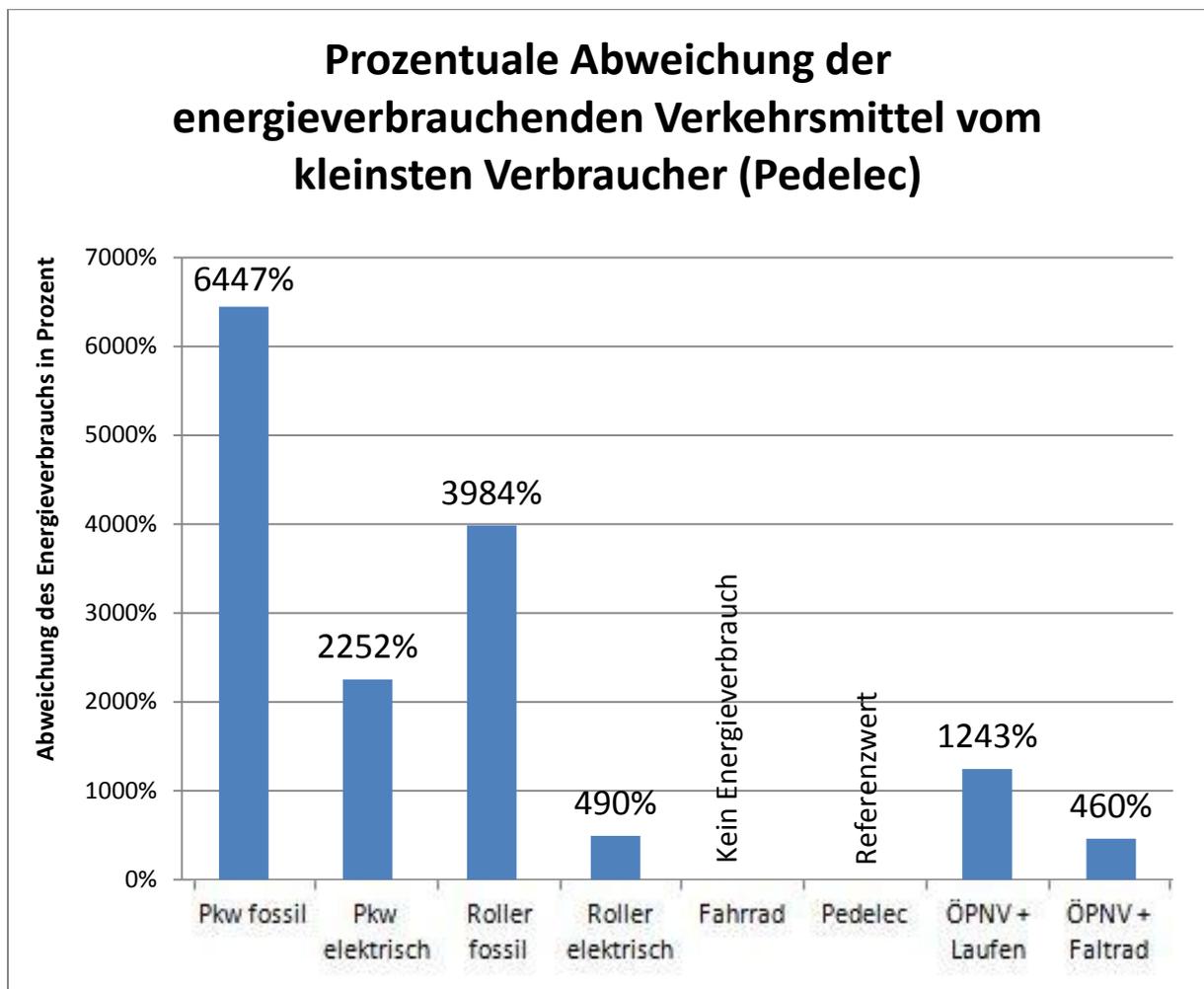


Abb. 99: Prozentuale Differenz zwischen dem motorbetriebenen Verkehrsmittel mit dem geringsten Energieverbrauch (Pedelec) und den anderen Verkehrsmitteln

Das Fahrrad verbraucht keine Energie und wurde deshalb nicht als Basis für die prozentuale Gegenüberstellung genutzt. Der Energieverbrauch des Pedelecs ist sehr gering, daher gehen die Steigerungsraten bis in die tausender Prozente. Wer mit dem fossilen Pkw pendelt braucht fast 6.500 % mehr Energie als die gleiche Strecke mit dem Pedelec. Im Vergleich zum ÖPNV und Faltrad verbraucht der fossile Pkw 11,4 Mal so viel Energie. Die elektrischen Verkehrsmittel fallen durch einen deutlich geringeren Energieverbrauch im Vergleich zu den fossilen Verkehrsmitteln auf. Die durchschnittliche Abweichung aller Verkehrsmittel vom Me-

dian des geringsten Energieverbrauchers beträgt 866 %. Auffällig ist die Differenz im Energieverbrauch zwischen den Verkehrsmittelkombinationen. Im Gegensatz zum Faltrad, welches keine Energie verbraucht, wird in der Kombination aus ÖPNV und Laufen auf dem ersten Streckenabschnitt der Bus genommen, um zu der Straßenbahnhaltestelle zu kommen. Danach sind die FahrerInnen beider Kombinationen mit der Straßenbahn weiter gefahren, der hohe Unterschied resultiert demnach aus der zusätzlichen Benutzung des Busses im ersten Streckenabschnitt. Bus und Straßenbahn wurden mit ihren spezifischen Energieverbräuchen und Auslastung gemäß der TREMOD 2.25- Studie berechnet. Busse haben demnach einen höheren Energieverbrauch und eine relativ geringe Auslastung von durchschnittlich 21 %. Die Auslastung der Straßenbahn ist zwar um 2 % geringer als beim Bus (IFEU Institut, 2011), jedoch braucht die Straßenbahn mit ihren Elektromotoren auf Schienen deutlich weniger Energie.

Die gesamten Daten des Parameters Energieverbrauch in Tabellenform sind unter 12.8.7 auf S. 188 einsehbar.

Ranking der Verkehrsmittel nach den Energieverbräuchen

In der Tabelle 27 sind die Verkehrsmittel nach Ihrem Ergebnis im Parameter Energieverbrauch bewertet. Das Verkehrsmittel mit dem geringsten Energieverbrauch ist auf Platz 1, das mit dem höchsten auf Platz 7. Verkehrsmittel teilen sich Platzierungen, wenn zwischen den Ergebnissen keine signifikanten Unterschiede bestanden. Für die Profile der Auswertung wurden den Platzierungen Punktwerte zugeteilt. Die beste Platzierung erhielt zehn Punkte, die schlechteste null Punkte.

Platz	Verkehrsmittel	Anzahl Punkte
1	Fahrrad	10
2	Pedelec	8,33
3	Roller elektrisch ÖPNV und Faltrad	6,66
4	ÖPNV und Laufen	5
5	Pkw elektrisch	3,32
6	Roller fossil	1,67
7	Pkw fossil	0

Tabelle 27: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter Energieverbrauch

12.2.8. CO₂-Ausstoß

Die Bewertung des CO₂-Ausstoßes wird bewusst auf der Basis der bundesdeutschen Durchschnittswerte je Energieträger durchgeführt. So wie für das Benzin mit durchschnittlichen CO₂-Emissionen "vom Tank zum Rad" gerechnet wird, so wird auch der CO₂-Ausstoß der elektrischen Energie für den bundesdeutschen Strommix berechnet.

Ziel der Energiewende in Deutschland ist es, den Anteil der regenerativ erzeugten Energiemengen insgesamt zu steigern, bei gleichzeitiger Reduzierung des Energieverbrauchs. Diese Studie hat das Ziel, die Unterschiede im durchschnittlichen CO₂-Ausstoß aufzuzeigen, daher wird die Frage der Art der Erzeugung ausgeklammert.

Würde man die Emissionen des Stroms auf Basis der CO₂-Werte regenerativ erzeugter Energie berechnen, so müsste man - um stringent zu bleiben - auch betrachten, woher das verwendete Benzin stammt. Benzin aus deutscher Förderung in der Nordsee weist - zumindest für den Transportweg von der Förderstätte bis zum Tank - einen geringeren CO₂-Ausstoß auf als solches aus arabischen oder noch weiter entfernt liegenden Ölquellen.

Die Berechnungen wurden für die mit Benzin betriebenen Fahrzeuge auf Basis der Tank-to-Wheel-Emissionen erstellt, für die elektrischen Fahrzeuge für Well-to-Tank.

Zusätzlich wurden die Emissionen auch nach der Well-to-Tank-Methode ermittelt und in der Argumentation ergänzend verwendet.

Kruskal-Wallis-Test für den Parameter CO₂-Ausstoß

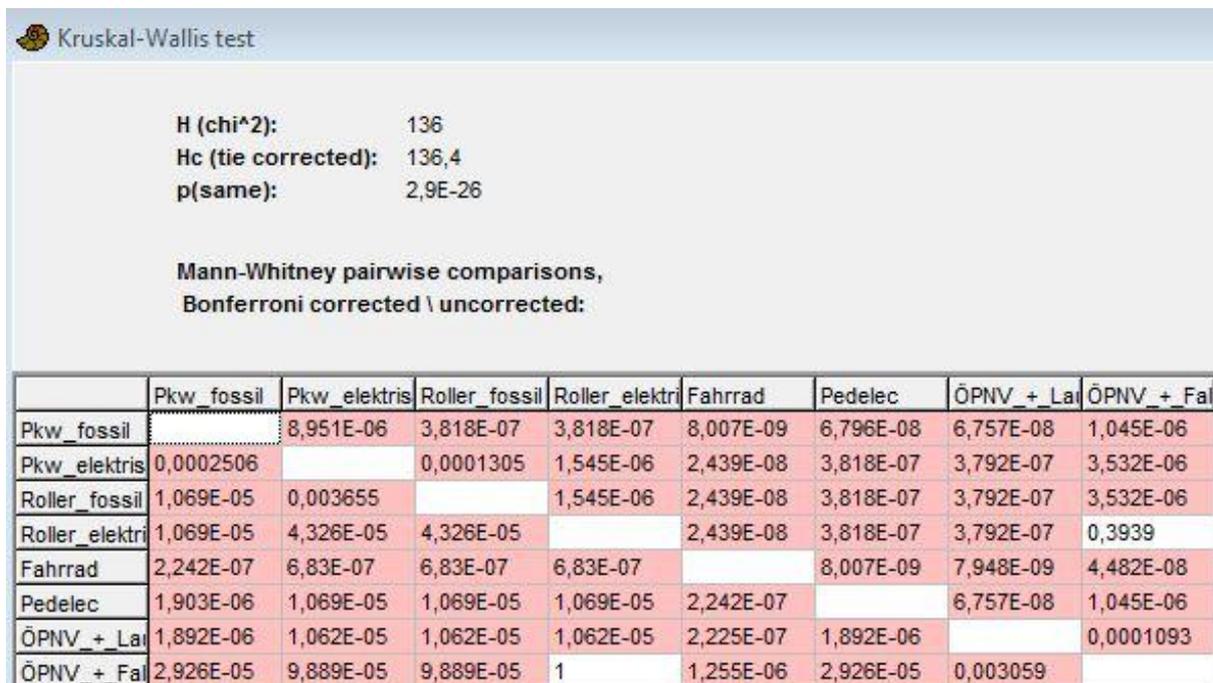


Abb. 100: Kruskal-Wallis-Test für den Parameter CO₂ Ausstoß mit den P-Werten für die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Nullhypothese

Die Abb. 100 zeigt, dass sich die CO₂-Emissionen aller Verkehrsmittel signifikant voneinander unterscheiden, außer die des elektrischen Rollers und der Kombination aus ÖPNV und Faltrad. Die Zahlen in den Feldern der anderen Verkehrsmittel sind sehr klein, d.h. die Irrtumswahrscheinlichkeiten für einen signifikanten Unterschied sind sehr gering, demnach wird ein Unterschied deutlich erkennbar sein.

Boxplots des CO₂-Ausstoßes

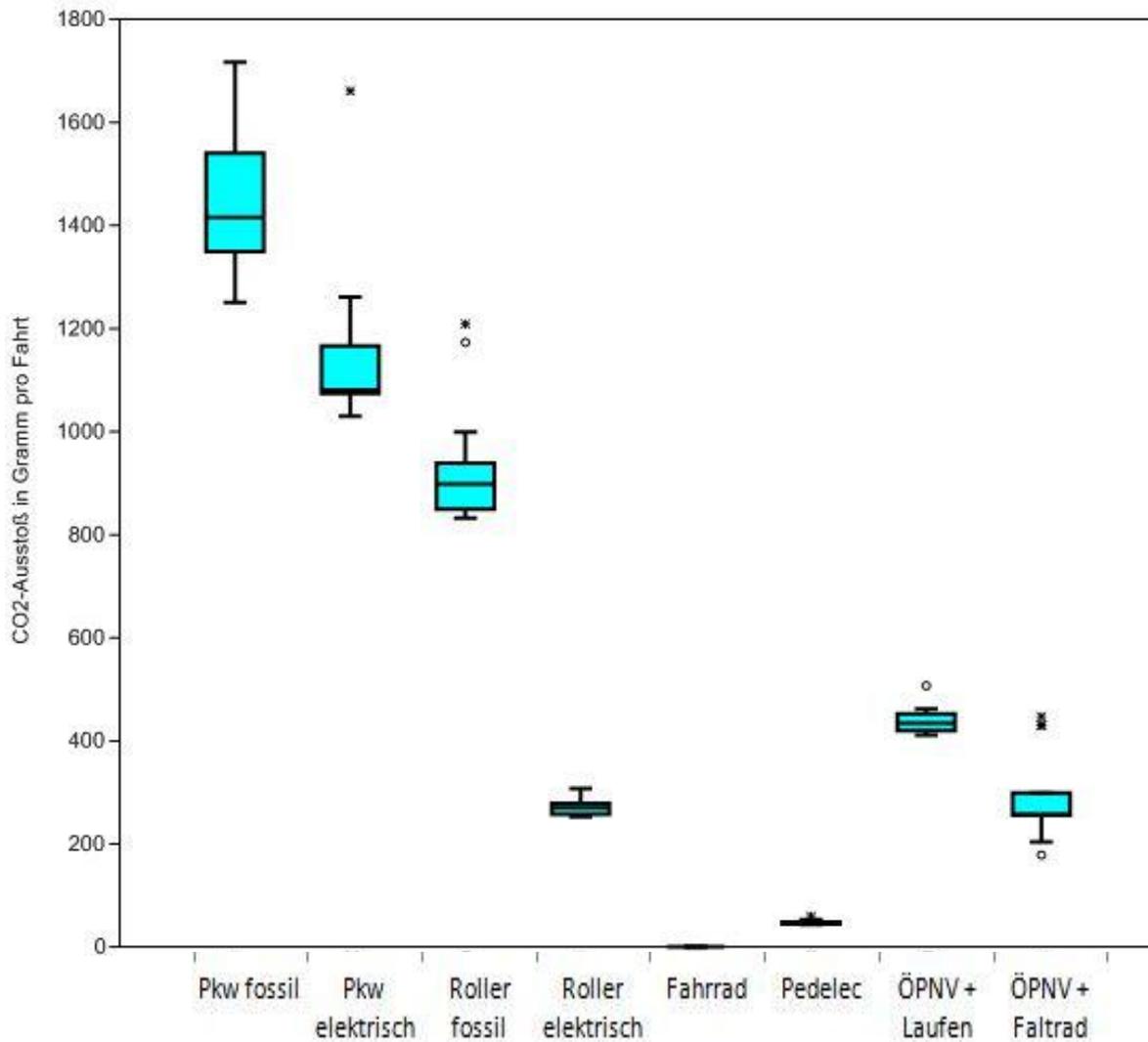


Abb. 101: Boxplot des Parameters CO₂-Ausstoß

Die Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests lassen sich anschaulich in Boxplots darstellen (Abb. 101). Die Mediane und Verteilungen der Verkehrsmittel unterscheiden sich sehr stark. Bei den fossilen Verkehrsmitteln ist der CO₂-Ausstoß vergleichbar mit der Auswertung des Energieverbrauchs (12.2.7, S. 154). Die elektrisch betriebenen Verkehrsmittel dagegen emittieren überproportional viel CO₂ im Vergleich zum Energieverbrauch aufgrund des hohen Anteils fossiler Rohstoffe im deutschen Strommix. Obwohl der elektrische Pkw rund 12 MJ weniger Energie als der fossile Pkw für die Strecke braucht, unterscheiden sich die CO₂-Emissionen quantitativ nur um knapp 350 Gramm. Das Fahrrad ist das einzige CO₂-neutrale Verkehrsmittel. Bei den ÖPNV-Kombinationen ist auch in dieser Auswertung die Nutzung des Busses statt dem Faltrad für die Unterschiede im CO₂-Ausstoß verantwortlich. Bei dem elektrischen Pkw und Roller sowie der Kombination aus ÖPNV und Faltrad fällt eine starke Asymmetrie der Datenverteilung auf. Die Daten der Pedelec und des elektrischen Roller sind sehr komprimiert um den Median. Dieser Fakt hängt über den Energieverbrauch mit der Fahrweise der TeilnehmerInnen und dem Verkehrsaufkommen auf der Teststrecke zusammen.

Diagramme für den direkten Datenvergleich des CO₂-Ausstoßes

In den folgenden zwei Diagrammen werden die Ergebnisse des Parameters CO₂-Ausstoß vorgestellt und in Relation zueinander gestellt.

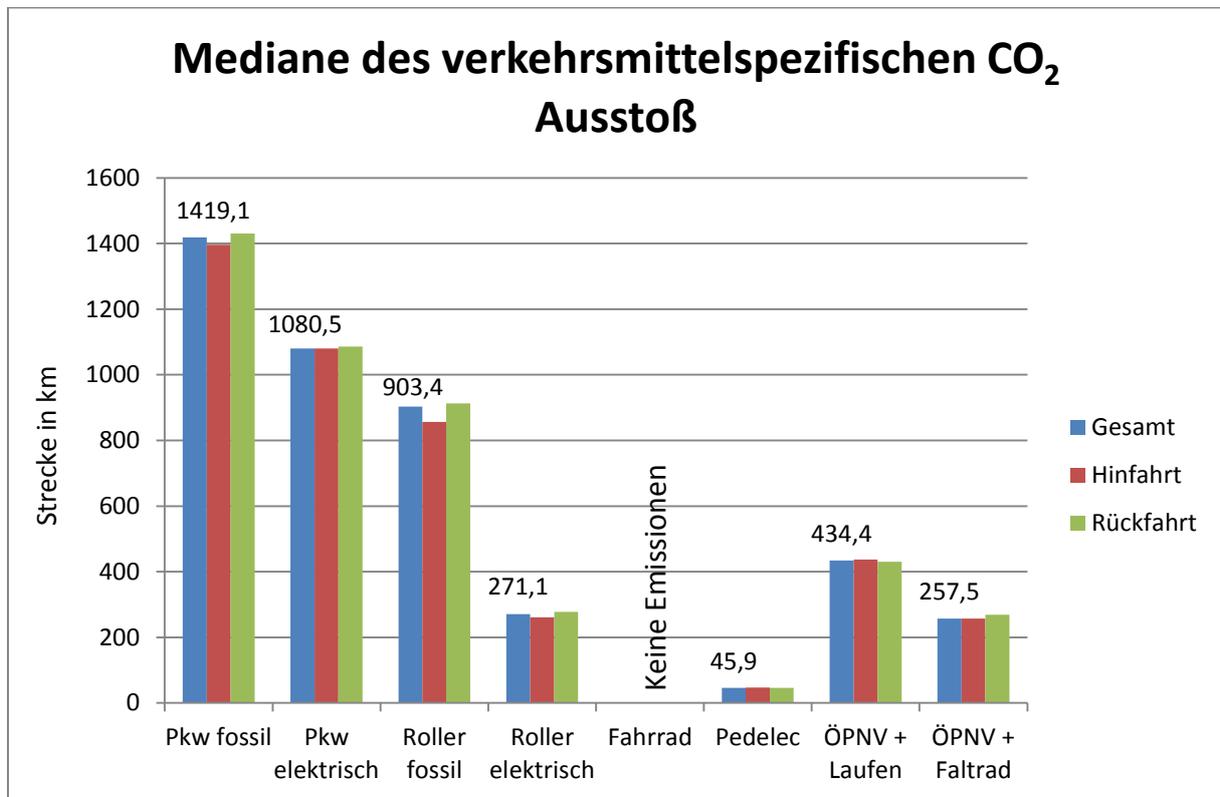


Abb. 102: Mediane der CO₂-Emissionen der Verkehrsmittel pro Fahrt

Die Mediane wurden aus folgender Anzahl Daten berechnet: Pkw fossil: n = 20, Pkw elektrisch: n = 18, Roller fossil: n = 20, Roller elektrisch: n = 20, Fahrrad: n = 20, Pedelec: n = 20, ÖPNV + Laufen: n = 19, ÖPNV + Faltrad = 14. Differenzen zwischen der Hin- und Rückfahrt wurden aufgrund der Auswertung pro Tag nicht aufgenommen.

Das Fahrrad fährt CO₂-neutral und ist daher auf dem ersten Platz für den Parameter. Den zweiten Platz bekommt das Pedelec mit den geringsten CO₂-Emissionen der motorbetrieben bzw. -unterstützten Verkehrsmittel in dem Versuch. Da alle Verkehrsmittel signifikant unterschiedlich zueinander sind, geht die Reihenfolge der Platzierungen vom dritten zum letzten Platz wie folgt weiter: dritter Platz: elektrischer Roller, vierter ist der ÖPNV mit Faltrad, fünfter der ÖPNV mit Laufen, sechster der fossile Roller, siebter der elektrische Pkw und letzter der fossile Pkw. Weitere Informationen zu den Differenzen der CO₂-Emissionen pro Fahrt siehe

Abb. 103.

Entsprechend der gängigen Praxis wurden die CO₂-Emissionen der fossilen Verkehrsmittel nach der „Tank-to-Wheel“-Methode berechnet. Für die lokal emissionsfreien Verkehrsmittel mit elektrischem Motor wurden die CO₂-Emissionen zur Bereitstellung des deutschen Strommixes („Well-to-Tank“) verwendet (6.4.8, S. 47).

In einer durchgängigen Well-to-Tank-Betrachtung sind zum einen die Emissionen hinzuzurechnen, die bei der Förderung, der Verarbeitung und des Transportes der fossilen Kraftstoffe anfallen, und zum anderen die Emissionen für den Stromanteil, der auf dem Weg von der Erzeugung bis zum Verbraucher verloren geht.

Die Tremod-Studie beziffert die „Well-to-Wheel“ CO₂-Emissionen bei Benzin auf 10 - 15 % (IFEU Institut, 2011).

Der durchschnittliche Energieverlust im deutschen Stromnetz wurde für das 2. Quartal 2012 mit 1,9 % angegeben (Statistisches Bundesamt, 2012).

Eine „Well-to-Wheel“ Analyse verändert die Rangfolge der Verkehrsmittel in Bezug auf den CO₂-Ausstoß nicht. Die Differenz von den fossilen zu den elektrischen Verkehrsmitteln würde sich sogar noch um ca. 8 – 13 % vergrößern.

Obwohl sich der Energieverbrauch der Verkehrsmittel stark unterscheidet, unterscheiden sich die CO₂-Emissionen deutlich geringer. Dies begründet sich mit dem hohen CO₂-Ausstoß für den deutschen Strommix und den nicht einberechneten „Well-to-Tank“ Emissionen der fossilen Verkehrsmittel.

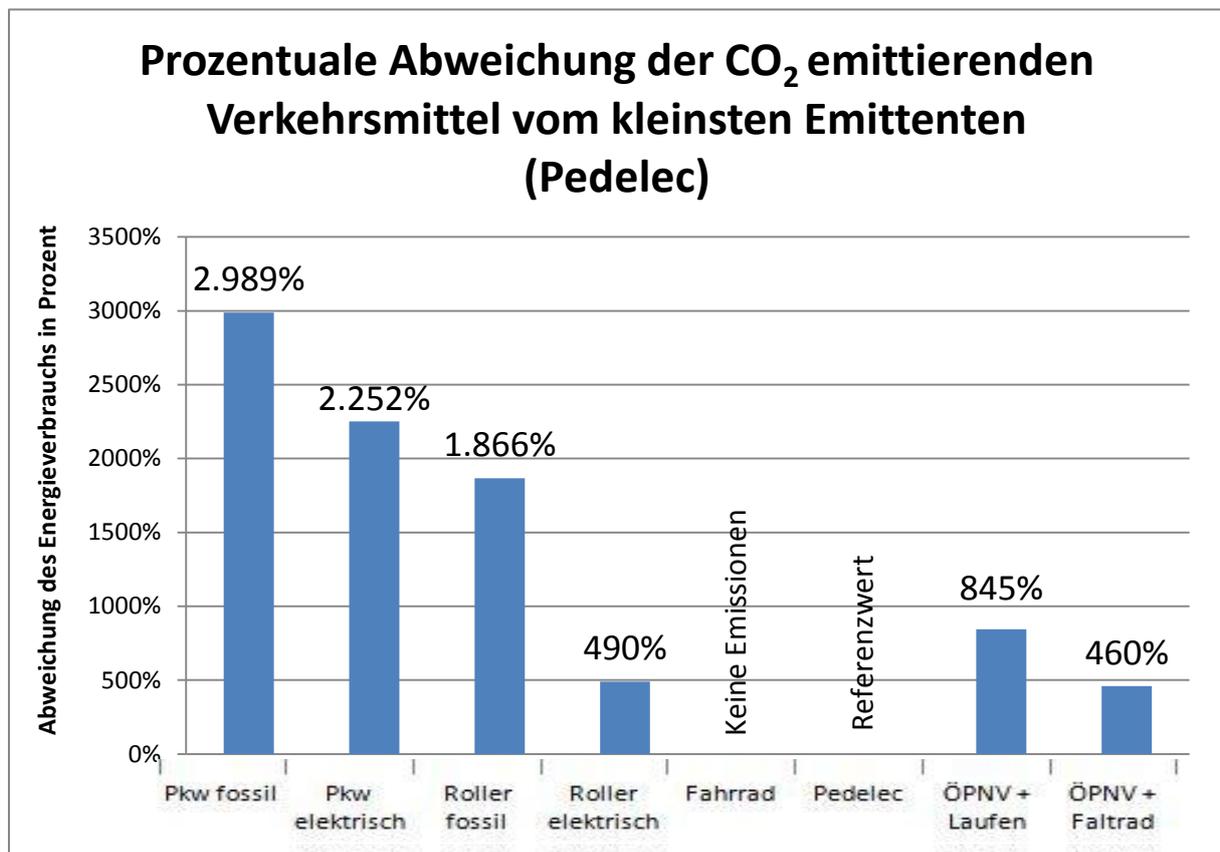


Abb. 103: Prozentuale Differenz zwischen den CO₂-Emissionen der motorisierten Verkehrsmittel und dem Pedelec

Das Fahrrad verbraucht keine Energie und wurde deshalb nicht als Basis für die prozentuale Gegenüberstellung genutzt. Der CO₂-Ausstoß des Pedelegs pro Fahrt ist sehr gering, daher gehen die Steigerungsraten in die tausender Prozente. Wer mit dem fossilen Pkw pendelt, emittiert knapp 3.000 % mehr CO₂ als mit dem Pedelec auf der gleichen Strecke. Im Vergleich zum ÖPNV mit Faltrad produziert der fossile Pkw rund 5,5-mal so viel CO₂. Die elektrischen Verkehrsmittel fallen durch einen geringeren CO₂-Ausstoß auf, jedoch nicht proportional zu dem verminderten Energiebedarf. Überproportional hoch ist der CO₂-Ausstoß des elektrischen Pkw unter anderem durch die mit Ethanol betriebene Heizung. Bei jeder Fahrt fielen ca. 0,5 kWh des Energiebedarfes für die Heizung an. Einen größeren Effekt bei den CO₂-Einsparungen durch den geringeren Energieverbrauch zeigt der elektrische Roller.

Die durchschnittliche Abweichung aller Verkehrsmittel vom Median des geringsten Energieverbrauchers beträgt 668 %.

Die gesamten Daten des Parameters CO₂-Emissionen in Tabellenform sind unter 12.8.8 auf S. 189 einsehbar.

In Analogie zum Verbrauchsszenario unter 9.5.10 auf S. 104 wird auch für den CO₂-Ausstoß des fossilen Pkw ein Alternativszenario auf Basis des Kraftstoffverbrauches nach Herstellerangaben plus 20 % berechnet. Laut Hersteller verbraucht der Fiat 500 innerorts 6,4 L/100 km Super Benzin (Fiat Group Automobiles Germany, 2012). Im folgenden Szenario wurden 20 % mehr Benzinverbrauch aufgrund der kurzen Pendlerstrecke mit kaltem Motor eingerechnet, so dass der Verbrauch bei circa 7,7 L/100 km liegt. Der fossile Pkw emittiert damit ca. 176 Gramm CO₂/km. Im Mittel emittiert eine Pendlerfahrt mit dem fossilen Pkw demnach mit Mittel 1.215 g CO₂ pro Fahrt. Während des Versuchs hatte der Pkw jedoch einen realen Verbrauch von 8,6 L/100 km, pro Kilometer emittierte er damit 197 g und pro Fahrt im Mittel 1.362 g CO₂.

Ranking der Verkehrsmittel nach dem CO₂-Ausstoß

In der

Tabelle 28 sind die Verkehrsmittel nach Ihrem Ergebnis im Parameter CO₂-Ausstoß bewertet. Gemessen wurde bei den konventionellen Verkehrsmitteln der „Tank-to-Wheel“ und bei den elektrischen Verkehrsmitteln nach der „Well-to-Wheel“ Analysemethode. Weitere Informationen zu den Methoden der Untersuchung siehe 6.4.8, S. 47. Das Verkehrsmittel mit dem geringsten CO₂-Ausstoß liegt auf Platz 1, die mit dem höchsten auf Platz 8. Verkehrsmittel teilen sich Platzierungen, wenn zwischen den Ergebnissen keine signifikanten Unterschiede bestanden. Für die Profile der wurden den Platzierungen Punktwerte zugeteilt. Die beste Platzierung erhielt zehn Punkte, die schlechteste null Punkte.

Platz	Verkehrsmittel	Anzahl Punkte
1	Fahrrad	10
2	Pedelec	8,33
3	Roller elektrisch ÖPNV und Faltrad	6,66
4	ÖPNV und Laufen	5
5	Roller fossil	3,32
6	Pkw elektrisch	1,67
7	Pkw fossil	0

Tabelle 28: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter CO₂-Ausstoß

12.3. Ungewichtetes Gesamtergebnis der wichtigsten Parameter

Ohne Gewichtung der Einzelergebnisse für die sieben wichtigsten Parameter ergibt sich das in Tabelle 29 dargestellte Gesamtergebnis:

Verkehrsmittel	Fahrzeit			Kosten			Bewegung			Stress pro Minute			Fahrstrecke			Energieverbrauch			CO ₂ -Ausstoß			Gesamt Punkte	Platz
	Ranking Punkte	Gewichtung	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtung	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtung	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtung	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtung	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtung	Gewichtete Punkte	Ranking Punkte	Gewichtung	Gewichtete Punkte		
Pkw fossil	7,5	14,3	107,3	1,43	14,3	20,4	3,33	14,3	47,6	7,5	14,3	107,3	5	14,3	71,5	0	14,3	0,0	0	14,3	0,0	354	6
Pkw elektrisch	5	14,3	71,5	0	14,3	0,0	3,33	14,3	47,6	0	14,3	0,0	5	14,3	71,5	3,32	14,3	47,5	1,67	14,3	23,9	262	8
Roller fossil	10	14,3	143,0	2,86	14,3	40,9	0	14,3	0,0	2,5	14,3	35,8	0	14,3	0,0	1,67	14,3	23,9	3,32	14,3	47,5	291	7
Roller elektrisch	10	14,3	143,0	4,29	14,3	61,3	0	14,3	0,0	5	14,3	71,5	5	14,3	71,5	6,66	14,3	95,2	6,66	14,3	95,2	538	3
Fahrrad	7,5	14,3	107,3	10	14,3	143,0	10	14,3	143,0	5	14,3	71,5	10	14,3	143,0	10	14,3	143,0	10	14,3	143,0	894	1
Pedelec	10	14,3	143,0	8,57	14,3	122,6	6,66	14,3	95,2	10	14,3	143,0	10	14,3	143,0	8,33	14,3	119,1	8,33	14,3	119,1	885	2
ÖPNV + Laufen	0	14,3	0,0	7,15	14,3	102,2	6,66	14,3	95,2	5	14,3	71,5	0	14,3	0,0	5	14,3	71,5	5	14,3	71,5	412	5
ÖPNV + Faltrad	2,5	14,3	35,8	5,72	14,3	81,8	3,33	14,3	47,6	5	14,3	71,5	5	14,3	71,5	6,66	14,3	95,2	6,66	14,3	95,2	499	4

Tabelle 29: Ungewichtetes Gesamtergebnis der wichtigsten Parameter

Das Fahrrad belegt im ungewichteten Gesamtergebnis den ersten Platz, ganz dicht gefolgt auf Platz 2 vom Pedelec und mit deutlichem Abstand auf Platz 3 vom elektrischen Roller. Danach folgen die beiden ÖPNV-Varianten. Die letzten drei Plätze werden in absteigender Reihenfolge vom fossilen Pkw, dem elektrischen Pkw und dem fossilen Roller belegt.

12.4. Handout Verkehrsregeln für Fahrrad und Pedelec

Verkehrsregeln Fahrrad und Pedelec

Nachfolgend finden Sie einen Auszug aus der Straßenverkehrsordnung (StVO). Wenn Sie sich unsicher im Umgang mit der StVO fühlen, lesen Sie die StVO bitte. Die StVO können Sie unter folgendem Link kostenfrei downloaden:

www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/stvo/gesamt.pdf. Für einen Ausdruck können Sie gerne Herrn Butz ansprechen. Wir bitten Sie die StVO während des Versuchs einzuhalten. Für nutzbare Ergebnisse müssen wir dies leider kontrollieren.

Wo fahre ich? Straße immer/Radwege bei blauem Schild/Fußweg niemals. Fahrradfahrer gehören grundsätzlich auf die Straße. Wo vorhanden, dürfen sie Radwege benutzen. Pflicht sind nur Radwege, an denen ein Schild mit weißem Radler auf blauem Grund steht (Abb. 1). Niemals Fußwege benutzen.



Radfahrer



gemeinsamer
Fuß- und Radweg



getrennter
Fuß- und Radweg

Abb. 1: Diese Schilder verpflichten zur Fahrradweg-Nutzung

Seien Sie kein Geisterfahrer, fahren Sie in Fahrtrichtung. Radler, die auf dem Radweg in Gegenrichtung unterwegs sind, leben gefährlich. Beschilderte Radwege müssen korrekt benutzt werden, sonst immer in Fahrtrichtung fahren.

Am Stau vor der Ampel rechts vorbei ist ok. Radfahrer dürfen zwischen wartenden Autos und Bordstein bis zur roten Ampel langsam vorfahren, wenn dort genug Platz ist.

Welche Ampel? Fahrradampel/Fahrradweg direkt neben Fußweg, dann gilt die Fußgängerampel / ansonsten Autoampel. Grundsätzlich gilt für Radfahrer die Ampel für den Autoverkehr. Ist eine Fahrradampel mit Fahrradzeichen vorhanden, so gilt diese. Wenn der Radweg direkt neben dem Fußweg über die Kreuzung führt und keine Fahrradampel vorhanden ist, gilt die Fußgängerampel.

Vorsicht mit Fußgängern. Radler müssen damit rechnen, dass Fußgänger sie nicht rechtzeitig bemerken und entsprechend langsam fahren.

Handy verboten. Auch auf dem Fahrrad ist das Telefonieren mit dem Handy während der Fahrt verboten.

Pedelecs (bis 25 km/h) gelten rechtlich als Fahrrad und haben gleiche Rechte und Pflichten wie Fahrräder.

Quellen:

Bundesministerium der Justiz

www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/stvo/gesamt.pdf

Verbraucherzentrale Bundesverband e.V.

http://www.verbraucherfuersklima.de/cps/rde/xchg/projektlima/hs.xsl/regeln_fuer_fahradfahrer.htm

Stiftung Warentest

<http://www.test.de/Fahrrad-Ran-an-die-Pedalen-1106507-1106680/>

12.5. Handout für das technische Equipment

Handout für das technische Equipment

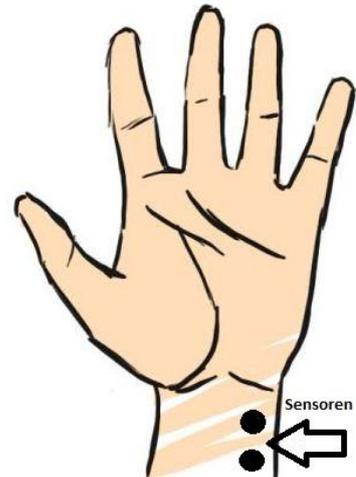
Bitte achten Sie darauf, dass Sie immer wieder die gleichen Geräte mit Ihrer Nummer nutzen!

Umgang mit dem technischen Equipment:

SmartBand

Armband

- An der linken Hand kurz hinter dem Handgelenk
- Sensoren an der Arminnenseite nicht in der Mitte, sondern an der Daumen abgewandten Seite (siehe Bild)
- Öffnung mit Schalter in Richtung Ellenbogen
- Festigkeit: Sicher, angenehm und wackelfrei



Fußband

- An dem linken Fuß über dem Knöchel
- Kann über dem Socken getragen werden, Hose bitte als Schutz drüber ziehen
- Öffnung mit Schalter Richtung Knie
- Festigkeit: Sehr fest anziehen, da die Beine sehr stark bewegt werden und das Fußband sonst verloren geht

onBoard-Kamera

Bitte gehen Sie sicher, dass das Lämpchen an der Kamera leuchtet, diese also eingeschaltet ist.

GPS-Logger

Bitte den folgenden Ablauf **unbedingt genauestens** befolgen:

1. Nach dem Aushändigen durch Herr Butz bitte sicherstellen, dass das Licht am Gerät blinkt
2. Bitte den Knopf am Gerät drücken, wenn Sie durch das Gartentor zu Ihrem Verkehrsmittel laufen
3. Bitte den Knopf drücken, wenn Sie das Verkehrsmittel am Ziel verlassen (z.B. Auto, Bus, Straßenbahn) bzw. vom Verkehrsmittel am Ziel absteigen (z.B. Fahrrad, Roller)
4. Bitte den GPS-Logger ausschalten, wenn Sie arbeitsbereit in klassischer Arbeitsbekleidung am Zielpunkt angekommen sind
5. Technisches Equipment in die Kiste mit Ihrer Nummer bzw. Ihrem Namen legen
6. Bitte warten Sie in dem Raum des Zielpunkts, bis Frau Sofie Wagner oder Heiko Butz angekommen sind (mindestens eine Person muss in dem Raum zur Sicherung der Geräte sein)

Das Wichtigste in Kürze:

Gartentor passiert: GPS KNOPF DRÜCKEN

Verkehrsmittel verlassen bzw. absteigen: GPS KNOPF DRÜCKEN

Arbeitsbereit: GPS-Logger AUSSCHALTEN

WARTEN bis Frau Wagner oder Herr Butz am Zielpunkt sind

12.6. Fragebogen 1: Verkehrsmittelerfahrungen und Fitness

Fragebogen zur Abschätzung der Verkehrsmittelerfahrungen und Fitness der Teilnehmer für den Verkehrsmittelvergleich in Schwerin

Vielen Dank für Ihre freiwillige Teilnahme an dem Verkehrsmittelvergleich in Schwerin. Wir wissen Ihre Mitarbeit sehr zu schätzen. Wir bitten Sie um eine ehrliche Beantwortung der Fragen.

Das Projekt

Wir werden vom **16. – 27.04.12** acht verschiedene Verkehrsmittel bzw. Verkehrsmittelkombinationen hinsichtlich der Faktoren Kosten, Zeit, Umweltbelastung, Energieverbrauch und gesundheitlichen Aspekten verglichen.

Unser Ziel

Mit diesem Projekt wollen wir die Berufspendler Schwerins bei der Wahl für das best geeignete Verkehrsmittel auf dem täglichen Weg zur Arbeit und zurück durch Transparenz unterstützen. Mit den Daten der Durchführung entsteht eine Übersicht über die Eigenschaften der Verkehrsmittel.

Warum dieser Fragebogen?

Wegen der Messung gesundheitlicher Parameter während des Versuchs müssen wir ärztliche Befragungen und Untersuchungen vorab durchführen. Zudem ist das Fahrrad eines der zu vergleichenden Verkehrsmittel. Im Zuge des Versuchs werden Sie an einem Tag morgens 7 km mit dem Fahrrad zum altstädtischen Rathaus und abends 7 km zurück fahren.

Unter folgenden Umständen können Sie leider keinesfalls teilnehmen:

- Schwangerschaft
- Erkrankungen
 - Koronare Herzerkrankung, Herzinsuffizienz, Asthma bronchiale, COPD, Epilepsie, Angststörung, Neigung zu Panikattacken, Platzangst, Einnahme von
- Einnahme von Medikamenten gegen Depression oder zur Beruhigung
- Einnahme von Beta-Blockern
- Drogenkonsum
 - Tägliches Rauchen, Konsum illegaler Drogen. Bei Personen mit sporadischem, sehr seltenem Konsum von umgangssprachlich sog. weichen Drogen muss der letzte Konsum mindestens 3 Monate her sein und bis nach Ende des Versuchs verlässlich unterbleiben.

Verhaltensregeln

Für gleichbleibende gute Messergebnisse ist es relevant, dass alle Testpersonen zwischen dem 14. und 28.04.12 gewisse Verhaltensregeln bereit sind einzuhalten, die ihnen im einzelnen von unserer Ärztin Frau Besuch erläutert werden. Dazu gehört z.B. die Vermeidung von Schlafdefizit und Rest-Alkohol.

Körperliche Untersuchung/Belastungstest (ggf. in der Ferienzeit)

Es ist notwendig zwischen dem 23.03 und 10.04.12, trotz Ferienzeit, für eine körperliche Untersuchung und einen Belastungstest auf einem Fahrradergometer durch Schweriner Ärzte

zeitlich zur Verfügung zu stehen (max. 1 Stunde). Termine können frühzeitig vereinbart werden.

Die bei der Befragung und Untersuchung erhobenen Daten dienen allein der Auswahl geeigneter Testpersonen für diesen Versuch, unterliegen der gesetzlichen ärztlichen Schweigepflicht und werden keinem Dritten (z.B. Arbeitgeber oder Kollegen) zugänglich gemacht.

Ihr Name (bitte in Druckschrift): _____

Ihre Telefonnummer für evtl. Rückfragen: _____

A) Verkehrsmittelerfahrungen und Verkehrsmittelsicherheit

- 1) Wie oft haben Sie die folgenden Verkehrsmittel bereits genutzt?
Bitte geben Sie in der rechten Spalte an, seit wie vielen Monaten Sie das Verkehrsmittel nicht mehr genutzt haben.

Anzahl der Benutzungen	niemals 0	selten 1 – 10	gelegentlich 10 - 20	regelmäßig >20	Seit x Monaten nicht genutzt
Auto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Elektroauto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Motorroller	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Elektroroller	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Fahrrad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Pedelec / Elektrofahrrad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
ÖPNV - Bus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
ÖPNV - Straßenbahn	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____

2) Wie sicher fühlen Sie sich im Umgang mit den folgenden Verkehrsmitteln?

	nach Einweisung und Testfahrt eher			
	sehr unsicher	unsicher	sicher	sehr sicher
Auto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektroauto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Motorroller	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektroroller	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fahrrad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pedelec / Elektrofahrrad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ÖPNV - Bus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ÖPNV - Straßenbahn	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3) Können Sie das Verkehrsmittel nutzen, ohne dass Sie sich durch die ggf. ungewohnte Situation gestresst fühlen?

	ja	nein
Auto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektroauto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Motorroller	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektroroller	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fahrrad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pedelec / Elektrofahrrad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ÖPNV - Bus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ÖPNV - Straßenbahn	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4) Besitzen Sie einen Führerschein für...?

	ja	nein
Auto (Führerscheinklasse 2 bzw. B)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Motorroller (Führerscheinklasse 1 oder 2 bzw. M oder B)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bitte eine ausgedruckte Kopie Ihres Führscheins beilegen oder den Führerschein nach dem Scannen an heiko.butz@ecolibro.de schicken. Vielen Dank!

B) Fahrrad- und Motorradhelm

5) Sind Sie bereit einen Fahrrad- und Motorradhelm zu tragen?

- ja
- nein

Wenn ja, bitte messen Sie Ihren Kopfumfang mit einem Maßband.

Wie viel cm beträgt Ihr Kopfumfang? _____ cm

6) Besitzen Sie einen einwandfreien Helm und könnten diesen für die Verkehrsmittelversuche mitbringen?

ja nein

Motorroller	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fahrrad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

C) Körper

1) Zur Erhebung von medizinischen Daten werden jeweils Bänder mit Sensoren oberhalb des Handgelenks und oberhalb des Fußknöchels befestigt.

Sind diese Hautbereiche bei Ihnen frei von Tätowierungen, Hornhaut, Entzündungen, Rötungen, Narben, Ödemen oder ähnlichem?

Ja, auf **beiden Seiten**

Ja, auf **einer Seite**. Frei ist der Bereich oberhalb meines rechten / linken **Hand-**

gelenks

Frei ist der Bereich oberhalb meines rechten / linken **Fußknöchels**

nein

2) Wie viel cm beträgt der Umfang Ihres Unterarms oberhalb des Handgelenks?
_____ cm

3) Wie viel cm beträgt der Umfang Ihres Unterschenkels oberhalb des Knöchels?
_____ cm

D) Fitness und Sport

- 4) Wie lange ist es her, dass Sie innerhalb eines Tages auf ebenem Gelände 14 km oder zwei mal 7 km am Stück mit dem Fahrrad gefahren sind?
- 1 Tag bis 1 Woche
 - 1 Woche bis 1 Monat
 - 1 bis 3 Monate
 - 3 bis 6 Monate
 - mehr als 6 Monate
- 5) Wären Sie nach der Fahrradfahrt von min. 7 km noch uneingeschränkt leistungsfähig, so dass Sie einen normalen Arbeitstag leisten könnten?
- ja**, ich wäre uneingeschränkt leistungsfähig
 - ja**, aber ich bräuchte eine Pause von 5 - 10 Minuten
 - nein**, ich wäre stark eingeschränkt in meiner Leistungsfähigkeit
- 6) Wie viele Stockwerke können Sie Treppensteigen, bis Sie außer Atem sind und erste Schwäche spüren?

Ca. _____ Stockwerke

- 7) Welche Sportarten bzw. Arten körperlicher Bewegung betreiben min. einmal in der Woche? Auch schnelles Spaziergehen oder Fahrradfahren zählen dazu. Wie oft betreiben Sie diese Sport- bzw. Bewegungsarten? Wie lange machen Sie diese Sport- bzw. Bewegungsarten schon?

Name Sportart / Bewegungsart	Wie viele Minuten pro Woche?	Seit wie vielen Monaten?
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Datum, Unterschrift :

12.7. Fragebogen 2: Gesundheit

Fragebogen zum gesundheitlichen Zustand für den Verkehrsmittelvergleich in Schwerin

Alle Angaben auf diesem Fragenbogen sind freiwillig. Sie sind jedoch unerlässlich zur Vorab-Einschätzung, ob bei Ihnen korrekte Messungen möglich sein werden, und ob es möglich und sinnvoll ist, dass Sie an diesem Verkehrsmittelvergleich teilnehmen. Wir bitten Sie daher ehrliche Auskünfte über Ihre Gesundheit zu geben. Bitte geben Sie alle Informationen an, auch wenn Sie diese nicht für relevant halten. Falls Sie mehr Platz brauchen, können Sie gerne unter Angabe der Fragenummer auf einem Extrablatt weitere Angaben machen. **Diese Daten werden streng vertraulich behandelt und nur von der Sie telefonisch befragenden Praxis Dr. Lucas und den in Schwerin für die körperlichen Untersuchungen beauftragten Ärzten und ggf. deren medizinischem Fachpersonal eingesehen. Alle diese Personen unterliegen der absoluten Schweigepflicht.**

Ihr Arbeitgeber oder andere Personen bekommen **in keinem Fall** Zugang zu diesen Daten.

Falls Sie Fragen oder Bedenken haben, können Sie zu jedem Zeitpunkt den Projektkoordinator Heiko Butz per Email unter heiko.butz@ecolibro.de oder per Handy (**XXX XXXXXXX**) kontaktieren.

Zur Sicherstellung Ihrer Privatsphäre während des Postweges geben Sie bitte statt Ihres Namens Ihr Kürzel an.

Kürzel: _____

(Kürzel = Anfangsbuchstabe des Vor- und Nachnamens)

Ablauf:

1. Bitte geben Sie Ihr Kürzel an und füllen Sie den Fragebogen wahrheitsgemäß aus. Bitte geben Sie alle Informationen an, auch wenn Sie diese nicht für relevant halten. Unterschreiben Sie bitte auf der letzten Seite.
2. Lesen Sie sich den Fragebogen bitte nochmals in aller Ruhe durch und gehen sicher, dass Sie keine Angaben bzw. die Unterschrift auf der letzten Seite vergessen haben.
3. Versenden Sie den Fragebogen bitte per ...
Fax an XXXXX XXXXXXX oder per
Email an XXX@XXX.com
Folgende Dokumente liegen im Idealfall bei:
 - a) Ergebnisse der letzten Blutuntersuchung als Kopie oder Zustimmung für ärztliche Auskunft (siehe Frage 4)
 - b) Aktueller Arztbrief als Kopie (siehe Frage 11)
4. Senden Sie bitte an die gleiche Faxnummer bzw. Emailadresse auf einem separaten Papier ein Schriftstück (formlos) mit den folgenden Angaben :

- a) Ihrem vollen Namen mit Anschrift, Geburtsdatum und Ihrer Telefonnummer
- b) Ihrem in dem Fragebogen verwendeten Kürzel
- c) Ihrer Unterschrift

Vielen Dank für Ihr Vertrauen und Ihre freundliche Mithilfe!

A) Persönliche Daten

- 1) Bitte geben Sie Ihre Körpergröße an: _____ cm
- 2) Bitte geben Sie Ihr Körpergewicht an: _____ kg
- 3) Bitte geben Sie Ihren Kopf-Umfang an: _____ cm
(Bitte mit einem Messband messen. Angabe wegen dem Fahrrad- und Motorradhelm)
- 4) Wann war Ihre letzte Blutuntersuchung bzw. labormedizinische Diagnostik?

Für den Versuch könnten diese Daten erfolgsentscheidend sein. Bitte helfen Sie uns, indem Sie:

- a) eine Kopie der Ergebnisse dem Fragebogen beilegen **oder**
- b) Ihre Zustimmung geben, dass die beauftragten Ärzte die Ergebnisse bei Ihrem behandelnden Arzt erfragen dürfen.

Falls Sie sich für b) entscheiden, bitte geben Sie die Kontaktdaten der Praxis Ihres behandelnden Arztes an:

Name und Vorname: _____

Straße und Hausnr.: _____

PLZ und Ort: _____

Telefonnummer: _____

B) Ernährung

- 5) Sind bei Ihnen Nahrungsmittelunverträglichkeiten bekannt bzw. diagnostiziert?
 - nein
 - ja

Wenn Ja, bitte nennen Sie die unverträglichen Nahrungsmittel.

6) Machen Sie gegenwärtig eine Diät?

nein

ja

7) Nehmen Sie Nahrungsergänzungsmittel?

nein

ja

Wenn ja, bitte nennen Sie die Nahrungsergänzungsmittel und deren Dosierung (Wie viel mg des Wirkstoffs steht auf der Packung? Wie viel ml/mg des Nahrungsergänzungsmittels wird täglich zu welcher Zeit eingenommen?).

Name Einnahme	Menge in ml/mg pro Tag	Tageszeit der
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

C) Medikamente

8) Nehmen Sie **verschreibungspflichtige Medikamente**?

nein

ja

Wenn ja, bitte nennen Sie die Namen der Medikamente und deren Dosierung (Wie viel mg des Wirkstoffs steht auf der Packung? Wie viele Tropfen oder Tabletten des Medikaments werden täglich zu welcher Zeit eingenommen?).

Name	Anzahl der Tropfen/ Tabletten pro Tag	Tageszeit der Einnahme
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

9) Nehmen Sie manchmal oder regelmäßig **frei verkäufliche Medikamente** (z.B. Schmerztabletten, pflanzliche Medikamente oder homöopathische Medikamente)?

nein

ja

Wenn ja, bitte nennen Sie die Namen der Medikamente und deren Dosierung (Wie viel mg des Wirkstoffs steht auf der Packung? Wie viele Tropfen / Tabletten des Medikaments wird täglich zu welcher Zeit eingenommen?).

Name	Anzahl der Tropfen/ Tabletten pro Tag	Tageszeit der Einnahme
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

D) Erkrankungen

10) Wurden bei Ihnen in den **letzten 4 Wochen Erkrankungen** diagnostiziert oder haben Sie **Beschwerden**?

nein

ja

Wenn ja, bitte nennen Sie alle aktuellen Diagnosen der Erkrankungen bzw. Beschwerden

11) Bitte nennen Sie **Vorerkrankungen, Operationen und frühere ausgeheilte Diagnosen**. Bitte geben Sie **körperliche wie auch psychische** Diagnosen an.

Wenn Sie zusätzlich eine Kopie eines aktuellen Arztbriefes haben (z.B. einen Entlassungsbrief aus einer stationären Behandlung für Ihren Hausarzt), den Sie der befragenden Ärztin Fr. Besuch zur Verfügung stellen könnten, wäre dies sehr hilfreich und zeitsparend. Bitte legen Sie das Dokument bzw. die Dokumente als Kopie bei.

Bezeichnung	Zeitpunkt (Monat/Jahr)
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

E) Genussmittel

Bitte machen Sie ehrliche Angaben. Die Schweigepflicht verbietet es den Ärzten und dem medizinischen Fachpersonal gesetzlich die angegebenen Informationen an Dritte zu tragen.

12) Rauchen Sie?

nein

Wenn nein, bitte beantworten Sie Frage 13.

ja

Wenn ja, bitte nennen Sie die tägliche Menge an Zigaretten, die Sie durchschnittlich rauchen und wie lange Sie schon rauchen. Nachfolgend können Sie Frage 13 überspringen.

_____ Zigaretten pro Tag seit ca. _____ Jahre

13) Haben Sie früher geraucht?

nein

ja

Wenn ja, bitte geben Sie an:

Wie lange haben Sie nicht mehr geraucht? _____

Wie lange haben Sie davor geraucht?

Wieviel haben Sie früher geraucht (Zigaretten/Tag)?

14) Trinken Sie Alkohol?

nein

ja

Wenn ja, wie oft trinken Sie Alkohol?

- täglich
- 1 – 2 mal die Woche
- 3 – 4 mal die Woche
- 1 – 3 mal im Monat
- weniger als 1 mal pro Monat

15) Trinken Sie coffeinhaltigen Kaffee, Cola, schwarzen oder grünen Tee, Guarana-haltige Getränke, oder Tees mit scharfen Gewürzen?

- nein
- ja

Wenn ja, bitte machen Sie Angaben, welche Getränke Sie in welcher Menge wie häufig trinken.

Name des Getränks	Menge in Tassen (T) oder Flaschen (F) pro Woche
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

16) Nehmen Sie Drogen?

- nein
- ja

Wenn ja, bitte machen Sie Angaben zu Ihrem Drogenkonsum:

Name der Droge	Zuletzt am	Häufigkeit im Jahr
_____	_____	_____
_____	_____	_____

17) Essen Sie scharf gewürzte Nahrungsmittel bzw. Mahlzeiten?

- nein
- ja

Wenn ja, wie oft? Ca. _____ Mahlzeiten/Snacks pro Woche

F) Allgemeine Fragen

18) Sind bei Ihnen Allergien bekannt bzw. diagnostiziert?

- nein
 ja

Wenn ja, bitte nennen Sie Materialien/Substanzen, auf die Sie allergisch reagieren.

19) Müssen Sie des Öfteren sehr dringhaft zur Toilette (wegen Blasen- oder Darmentleerung), auch ohne einen Infekt zu haben?

- nein
 ja

20) Haben Sie eine Neigung zu Panikattacken?

- nein
 ja

21) Haben Sie Phobien (z.B. Platzangst)?

- nein
 ja

Wenn ja, an welchen Phobien leiden Sie?:

G) Nur für weibliche Testpersonen

22) Sind sie schwanger?

- nein
 ja

23) Wann hatten Sie Ihre letzte Monatsblutung?

Datum:

24) Ist Ihre nächste Monatsblutung während des Testzeitraums von 16. – 27.04.12 zu erwarten?

nein

ja

Wenn ja, haben Sie dabei normalerweise beeinträchtigende Schmerzen oder andere Symptome, durch die Sie nicht so leistungsfähig wie normal sind?

nein

ja

Unterschrift :

Wir danken Ihnen sehr für Ihr Vertrauen und freuen uns auf den Verkehrsmittelvergleich mit Ihnen.

12.8. Ergebnistabellen

12.8.1. Zeit

Die Abb. 104 zeigt die Ergebnisse der Zeitmessung jeder verwertbaren Fahrt der Verkehrsmittel in Minuten. In den Zeilen sind die Daten der Tage aufgelistet. Im Idealfall, wenn alle Datensätze verwendet werden konnten, beginnt die Auflistung in der ersten Zeile mit der Hinfahrt des 16.04.12 und endet in der letzten Zeile mit der Rückfahrt am 27.04.12. In den Spalten stehen die Verkehrsmittel. Diese Daten bilden die Basis für die verkehrsmittelspezifische Mediane.

	Pkw_fossil	Pkw_elektrisch	Roller_fossil	Roller_elektrisch	Fahrrad	Pedelec	ÖPNV+_Laufen	ÖPNV+_Faktrad
1	27,38	39,27	34,30	33,27	19,57	21,57	54,97	42,87
2	26,54	28,12	25,85	26,27	24,65	21,73	47,98	34,52
3	31,46	30,27	18,77	20,75	24,08	23,35	39,48	40,62
4	26,96	32,65	24,62	27,27	25,62	24,48	56,33	47,02
5	22,91	27,52	18,12	18,60	17,55	30,45	45,40	38,38
6	28,88	33,02	25,53	20,40	29,83	33,17	42,83	34,48
7	23,18	27,25	23,03	21,48	30,98	20,60	42,37	34,22
8	23,26	30,93	20,27	21,03	32,70	20,88	38,68	63,50
9	26,58	27,03	30,32	27,15	25,33	17,57	45,07	30,00
10	26,78	29,07	26,15	23,58	23,45	18,17	37,67	35,30
11	28,27	21,85	22,85	25,97	25,45	26,83	40,37	28,63
12	23,64	27,08	19,45	17,07	26,23	33,37	40,98	25,00
13	23,37	28,53	25,35	22,78	23,23	22,95	38,85	41,07
14	23,48	14,70	25,85	25,27	26,67	21,70	38,48	36,70
15	24,43	31,88	32,25	24,78	35,73	20,97	48,78	
16	25,16	31,78	23,00	21,15	38,28	22,70	48,77	
17	17,95	27,13	24,32		23,43	17,87	49,83	
18	29,28	28,32			24,25	17,55	34,57	
19	19,43				22,18	19,20	50,95	
20	18,41				21,67	19,25	53,08	

Abb. 104: Datenbasis Zeit

12.8.2. Geschwindigkeit

12.8.2.1. „Tür zu Tür“-Geschwindigkeit (alle Phasen)

Die Abb. 105 zeigt die Ergebnisse der Geschwindigkeitsberechnung von Tür zu Tür jeder verwertbaren Fahrt der Verkehrsmittel in km/h. In den Zeilen sind die Daten der Tage aufgelistet. Im Idealfall, wenn alle Datensätze verwendet werden konnten, beginnt die Auflistung in der ersten Zeile mit der Hinfahrt des 16.04.12 und endet in der letzten Zeile mit der Rückfahrt am 27.04.12. In den Spalten stehen die Verkehrsmittel. Diese Daten bilden die Basis für die verkehrsmittelspezifische Mediane.

	Pkw_fossil	Pkw_elektrisch	Roller_fossil	Roller_elektrisch	Fahrrad	Pedelec	ÖPNV_+_Laufen	ÖPNV_+_Faktrad
1	16,91	17,85	15,16	15,46	19,93	19,64	9,01	10,62
2	16,17	16,06	20,04	19,91	17,40	18,42	10,84	13,02
3	16,85	18,25	27,04	24,42	16,63	18,16	11,68	11,66
4	19,95	21,99	21,50	19,23	16,79	17,59	8,93	11,53
5	16,25	16,20	28,80	26,89	19,25	15,43	10,52	12,07
6	23,46	14,22	20,62	25,81	17,18	15,94	10,42	12,60
7	18,78	16,57	21,50	23,24	14,00	19,57	10,98	13,65
8	18,16	15,25	25,90	26,70	14,91	19,84	11,34	7,76
9	18,62	20,82	21,91	20,24	16,54	22,52	12,28	14,08
10	19,74	16,83	22,37	22,58	17,14	22,95	12,75	15,41
11	16,84	15,45	30,03	22,20	16,68	16,32	12,00	15,71
12	20,36	27,18	27,46	29,97	15,61	14,21	11,60	17,07
13	18,59	14,02	19,94	22,09	17,01	18,93	11,61	10,55
14	19,30	15,30	17,47	23,08	15,11	18,73	11,38	12,71
15	17,69	16,14	24,62	19,71	13,09	19,24	10,16	
16	17,73	15,42	25,31	24,93	12,20	17,70	10,83	
17	25,65				16,86	22,32	9,60	
18	16,35				16,37	23,04	12,57	
19	25,45				17,78	20,85	9,23	
20	25,18				20,00	20,84	8,89	

Abb. 105: Datenbasis „Tür zu Tür“-Geschwindigkeit

12.8.2.2. „Verkehrsmittel“-Geschwindigkeit (nur Streckenphase)

Die Abb. 106 zeigt die Ergebnisse der Geschwindigkeitsberechnung des Verkehrsmittels jeder verwertbaren Fahrt der Verkehrsmittel in km/h. In den Zeilen sind die Daten der Tage aufgelistet. Im Idealfall, wenn alle Datensätze verwendet werden konnten, beginnt die Auflistung in der ersten Zeile mit der Hinfahrt des 16.04.12 und endet in der letzten Zeile mit der Rückfahrt am 27.04.12. In den Spalten stehen die Verkehrsmittel. Diese Daten bilden die Basis für die verkehrsmittelspezifische Mediane.

	Pkw_fossil	Pkw_elektrisch	Roller_fossil	Roller_elektrisch	Fahrrad	Pedelec	ÖPNV_+_Laufen	ÖPNV_+_Faktrad
1	19,85	21,97	14,97	15,26	19,93	19,64	11,68	17,12
2	21,37	19,47	19,78	19,66	17,40	18,42	21,22	18,63
3	19,55	22,90	26,68	24,09	16,63	18,16	19,65	21,89
4	23,28	23,45	21,23	18,99	16,79	17,59	10,47	19,59
5	20,99	20,16	28,42	26,51	19,25	15,43	18,67	19,46
6	21,36	20,70	20,36	25,47	17,18	15,94	13,45	17,27
7	22,50	21,17	21,21	22,93	14,00	19,57	17,04	18,77
8	22,16	21,04	25,56	26,37	14,91	19,84	19,51	11,95
9	24,78	26,20	21,69	19,97	16,54	22,52	18,22	21,13
10	28,67	24,42	22,09	22,29	17,14	22,95	23,13	20,77
11	19,80	21,13	29,62	21,92	16,68	16,32	16,52	17,33
12	23,81	27,18	27,20	29,55	15,61	14,21	12,98	20,94
13	23,60	15,97	19,68	21,79	17,01	18,93	17,95	19,24
14	25,88	17,89	17,27	22,82	15,11	18,73	17,47	17,10
15	20,47	19,71	24,28	19,44	13,09	19,24	17,14	
16	22,88	21,10	25,00	24,60	12,20	17,70	12,68	
17	36,80				16,86	22,32	17,53	
18	18,90				16,37	23,04	19,65	
19	32,73				17,78	20,85	14,26	
20	33,62				20,00	20,84	11,44	

Abb. 106: Datenbasis „Verkehrsmittel“-Geschwindigkeit

12.8.3. Kosten

Die Abb. 107 zeigt die Ergebnisse der Kostenberechnung jeder verwertbaren Fahrt der Verkehrsmittel in €. In den Zeilen sind die Daten der Tage aufgelistet. Im Idealfall, wenn alle Datensätze verwendet werden konnten, beginnt die Auflistung in der ersten Zeile mit der Hinfahrt des 16.04.12 und endet in der letzten Zeile mit der Rückfahrt am 27.04.12. In den Spalten stehen die Verkehrsmittel. Diese Daten bilden die Basis für die verkehrsmittelspezifische Mediane.

	Pkw_fossil	Pkw_elektrisch	Roller_fossil	Roller_elektrisch	Fahrrad	Pedelec	ÖPNV_+_Laufen	ÖPNV_+_Faltrad
1	3,01	4,28	1,85	1,46	0,45	0,86	0,97	1,19
2	2,94	4,16	1,80	1,45	0,49	0,82	0,97	1,09
3	3,61	3,86	1,69	1,37	0,46	0,86	0,97	1,12
4	3,77	3,49	1,83	1,46	0,50	0,88	0,97	1,09
5	3,00	3,43	1,73	1,33	0,39	0,96	0,97	1,15
6	3,00	3,49	1,83	1,42	0,59	1,08	0,97	1,12
7	2,98	3,54	1,70	1,35	0,50	0,82	0,97	1,02
8	2,75	3,49	1,77	1,52	0,56	0,84	0,97	1,03
9	3,27	3,49	2,35	1,38	0,48	0,80	0,97	1,18
10	3,46	3,46	1,82	1,46	0,46	0,84	0,97	1,13
11	3,29	3,27	1,67	1,43	0,49	0,89	0,97	1,09
12	3,38	3,48	2,42	1,34	0,47	0,97	0,97	1,11
13	2,96	3,82	1,79	1,37	0,46	0,88	0,97	1,16
14	3,11	3,49	2,00	1,62	0,46	0,83	0,97	1,10
15	2,97	3,46	1,70	1,35	0,54	0,82	0,97	
16	2,96		1,88	1,43	0,54	0,82	0,97	
17	3,12				0,46	0,80	0,97	
18	3,30				0,46	0,81	0,97	
19	3,40				0,45	0,81	0,97	
20	3,18				0,50	0,82	0,97	

Abb. 107: Datenbasis Kosten

12.8.4. Körperliche Bewegung

Die Abb. 108 zeigt die Ergebnisse der Bewegungsaufzeichnung jeder verwertbaren Fahrt der Verkehrsmittel in Schritte bzw. Schrittäquivalente. In den Zeilen sind die Daten der Tage aufgelistet. Im Idealfall, wenn alle Datensätze verwendet werden konnten, beginnt die Auflistung in der ersten Zeile mit der Hinfahrt des 16.04.12 und endet in der letzten Zeile mit der Rückfahrt am 27.04.12. In den Spalten stehen die Verkehrsmittel. Diese Daten bilden die Basis für die verkehrsmittelspezifische Mediane.

	Pkw_fossil	Pkw_elektrisch	Roller_fossil	Roller_elektrisch	Fahrrad	Pedelec	ÖPNV_+_Laufen	ÖPNV_+_Faktrad
1	374,00	405,00	243,00	242,00	1051,00	878,00	659,00	535,00
2	399,00	426,00	252,00	287,00	1157,00	897,00	662,00	639,00
3	420,00	440,00	263,00	294,00	1165,00	901,00	742,00	646,00
4	448,00	451,00	286,00	328,00	1184,00	954,00	743,00	646,00
5	500,00	468,00	311,00	329,00	1200,00	961,00	792,00	679,00
6	530,00	495,00	407,00	334,00	1243,00	964,00	798,00	705,00
7	593,00	521,00	411,00	338,00	1258,00	989,00	802,00	710,00
8	597,00	521,00	424,00	403,00	1266,00	1006,00	805,00	747,00
9	672,00	586,00	487,00	413,00	1286,00	1026,00	819,00	785,00
10	786,00	634,00	516,00	415,00	1360,00	1061,00	968,00	818,00
11	804,00	729,00	543,00	483,00	1427,00	1063,00	1040,00	860,00
12	812,00	745,00	619,00	517,00	1450,00	1080,00	1083,00	910,00
13	1027,00	808,00	726,00	552,00	1711,00	1115,00	1224,00	912,00
14	1455,00	1021,00		556,00	1715,00	1128,00	1381,00	985,00
15	1648,00			572,00	1757,00	1307,00	1443,00	1302,00
16				612,00	1926,00	1382,00	1464,00	
17				635,00			1737,00	
18				954,00				

Abb. 108: Datenbasis Bewegung

12.8.5. Stress

Stress pro Minute

Die Abb. 109 zeigt die Ergebnisse der Stressaufzeichnung jeder verwertbaren Fahrt der Verkehrsmittel in der Höhe des Stress-Response. In den Zeilen sind die Daten der Tage aufgelistet. Im Idealfall, wenn alle Datensätze verwendet werden konnten, beginnt die Auflistung in der ersten Zeile mit der Hinfahrt des 16.04.12 und endet in der letzten Zeile mit der Rückfahrt am 27.04.12. In den Spalten stehen die Verkehrsmittel. Diese Daten bilden die Basis für die verkehrsmittelspezifische Mediane.

	Pkw_fossil	Pkw_elektrisch	Roller_fossil	Roller_elektrisch	Fahrrad	Pedelec	ÖPNV+_Laufen	ÖPNV+_Faltrad
1	0,46	0,55	0,10	1,42	1,42	0,16	0,37	0,00
2	0,66	0,32	0,39	0,01	0,13	0,36	0,39	0,00
3	0,00	1,59	0,00	0,00	0,67	0,28	1,98	0,00
4	0,00	0,03	0,00	1,24	0,30	0,00	0,30	0,00
5	0,00	1,18	0,93	0,00	0,96	0,00	0,47	0,11
6	0,26	0,91	0,61	0,27	0,17	0,04	0,02	0,19
7	0,46	0,47	0,53	0,32	0,30	0,00	0,03	0,23
8	0,54	0,47	0,45	0,01	0,26	0,25	0,01	0,40
9	0,00	2,51	0,70	0,32	0,51	2,02	0,02	0,43
10	0,00	2,20	1,46	0,35	0,00	0,91	0,02	0,56
11	0,27	0,07	0,69	0,55	0,04	0,00	0,42	0,63
12	0,00	0,00	0,00		3,05	0,00	0,33	0,70
13	1,12	0,00	0,00		0,46	0,30	0,42	1,09
14	0,59	0,10	2,08		2,87	1,08	1,70	1,35
15	0,11	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	
16	0,24		0,01		0,00	0,09	0,06	
17	0,41				0,75	1,66		
18					0,01	2,48		
19						0,00		
20						0,50		

Abb. 109: Datenbasis Stress pro Minute

Stress-Korrelation

Die Abb. 110 zeigt die Korrelationswerte von der Stressaufzeichnung und der Zeit. In den Zeilen sind die Daten der Tage aufgelistet. Im Idealfall, wenn alle Datensätze verwendet werden konnten, beginnt die Auflistung in der ersten Zeile mit der Hinfahrt des 16.04.12 und endet in der letzten Zeile mit der Rückfahrt am 27.04.12. In den Spalten stehen die Verkehrsmittel. Diese Daten bilden die Basis für die verkehrsmittelspezifische Mediane.

	Pkw_fossil	Pkw_elektrisch	Roller_fossil	Roller_elektrisch	Fahrrad	Pedelec	ÖPNV+_Laufen	ÖPNV+_Faltrad
1	-1,07	-1,57	-0,53	-0,31	-0,48	-0,47	-1,11	-2,00
2	-0,60	-1,15	-0,09	-0,24	-0,24	-0,46	-0,58	-1,56
3	-0,26	-1,03	-0,06	-0,16	-0,20	-0,44	-0,09	-0,91
4	-0,04	-0,43	0,00	0,17	-0,07	-0,40	0,17	-0,82
5	0,00	0,40	0,00	0,71	0,10	0,00	0,17	-0,32
6	0,09	0,41	0,13	0,85	0,17	0,00	0,19	-0,02
7	0,14	0,83	0,16	-1,00	0,24	0,33	0,76	0,21
8	0,25	1,95	0,53	-0,50	0,36	0,46	0,99	1,87
9	1,17	-0,51	0,93	-0,05	0,70	0,66	-1,47	-1,07
10	1,72	0,09	-1,00	0,13	-0,91	0,83	-1,20	-1,02
11	-0,69	0,21	-0,34	0,70	-0,72	-0,99	-0,86	-0,60
12	-0,44	0,36	-0,32		-0,62	-0,62	0,20	-0,03
13	-0,12	0,42	-0,11		-0,54	-0,32	0,21	-0,01
14	0,00	0,74	0,14		0,13	-0,22	0,21	0,43
15	0,22		0,31		0,16	0,11	0,23	1,17
16	1,37		0,47		0,18	0,18	1,06	1,99
17					0,27	0,25		
18					0,76	0,45		
19						0,46		

Abb. 110: Datenbasis Stress Korrelation

12.8.6. Strecke

Die Abb. 111 zeigt die Aufzeichnungen der Streckenlänge jeder verwertbaren Fahrt der Verkehrsmittel in Kilometern. In den Zeilen sind die Daten der Tage aufgelistet. Im Idealfall, wenn alle Datensätze verwendet werden konnten, beginnt die Auflistung in der ersten Zeile mit der Hinfahrt des 16.04.12 und endet in der letzten Zeile mit der Rückfahrt am 27.04.12. In den Spalten stehen die Verkehrsmittel. Diese Daten bilden die Basis für die verkehrsmittelspezifische Mediane.

	Pkw_fossil	Pkw_elektrisch	Roller_fossil	Roller_elektrisch	Fahrrad	Pedelec	ÖPNV_+_Laufen	ÖPNV_+_Faktrad
1	7,68	8,86	8,04	7,93	6,50	6,98	8,25	7,58
2	7,12	8,60	7,80	7,89	7,15	6,60	8,67	7,49
3	8,80	8,22	7,33	7,43	6,68	6,99	7,69	7,89
4	8,62	11,92	7,93	7,94	7,17	6,56	8,39	9,03
5	7,00	7,22	7,50	7,21	6,50	7,77	7,96	7,72
6	11,24	7,09	7,37	7,70	6,50	8,75	7,49	7,70
7	7,21	7,19	7,36	7,35	7,23	6,64	7,76	7,79
8	7,00	7,26	7,67	8,25	8,13	6,50	7,70	8,21
9	8,21	7,24	10,16	7,47	6,99	6,76	9,22	7,70
10	8,73	7,46	7,89	7,73	6,70	7,16	8,00	7,70
11	7,86	7,22	8,35	7,76	7,07	7,84	8,07	7,50
12	7,98	7,00	7,23	7,28	6,47	7,08	6,56	7,70
13	7,16	7,22	10,46	7,37	6,59	6,70	7,70	7,22
14	7,17	7,85	7,76	8,51	6,71	6,64	8,26	7,78
15	7,16		8,66	7,32	7,80	6,62	8,26	
16	7,00		7,38	7,75	7,10	6,46	7,97	
17			8,15		6,58	6,55	7,70	
18					6,62	6,58	7,70	
19					6,57	6,50	7,87	
20					6,50			

Abb. 111: Datenbasis Streckenlänge

12.8.7. Energieverbrauch

Die Abb. 112 zeigt die Ergebnisse der Verbrauchsmessungen jeder verwertbaren Fahrt der Verkehrsmittel in MegaJoule. In den Zeilen sind die Daten der Tage aufgelistet. Im Idealfall, wenn alle Datensätze verwendet werden konnten, beginnt die Auflistung in der ersten Zeile mit der Hinfahrt des 16.04.12 und endet in der letzten Zeile mit der Rückfahrt am 27.04.12. In den Spalten stehen die Verkehrsmittel. Diese Daten bilden die Basis für die verkehrsmittelspezifische Mediane.

	Pkw_fossil	Pkw_elektrisch	Roller_fossil	Roller_elektrisch	Fahrrad	Pedelec	ÖPNV_+_Laufen	ÖPNV_+_Faltrad
1	18,72	8,12	12,39	1,79	0,00	0,31	4,15	1,31
2	18,28	7,94	12,01	1,78	0,00	0,29	4,13	1,66
3	22,41	7,51	11,29	1,68	0,00	0,31	3,97	1,93
4	23,43	10,70	12,21	1,79	0,00	0,31	3,88	3,94
5	18,64	6,96	11,54	1,63	0,00	0,34	4,01	1,66
6	18,64	6,86	12,20	1,74	0,00	0,38	3,97	1,73
7	18,52	6,96	11,33	1,66	0,00	0,29	3,98	3,95
8	17,07	7,02	11,81	1,87	0,00	0,30	3,94	4,06
9	20,32	6,96	15,69	1,69	0,00	0,29	3,88	1,15
10	21,52	6,96	12,15	1,79	0,00	0,30	4,06	1,64
11	20,47	6,91	11,13	1,75	0,00	0,31	4,09	1,66
12	21,02	6,63	16,17	1,64	0,00	0,35	4,44	1,74
13	18,37	6,95	11,95	1,69	0,00	0,31	3,87	1,36
14	19,33	7,44	13,36	1,98	0,00	0,29	3,82	1,66
15	18,42	6,96	11,37	1,65	0,00	0,29	4,13	
16	18,40	6,92	12,56	1,75	0,00	0,29	3,88	
17	19,41				0,00	0,28	4,01	
18	20,47				0,00	0,29	3,90	
19	21,13				0,00	0,29	3,98	
20	19,73				0,00	0,29	3,95	

Abb. 112: Datenbasis Energieverbrauch

12.8.8. CO₂-Ausstoß

Die Abb. 113 zeigt die Ergebnisse der CO₂-Berechnungen jeder verwertbaren Fahrt der Verkehrsmittel in Gramm. In den Zeilen sind die Daten der Tage aufgelistet. Im Idealfall, wenn alle Datensätze verwendet werden konnten, beginnt die Auflistung in der ersten Zeile mit der Hinfahrt des 16.04.12 und endet in der letzten Zeile mit der Rückfahrt am 27.04.12. In den Spalten stehen die Verkehrsmittel. Diese Daten bilden die Basis für die verkehrsmittelspezifische Mediane.

	Pkw_fossil	Pkw_elektrisch	Roller_fossil	Roller_elektrisch	Fahrrad	Pedelec	ÖPNV_+_Laufen	ÖPNV_+_Faltrad
1	1371,12	1261,49	925,99	278,27	0,00	47,66	462,03	203,85
2	1339,00	1233,47	898,22	276,88	0,00	45,05	458,12	257,14
3	1641,83	1166,33	843,83	260,56	0,00	47,74	433,97	298,93
4	1716,66	1661,19	913,08	278,70	0,00	48,53	419,86	429,76
5	1365,71	1080,63	863,00	253,01	0,00	53,04	439,82	257,81
6	1365,59	1065,70	912,03	270,25	0,00	59,74	433,73	268,71
7	1356,90	1080,13	846,89	257,98	0,00	45,33	435,05	430,74
8	1250,28	1090,78	883,16	289,69	0,00	46,60	428,70	447,15
9	1488,85	1080,23	1173,35	262,21	0,00	44,38	419,86	178,63
10	1576,45	1080,49	908,52	278,56	0,00	46,15	447,09	255,34
11	1499,39	1073,68	832,22	272,36	0,00	48,91	452,33	257,14
12	1540,19	1029,86	1208,74	255,16	0,00	53,57	507,16	269,91
13	1345,72	1078,55	893,73	261,99	0,00	48,37	418,35	211,02
14	1416,00	1155,62	998,98	307,90	0,00	45,74	410,73	257,14
15	1349,74	1080,61	849,99	256,79	0,00	45,38	459,42	
16	1348,25	1074,17	939,25	271,97	0,00	45,23	419,86	
17	1422,25				0,00	44,12	440,75	
18	1500,00				0,00	44,71	422,58	
19	1548,28				0,00	44,97	434,75	
20	1445,06				0,00	45,08	431,22	

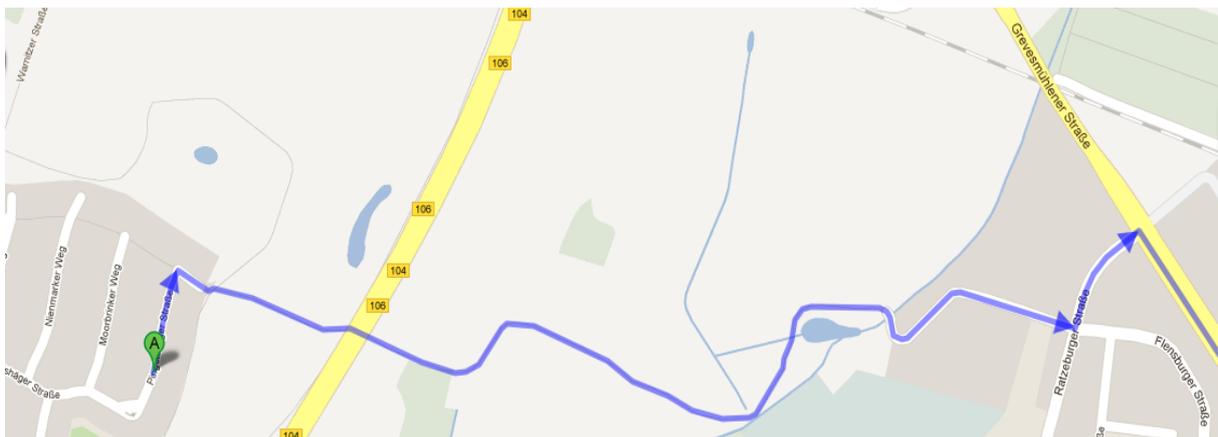
Abb. 113: Datenbasis CO₂-Ausstoß

12.9. Handouts für die empfohlene Streckenführung

12.9.1. Fahrrad und Pedelec (Feldweg)

(Dieser Versuch ist kein Rennen, bitte beachten Sie die StVO. Die Videoaufnahmen werden auf Verstöße kontrolliert!)

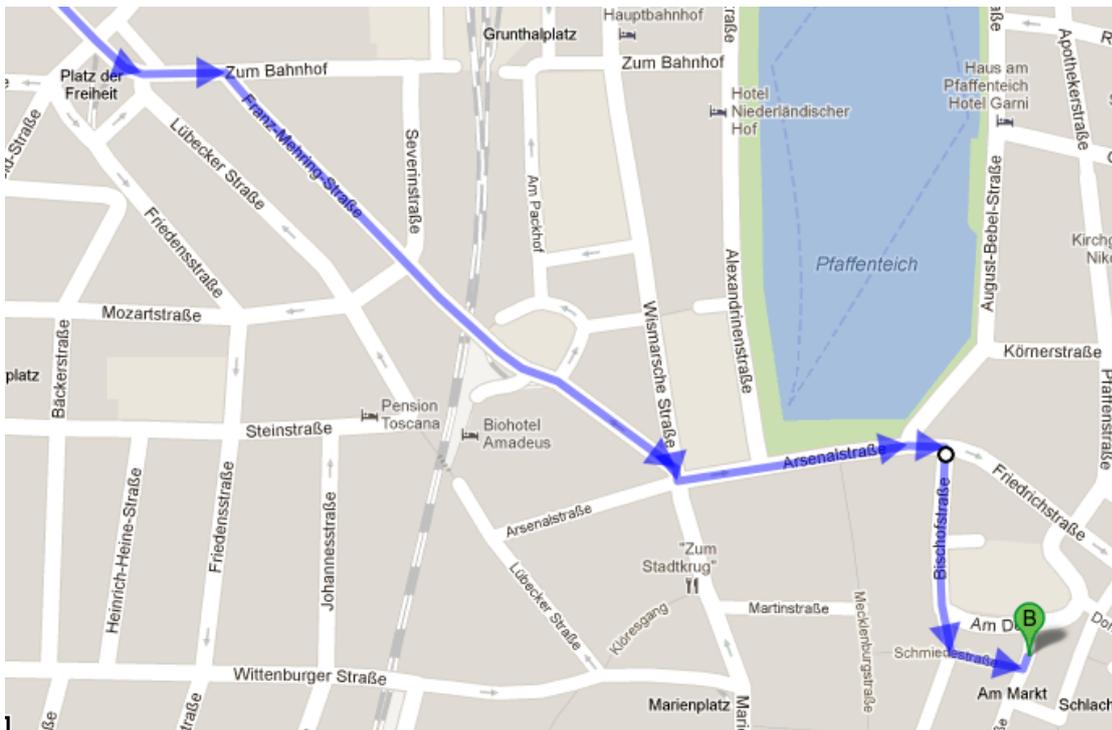
1. Nutzen Sie die Abkürzung zur Hauptstraße: Die Pingelshäger Str. (A) bis zum Ende durchfahren und auf den Feldweg fahren. Unter der Autobahn durch, am Teich vorbei und auf der Ratzeburger Str. links. Auf der Grevesmühlener Str. rechts.



3,5 km Richtung Innenstadt

2. Auf der Grevesmühlener Str. und Lübecker Str. 3,5 km geradeaus in Richtung Innenstadt. Über die Kreuzung des Obotritenring bis zum „Platz der Freiheit“.

3. Schräg links in die Straße „zum Bahnhof“ und gleich wieder rechts in die Franz-Mehring-Str. Die Wismarsche Straße schräg links kreuzen in die Arsenalstraße. Rechts in die Bischofsstr. und links in die Schmiedstraße. Dann sind Sie am Altstädtischen Rathaus.



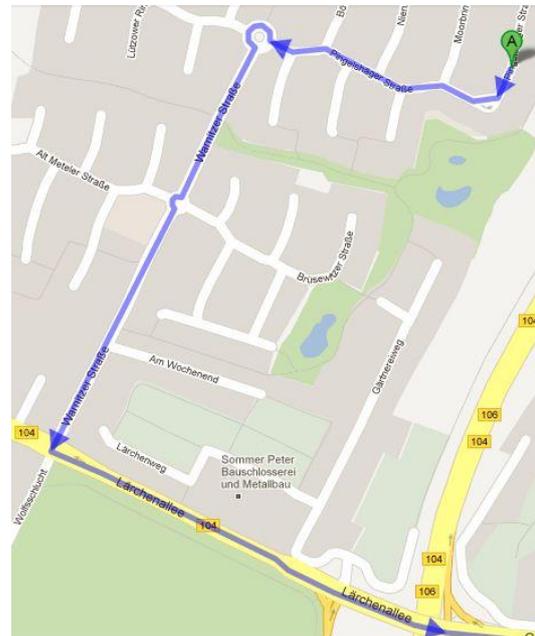
Sie haben es geschafft, das waren ca. 6,3 km.

12.9.2. Fahrrad und Pedelec (Straßenweg)

(Dieser Versuch ist kein Rennen, bitte beachten Sie die StVO. Die Videoaufnahmen werden auf Verstöße kontrolliert!)

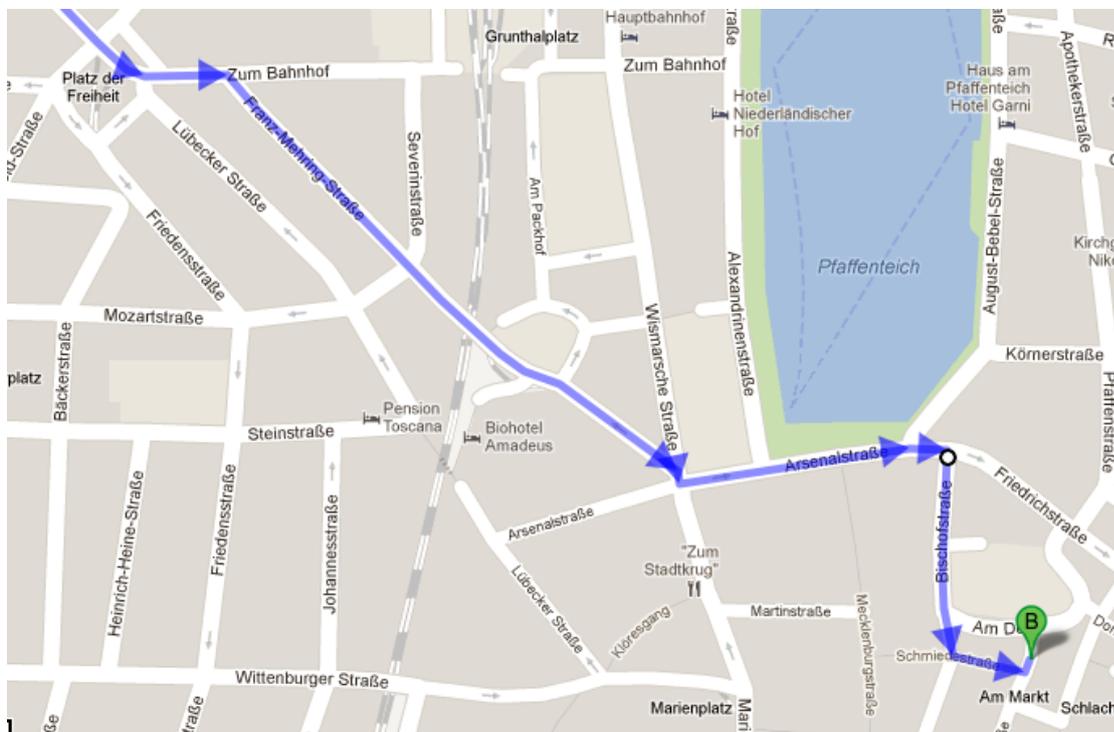
1. Folgen Sie von der Pingelshäger Str. (A) zum Kreisel. Fahren Sie bitte links in die Warnitzer Straße und folgen dieser bis zur Hauptstraße. Biegen Sie links ab auf die Lärchenallee und folgen Sie der Straße über die Brücke hinweg.

2. Wenn Sie über die Brücke gefahren sind immer weiter gerade aus. Sie 4,5 km in Richtung Innenstadt auf der Gadebuscher Straße, die in die Lübecker Straße übergeht. Über die Kreuzung des Obotritenring bis zum „Platz der Freiheit“.



4,5 km geradeaus in Richtung Innenstadt

3. Fahren Sie bitte schräg links in die Straße „zum Bahnhof“ und gleich wieder rechts in die Franz-Mehring-Str. Die Wismarsche Straße schräg links kreuzen in die Arsenalstraße. Rechts in die Bischofstr. und links in die Schmiedstraße. Dann sind Sie am Altstädtischen Rathaus.



Sie haben es geschafft, das waren ca. 7 km.

12.9.3. Faltrad in Kombination mit ÖPNV

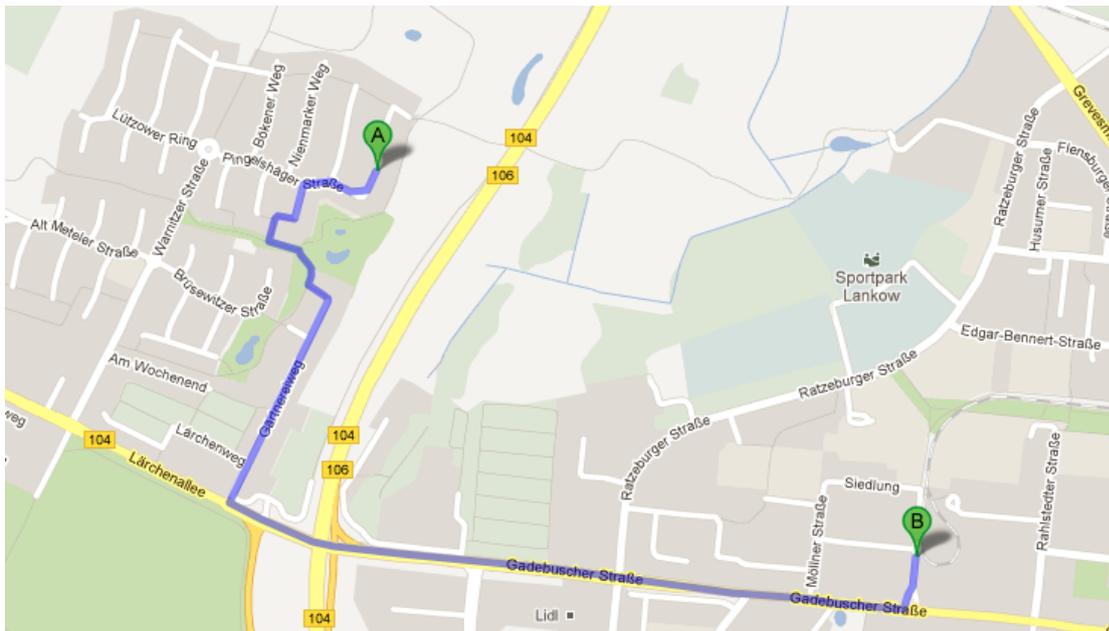
(Dieser Versuch ist kein Rennen, bitte beachten Sie die StVO. Die Videoaufnahmen werden auf Verstöße kontrolliert!)

12.9.3.1. Hinfahrt Option (Abfahrt 07:30 Uhr)

(Durch die Taktung der Straßenbahn alle 15 Min. möglich)

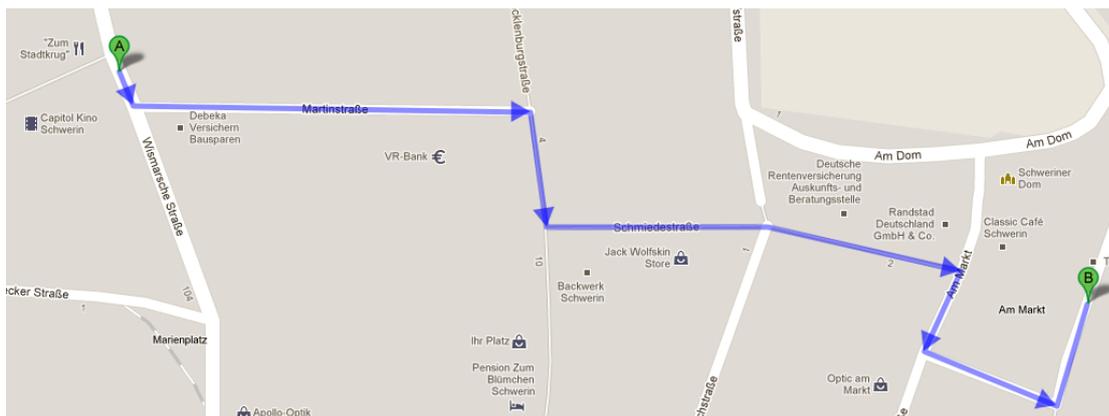
Bahnhof/Haltestelle	Datum	Zeit	Gleis	Produkte
Lankow-Siedlung, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	ab 07:30	STR 2	Straßenbahn Richtung: Hegelstraße, Schwerin (Meckl)
Klöresgang, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	an 07:43		Behindertengerechtes Fahrzeug
 Fußweg 5 Min.				
Schwerin - Altstadt, Am Markt 1				
Dauer: 0:18; fährt nicht täglich, 10. Apr bis 1. Jun 2012 Mo - Fr; nicht 1., 17., 28. Mai				

1. Fahren Sie von der Pingelshäger Str. 5 (A) zu der Straßenbahn-Haltestelle „Lankow-Siedlung“ (B) (2,3 km).



2. Steigen Sie an der Haltestelle „Lankow-Siedlung“ in die Straßenbahn 2 Richtung Hegelstraße ein. Abfahrt alle 15 Min.

3. Steigen Sie an der Station „Klöresgang“ (A) aus und fahren Sie zum Altstädtischen Rathaus (B) (450 m).

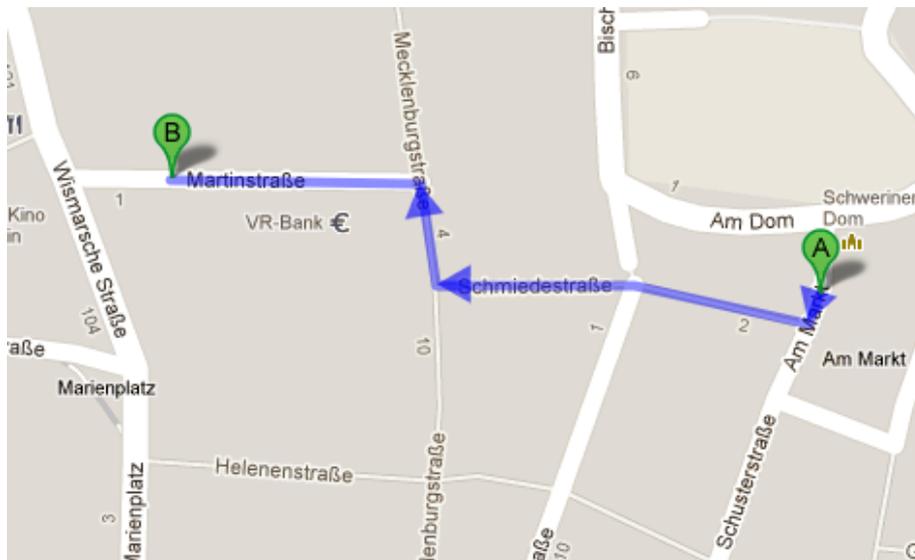


12.9.3.2. Rückfahrt Option (Abfahrt 16:21Uhr)

Bahnhof/Haltestelle	Datum	Zeit	Gleis	Produkte
Schwerin - Altstadt, Am Markt 1				
🚲 Fahrrad 2 Min.				
Martinstraße, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	ab 16:21	STR 2	Straßenbahn Richtung: Lankow-Siedlung, Schwerin (Meckl)
Lankow-Siedlung, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	an 16:34		Behindertengerechtes Fahrzeug
🚲 Fahrrad 11 Min.				
Schwerin - Friedrichsthal, Pingelshäger Straße 5				

Dauer: 0:26; fährt nicht täglich, 10. Apr bis 4. Aug 2012 Mo - Sa; nicht 1., 17., 28. Mai

1. Fahren Sie von dem Altstädtischen Rathaus (A) zur Straßenbahn-Haltestelle Martinstr. (B) (300 m). Steigen Sie in die Straßenbahn 2 Richtung „Lankow-Siedlung“, Abfahrt 16:21Uhr.



2. Steigen Sie an der Station „Lankow-Siedlung“ aus und fahren Sie zur Pingelshäger Str. 5 (2,3 km). Beschreibung siehe Hinfahrt Option 2 in umgedrehter Reihenfolge.

12.9.4. ÖPNV + Laufen / ÖPNV + Faltrad bei schlechtem Wetter

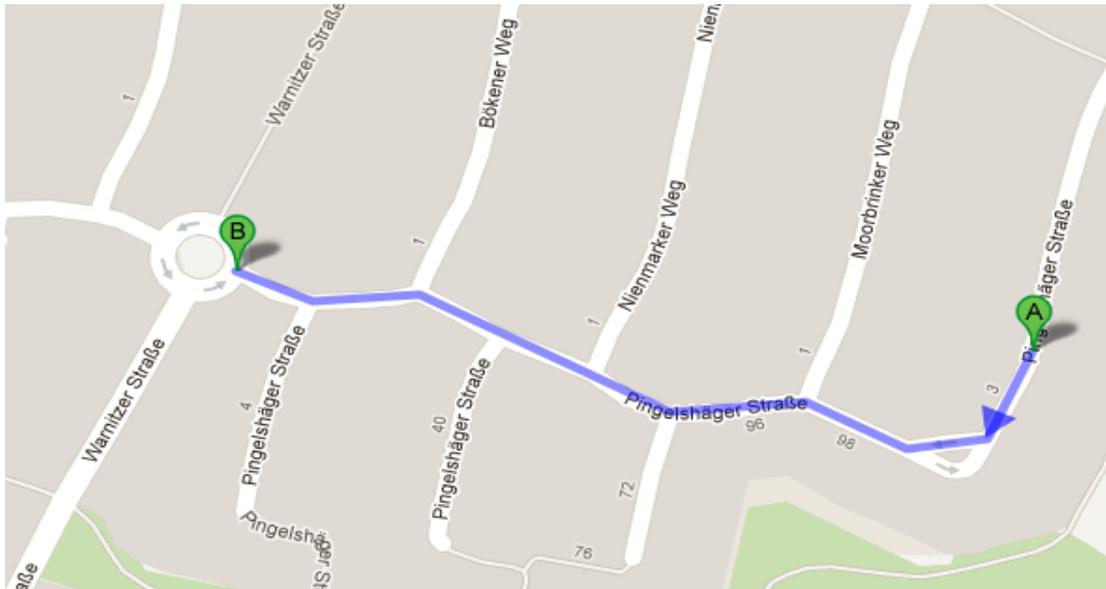
(Dieser Versuch ist kein Rennen, bitte beachten Sie die StVO. Die Videoaufnahmen werden auf Verstöße kontrolliert!)

12.9.4.1. Hinfahrt Option 1 (Abfahrt 07:19Uhr)

Bahnhof/Haltestelle	Datum	Zeit	Gleis	Produkte
Schwerin - Friedrichsthal, Pingelshäger Straße 5				
🚶 Fußweg 5 Min.				
Warnitzer Straße, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	ab 07:19	Bus 18	Bus Richtung: Schwerin, Pingelshagen
Lankow-Siedlung, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	an 07:24		Behindertengerechtes Fahrzeug
Umsteigezeit 6 Min.				
Lankow-Siedlung, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	ab 07:30	STR 2	Straßenbahn Richtung: Hegelstraße, Schwerin (Meckl)
Klöresgang, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	an 07:43		Behindertengerechtes Fahrzeug
🚶 Fußweg 5 Min.				
Schwerin - Altstadt, Am Markt 1				

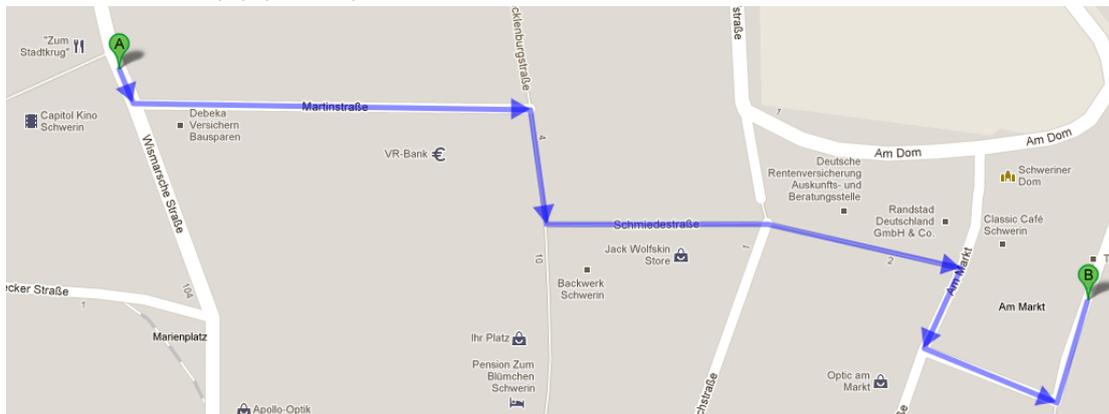
Dauer: 0:34; fährt nicht täglich, 10. Apr bis 1. Jun 2012 Mo - Fr; nicht 1., 17., 28. Mai

1. Laufen bzw. fahren Sie von der Pingelshäger Str. 5 (A) zur Bushaltestelle an der Warnitzer Str. (B) (400 m). Steigen Sie in den **Bus 18** Richtung Pingelshagen, Abfahrt 07:19Uhr.



2. Umsteigen an der Station „Lankow-Siedlung“ in die **Straßenbahn 2** Richtung Hegelstraße, Abfahrt 7:30Uhr. Umsteigezeit: 6 Min.

3. Steigen Sie an der Station „Klößgang“ (A) aus und laufen bzw. fahren Sie zum Altstädtischen Rathaus (B) (450 m).

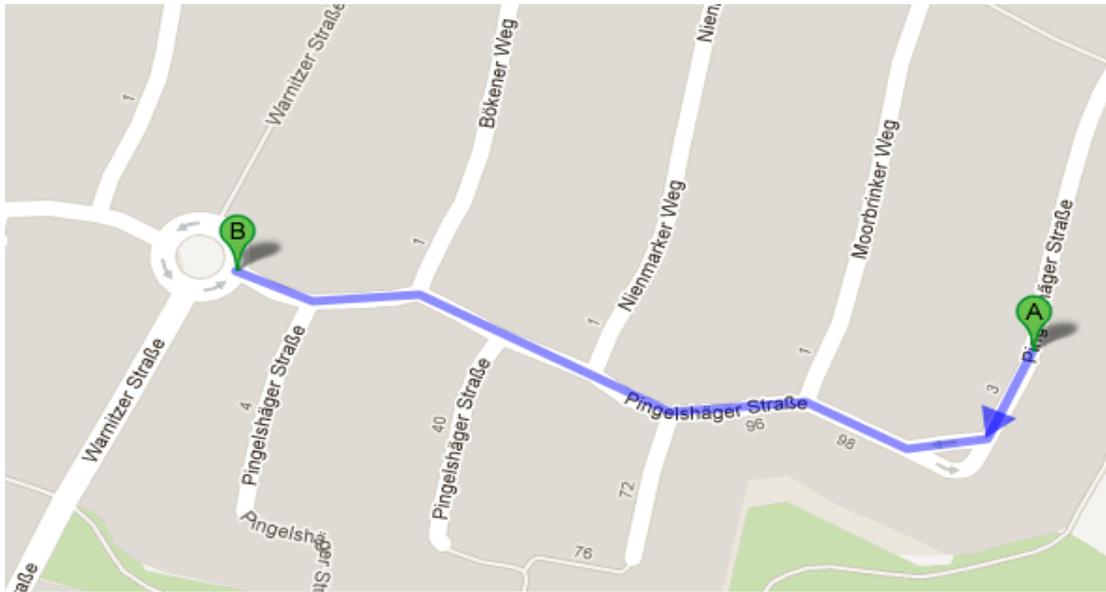


12.9.4.2. Hinfahrt Option 2 (Abfahrt 07:37 Uhr)

Bahnhof/Haltestelle	Datum	Zeit	Gleis	Produkte
Schwerin - Friedrichsthal, Pingelshäger Straße 5				
Fußweg 5 Min.				
Warnitzer Straße, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	ab 07:37	Bus 17	Bus Richtung: Kieler Straße, Schwerin (Meckl)
Lankow-Siedlung, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	an 07:42		Behindertengerechtes Fahrzeug
Umsteigezeit 3 Min.				
Lankow-Siedlung, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	ab 07:45	STR 2	Straßenbahn Richtung: Hegelstraße, Schwerin (Meckl)
Klößgang, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	an 07:58		Behindertengerechtes Fahrzeug
Fußweg 5 Min.				
Schwerin - Altstadt, Am Markt 1				

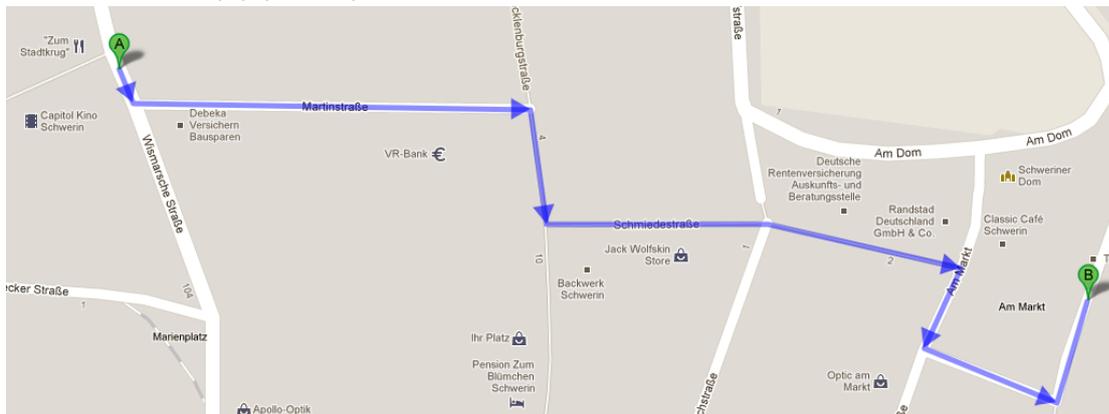
Dauer: 0:31; fährt nicht täglich, 10. Apr bis 1. Jun 2012 Mo - Fr; nicht 1., 17., 28. Mai

1. Laufen bzw. fahren Sie von der Pingelshäger Str. 5 (A) zur Bushaltestelle an der Warnitzer Str. (B) (400 m). Steigen Sie in den **Bus 17** Richtung Kieler Str., Abfahrt 07:37 Uhr.



2. Umsteigen an der Station „Lankow-Siedlung“ in die **Straßenbahn 2** Richtung Hegelstraße, Abfahrt 7:45 Uhr. Umsteigezeit: 3 Min.

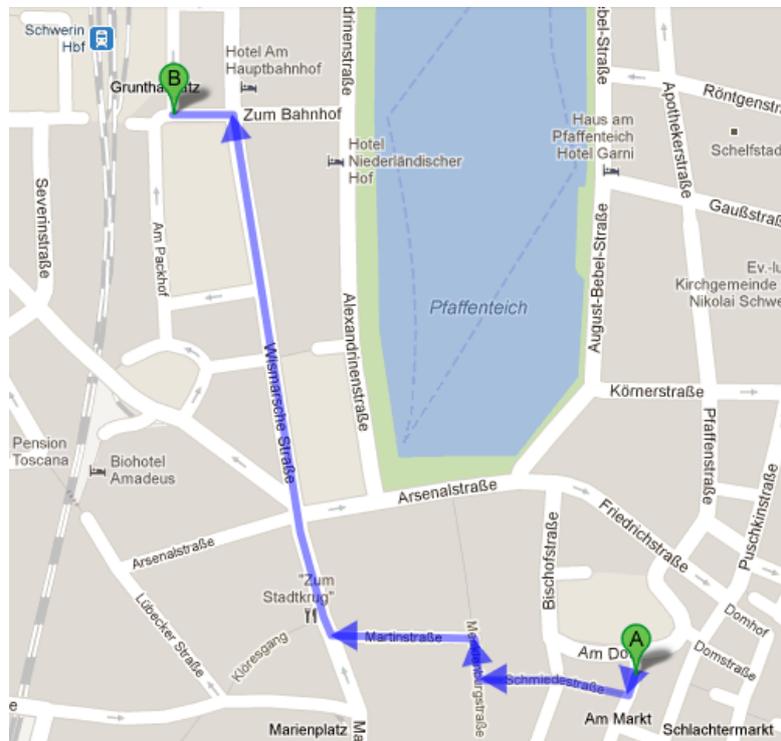
3. Steigen Sie an der Station „Klöresgang“ (A) aus und laufen bzw. fahren Sie zum Altstädtischen Rathaus (B) (450 m).



12.9.4.3. Rückfahrt Option 1 (Abfahrt 16:30Uhr)

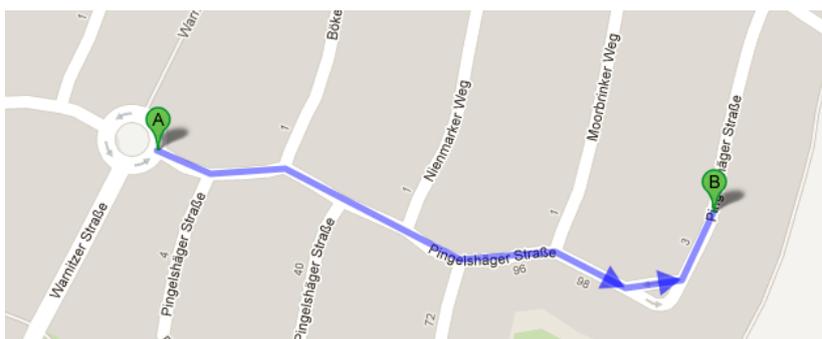
Bahnhof/Haltestelle	Datum	Zeit	Gleis	Produkte
Schwerin - Altstadt, Am Markt 1				
Fußweg 11 Min.				
Hauptbahnhof (ÖPNV), Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	ab 16:30	Bus 545	Bus Richtung: Rosenstraße (ZOB), Wittenburg
Friedrichsthal Gaststätte, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	an 16:40		
Umsteigezeit 5 Min.				
Friedrichsthal Gaststätte, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	ab 16:45	Bus 18	Bus Richtung: Alte Gärtnerei, Schwerin (Meckl)
Warnitzer Straße, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	an 16:49		Behindertengerechtes Fahrzeug
Fußweg 5 Min.				
Schwerin - Friedrichsthal, Pingelshäger Straße 5				
Dauer: 0:35; fährt nicht täglich, 10. Apr bis 3. Aug 2012 Mo - Fr; nicht 1., 17., 28. Mai				

1. Laufen bzw. fahren Sie von dem Altstädtischen Rathaus (A) zum Schweriner Hauptbahnhof (B) (850 m). Steigen Sie in den **Bus 545** Richtung Rosenstraße (ZOB), Abfahrt 16:30 Uhr.



2. Umsteigen an der Station „Friedrichsthal Gaststätte“ in den Bus 18 Richtung Alte Gärtnerei, Abfahrt 16:45Uhr. Umsteigezeit: 5 Min.

3. Steigen Sie an der Station „Warnitzer Straße“ (A) aus und laufen bzw. fahren Sie zur Pingelshäger Str. 5 (B) (400 m).

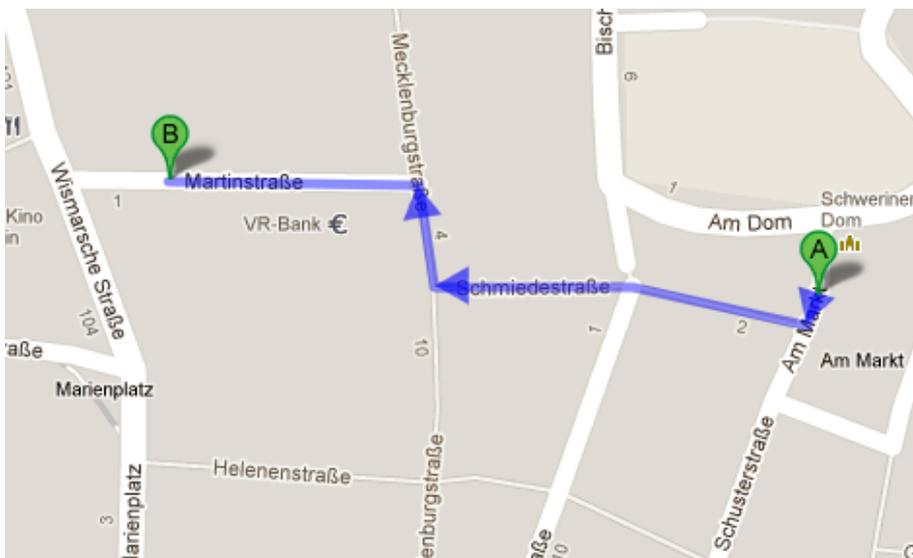


12.9.4.4. Rückfahrt Option 2 (Abfahrt 16:36Uhr)

Bahnhof/Haltestelle	Datum	Zeit	Gleis	Produkte
Schwerin - Altstadt, Am Markt 1				
Fußweg 4 Min.				
Martinstraße, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	ab 16:36	STR 2	Straßenbahn Richtung: Lankow-Siedlung, Schwerin (Meckl)
Kieler Straße, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	an 16:45		Behindertengerechtes Fahrzeug
Umsteigezeit 1 Min.				
Kieler Straße, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	ab 16:46	Bus 17	Bus Richtung: Friedrichsthal, Schwerin (Meckl)
Warnitzer Straße, Schwerin (Meckl)	Mo, 16.04.12	an 16:54		Behindertengerechtes Fahrzeug
Fußweg 5 Min.				
Schwerin - Friedrichsthal, Pingelshäger Straße 5				

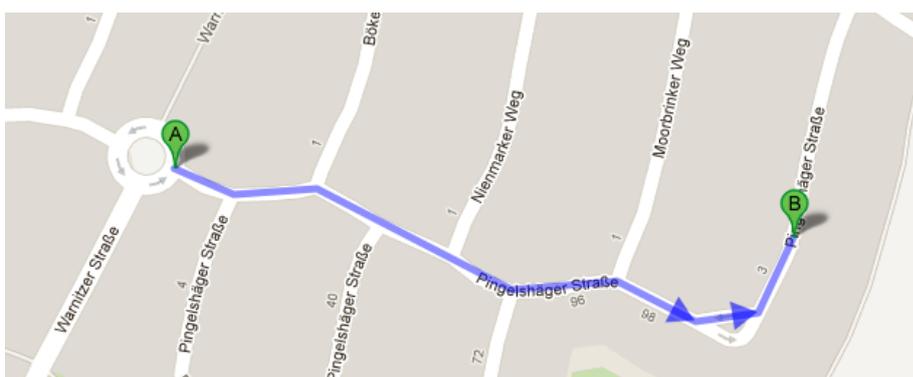
Dauer: 0:27; fährt nicht täglich, 10. Apr bis 3. Aug 2012 Mo - Fr; nicht 1., 17., 28. Mai

1. Laufen bzw. fahren Sie von dem Altstädtischen Rathaus (A) zur Straßenbahn-Haltestelle Martinstr. (B) (300 m). Steigen Sie in die **Straßenbahn 2** Richtung „Lankow-Siedlung“, Abfahrt 16:36 Uhr.



2. Umsteigen an der Station „Lankow-Siedlung“, in den **Bus 17** Richtung Friedrichsthal, Abfahrt 16:46 Uhr. Umsteigezeit: 1 Min (Bus sollte warten).

3. Steigen Sie an der Station „Warnitzer Straße“ (A) aus und laufen bzw. fahren Sie zur Pingelshäger Str. 5 (B) (400 m).



12.9.5. Motorroller und Pkw

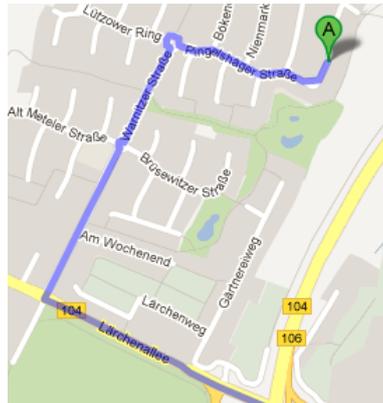
(Dieser Versuch ist kein Rennen, bitte beachten Sie die StVO. Die Videoaufnahmen werden auf Verstöße kontrolliert!)

Hinfahrt (7,8 km, reine Fahrtzeit bei optimalen Verkehr 15Min.)

 Pingelshäger Straße 5, 19057 Schwerin

1. Auf **Pingelshäger Straße** nach **Süden** starten

41 m weiter
gesamt 41 m



 2. Nach rechts abbiegen, um auf **Pingelshäger Straße** zu bleiben
Ca. 1 Minute

300 m weiter
gesamt 350 m

 3. Im Kreisverkehr **zweite** Ausfahrt (**Warnitzer Straße**) nehmen
Den Kreisverkehr passieren
Ca. 2 Minuten

650 m weiter
gesamt 1,0 km

 4. Links abbiegen auf **Lärchenallee/B104**
Weiter auf B104
Ca. 2 Minuten

550 m weiter
gesamt 1,5 km

5. Weiter auf **Gadebuscher Straße**
Ca. 2 Minuten

2,1 km weiter
gesamt 3,7 km

6. Weiter auf **Lübecker Straße**
Ca. 2 Minuten

2,0 km weiter
gesamt 5,6 km

 7. Links abbiegen auf **Obotritenring**
Ca. 2 Minuten

850 m weiter
gesamt 6,5 km

 8. Rechts abbiegen auf **Wismarsche Straße**
Ca. 2 Minuten

800 m weiter
gesamt 7,3 km

 9. Links abbiegen auf **Arsenalstraße**

240 m weiter
gesamt 7,5 km



 10. Rechts abbiegen auf **Bischofstraße**

140 m weiter
gesamt 7,7 km

 11. Links abbiegen auf **Am Dom**

80 m weiter
gesamt 7,7 km

 12. Rechts abbiegen auf **Am Markt**
Das Ziel befindet sich links

29 m weiter
gesamt 7,8 km

 Am Markt 1, 19055 Schwerin

Rückfahrt (7,8 km, reine Fahrtzeit bei optimalen Verkehr 15Min.

A Am Markt 1, 19055 Schwerin

1. Von **Am Markt** nach **Norden** Richtung **Am Dom** starten



29 m weiter
gesamt 29 m

← 2. Links abbiegen auf **Am Dom**

80 m weiter
gesamt 110 m

→ 3. Rechts abbiegen auf **Bischofstraße**

140 m weiter
gesamt 250 m

← 4. Links abbiegen auf **Friedrichstraße**

160 m weiter
gesamt 400 m

→ 5. 2. rechts auf **Alexandrinestraße** nehmen
Ca. 1 Minute

800 m weiter
gesamt 1,2 km

← 6. Links abbiegen auf **Bürgermeister-Bade-Platz/B104**
Ca. 1 Minute



110 m weiter
gesamt 1,3 km

7. Weiter auf **Obotritenring**
Ca. 1 Minute

850 m weiter
gesamt 2,1 km

→ 8. Rechts abbiegen auf **Lübecker Straße**
Ca. 2 Minuten

2,0 km weiter
gesamt 4,1 km

↶ 9. Links halten auf **Gadebuscher Straße**
Ca. 4 Minuten

2,2 km weiter
gesamt 6,3 km

10. Weiter auf **Lärchenallee/B104**
Ca. 1 Minute

500 m weiter
gesamt 6,8 km

→ 11. Rechts abbiegen auf **Warnitzer Straße**
Den Kreisverkehr passieren
Ca. 1 Minute

550 m weiter
gesamt 7,4 km

→ 12. Im Kreisverkehr **erste** Ausfahrt (**Pingelshäger Straße**) nehmen
Das Ziel befindet sich links
Ca. 1 Minute

400 m weiter
gesamt 7,7 km

B Pingelshäger Straße 5, 19057 Schwerin

12.10. Fragebogen Tageserfahrung

Bitte teilen Sie uns Ihre Tageserfahrung mit:

Datum: _____

Hinfahrt (morgens) Rückfahrt (abends)

Name: _____

Verkehrsmittel: _____

Wie war Ihr generelles Wohlbefinden zu Fahrtbeginn?

Schlecht sehr gut

Wenn schlecht, warum? _____

Wie gestresst haben Sie sich bei Ihrer Fahrt heute gefühlt?

entspannt sehr gestresst

Gab es Einzelereignisse, die besonders stressig waren (bitte mit Zeitpunkt und Ort notieren)?

Falls Sie Lob, Kritik oder Verbesserungsvorschläge für die Durchführung des Versuchs haben, schreiben Sie diese bitte auf die Rückseite. Danke.

13. Liste der verwendeten Abkürzungen

A	Ampere
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
bzw.	beziehungsweise
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
ccm und cm ³	Kubikzentimeter
etc.	Et cetera
g	Gramm
HD	High Definition
Kg	Kilogramm
Km/h	Kilometer pro Stunde
kW	Kilowatt
L	Liter
MIV	Motorisierter Individualverkehr (z.B. Roller und Pkw)
MJ	Megajoule
m/s	Meter pro Sekunde
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr (z.B. U-Bahnen, Straßenbahnen, Busse)
ÖSPV	ÖPNV
Pedelec	Pedal Electric Cycle
Pkw	Personenkraftwagen
PS	Pferdestärken
Sec	Sekunden
StVO	Straßenverkehrsordnung
V	Volt
W	Watt
Wh	Wattstunde

14. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Entwicklung der Verkehrsleistung 2007 – 2012 (Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel GmbH, 2012).....	12
Abb. 2: Fiat 500 (Invitation to Tuscany Ltd., 2010).....	25
Abb. 3: Karabag 500 E (Karabag GmbH)	26
Abb. 4: Piaggio Liberty 50 (Moonraker Motorcycles Ltd., 2012).....	27
Abb. 5: Kumpan electric „1954“ (Amazon.de GmbH, 2012).....	27
Abb. 6: Pegasus Milano Alu light (Krone Radschlag GmbH)	28
Abb. 8: Bus (Nahverkehr Schwerin GmbH, 2012).....	29
Abb. 9: Straßenbahn (Nahverkehr Schwerin GmbH, 2012).....	29
Abb. 7: Kalkhoff Agattu C7 (eRetail-Store UG, 2012).....	28
Abb. 10: Dahon Piazza D3 (Löckenhoff + Schulte GmbH, 2012).....	30
Abb. 11: Verkehrsmittelspezifische Erfahrungen der Teilnehmer in %	31
Abb. 12: Verkehrsmittelspezifische Bedienungssicherheit der Teilnehmer in %	32
Abb. 13: Fitness und Sport	33
Abb. 14: Alter	34
Abb. 15: GPS-Logger (TranSystem Inc., 2010).....	35
Abb. 16: SmartBand (bodymonitor.de, 2012)	35
Abb. 17: Strommessgerät (H. Brennenstuhl GmbH, 2012)	35
Abb. 18: Bordcomputer Fiat (Bauer Digital KG, 2008).....	36
Abb. 19: Anzeige der Zapfsäule (ZUM.de, 2012).....	36
Abb. 20: Kamera (Dieter Hallen Medientechnik und Consulting, 2012)	36
Abb. 21: Höhenprofil der Strecke mit dem Fahrrad von dem Friedrichsthal in die Altstadt	48
Abb. 22: Mögliche Strecke der Pkw.....	49
Abb. 23: Mögliche Strecke der Roller.....	50
Abb. 24: Mögliche Strecke der Fahrräder und Pedelecs.....	50
Abb. 25: Mögliche Strecke der TeilnehmerInnen mit der Kombination aus ÖPNV + Laufen	51
Abb. 26: Mögliche Strecke der TeilnehmerInnen mit der Kombination aus ÖPNV + Faltrad	52
Abb. 27: Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Zeit mit den P-Werten für die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Nullhypothese	56
Abb. 28: Boxplots für den Parameter Fahrzeit.....	58
Abb. 29: Mediane der verkehrsmittelspezifischen Fahrzeiten pro Strecke in Minuten	59
Abb. 30: Prozentuale Differenz zwischen dem schnellsten Verkehrsmittel von Tür zu Tür (elektrischer Roller) und den anderen Verkehrsmitteln	60
Abb. 31: Mittlerer verkehrsmittelspezifischer Stress der TeilnehmerInnen pro Minute.....	79
Abb. 32: Abweichungen zwischen dem subjektiven Stressempfinden und den während der Fahrt gemessenen Stressdaten.....	80
Abb. 33: Tendenzen bei der Einschätzung der Stressbelastung während der Fahrt mit den Verkehrsmitteln (n = 84)	81
Abb. 34: Verkehrsmittelspezifische Einschätzung der Stressbelastung	82
Abb. 35: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit dem fossilen Pkw	84
Abb. 36: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit dem fossilen Pkw einschließlich des Fußweges zwischen Parkhaus und Rathaus	84
Abb. 37: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit dem elektrischen Pkw.....	85
Abb. 38: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit dem elektrischen Pkw einschließlich des Fußweges zwischen Parkhaus und Rathaus..	86

Abb. 39: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit dem fossilen Roller	86
Abb. 40: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit dem elektrischen Roller.....	87
Abb. 41: Über den Versuchszeitraum prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit dem Fahrrad .	88
Abb. 42: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit dem Pedelec.....	88
Abb. 43: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien der Kombination ÖPNV und Laufen, nur Anteil ÖPNV	89
Abb. 44: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit der Kombination aus ÖPNV und Laufen von Tür zu Tür	90
Abb. 45: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit der Kombination aus ÖPNV und Faltrad, nur ÖPNV-Anteil.....	90
Abb. 46: Über den Versuchszeitraum gemittelte prozentuale Anteile der Geschwindigkeitskategorien mit der Kombination aus ÖPNV und Faltrad von Tür zu Tür	91
Abb. 47: Mittlere verkehrsspezifische Aufteilung der Fahrt in Stand- und Fahrzeiten, nur Hauptverkehrsmittel	92
Abb. 48: Mittlere verkehrsspezifische Aufteilung der Fahrt in Stand- und Fahrzeiten, von Tür zu Tür .	93
Abb. 49: Prozentuale Verteilung der Strecke mit den Verkehrsmitteln auf die Mobilitätsarten	94
Abb. 50: Prozentuale Verteilung der Fahrzeit mit den Verkehrsmitteln auf die Mobilitätsarten	95
Abb. 51: Anteil der Bewegung während der Fahrt mit den Pkw und während des Fußweges	97
Abb. 52: Anteil der Bewegung während der Fahrt mit dem ÖPNV und während des Fußweges.....	97
Abb. 53: Vergleich zwischen dem Fahrrad und den fossilen Pkw in Fahrzeit, Geschwindigkeit und Streckenlänge	98
Abb. 54: Zusammensetzung der Vollkosten des fossilen Pkw.....	99
Abb. 55: Zusammensetzung der Vollkosten des elektrischen Pkw	100
Abb. 56: Zusammensetzung der Vollkosten des fossilen Roller	100
Abb. 57: Zusammensetzung der Vollkosten des elektrischen Roller	101
Abb. 58: Zusammensetzung der Vollkosten des Fahrrads.....	101
Abb. 59: Zusammensetzung der Vollkosten des Pedelec.....	102
Abb. 60: Zusammensetzung der Vollkosten der Verkehrsmittelkombination aus dem ÖPNV und Laufen	102
Abb. 61: Zusammensetzung der Vollkosten der Verkehrsmittelkombination aus dem ÖPNV und Faltrad	103
Abb. 62: Vereinfachte Vollkostenverläufe pro Jahr der verschiedenen Fahrzeuge	103
Abb. 63: Kostenverläufe der Pkw in den unterschiedlichen Kraftstoffverbräuchen sowie Preis- und Finanzierungszenarien	105
Abb. 64: Verkehrsmittelspezifischen Kosten pro Kilometer mit dem Hauptverkehrsmittel.....	108
Abb. 65: Prozentuale Abweichung von dem Verkehrsmittel mit den geringsten Kosten pro Kilometer .	108
Abb. 66: Verkehrsmittelspezifischen Kosten pro Kilometer für die Strecke von Tür zu Tür.	109
Abb. 67: Boxplot	123
Abb. 68: Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Geschwindigkeit von Tür zu Tür (allen Phasen).....	125
Abb. 69: Boxplots des Parameters Geschwindigkeit von Tür zu Tür (allen Phasen).....	126
Abb. 70: Mediane der verkehrsmittelspezifischen Geschwindigkeiten (Tür zu Tür, alle Phasen)	127
Abb. 71: Prozentuale Differenz zwischen dem langsamsten Verkehrsmittel (ÖPNV und Laufen) und den anderen Verkehrsmitteln.....	128
Abb. 72: Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Geschwindigkeit des Hauptverkehrsmittels mit den P-Werten für die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Nullhypothese.....	129
Abb. 73: Boxplots des Parameters Geschwindigkeit des Hauptverkehrsmittels	130
Abb. 74: Mediane der Geschwindigkeiten des Hauptverkehrsmittels	131
Abb. 75: Prozentuale Differenz zwischen dem Hauptverkehrsmittel mit dem geringsten Geschwindigkeits-Median (Fahrrad) und den anderen Verkehrsmitteln.....	132

Abb. 76: Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Kosten mit den P-Werten für die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Nullhypothese	133
Abb. 77: Boxplots des Parameters Kosten	134
Abb. 78: Mediane der verkehrsmittelspezifischen Kosten pro Fahrt	135
Abb. 79: Prozentuale Differenz zwischen dem kostengünstigsten Verkehrsmittel (Fahrrad) und den anderen Verkehrsmitteln	136
Abb. 80: Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Bewegung von Tür zu Tür mit den P-Werten für die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Nullhypothese	137
Abb. 81: Boxplots des Parameters Bewegung	138
Abb. 82: Mediane der verkehrsmittelspezifischen Bewegung pro Fahrt von Tür zu Tür	139
Abb. 83: Mittelwerte der verkehrsmittelspezifischen Bewegung pro Fahrt von Tür zu Tür	140
Abb. 84: Prozentuale Differenz zwischen den Verkehrsmitteln mit der geringsten Bewegung (beide Roller) und den anderen Verkehrsmitteln	141
Abb. 85: Boxplots des Parameters Stressbelastung pro Minute	143
Abb. 86: Mediane der verkehrsmittelspezifischen Stressbelastung pro Minute	144
Abb. 87: Prozentuale Abweichung zwischen dem Verkehrsmittel mit der geringsten Stressbelastung und den anderen Verkehrsmitteln	145
Abb. 88: Boxplots des Parameters Stresskorrelation	147
Abb. 89: Mediane der verkehrsmittelspezifischen Stresskorrelationen	148
Abb. 90: Prozentuale Differenz zwischen dem Hauptverkehrsmittel mit der größten Reduzierung des Stresses über die Fahrt (ÖPNV und Faltrad) und den anderen Verkehrsmitteln	149
Abb. 91: Kruskal-Wallis-Test für den Parameter Streckenlänge (von Tür zu Tür) mit den P-Werten für die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Nullhypothese	150
Abb. 92: Boxplots des Parameters Streckenlänge von Tür zu Tür	151
Abb. 93: Mediane der Strecken, die von den Verkehrsmitteln zurückgelegt wurden, um ans Ziel zu kommen.....	152
Abb. 94: Prozentuale Differenz zwischen dem Verkehrsmittel mit der kürzesten Strecke von Tür zu Tür (Pedelec) und den anderen Verkehrsmitteln	153
Abb. 95: Kruskal-Wallis-Test für Parameter Energieverbrauch mit den P-Werten für die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Nullhypothese	154
Abb. 96: Boxplots des Parameters Energieverbrauch	155
Abb. 97: Mediane des Energieverbrauchs der Verkehrsmittel pro Fahrt	156
Abb. 98: Prozentuale Differenz zwischen dem motorbetriebenen Verkehrsmittel mit dem geringsten Energieverbrauch (Pedelec) und den anderen Verkehrsmitteln	157
Abb. 99: Kruskal-Wallis-Test für den Parameter CO ₂ Ausstoß mit den P-Werten für die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Nullhypothese	159
Abb. 100: Boxplot des Parameters CO ₂ -Ausstoß	160
Abb. 101: Mediane der CO ₂ -Emissionen der Verkehrsmittel pro Fahrt	161
Abb. 102: Prozentuale Differenz zwischen den CO ₂ -Emissionen der motorisierten Verkehrsmittel und dem Pedelec	162
Abb. 103: Datenbasis Zeit	180
Abb. 104: Datenbasis „Tür zu Tür“-Geschwindigkeit	181
Abb. 105: Datenbasis „Verkehrsmittel“-Geschwindigkeit	182
Abb. 106: Datenbasis Kosten	183
Abb. 107: Datenbasis Bewegung	184
Abb. 108: Datenbasis Stress pro Minute	185
Abb. 109: Datenbasis Stress Korrelation	186
Abb. 110: Datenbasis Streckenlänge	187
Abb. 111: Datenbasis Energieverbrauch	188
Abb. 112: Datenbasis CO ₂ -Ausstoß	189

15. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der untersuchten Kostenarten in fixe und variable Kosten	40
Tabelle 2: Laufleistungen nach Szenario in Kilometern pro Jahr.....	41
Tabelle 3: Relevante Phasen der Verkehrsmittel	53
Tabelle 4: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter "Zeit von Tür zu Tür" mit den Punktwerten für die Profil-Auswertungen.....	61
Tabelle 5: Ranking-Ergebnisse der zeitlich-monetären Dimension.....	71
Tabelle 6: Ranking-Ergebnisse der persönlichen Dimension.....	71
Tabelle 7: Ranking-Ergebnisse der gesellschaftlichen Dimension	72
Tabelle 8: Gewichtung der Parameter für den Umwelt- und Gesundheitsbewussten	73
Tabelle 9: Gewichtung der Parameter für den Zeit- und Komfortbewussten	73
Tabelle 10: Gewichtung der Parameter für den Kostenorientierten	74
Tabelle 11: Gewichtung der Parameter für den Stadt- und Verkehrsplaner	74
Tabelle 12: Gesamtergebnis aus Sicht des den Umwelt- und Gesundheitsbewussten	75
Tabelle 13: Gesamtergebnis aus Sicht des Zeit- und Komfortbewussten.....	76
Tabelle 14: Gesamtergebnis aus Sicht des Kostenorientierten	76
Tabelle 15: Gesamtergebnis aus Sicht des Stadt- und Verkehrsplaners	77
Tabelle 16: Übersicht über die Platzierungen der Verkehrsmittel in der ungewichteten und den gewichteten Profilauswertungen.....	78
Tabelle 17: Jahreslaufleistungen, ab denen der elektrische Pkw günstiger ist als der fossile Pkw, in Abhängigkeit des Kaufpreises des elektrischen Pkw und den Kraftstoffkosten des fossilen Pkw	106
Tabelle 18: Jahreslaufleistungen ab denen der elektrische Pkw günstiger als der fossile Pkw ist in Abhängigkeit von der Entwicklung der Kraftstoff- und Stromkosten	107
Tabelle 19: Schwellenwerte für den Anderson-Darling-Tests	121
Tabelle 20: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter Geschwindigkeit von Tür zu Tür...	128
Tabelle 21: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter Verkehrsmittel-Geschwindigkeit	133
Tabelle 22: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter Kosten	137
Tabelle 23: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter Bewegung.....	141
Tabelle 24: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter Stressbelastung pro Minute	146
Tabelle 25: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter Stresskorrelation.....	150
Tabelle 26: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter Strecke	154
Tabelle 27: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter Energieverbrauch	158
Tabelle 28: Ranking der Verkehrsmittel für den Parameter CO ₂ -Ausstoß	163
Tabelle 29: Ungewichtetes Gesamtergebnis der wichtigsten Parameter	164

16. Vollständiges Inhaltsverzeichnis

Detailliertes Inhaltsverzeichnis

1.	Inhaltsverzeichnis	4
2.	Management Summary	9
3.	Einleitung und Problemstellung	12
3.1.	Verkehrssituation 2011	12
3.2.	Entwicklungspläne der Bundesregierung zur Fahrrad- und Elektromobilität.....	13
3.2.1.	Erster Fahrradbericht der Bundesregierung (1998)	14
3.2.2.	Nationaler Radverkehrsplan 2002 - 2012 (2002).....	14
3.2.3.	Zweiter Fahrradbericht der Bundesregierung (2007).....	14
3.2.4.	Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung (2009).....	15
3.2.5.	Zweiter Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (2011)	15
3.2.6.	Dritter Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (2012)	15
3.2.7.	Nationaler Radverkehrsplan 2012 - 2020 (2012).....	16
3.3.	Gesamtziel des Projekts	16
3.3.1.	Beitrag des Projekts zur Umsetzung des Nationalen Radverkehrsplans.....	16
3.3.2.	Beitrag des Projekts zur Umsetzung der Ziele der Nationalen Plattform Elektromobilität .	17
4.	Forschungsstand.....	18
4.1.	Verkehrsmittelvergleich in Bremen (PendlerTest ADAC und Radio Bremen).....	18
4.2.	Techniker Krankenkasse Gesundheitsreport 2012	18
4.3.	Fehlzeiten-Report 2012.....	18
4.4.	Niederländische Studie zu den gesundheitlichen Folgen des Fahrradfahrens.....	19
4.5.	inmod Forschungsvorhaben der Hochschule Wismar	19
5.	Fragestellungen des Projekts.....	20
5.1.	Einzelfragestellungen für den Versuch	20
5.1.1.	Wie kann man am schnellsten, günstigsten, energieeffizient oder ökologisch pendeln?...	20
5.1.2.	Wie wirkt sich die Wahl des Verkehrsmittels auf die Gesundheit der PendlerInnen aus? .	20
5.1.3.	Bringt die eMobilität Vorteile im Vergleich zu den konventionell angetriebenen Fahrzeugen?	21
5.2.	Schnittmengen-Fragestellungen	21
	Die zeit- und komfortbewussten PendlerInnen	21
	Die umwelt- und gesundheitsbewussten PendlerInnen.....	21
	Die kostenbewussten PendlerInnen	21

Die Stadt- und Verkehrsplaner	21
6. Projektkonsortium	23
7. Versuchsaufbau	24
7.1. Verkehrsmittel	24
7.1.1. Konventioneller Pkw	25
7.1.2. Elektrischer Pkw	26
7.1.3. Konventioneller Roller	27
7.1.4. Elektrischer Roller.....	27
7.1.5. Fahrrad.....	28
7.1.6. Pedelec.....	28
7.1.7. ÖPNV und Laufen	29
7.1.8. ÖPNV und Faltrad.....	30
7.2. TeilnehmerInnen.....	30
7.2.1. Beschreibung der TeilnehmerInnen	30
7.2.2. Verkehrsmittelerfahrungen.....	31
7.2.3. Fahrsicherheit	32
7.2.4. Körperliche Fitness	32
7.2.5. Alter	34
7.2.6. Geschlecht	34
7.3. Technisches Equipment / Messgeräte	34
7.3.1. GPS-Logger	35
7.3.2. SmartBänder	35
7.3.3. Strommessgeräte	35
7.3.4. Bordcomputer Pkw	36
7.3.5. Zapfsäule der Tankstelle	36
7.3.6. Kameras	36
7.4. Parameter	37
7.4.1. Fahrzeit.....	37
7.4.2. Geschwindigkeit	38
7.4.3. Kosten.....	39
7.4.4. Bewegung	43
7.4.5. Stress	44
7.4.6. Streckenlänge	45
7.4.7. Energieverbrauch.....	46
7.4.8. CO ₂ -Ausstoß.....	47

7.5.	Durchführung des Versuchs.....	48
7.5.1.	Allgemeine Informationen zur Durchführung.....	48
7.5.2.	Beschreibung der Fahrzeiten und Streckenführung.....	48
7.5.3.	Beschreibung des täglichen Versuchsablaufs	52
7.5.4.	Phasenabgrenzung.....	53
7.5.5.	Rotationssystem.....	54
7.5.6.	Nachbereitung.....	54
8.	Auswertung der Versuchsdaten	55
8.1.	Beschreibung der statistischen Auswertung.....	55
8.2.	Statistische Auswertung am Beispiel der Fahrzeit.....	56
9.	Ergebnisse.....	62
9.1.	Motorisierter Individualverkehr (MIV).....	62
9.1.1.	Pkw	62
9.1.2.	Roller	65
9.1.3.	Fazit MIV	66
9.2.	Fahrrad und Pedelec	67
9.3.	Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)	69
10.	Profilanalyse für Verkehrsmittel-Rankings.....	71
10.1.	Rankings der Verkehrsmittel.....	71
10.2.	Charakterisierung der Pendlertypen und Gewichtung der Parameter.....	72
10.2.1.	Pendlertyp: Der Umwelt- und Gesundheitsbewusste.....	73
10.2.2.	Pendlertyp: Der Zeit- und Komfortbewusste	73
10.2.3.	Pendlertyp: Der Kostenorientierte.....	74
10.2.4.	Der Stadt- und Verkehrsplaner	74
10.3.	Ergebnisse Profilauswertung	75
10.3.1.	Ranking aus Sicht des umwelt- und gesundheitsbewussten Pendlers.....	75
10.3.2.	Ranking aus Sicht des zeit- und komfortbewussten Pendlers	76
10.3.3.	Ranking aus Sicht des kostenorientierten Pendlers.....	76
10.3.4.	Ranking aus Sicht des Stadt- und Verkehrsplaners.....	77
10.4.	Fazit Pendlertypauswertungen und Interessen der Stadtplanung	78
10.5.	Auswertung von weiteren Einzelfragestellungen	79
10.5.1.	Auf welchem Verkehrsmittel hatten die individuellen Testpersonen am meisten Stress..... und auf welchem am wenigsten?	79
10.5.2.	Gab es eine Differenz zwischen der subjektiv empfundenen Stressbelastung und den Stressmessungen der SmartBänder?.....	80

10.5.3.	Wie ist die Geschwindigkeitsverteilung der verschiedenen Verkehrsmittel?	83
10.5.4.	Wie viel Zeit verbrachten die Pendler wartend und fahrend?	92
10.5.5.	Wie verteilt sich die zurückgelegte Strecke und benötigte Zeit auf die verschiedenen Mobilitätsarten?	93
10.5.6.	Wie viele Schrittäquivalente entfallen auf die Fahrt und den Fußweg?	96
10.5.7.	Wie konnte die Pendlerfahrt mit dem Fahrrad fast zeitgleich der mit dem fossilen Pkw sein?	98
10.5.8.	Wie setzen sich die Vollkosten bei den Verkehrsmitteln zusammen?	99
10.5.9.	Wie verändern sich die absoluten Kosten bei unterschiedlichen Entfernungen?	103
10.5.10.	Wie fällt der Kostenvergleich bei unterschiedlichen Kraftstoffkosten und -verbräuchen sowie Anschaffungskosten aus?	104
10.5.11.	Wie hoch sind die verkehrsmittelspezifischen Kosten pro Kilometer?	107
10.6.	Multimediale Ergebnispräsentationen	109
10.6.1.	Projektfilm YouTube	109
10.6.2.	Personenfilme YouTube	110
11.	Danksagungen	111
12.	Literaturhinweise	112
13.	Anlagen	117
13.1.	Statistik der Auswertung	117
13.1.1.	Grundlegende Begriffe der Statistik	117
13.1.2.	Prüfung auf Normalverteilung (Anderson-Darling-Test)	120
13.1.3.	Nichtparametrisches Testverfahren (Kruskal-Wallis-Test)	122
13.1.4.	Visuelle Darstellung der Verteilung (Boxplot)	123
13.1.5.	Diagramme zur Beschreibung der Ergebnisse	123
13.1.6.	Ranking der Verkehrsmittel	124
13.2.	Auswertung der einzelnen Parameter	124
13.2.1.	Fahrzeit von Tür zu Tür	124
13.2.2.	Geschwindigkeit	124
13.2.3.	Kosten	133
13.2.4.	Bewegung von Tür zu Tür	137
13.2.5.	Stress	142
13.2.6.	Streckenlänge von Tür zu Tür	150
13.2.7.	Energieverbrauch	154
13.2.8.	CO ₂ -Ausstoß	158
13.3.	Ungewichtetes Gesamtergebnis der wichtigsten Parameter	164
13.4.	Handout Verkehrsregeln für Fahrrad und Pedelec	164

13.5.	Handout für das technische Equipment	166
13.6.	Fragebogen 1: Verkehrsmittelerfahrungen und Fitness.....	167
13.7.	Fragebogen 2: Gesundheit.....	172
13.8.	Ergebnistabellen	180
13.8.1.	Zeit.....	180
13.8.2.	Geschwindigkeit	181
13.8.3.	Kosten.....	183
13.8.4.	Körperliche Bewegung.....	184
13.8.5.	Stress	185
13.8.6.	Strecke.....	187
13.8.7.	Energieverbrauch	188
13.8.8.	CO ₂ -Ausstoß.....	189
13.9.	Handouts für die empfohlene Streckenführung.....	190
13.9.1.	Fahrrad und Pedelec (Feldweg)	190
13.9.2.	Fahrrad und Pedelec (Straßenweg)	191
13.9.3.	Faltrad in Kombination mit ÖPNV.....	192
13.9.4.	ÖPNV + Laufen / ÖPNV + Faltrad bei schlechtem Wetter.....	193
13.9.5.	Motorroller und Pkw.....	198
13.10.	Fragebogen Tageserfahrung	200
14.	Liste der verwendeten Abkürzungen	201
15.	Abbildungsverzeichnis	202
16.	Tabellenverzeichnis	205
17.	Vollständiges Inhaltsverzeichnis.....	206