

DIplomARBEIT
„Sensing Comfort“

—

**Der Einfluss von Fahrbahnoberflächen auf den objektiven
Fahrkomfort während des Fahrradfahrens**

**ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von**

UNIV. PROF. DIPL.-ING DR. MARTIN BERGER

E 280/5, Fachbereich Verkehrssystemplanung

des Departments für Raumentwicklung, Infrastruktur- und Umweltplanung

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

TOMAS LESZCZYNSKI

1125920

Wien, am 04.02.2018



ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung des Einflusses der Fahrbahnoberfläche auf den objektiv gemessenen Fahrkomfort während des Fahrradfahrens durch die statistische Auswertung von Vitaldaten. Diese wurden mit Hilfe von tragbaren Messgeräten, sogenannten wearable computers, aufgezeichnet. Die vorausgehende Literaturrecherche zeigte, dass die Fahrbahnoberfläche einen messbaren Einfluss auf den Rollwiderstand und auftretende Vibrationen hat und somit subjektiv gesehen einen Einfluss auf den empfundenen Fahrkomfort hat. Die objektive Messung und Auswertung des Fahrkomforts auf verschiedenen Oberflächen wurde in vorangegangenen Studien nicht behandelt.

Im empirischen Teil wurden somit konkret die elektrodermale Aktivität sowie die Gehirnaktivität von 29 Testpersonen während des Fahrradfahrens aufgezeichnet. Die Daten der elektrodermalen Aktivität sagen aus, wie gestresst eine Testperson zum Messzeitpunkt ist. Die Gehirnaktivität beschreibt wiederum den Grad der Konzentration durch die Variable Attention und der Entspannung durch die Variable Meditation. Diese Daten dienten in der Arbeit als Indikatoren für den objektiven Fahrkomfort. Die Testpersonen fuhren jeweils mit einem Mountainbike und einem Citybike eine zuvor definierte Strecke ab, welche die Fahrbahnoberflächen Asphalt, Schotter und Pflasterstein beinhaltete.

Die Auswertung der Messergebnisse lieferte für die Messung der elektrodermalen Aktivität und der Meditation Werte keine nennenswerten Ergebnisse.

Bezüglich der Attention Werte zeigte sich, dass die Fahrbahnoberfläche mit beiden Fahrradtypen einen signifikanten Einfluss auf die Konzentration der Testpersonen hatte ($p = .00$), wobei der Wert auf der Oberfläche Schotter am geringsten und auf der Oberfläche Pflasterstein am höchsten war.

Auch die Variable Fahrradtyp hatte einen signifikanten Einfluss auf die Attention Werte, sowohl unabhängig von der Fahrbahnoberfläche ($p = .02$) während der gesamten Fahrt als auch auf der Oberfläche Pflasterstein ($p = .00$), wobei der Wert mit dem Citybike höher war. Auf den beiden anderen Fahrbahnoberflächen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Die vorliegende Arbeit zeigt neben den genannten Ergebnissen auch die Grenzen und Potenziale der angewandten Methodik auf. Weitere Grundlagenforschung und die Optimierung der Messmethoden könnten in Zukunft einen Beitrag im Bereich der Raum- Mobilitätsforschung leisten sowie in der Praxis in Planungsprozesse einfließen.

ABSTRACT

The aim of this research is the exploration of the impact of various road surfaces on the objectively measured driving comfort of cyclists through the statistical analysis of vital data. The Data has been recorded with the help of wearable computers.

The preceding literature research demonstrates that the road surface has a measurable influence on the rolling resistance and the occurring vibrations, therefore has a subjective influence on the experienced driving comfort. The objective measurement and analysis of driving comfort has not been dealt with in previous studies.

Within the empirical part of this research, the electrodermal activity and the brain activity of 29 cyclists was recorded while cycling. The electrodermal activity describes the level of stress a test person is experiencing in the time of measurement. The brain activity describes the level of focus through the variable Attention and the level of relaxation through the variable Meditation. The data served as indicators for the objective driving comfort throughout this research.

The test persons were riding along a predetermined course with a mountain bike as well as with a citybike. The course contained the surfaces asphalt, gravel and cobblestone.

The analysis of the measured electrodermal activity and the Meditation data did not achieve any considerable results.

Regarding the Attention data, it gets evident that with both bikes the road surface had a significant influence on the level of focus of the test persons ($p = .00$), whereby the Attention value was the lowest on the surface gravel and the highest on the surface cobblestone.

The variable bicycle also had a significant influence on the Attention values, as well as independently of the road surface ($p=.02$) throughout the whole ride as well as on the surface cobblestone ($p=.00$). The values were in this case higher with the citybike. No significant difference on the other two surfaces could be discovered.

Besides the described results, this research points out the limitations and potentials of the applied method. Further basic research and the optimization of the measuring method could make a contribution to future mobility and spatial research and could be featured in practice within planning processes.

Eidesstattliche Erklärung

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

DIPLOMARBEIT

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiter an Eides statt, dass ich meine Master-/Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegt Literatur genannt habe.

Wien, am 04.02.2018



Vorwort

Ich möchte mich bei meinen Betreuern Univ. Prof. Dipl.-Ing Dr.-Ing Martin Berger und Dipl.-Ing. Linda Dörrzapf für ihre Unterstützung, ihre Geduld und ihr konstruktives Feedback bedanken. Ohne sie wäre die Arbeit nie zu dem geworden was sie nun ist.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei meinem Studienkollegen und Freund Dipl.-Ing. Alexander Ehrlich für seine Unterstützung. Sein Mountainbike war ein essentieller Teil dieser Arbeit. In diesem Zusammenhang bedanke ich mich auch bei allen Testpersonen, die sich die Zeit genommen haben und sich freiwillig bereit erklärt haben mich bei meiner Erhebung zu unterstützen.

Auch möchte ich mich bei meiner Mutter bedanken, die mir mein Studium und Leben in Wien ermöglicht hat und immer an mich geglaubt hat.

Ein Dank geht auch an meine Freundin Jasmin, die mich während meiner Bachelorarbeit und Diplomarbeit unterstützte und immer zu mir stand.

Hinweis: Aufgrund der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit keine Rücksicht darauf genommen genderkonform das Maskulinum als auch das Femininum anzugeben. Die Begriffe sind demnach als geschlechtsneutral anzusehen und schließen, falls nicht explizit erläutert, ebenso Frauen als auch Männer in ihre Bedeutung mit ein.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	12
1.1	Problemstellung	12
1.2	Ziele der Arbeit und thematische Abgrenzung	13
1.3	Aufbau der Arbeit	14
2	Theoretischer Hintergrund	16
2.1	Der Begriff Bikeability	16
2.2	Der Begriff Komfort	17
2.3	Bisherige Forschung im Bereich der Erhebung von Fahrkomfort in Bezug auf Fahrbahnoberflächen	18
2.3.1	Zusammenfassung der bisherigen Forschung im Bereich der Erhebung von Fahrkomfort in Bezug auf Fahrbahnoberflächen	19
2.3.2	„BIKEALYZE“ (Leitinger, 2017)	20
2.3.3	„Identifying factors of bicycle comfort: An online survey with enthusiast cyclists“ (Ayachi & Gustavino, 2015)	20
2.3.4	„Cycling comfort on different road surfaces“ (Hölzel, Höchtl, & Senner, 2012)	21
2.3.5	„The Effects of Surface-Induced Loads on Forearm Muscle Activity during Steering a Bicycle“ (Arpinar-Avsar, Birlik, Sezgin, & Soylu, 2013)	22
2.4	Raumsensorik, Humansensorik und psychophysiologisches Monitoring	23
2.5	Bisherige Forschung im Bereich der Messung von Emotionen	25
2.5.1	Zusammenfassung der bisherigen Forschung im Bereich der Messung von Emotionen	25
2.5.2	„Bio Mapping“ Christian Nold (2009)	27
2.5.3	„Mapping people? – The measurement of physiological data in city areas and the potential benefit for urban planning“ (Zeile, Höffken, & Papastefanou, 2009)	27

2.5.4	„EmoCycling – Analysen von Radwegen mittels Humansensorik und Wearable Computing“ (Höffken, Wilhelm, Groß, Bergner, & Zeile, 2014).	28
2.5.5	„EmoCycling –Analyse von Radwegen mittels Humansensorik für Kommunen“ (Groß, Holderle, & Wilhelm, 2015)	29
2.5.6	„Evaluation of Attention and Relaxation Levels of Archers in Shooting Process using Brain Wave Signal Analysis Algorithms“ (Lee, 2009)	29
2.5.7	„Evaluation of Attention Levels in a Tetris Game Using a Brain Computer Interface“ (Patsis, Sahli, Verhelst, & De Troyer, 2013)	30
2.5.8	Studentische Projekte und Abschlussarbeiten.....	31
2.6	Elektrodermale Aktivität und Elektroenzephalographie	31
2.7	Fazit der Literaturrecherche und Erkenntnisse für den empirischen Teil der Arbeit.....	34
3	Forschungsfragen und Hypothesen	35
3.1	Fahrbahneigenschaften.....	36
3.2	Objektiver Fahrkomfort.....	37
3.3	Subjektiver Fahrkomfort	38
4	Methodische Vorgehensweise	40
4.1	Erhebungskonzept	40
4.1.1	Testgebiet.....	40
4.1.2	Stichprobe	43
4.1.3	Fahrräder.....	44
4.1.4	Messgeräte und Erhebungsmethoden.....	45
4.1.5	Fragebogen	50
4.2	Voruntersuchung.....	51
4.3	Durchführung	51
4.3.1	Probleme und Schwierigkeiten in der Durchführung.....	54
4.4	Datenverarbeitung und -bereinigung	54
4.4.1	Zuordnung der Oberflächen mittels GPS Daten	55
4.4.2	Vertikale Beschleunigung	56

4.4.3	Elektrodermale Aktivität	56
4.4.4	Elektroenzephalographie	57
4.4.5	Gesamtdatendatei	58
4.5	Erläuterung der statistischen Auswertung	59
5	Der Einfluss von Fahrbahnoberflächen auf den Fahrkomfort – Datenauswertung und Hypothesentests.....	61
5.1	Vertikale Beschleunigung.....	61
5.1.1	Hypothesentest mit dem Fahrradtyp Citybike	62
5.1.2	Hypothesentest mit dem Fahrradtyp Mountainbike.....	65
5.1.3	Vergleich der Fahrradtypen Citybike und Mountainbike	67
5.2	Elektrodermale Aktivität.....	72
5.2.1	Hypothesentest der elektrodermalen Aktivität mit dem Fahrradtyp Citybike	73
5.2.2	Hypothesentest der elektrodermalen Aktivität mit dem Fahrradtyp Mountainbike	74
5.2.3	Vergleich der Fahrradtypen Citybike und Mountainbike bezüglich der elektrodermalen Aktivität	76
5.2.4	Zusätzliche statistische Untersuchungen.....	81
5.3	Attention (Elektroenzephalografie)	82
5.3.1	Hypothesentest des Attention Wertes mit dem Fahrradtyp Citybike	83
5.3.2	Hypothesentest des Attention Wertes mit dem Fahrradtyp Mountainbike	85
5.3.3	Vergleich der Fahrradtypen Citybike und Mountainbike bezüglich des Attention Wertes	87
5.3.4	Zusätzliche statistische Untersuchungen.....	92
5.4	Meditation (Elektroenzephalografie).....	92
5.4.1	Hypothesentest des Meditation Wertes mit dem Fahrradtyp Citybike.....	93
5.4.2	Hypothesentest des Meditation Wertes mit dem Fahrradtyp Mountainbike	94

5.4.3	Vergleich der Fahrradtypen Citybike und Mountainbike bezüglich des Meditation Wertes.....	96
5.4.4	Zusätzliche statistische Untersuchungen.....	100
5.5	Subjektiver Fahrkomfort und Kraftaufwand (Fragebogen).....	102
5.5.1	Subjektiver Komfort	102
5.5.2	Subjektiver Kraftaufwand.....	107
5.6	Subjektive Einflussfaktoren auf den Fahrkomfort (Fragebogen)	111
6	Diskussion und Interpretation	114
6.1	Ergebnisse	114
6.1.1	Vertikale Beschleunigung	119
6.1.2	Elektrodermale Aktivität	120
6.1.3	Attention	121
6.1.4	Meditation	122
6.1.5	Fragebogen	122
6.2	Fazit und Empfehlungen	123
6.2.1	Der Faktor Mensch	123
6.2.2	Messgeräte und Daten	124
6.2.3	Stichprobe	125
6.2.4	Untersuchungsgebiet.....	125
6.2.5	Fahrräder.....	126
6.2.6	Schlussfolgerungen	126
6.2.7	Potenziale und Relevanz für zukünftige Studien und die Planungspraxis	127
7	Abbildungsverzeichnis	128
8	Tabellenverzeichnis	132
9	Literaturverzeichnis	137
Anhang.....		142
Fotos.....		142

Datenbereinigung – Identifizierung und Ausschluss von Ausreißern	144
Prüfung der Voraussetzungen für die statistischen Verfahren	146
Fragebogen Ergebnisse Citybike	155
Fragebogen Ergebnisse Citybike	159
Gesamtdatendatei	163

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Der technologische Fortschritt im Bereich der sogenannten "wearable computers" (Exner, Bergner, Zeile, & Broschart, 2012, S. 692) ermöglicht die Entwicklung neuer Methoden und Forschungsansätze in der Raum- und Mobilitätsforschung.

Mittels psychophysiologischen Monitorings (Exner, Bergner, Zeile, & Broschart, 2012) lassen sich Vitaldaten, welche gleichzeitig als Indikatoren für emotionale Reaktionen fungieren, zu jeder Zeit und an jedem Ort messen und aufzeichnen. Durch die simultane Aufzeichnung von GPS-Daten lassen sich die Daten verorten und somit räumliche Zusammenhänge entdecken.

Wearable computers bzw. tragbare Sensoren wurden in der Vergangenheit in diversen Studien aus verschiedenen Forschungsbereichen angewendet. Es hat sich gezeigt, dass die Anwendung von wearable computers in der Mobilitätsforschung, insbesondere im Bereich des Radverkehrs, ein Potenzial darstellt. Besonders die Identifikation und Verortung von Auslösern für emotionale Reaktionen, wie beispielsweise Stress, wurde bereits erfolgreich getestet (Höffken, Wilhelm, Groß, Bergner, & Zeile, 2014). Dennoch besteht zum gegenwärtigen Zeitpunkt ein Mangel an Radfahrstudien die sich mit der Evaluation von Erfahrungen bzw. Emotionen während der Fahrt beschäftigen. Dies betrifft auch die objektive Messung des Fahrkomforts im Sinne von gemessenen Emotionen auf verschiedenen Fahrbahnoberflächen.

Der Zusammenhang zwischen Fahrbahnoberfläche und Fahrkomfort wird in der Literatur oft mit dem Begriff „Bikeability“ in Verbindung gesetzt (Krabbenborg, 2015). Der Begriff „Bikeability“ beschreibt Faktoren, unter anderem auch die Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche, die maßgeblich für die Radfahrfreundlichkeit einer Stadt bzw. einer Radverkehrsinfrastruktur sind (Bovy und Bradley, 1985, zitiert nach Krabbenborg 2015, S. 21).

Im allgemeinen Verständnis erscheint die Bewertung von Fahrbahnoberflächen bezüglich ihres Fahrkomforts offensichtlich, insbesondere in Bezug auf die subjektive Empfindung.

So wird die Fahrbahnoberfläche Pflasterstein nach Meschik (2008) für Radverkehrsanlagen als ungeeignet bezeichnet, da sie „oft nicht komfortabel befahrbar sind“ (Meschik, 2008, S. 195). Auch der Tiroler Planungsleitfaden Radverkehr besagt, dass im Ortsgebiet Feinasphalt gegenüber Pflasterungen, auf Grund der komfortablen Befahrbarkeit, zu bevorzugen ist (Ekkehard & Ludwig , 2007, S. 33).

Der Einsatz von wearable computers ermöglicht die objektive Messung des Fahrkomforts durch die Aufzeichnung und Interpretation von Vitaldaten. Die vorliegende Arbeit greift bestehende Erkenntnisse und noch vorhandene Lücken auf und versucht somit die Potenziale der beschriebenen Methode weiter auszuschöpfen.

1.2 Ziele der Arbeit und thematische Abgrenzung

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel einen Beitrag zu der Disziplin des psychophysiologischen Monitorings, mittels wearable computers, zu leisten, wobei der Fokus auf dem Radverkehr liegt.

Das Forschungsinteresse liegt dabei in der Untersuchung des Einflusses der Fahrbahnoberfläche auf den objektiven Fahrkomfort durch die simultane Messung von Vitaldaten während des Fahrradfahrens sowie deren statistische Auswertung und Interpretation. Konkret wurde die elektrodermale Aktivität mittels der Messung der Hautleitfähigkeit sowie der Gehirnaktivität mittels Elektroenzephalographie (EEG) von 29 Testpersonen erhoben und ausgewertet. Für die Erhebung wurde ein Mountainbike als auch ein Citybike, wie sie von jedem in Wien auszuleihen sind, verwendet. Die verwendeten Messgeräte, Fahrräder und die Methode werden in Kapitel 4 erläutert.

Darüber hinaus wird auch die Funktionalität bzw. Anwendbarkeit der eingesetzten Erhebungsmethode kritisch betrachtet und bewertet.

Es wird aufgezeigt wo die Potenziale, Stärken aber auch Schwächen der angewendeten Methode liegen und in welchen Bereichen sie zukünftig eingesetzt werden könnte. Diesbezüglich wird auch die praktische Planungsrelevanz erläutert und diskutiert.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in einen theoretischen und einen empirischen Teil.

In Kapitel 2 wurde im Rahmen einer Literaturrecherche der aktuelle Forschungsstand in den Bereichen Bikeability, Humansensorik, Raumsensorik und psychophysiologisches Monitoring aufgearbeitet.

Die Ergebnisse lieferten die Grundlage für die Forschungsfragen, Hypothesen, welche in Kapitel 3 erläutert werden sowie für die Methode des empirischen Teils.

Den empirischen Teil der Arbeit stellen die Kapitel 4 und 5 dar.

Die in Kapitel 4 beschriebene Erhebung und Auswertung im Rahmen des empirischen Teils erfolgte als Fallstudie. Hierbei wurden in einem zuvor ausgewählten Untersuchungsgebiet Testfahrten durchgeführt. Während der Testfahrten erfolgte eine simultane Messung von Vitaldaten durch mehrere tragbare Messgeräte.

Das Kapitel beinhaltet außerdem das Erhebungskonzept, welches das Testgebiet, die Stichprobe, die Fahrräder, die Messgeräte und Erhebungsmethoden beschreibt.

Hier finden sich auch die Ergebnisse der Voruntersuchung, die Beschreibung der Erhebungsdurchführung sowie die Erläuterung der Datenverarbeitung und statistischen Auswertung.

In Kapitel 5 folgt schließlich die hypothesengeleitete statistische Auswertung der Messergebnisse.

In Kapitel 6 werden die Ergebnisse zusammengefasst und interpretiert. Abschließend wird die angewendete Methode an sich reflektiert und die Potenziale für die Planungspraxis aufgezeigt.

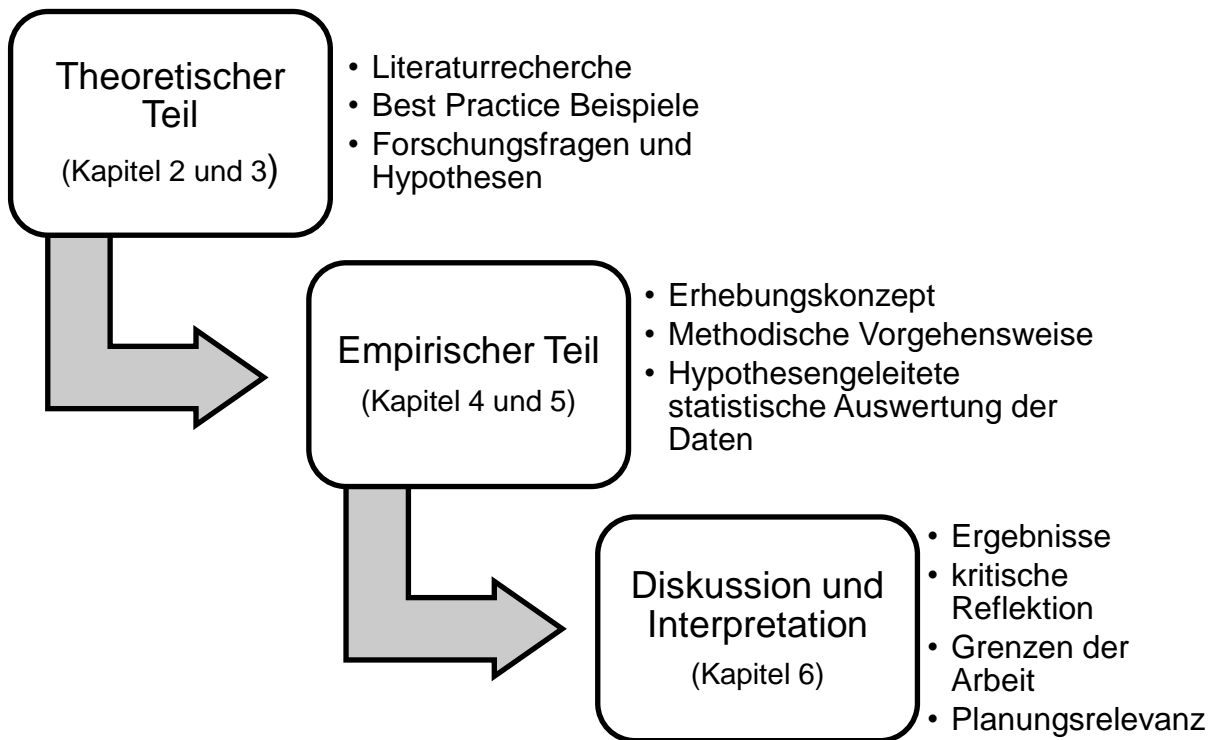


Abbildung 1: Aufbau der Arbeit; Quelle: Eigene Darstellung

2 Theoretischer Hintergrund

Folgendes Kapitel befasst sich mit dem theoretischen Hintergrund im Bereich der Bikeability in Bezug auf Fahrbahnoberflächen sowie in den Bereichen Raumsensorik, Humansensorik und psychophysiologisches Monitoring. Auch wird der für diese Arbeit relevante Begriff Komfort diskutiert und die Definition konkretisiert. Mittels Literaturrecherche wurde der Stand des Wissens anhand bisheriger Projekte und Studien im jeweiligen Bereich dargestellt und erläutert.

Bezüglich der Bikeability konzentriert sich das Kapitel auf das Thema Fahrbahnoberflächen, deren Beschaffenheit und deren Bedeutung für den Fahrkomfort von Radfahrern.

Der Fokus des Themas Humansensorik liegt hierbei insbesondere im Bereich des „psychophysiologischen Monitorings“ (Exner, Bergner, Zeile, & Broschart, 2012, S. 692). Dabei konzentriert sich die Arbeit wiederum auf die Messung der elektrodermalen Aktivität bzw. der Hautleitfähigkeit und die Elektroenzephalografie. Die Ergebnisse der Literaturrecherche bilden die Grundlage für die Forschungsfragen, die Hypothesen und für das Erhebungskonzept der vorliegenden Arbeit.

2.1 Der Begriff Bikeability

Eine einheitliche Definition für den Begriff „Bikeability“ ist in der Literatur nicht zu finden, daher eignet sich ein Vergleich mit dem Begriff „Walkability“, welcher durch die Art der Wahrnehmung oder des Gefühls eines Fußgängers in einem Straßenraum definiert werden kann (Ewing, Handy, Brownson, Clemente, & Winston, 2006). Der Begriff kann somit als Fußgängerfreundlichkeit übersetzt werden. Dementsprechend kann die Bikeability als Fahrradfreundlichkeit übersetzt werden. In der Vergangenheit lag der Fokus der Forschung besonders auf der Erstellung von Walkability Indexen während die Bikeability zunächst weniger Beachtung fand (Krenn, Oja, & Titze, 2015, S. 452). In Bezug auf die Bikeability entwickelten Krenn et al. (2015) im Rahmen ihrer Studie „Development of Bikeability Index to Assess the Bicycle-Friendliness of Urban Environments“ einen sogenannten Bikeability Index mit dessen Hilfe man die Fahrradfreundlichkeit einer Stadt messen und kartieren kann. Als Ergebnis wurden drei umgebungsbedingte Elemente, welche einen positiven Einfluss auf die Routenwahl (Radverkehrsinfrastruktur, Radwege, und Grünraum) sowie zwei Elemente mit negativen

Einfluss auf die Routenwahl (Hauptstraßen und Topographie) definiert.

2.2 Der Begriff Komfort

Ein entscheidender Begriff dieser Arbeit ist der Komfort, welcher in der Literatur häufig im Zusammenhang mit der Bikeability verwendet wird. So definieren auch Lowry et al. (2012) den Begriff Bikeability als eine Einstufung eines Radverkehrsnetzes bezüglich seiner Fähigkeit wichtige Ziele komfortabel und bequem zu erreichen.

Da der Begriff Komfort, welcher nach Hölzel et al. (2012, S. 484) auch im direkten Zusammenhang mit der Oberflächenbeschaffenheit steht, hier relativ frei interpretiert wird, stellt sich die Frage, wie man Komfort für den Zweck dieser Arbeit konkreter definieren kann.

Wie breit die Definition ist, zeigt sich nach Betrachtung der Definitionen der Wörter Komfort und komfortabel laut Duden.

Der Duden definiert „Fahrkomfort“ folgendermaßen:

- "Komfort, den die Insassen eines Fahrzeugs während der Fahrt genießen können

Beispiele

- ein völlig neues Fahrwerk sorgt für mehr Sicherheit und Fahrkomfort (Dudenredaktion, Fahrkomfort, o. J.)

Der Begriff „komfortabel“ wird wiederum folgendermaßen definiert:

1. „mit allem durch technischen Fortschritt möglichen Komfort ausgestattet

Beispiele

- ein komfortables Hotel, Auto
- eine komfortable Polsterung
- komfortabel eingerichtete Zimmer
- sich komfortabel fühlen (sich wohlfühlen)
- <in übertragener Bedeutung>: die Mannschaft geht mit einem komfortablen (kaum aufholbaren) Vorsprung in das Rückspiel

2. keine Anstrengung verursachend; ohne Mühe benutzbar o. Ä.

Beispiel

- eine sehr komfortable Software, Fernbedienung“ (Dudenredaktion, komfortabel, o. J.)

Der Begriff „komfortabel“ lässt sich also mit diversen Dingen in Verbindung setzen, wobei Mobilität in diesem Zusammenhang nur einen Teilbereich darstellt. Komfort ist jedoch etwas was „die Insassen eines Fahrzeugs“ (Dudenredaktion, Fahrkomfort, o. J.) bzw. der Radfahrer während der Fahrt genießen kann.

Im Kontext dieser Arbeit ist die Gleichsetzung mit dem Begriff „wohlfühlen“ ebenso passend, wobei das „Gefühl“ wiederum ein Synonym für „Emotion“ ist. (Dudenredaktion, Gefühl, o. J.) Emotionen können nicht nur subjektiv erhoben werden sondern auch objektiv gemessen werden. Dies wird in Kapitel 2.5 erläutert. Zunächst werden jedoch bisherige Arbeiten, die sich auf den Fahrkomfort von Radfahrern im Zusammenhang mit Fahrbahnoberflächen befasst haben, hinsichtlich ihrer Methoden und Erkenntnisse erläutert.

2.3 Bisherige Forschung im Bereich der Erhebung von Fahrkomfort in Bezug auf Fahrbahnoberflächen

Nach Bovy & Bradley (1985, zitiert nach Krabbenborg 2015, S. 21) ist der Oberflächentyp nach der Fahrzeit der wichtigste Faktor für die Routenwahl von Radfahrern und somit auch ein entscheidender Faktor für die Fahrradfreundlichkeit. In der Vergangenheit haben sich bereits mehrere Studien mit der Thematik des Fahrkomforts und Fahrbahnoberflächen auseinandergesetzt. Während der Schwerpunkt meist in der allgemeinen Erhebung von Fahrkomfort und somit auch in der Identifizierung von entsprechenden Einflussfaktoren lag, wurde auch bereits der konkrete Einfluss des Faktors Fahrbahnoberflächen auf den Fahrkomfort untersucht.

2.3.1 Zusammenfassung der bisherigen Forschung im Bereich der Erhebung von Fahrkomfort in Bezug auf Fahrbahnoberflächen

Autor (Jahr)	Titel	Themenschwerpunkt	Methode	Ergebnisse
Leitinger (2017)	„BIKEALYZE“	Komfort und Sicherheit von Radinfrastrukturen und die objektive Bewertung der Radverkehrsinfrastrukturen.	Langzeiterfassung der GPS-Position, Beschleunigung, Lenkrichtung und Neigung sowie Videoaufzeichnungen mittels Helmkamera von 24 Probanden.	Projekt läuft noch. Es sollen Unebenheiten, abrupte Brems- und Lenkmanöver erkannt und verortet werden.
Ayachi & Gustavino (2015)	„Identifying factors of bicycle comfort: An online survey with enthusiast cyclists“	Die Identifizierung von Einflussfaktoren auf den Fahrkomfort von Radfahrern	online Befragung mit 244 Teilnehmern	Die Fahrbahnoberfläche hatte in der Kategorie Umwelt den höchsten Einfluss auf den Komfort.
Hölzel et al. (2012)	„Cycling comfort on different road surfaces“	Messung des Fahrkomforts mit dem Fahrrad auf verschiedenen Fahrbahnoberflächen	Messung des Rollwiderstands und der Vibrationen mittels eines Pendels mit einem Freiheitsgrad und einem Beschleunigungsmessgerät. Die Werte wurden mit dem Begriff Komfort gleichgesetzt.	Asphalt (in gutem Zustand) hatte den geringsten Rollwiderstand und wies die geringsten übertragenen Vibrationen auf. Pflasterstein wies die höchsten Vibrationen auf. Die Oberfläche Schotter wies den höchsten Rollwiderstand und mittlere Vibrationen auf.
Arpinar-Avsar, Birlik, Sezgin, & Soyulu, (2012)	„The Effects of Surface-Induced Loads on Forearm Muscle Activity during Steering a Bicycle“	Die Messung der Auswirkungen von Vibrationen auf die Aktivität der vorderen Armmuskulatur.	Messung der Aktivität der vorderen Armmuskulatur mittels Elektromyografie sowie der Vibrationen. . 10 Testpersonen	Unebenheiten in der Fahrbahnoberfläche verstärkten die Aktivität der vorderen Armmuskulatur. Die Aktivität der Muskulatur war mit dem Rennrad höher als mit dem Mountainbike.

Tabelle 1: Zusammenfassung der bisherigen Forschung im Bereich der Erhebung von Fahrkomfort in Bezug auf Fahrbahnoberflächen; Quelle: Eigene Darstellung

2.3.2 „BIKEALYZE“ (Leitinger, 2017)

Das aktuell noch laufende Projekt „BIKEALYZE“ (Leitinger, 2017) befasst sich mit dem Komfort und der Sicherheit von Radinfrastrukturen. Im Fokus lag dabei die objektive Bewertung von Radverkehrsinfrastrukturen. 24 Probanden zeichnen dafür jeweils eine Woche lang ihre Fahrradalltagswege auf. Zum Einsatz kommt dabei ein Smartphone, welches die GPS-Position, Beschleunigung, Lenkrichtung und Neigung erfasst. Zusätzlich werden mittels einer Helmkamera Videoaufzeichnungen zur nachträglichen Auswertung bestimmter Situationen aufgenommen. So können starke Schläge oder Unebenheiten, aber auch abrupte Brems- und Lenkmanöver erkannt und verortet werden (Leitinger, 2017).

2.3.3 „Identifying factors of bicycle comfort: An online survey with enthusiast cyclists“ (Ayachi & Gustavino, 2015)

Andere Studien definierten konkret die Oberflächenbeschaffenheit als einen entscheidenden Faktor für die Routenwahl und somit auch für die Bikeability (Bovy & Bradley, 1985, zitiert nach Krabbenborg 2015, S. 21).

So stellten Ayachi & Gustavino (2015) in ihrer Studie „Identifying factors of bicycle comfort: An online survey with enthusiast cyclists“ im Rahmen einer online Befragung mit 244 Teilnehmern fest, dass die Befragten die Oberflächen Asphalt oder Beton als komfortabel empfanden. Im Gegensatz dazu wurden die Oberflächen Schotter und Pflasterstein als sehr unkomfortabel eingestuft. In der Kategorie Umwelt hatte der Faktor Fahrbahnoberfläche den höchsten Einfluss auf den Komfort (Ayachi & Gustavino, 2015, S. 127).

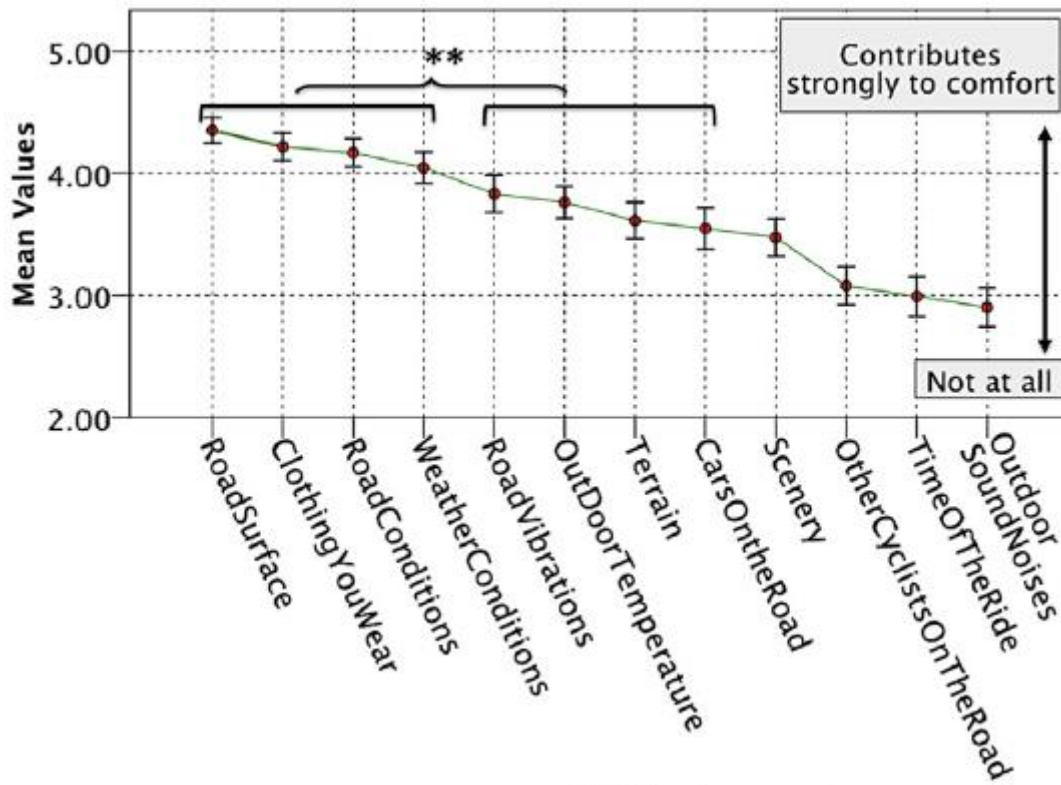


Abbildung 2 Einflussfaktoren auf den Fahrkomfort in der Kategorie Umwelt;
Quelle: (Ayachi & Gustavino, 2015)

2.3.4 „Cycling comfort on different road surfaces“ (Hölzel, Höchtel, & Senner, 2012)

Mit der konkreten Thematik des Fahrkomforts auf verschiedenen Oberflächen befassten sich bereits Hölzel et al. (2012) in ihrer Studie „Cycling comfort on different road surfaces“. Der Fokus lag hierbei auf dem Rollwiderstand und der vertikalen Beschleunigung bzw. den Vibrationen, welche mittels eines Pendels mit einem Freiheitsgrad und einem Beschleunigungsmessgerät erhoben wurde.

Hölzel et al. (2012) setzen dabei Fahrkomfort mit einem geringen Rollwiderstand und somit einem geringen Energieaufwand als auch mit geringen übertragenen Vibrationen gleich. Die Ergebnisse zeigten, dass Asphalt (in gutem Zustand) den geringsten Rollwiderstand und auch die geringsten übertragenen Vibrationen aufwies während die Oberfläche Pflasterstein die höchsten Vibrationen aufwies. Die Oberfläche Schotter wies wiederum den höchsten Rollwiderstand und im Vergleich zu den anderen Oberflächen mittlere Vibrationen auf (Hölzel, Höchtel, & Senner, 2012, S. 482).

Folgende Tabelle gibt die Ergebnisse der Studie wieder, wobei die zurückgelegte Strecke (rolling resistance) den Rollwiderstand widerspiegelt und der Fahrkomfort

(riding quality) die auftretenden Vibrationen.

surfaces	rolling resistance		riding quality	
	covered distance [m]	rolling resistance coefficient (c_r)	effective value (a_{wT})	subjective perception
asphalt (less used)	19,8	0,0071804	0,054166667	good perceptible
concrete slabs (less used)	22,1	0,0063459	0,166058824	strong perceptible
cobblestones	13,8	0,0103079	0,57	very strong perceptible
asphalt (battered)	15,6	0,0089477	0,102777778	strong perceptible
concrete slabs (battered)	21	0,0066998	0,186111111	strong perceptible
self-binding gravel	10,2	0,013225	0,212777778	strong perceptible

Tabelle 2: Ergebnisse der Studie „Cycling comfort on different road surfaces“; Quelle: (Hölzel, Höchtl, & Senner, 2012)

2.3.5 „The Effects of Surface-Induced Loads on Forearm Muscle Activity during Steering a Bicycle“ (Arpinar-Avsar, Birlik , Sezgin, & Soylu, 2013)

Auffällig ist, dass in vorangegangenen Studien wenig auf die Unterschiede zwischen Fahrradtypen eingegangen wurde. Ayachi & Gustavino (2015) haben zwar im Rahmen ihrer online Befragung erhoben, welcher Rahmentyp am komfortabelsten ist, eine tatsächliche Untersuchung mit verschiedenen Fahrradtypen fand allerdings nicht statt. Ein Beispiel für einen Vergleich von Fahrradtypen ist die Studie „The Effects of Surface-Induced Loads on Forearm Muscle Activity during Steering a Bicycle“, in der mit zehn Testpersonen die Auswirkungen von Vibrationen auf die Aktivität der vorderen Armmuskulatur mittels Elektromyografie untersucht wurden (Arpinar-Avsar, Birlik , Sezgin, & Soylu, 2013, S. 514). Zum Einsatz kamen dabei ein Rennrad und ein Mountainbike. Die Ergebnisse zeigten, dass Unebenheiten in der Fahrbahnoberfläche die neben den Vibrationen auch die Aktivität der vorderen Armmuskulatur verstärkten. Auch wurde festgestellt, dass sowohl die Vibrationen als auch die Aktivität der Muskulatur bei Fahrten mit dem Rennrad höher waren als mit dem Mountainbike. (Arpinar-Avsar, Birlik , Sezgin, & Soylu, 2013, S. 515ff)

2.4 Raumsensorik, Humansensorik und psychophysiologisches Monitoring

Zunächst wird eine kurze Definition der Begriffe Raumsensorik, Humansensorik und psychophysiologisches Monitoring aufgestellt.

Die angewendeten Methoden in den zuvor vorgestellten Studien „BIKEALYZE“ (Leitinger, 2017) und „Cycling comfort on different road surfaces“ (Hölzel, Höchtel, & Senner, 2012) lassen sich sowohl in die Kategorie der Raumsensorik als auch Humansensorik einteilen.

Der Begriff Raumsensorik beschreibt in erster Linie das Sammeln von Informationen mittels Sensoren, welche räumlich verortet werden können (Groß, 2015). So kann auch die Messung der Information Feinstaubkonzentration in einem bestimmten räumlichen Kontext, z. B. einer Kreuzung, mit Hilfe eines Sensors (Feinstaubmessgerät) als ein Beispiel für Raumsensorik stehen.

Im Sinne der Humansensorik hingegen wird der Mensch, bzw. eine Testperson selbst zum Sensor. Je nach Art der Erhebung, bzw. der Messgeräte können diverse Informationen gesammelt werden.

Der Artikel „Citizens as Sensors“ (Goodchild, 2007) war einer der ersten Ansätze in diesem Themenbereich. Goodchild (2007) beschreibt darin verschiedene Arten wie der Mensch bzw. in seinem Fall der „Bürger“ als Sensor fungiert oder fungieren kann. Dazu gehört zum Beispiel auch die freiwillige Bereitstellung und Verortung von Informationen bzw. von Wissen auf Webseiten, wie Wikimapia oder OpenStreetMap (Goodchild, 2007, S. 1). Menschen können aber auch als Träger von Sensoren fungieren. So können Kinder beispielsweise mit Sensoren ausgestattet werden, welche die Luftqualität messen um das Verständnis für die Ursachen von Asthma bei Kindern besser zu verstehen (Goodchild, 2007).

Neben den subjektiven Informationen, welche in Form eines Fragebogens erhoben werden können, liegt der Fokus dieser Arbeit vor allem auf der Erhebung von objektiven Messdaten. Dabei geht es allerdings nicht um die Messung der Umwelteinflüsse selbst sondern um die Körperreaktionen der Testpersonen, welche wiederum als Indikatoren für ihre emotionalen Reaktionen dienen. Es ist belegt, dass emotionale Reaktionen mit Veränderungen in der Aktivität des autonomen Nervensystems einhergehen (Exner, Bergner, Zeile, & Broschart, 2012, S. 692). Durch die Messung von spezifischen physiologischen Parametern, wie der Hautleitfähigkeit und der Hauttemperatur, lassen sich solche nervlichen Reaktionen feststellen (Kreibig, 2010).

Nach Exner, et al. (2012, S. 692) wird die entsprechende Methode als psychophysiologisches Monitoring bezeichnet. So genannte „wearable computers“ (Exner, Bergner, Zeile, & Broschart, 2012, S. 692), also tragbare Messgeräte, welche z. B. die elektrodermale Aktivität, also die Hautleitfähigkeit oder die Aktivität des Gehirns durch Elektroenzephalographie messen, ermöglichen es heutzutage personenbezogene Vitaldaten an jedem beliebigen Ort zu erheben.

Die Kartierung „emotionaler Daten“, unabhängig ob subjektiv oder objektiv gemessen, wird auch EmoMapping genannt, wobei Emotionen und geographische Informationen verknüpft werden (Höffken, Wilhelm, Groß, Bergner, & Zeile, 2014, S. 854).

Durch diese Verknüpfung ist es möglich Zusammenhänge zwischen Emotionen und räumlicher Lage zu überprüfen. Je nach Forschungsziel können dabei konkrete Zusammenhänge zwischen Variablen, wie z. B. dem Verkehrsaufkommen entlang einer Straße im Untersuchungsgebiet und den emotionalen Reaktionen untersucht werden. In Kombination mit Videoaufzeichnungen, z. B. mit einer Kamera oder eines Eye Trackers, können aber auch sogenannte „Trigger“, also Auslöser für eine bestimmte emotionale Reaktion gesucht und definiert werden.

2.5 Bisherige Forschung im Bereich der Messung von Emotionen

In der Vergangenheit haben sich bereits einige Studien konkret mit der Messung von Emotionen und deren Interpretation beschäftigt. Folgend wird eine Auflistung und Erläuterung von Projekten aufgestellt, welche bezüglich ihres Untersuchungsdesigns oder des Themenbereichs für die vorliegende Arbeit von besonderer Relevanz sind. Dazu gehören nicht nur Projekte, welche sich mit der Verortung bzw. Kartierung von Emotionen beschäftigen sondern auch solche bei der die Messung und Interpretation von physiologischen Daten im Vordergrund stand.

Während die meisten Menschen mit der Messung und Interpretation physiologischen Daten in der Medizin mit Hilfe von stationären Messgeräten (Höffken, Wilhelm, Groß, Bergner, & Zeile, 2014, S. 854), wie beispielsweise dem EKG, vertraut sind, grenzt sich die hier beschriebene Disziplin der Messung von physiologischen Daten im Sinne von Emotionen im räumlichen Kontext davon ab.

2.5.1 Zusammenfassung der bisherigen Forschung im Bereich der Messung von Emotionen

Autor (Jahr)	Titel	Themenschwerpunkt	Methode	Ergebnisse
Nold, C. (2004)	„Bio Mapping“	Die Messung, Verortung und Visualisierung von Emotionen im räumlichen Kontext	EmoMapping mittels Lügendetektor (Hautleitfähigkeit) und GPS Logger Probanden: „Tausende“ in 16 Ländern	Visualisierung der objektiv erhobenen „Emotionsdaten“ in einer Karte.
Zeile et al. (2011)	Mapping people? – The measurement of physiological data in city areas and the potential benefit for urban planning	Explorative Studien, Erprobung neuer Methoden für die Stadtplanung	Smartband (Hautleit-fähigkeit) GPS Logger	Verortung und Visualisierung von emotionalen Reaktionen.

Höffken et al. (2014)	„EmoCycling – Analysen von Radwegen mittels Humansensorik und Wearable Computing“	Identifizierung von Auslösern bzw. „Triggern“ für emotionale Reaktionen während des Fahrradfahrens	Smartband, Videoaufzeichnungen und GPS Probanden: 6	Identifizierung und Verortung von Hotspots und Auslösern für emotionale Reaktionen .
Groß, Holderle, & Wilhelm (2015)	„EmoCycling – Analyse von Radwegen mittels Humansensorik für Kommunen“	Identifizierung von Auslösern bzw. „Triggern“ für emotionale Reaktionen während des Fahrradfahrens	Smartband, Videoaufzeichnungen und GPS	Identifizierung und Verortung von Hotspots und Auslösern für emotionale Reaktionen .
Lee (2009)	„Evaluation of Attention and Relaxation Levels of Archers in Shooting Process using Brain Wave Signal Analysis Algorithms“	Evaluierung der Gehirnaktivität während des Bogenschießens.	Messung und statistische Auswertung der Gehirnaktivität von 14 Probanden während des Bogenschießens.	Die Aufmerksamkeit und mentale Entspannung nahm im Prozess des Schießens zu und war zum Zeitpunkt des Loslassens am höchsten.
Patsis, Sahli, Verhelst, & De Troyer (2013)	“Evaluation of Attention Levels in a Tetris Game Using a Brain Computer Interface”	Evaluierung der Gehirnaktivität während des Computerspielens.	Messung und statistische Auswertung der Gehirnaktivität von 14 Probanden während des Computerspielens.	Die Aufmerksamkeit nahm mit einem höheren Schwierigkeitsgrad zu.
Daniel, Leszczynski, & Reinhart (2015)	„bike emotions“	Entwicklung von Messmethoden zur Erhebung subjektiver Wahrnehmungen und Emotionen während des Fahrradfahrens mit dem Schwerpunkt der Verkehrssicherheit.	Messung der Hautleitfähigkeit und Gehirnaktivität. Zusätzliche Verwendung eines Eyetrackers und GPS Loggers.	Erfolgreiche Identifizierung von Auslösern für Stress, z. B. das Überqueren von Straßenbahnschienen.

Tabelle 3: Zusammenfassung der bisherigen Forschung im Bereich der Messung von Emotionen; Quelle: Eigene Darstellung

2.5.2 „Bio Mapping“ Christian Nold (2009)

Ein Pionier in dem Feld der Erhebung von Emotionen mittels Humansensorik war Christian Nold mit seinem Projekt „Bio Mapping“ welches im Jahre 2004 startete (Nold, 2009). Nold stattete tausende Probanden in insgesamt 16 Ländern mit einem selbstgebauten Messgerät, bestehend aus einem Hautleitfähigkeitsmessgerät und einem GPS Gerät, aus und ließ sie durch Städte, Kunstgalerien und in ihrem natürlichen Umfeld spazieren. Das Hautleitfähigkeitsmessgerät zeichnete dabei Schwankungen der Schweißproduktion auf, welche als Indikatoren für die „emotionale Intensität“ fungierten. Mit Hilfe der GPS Daten konnten die aufgezeichneten Daten verortet und so auf Karten visualisiert werden. (Nold, 2009, S. 2f) Da Nold selbst ein Künstler ist, lassen sich die Ergebnisse seiner Untersuchungen ebenfalls eher als künstlerisch verstehen (Höffken, 2010, S. 12).

Dennoch wirft Nold interessante Erkenntnisse für die Anwendung solcher Erhebungsmethoden auf. Nach Nold (2009) basiert das angewendete Hautleitfähigkeitsmessgerät auf einem Lügendetektor. In diesem Zusammenhang lässt sich sagen, dass der Körper immer die Wahrheit sagt und somit auch die Objektivität der erhobenen Daten gewährleistet ist. Nold war erstaunt über die Ergebnisse, in Gesprächen mit den Testpersonen konnten die visualisierten Daten mit konkreten Ereignissen und Erfahrungen in Verbindung gesetzt werden. (Nold, 2009, S. 2f)

2.5.3 „Mapping people? – The measurement of physiological data in city areas and the potential benefit for urban planning“ (Zeile, Höffken, & Papastefanou , 2009)

Das Projekt „Mapping People?“ (Zeile, Höffken, & Papastefanou , 2009) besteht aus zwei Studien, „emomap“ und „Mapping Marzahn-Hellersdorf“. Im Rahmen der Studien wurden Probanden mit einem Smartband, welches die Hautleitfähigkeit gemessen hat, und einem GPS Logger ausgestattet. In Mannheim und Berlin mussten die Probanden mit den Messgeräten durch bestimmte Viertel der Stadt spazieren während ihre Hautleitfähigkeit gemessen wurde. Mit Hilfe des GPS Loggers konnten diese objektiven Daten räumlich verortet und anschließend visualisiert werden.

Die Studien hatten dabei einen explorativen Charakter und dienten vor allem der Erprobung neuer Methoden, welche zukünftig in der Planungspraxis zum Einsatz kommen könnten. Es zeigte sich, dass besondere Ereignisse, die nicht mit der urbanen Umgebung im Zusammenhang standen, wie eine lange Schlange vor einem

Geldautomat oder das Hineintreten in Dreck, besonders starke Reaktionen auslösten. Das bauliche Umfeld löste im Gegensatz zu Aktivitäten der Testpersonen oder Ereignissen, deutlich schwächere Reaktionen aus, wodurch sich dessen Auswirkung nur schwierig identifizieren ließ. (Zeile, Höffken, & Papastefanou, 2009, S. 347 fff) Daher wurde empfohlen, dass sich zukünftige Studien, im Gegensatz zum explorativen Charakter dieser Studie, auf spezifische und weniger komplexe Einflussfaktoren fokussieren sollten. So könnte beispielsweise der Zusammenhang zwischen Stress und der Verkehrsdichte in einer Umgebung untersucht werden. (Zeile, Höffken, & Papastefanou, 2009, S. 350)

Weitere vergleichbare Studien bzw. Projekte waren „Emotionale Stadtkartierung“ (Höffken, Bionsensorik und emotionale Stadtkartierung. Die Erfassung physiologischer Daten im Stadtraum, 2010), „Smart Sensing as a Planning support Tool for Barrier free Planning“ (Zeile, Rodruques Da Silva, Aguiar, Papastefanou, & Bergner, 2011), „Sensing the City“ (Bergner, Exner, Zeile, & Rumberg, 2012) und „Humansensorik in der räumlichen Planung (Exner, Bergner, Zeile, & Broschart, 2012)

2.5.4 „EmoCycling – Analysen von Radwegen mittels Humansensorik und Wearable Computing“ (Höffken, Wilhelm, Groß, Bergner, & Zeile, 2014)

Von besonderem Interesse für die vorliegende Arbeit waren Projekte, welche sich sowohl mit Radverkehr als auch mit Humansensorik beschäftigten.

Hierbei ist das Projekt EmoCycling hervorzuheben, welches auf einem Bachelorprojekt der TU Kaiserslautern unter dem Namen „EmoCycling“ (Buschlinger, et al., 2013) basiert.

Die darauf aufbauende Studie „EmoCycling – Analysen von Radwegen mittels Humansensorik und Wearable Computing“ (Höffken, Wilhelm, Groß, Bergner, & Zeile, 2014) befasst sich mit der Identifizierung von Auslösern bzw. „Triggern“ für emotionale Reaktionen mittels Smartband und Videoaufzeichnungen. Das Smartband hat dabei die Hautleitfähigkeit, Hauttemperatur, Pulsvolumen und triaxiale Beschleunigung gemessen. (Höffken, Wilhelm, Groß, Bergner, & Zeile, 2014, S. 855)

Die darin behandelte Studie fand in Kaiserslautern statt, bei der sechs Probanden zwei vorgegebene Routen abfahren mussten. Eine Route fokussierte sich auf die Untersuchungen der Topographie bzw. des Einflusses der Topographie, bei der zweiten Route lag der Fokus auf dem Verhalten der Testpersonen auf diversen Straßentypen,

wie Hauptstraßen oder Einbahnstraßen. Gefahren wurde mit einem normalen Fahrrad und anschließend mit einem Pedelec. (Höffken, Wilhelm, Groß, Bergner, & Zeile, 2014, S. 856 f) Durch die quantitative Auswertung der Daten des Smartbands und der qualitativen Auswertung der Videoaufzeichnungen konnten im Rahmen der Auswertung Hotspots als auch die exakten Einflussfaktoren definiert und verortet werden. Es zeigte sich, dass die angewendete Methode es ermöglicht den Radverkehr objektiv zu bewerten und zu analysieren. (Höffken, Wilhelm, Groß, Bergner, & Zeile, 2014, S. 857ff)

2.5.5 „EmoCycling –Analyse von Radwegen mittels Humansensorik für Kommunen“ (Groß, Holderle, & Wilhelm, 2015)

Ähnlich aufgebaut, auch in Bezug auf die verwendete Methode, war die Untersuchung im Rahmen der Studie „EmoCycling –Analyse von Radwegen mittels Humansensorik für Kommunen“ (Groß, Holderle, & Wilhelm, 2015) Die Studie fand in der Stadt Osthofen statt, in der die Probanden, ausgestattet mit Smartband, GPS Logger und Helmkamera, ebenfalls zwei verschiedene Routen abfahren mussten. Als Ergebnis konnten konkrete „Trigger“ für Stressreaktionen identifiziert, kategorisiert und verortet werden. Interessant für die vorliegende Arbeit ist hierbei, dass als zweithäufigster Trigger, nach Knotenpunkten, schlechter Straßenbelag als Auslöser für negative emotionale Reaktionen identifiziert wurde (Groß, Holderle, & Wilhelm, 2015, S. 257). Eine weitere ähnliche Studie ist „Utilizing Egocentric Video and Sensors to Conduct Naturalistic Bicycling Studies“ (Liu & Figliozzi, 2016).

2.5.6 „Evaluation of Attention and Relaxation Levels of Archers in Shooting Process using Brain Wave Signal Analysis Algorithms“ (Lee, 2009)

Anders als in den bisher genannten Studien wurde in der Studie „Evaluation of Attention and Relaxation Levels of Archers in Shooting Process using Brain Wave Signal Analysis Algorithms“ (Lee, 2009) nicht die Hautleitfähigkeit, sondern die Gehirnaktivität mittels Elektroenzephalographie untersucht. Auch steht hier nicht der räumliche Aspekt im Vordergrund sondern eine bestimmte Aktivität, in diesem Fall das Bogenschießen. So wurden im Rahmen dieser Studie Bogenschützen mit einem Stirnband der Firma NeuroSky (www.neurosky.com) ausgestattet. Ein ähnliches Gerät wurde auch im Rahmen dieser Arbeit verwendet. Das Stirnband hat während des Schießens die Gehirnaktivität gemessen, wobei der von der Firma NeuroSky entwickelte „Attention“ und „Meditation“ Algorithmus für die Auswertung verwendet wurde. Diese Werte

beschreiben auf einer Skala von 0-100 wie fokussiert bzw. aufmerksam (Attention) und entspannt (Meditation) eine Person ist. (Neurosky, o. J.)

Die Studie konnte statistisch belegen, dass bei erfahrenen Bogenschützen die Attention und Meditation Werte im Prozess des Schießens zunahmen und im Moment der Schussabgabe am höchsten waren. Es zeigte sich darüber hinaus auch ein Zusammenhang zwischen den gemessenen Werten und der Erfahrung der Schützen (Lee, 2009, S. 8 f).

Hinsichtlich der vorliegenden Arbeit ist diese Studie besonders interessant, da die Elektroenzephalographie in anderen Projekten bisher wenig zum Einsatz kam. Auch wenn die Studie einige Probleme aufzeigte, da 50 % der Daten durch Messfehler unbrauchbar waren, konnten dennoch konkrete Zusammenhänge zwischen der Gehirnaktivität und dem Prozess des Bogenschießens festgestellt werden. (Lee, 2009, S. 7)

2.5.7 „Evaluation of Attention Levels in a Tetris Game Using a Brain Computer Interface” (Patsis, Sahli, Verhelst, & De Troyer, 2013)

„Evaluation of Attention Levels in a Tetris Game Using a Brain Computer Interface” (Patsis, Sahli, Verhelst, & De Troyer, 2013) ist eine weitere vergleichbare Studie welche sich eines NeuroSky Stirnbandes bediente. Es wurde die Gehirnaktivität von 14 Probanden gemessen während sie das Computerspiel „Tetris“ spielten. Es konnte statistisch festgestellt werden, dass ein höherer Schwierigkeitsgrad bzw. ein höheres Level des Spiels mit einem erhöhten Attention Wert der Probanden einherging. (Patsis, Sahli, Verhelst, & De Troyer, 2013, S. 11)

2.5.8 Studentische Projekte und Abschlussarbeiten

Diverse studentische Projekte und Abschlussarbeiten befassten sich ebenfalls mit Humansensorik und Radverkehr. Dennis Groß befasste sich neben dem Projekt „EmoCycling“ auch im Rahmen seiner Bachelorarbeit mit dem Titel „EmoCyclingConcept - Potentiale der emotionalen Stadtkartierung für Radverkehrskonzepte am Usecase Worms“ (Groß, 2015) mit der Thematik. An der TU Wien fanden in den Jahren 2014 bis 2017 im Rahmen der Lehrveranstaltungen „Fühl die Stadtregion!“, „Fühl die Stadt!“ und „Bikeability: Ich dreh am Rad!“ unter der Betreuung durch Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Martin Berger ebenfalls bereits zahlreiche studentische Projekte mit dem Themenschwerpunkt Humansensorik und Radverkehr statt. Dazu gehört auch das Projekt „bike emotions“ (Daniel, Leszczynski, & Reinhart, 2015). Dabei konnten ebenfalls durch Messung der Hautleitfähigkeit und unter Anwendung eines Eyetrackers Trigger für emotionale Reaktionen, welche während der Fahrt auftraten, identifiziert und verortet werden. So haben beispielsweise bei einigen Probanden Straßenbahnschienen bzw. das Überqueren dieser, emotionale Reaktionen ausgelöst. Auch konnte die visuelle Fokussierung der Schienen mit Hilfe des Eyetrackers durch Heatmaps unterstützend nachgewiesen werden. (Daniel, Leszczynski, & Reinhart, 2015)

2.6 Elektrodermale Aktivität und Elektroenzephalographie

Es hat sich gezeigt, dass die Messung der elektrodermalen Aktivität eine gute Methode ist um Emotionen objektiv zu erheben und auszuwerten. Auch die Messung der Gehirnaktivität mittels Elektroenzephalographie wurde bereits erfolgreich getestet. Hierbei hat sich konkret die Auswertung, der von NeuroSky entwickelten, Attention und Meditation Algorithmen, als gute Methode erwiesen.

Basierend auf den Erkenntnissen der zuvor beschriebenen Studien und der verfügbaren Messgeräte, wurde die Methode der Hautleitfähigkeitsmessung und Elektroenzephalographie auch im Rahmen dieser Arbeit als zielführend erachtet. Folglich werden die elektrodermale Aktivität und die Elektroenzephalographie hier genauer erläutert.

Im Rahmen der Messung der Hautleitfähigkeit wird der Hautleitwert in Mikro-Siemens in der Einheit μS , also millionstel Siemens gemessen. Siemens entspricht dabei der Einheit der Leitfähigkeit. (Mindfield, o. J., S. 4)

Der übergeordnete Begriff „elektrodermale Aktivität“ beschreibt im Allgemeinen alle tonischen und phasischen elektrischen Phänomene der Haut. Die im Rahmen dieser Arbeit angewandte Methode nennt sich konkret exosomatische Methode. Hierbei wird von außen über Elektroden an den Fingern eine geringe Spannung an die Haut angelegt (Burk, 2005).

Ein höherer Hautleitfähigkeitswert korreliert dabei mit der Anzahl aktiver Schweißdrüsen (Burk, 2005, S. 53). Diese Methode eignet sich somit zur Messung „situativer emotionaler Zustände“ (Burk, 2005, S. 2) wobei eine Erhöhung der Hautleitfähigkeit, also eine erhöhte Schweißproduktion, als eine Stressreaktion interpretiert werden kann. Der Hautleitwert hängt stark von dem individuellen Basisniveau ab und eignet sich nicht als Vergleichswert zwischen mehreren Individuen (Mertens, 2016). Zum Vergleich kann die Steigung der Werte, also die Zu- und Abnahme des Hautleitwertes herangezogen werden. Eine solche Veränderung des Hautleitwertes wird im Rahmen dieser Arbeit als elektrodermale Reaktion definiert. Ein kurzfristiger Anstieg des Hautleitwertes muss jedoch nicht zwingend eine Reaktion auf einen Reiz sein. Sogenannte elektrodermale Spontanfluktuationen treten auch unter Ruhebedingungen auf und haben keinen Reizbezug. (Burk, 2005).

Die hier behandelte Form der Elektroenzephalographie beschreibt im Allgemeinen die Messung der elektrischen Aktivität des Gehirns an der Kopfhaut (Tatum, Husain, Benbadis, & Kaplan, 2008, S. 2).

Aktivierte Gehirnzellen (Neuronen) verursachen lokale Stromflüsse, welche durch Elektroden aufgezeichnet werden können. Die aufgezeichneten Gehirnwellen lassen sich dabei in die vier Hauptkategorien

- Beta (13 Hz),
- Alpha (8-13 Hz)
- Theta (4-8 Hz)
- Delta (0,5-4) Hz

einteilen.

Alpha-Wellen werden beispielsweise durch das Schließen der Augen und durch Entspannung angeregt. Durch das Öffnen der Augen oder durch aktives Denken oder Kopfrechnen werden sie wiederum aufgeboben. (Teplan, 2002, S. 1 ff)

Dadurch lassen sich mittels EEG kognitive Prozesse wie Wahrnehmung, Erinnerungsvermögen, Aufmerksamkeit, Sprache und Emotionen untersuchen. (Teplan, 2002, S. 4)

Auf Grund der Komplexität, welche mit der Auswertung von Gehirnwellen einhergeht, eignen sich die bereits erwähnten Attention und Meditation Algorithmen von NeuroSky besonders gut für die Auswertung im Rahmen dieser Arbeit. Beide Werte haben wie beschrieben eine Skala von 0-100.

Der Attention Wert beschreibt dabei die Intensität der mentalen Aufmerksamkeit einer Testperson. Je mehr sich eine Person auf einen bestimmten Gedanken oder ein Objekt fokussiert, desto höher ist der Wert. Entsprechend nimmt dieser Wert ab, wenn eine Person abgelenkt ist. (Neurosky, o. J.)

In einem Selbstversuch kann man dies sehr leicht überprüfen. Angeschlossen an ein entsprechendes Wiedergabegerät, Handy oder Computer kann man die Werte aktiv durch seine Gedanken lenken in dem man sich auf die, live am Monitor sichtbaren, Attention Werte konzentriert.

Der Meditation Wert beschreibt wiederum den Grad der mentalen Ruhe und Entspannung. Der Wert steigt desto entspannter eine Person ist und nimmt entsprechend bei Unwohlsein oder Stress ab. (Neurosky, o. J.)

2.7 Fazit der Literaturrecherche und Erkenntnisse für den empirischen Teil der Arbeit

Die Literaturrecherche hat verdeutlicht, dass die Oberflächenbeschaffenheit ein essentieller Faktor für die Bikeability ist. Vorausgegangene Studien haben auch ergeben, dass die Oberfläche Asphalt im Gegensatz zu den Oberflächen Schotter und Pflasterstein einen geringeren Rollwiderstand und geringere Vibrationen aufweist und somit komfortabler sind. Die objektive Erhebung des Fahrkomforts auf verschiedenen Oberflächen mittels Humansensorik, explizit durch Elektroenzephalographie und die Messung der elektrodermalen Aktivität, wurde in der bisherigen Forschung in der Form noch nicht durchgeführt.

Es hat sich aber gezeigt, dass man Daten, welche mittels eines psychophysiologischen Monitorings dieser Art erhoben werden, als Indikatoren für das Wohlbefinden bzw. den Komfort einer Person verwenden kann. In diesem Fall konkret die elektrodermale Aktivität als auch die Ergebnisse der Attention und Meditation Algorithmen. So wurden diese Indikatoren für die vorliegende Arbeit übernommen und entsprechend in die Fragestellungen und Hypothesen in Kapitel 3 integriert.

Auch wurde die Variable Fahrradtyp in den erläuterten Studien wenig behandelt. Der Einfluss der Variable Fahrrad sollte jedoch bei der Untersuchung des Fahrkomforts auf unterschiedlichen Oberflächen nicht außer Acht gelassen werden. Daher wurde im Rahmen dieser Arbeit neben der Variable Oberfläche auch die Variable Fahrradtyp berücksichtigt. Für die Erhebung standen Citybikes und ein Mountainbike zur Verfügung, welche in Kapitel 4.1.3 vorgestellt werden.

3 Forschungsfragen und Hypothesen

Basierend auf der Literaturrecherche wurden die Forschungsfragen und die entsprechenden zu untersuchenden Hypothesen aufgestellt.

Die Aufstellung der Forschungsfragen und Hypothesen erfolgte unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen, welche durch die verfügbaren Fahrräder, Messgeräte und das Untersuchungsgebiet gegeben waren.

Übergeordnet stellte sich die Forschungsfrage, ob die Oberfläche Asphalt für Radfahrer messbar komfortabler ist als Schotter oder Pflasterstein und ob umgekehrt die Oberfläche Pflasterstein messbar unkomfortabler ist als die Oberfläche Schotter und Asphalt.

Darüber hinaus sollte auch beantwortet werden, ob sich eine Gemeinsamkeit zwischen der subjektiven Wahrnehmung des Fahrkomforts und des gemessenen Fahrkomforts feststellen lässt.

Zum Abschluss sollte, auf Grund des experimentellen Charakters der Erhebung, auch die Frage beantwortet werden, ob sich die verwendete Erhebungsmethode für die Beantwortung der vorangegangenen Fragen eignet bzw. wo Probleme aufgetreten sind und wo weitere potenzielle Anwendungsbereiche liegen.

Zur Konkretisierung der Fragestellungen wurden für die folgenden Schwerpunkte Unterfragen und ihre entsprechenden Hypothesen aufgestellt. Die Hypothesen sind Nummeriert und finden sich entsprechend in Kapitel 5 im Rahmen der Datenauswertung und in der Zusammenfassung der Ergebnisse in Kapitel 6 wieder.

3.1 Fahrbahneigenschaften

Zur Gewährleistung der Validität der anschließenden Untersuchung ist es von Nöten gewesen die drei untersuchten Oberflächen bezüglich ihrer Eigenschaften während der Fahrt eindeutig zu unterscheiden. Dafür wurde davon ausgegangen, dass der wesentliche Unterschied in den vertikalen Beschleunigungskräften liegt, die während einer Fahrt auf das jeweilige Fahrrad und somit die Testperson wirken. Die Begründung liegt darin, dass vorangegangene Untersuchungen diese Variable als ausschlaggebend für den subjektiven Fahrkomfort definierten. (Hölzel, Höchtl, & Senner, 2012)

Forschungsfrage 1.

Lassen sich die Oberflächen Asphalt, Schotter und Pflasterstein bezüglich ihrer Erschütterungseigenschaften während der Fahrt unterscheiden?

Hypothese

- H 1.1** Die vertikale Beschleunigung ist auf der Oberfläche Pflasterstein signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Asphalt

Forschungsfrage 2

Lassen sich die beiden Fahrradtypen Citybike und Mountainbike bezüglich ihrer Erschütterungseigenschaften während der Fahrt unterscheiden?

Hypothese

- H 2.1** Die vertikale Beschleunigung mit den Fahrradtypen Citybike ist auf allen Oberflächen signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Mountainbike.

3.2 Objektiver Fahrkomfort

Für die Messung des objektiven Fahrkomforts wurden, basierend auf der Literaturrecherche und den Erfahrungen aus vorangegangenen Untersuchungen mehrere Indikatoren definiert, welche sich durch die Messung der elektrodermalen Aktivität und durch Elektroenzephalographie erheben lassen.

Hierbei handelt es sich neben den zuvor erläuterten Attention und Meditation Werten, um die elektrodermalen Reaktionen, welche durchschnittlich auf einer Oberfläche auftraten. Es wurde dabei definiert, dass der Fahrkomfort höher ist, desto geringer die Aufmerksamkeit (Attention) und desto höher die mentale Entspannung (Meditation) ist. Auch wurde definiert, dass die Variable elektrodermale Reaktionen/Sekunde den Stress quantifizieren, die eine Testperson während der Fahrt empfunden hat. Ein geringer Wert dieser Variable beschreibt also einen höheren Fahrkomfort. Wie die Variable elektrodermale Reaktionen/Sekunde gebildet wurde, ist in Kapitel 4.4.3 genauer erläutert.

Forschungsfrage 3

Lässt sich durch die Messung der elektrodermalen Aktivität und durch die Elektroenzephalografie ein Unterschied des Fahrkomforts auf den Oberflächen Schotter, Asphalt und Pflasterstein messen und ist dieser auf der Oberfläche Asphalt am höchsten und auf der Oberfläche Pflasterstein am geringsten?

Hypothesen

- H 3.1** Die elektrodermalen Reaktionen/Sekunde sind auf der Oberfläche Pflasterstein signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Asphalt.
- H 3.2** Der Attention Wert ist auf der Oberfläche Pflasterstein signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Asphalt.
- H 3.3** Der Meditation Wert ist auf der Oberfläche Asphalt signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Pflasterstein.

Forschungsfrage 4

Lässt sich durch die Messung der elektrodermalen Aktivität und durch die Elektroenzephalografie ein Unterschied des Fahrkomforts mit den beiden Fahrradtypen Citybike und Mountainbike feststellen und ist das Citybike folglich messbar unkomfortabler als das Mountainbike?

Hypothesen

- H 4.1** Die elektrodermalen Reaktionen/Sekunde mit den Fahrradtyp Citybike sind signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Mountainbike.
- H 4.2** Der Attention Wert ist mit den Fahrradtyp Citybike signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Mountainbike.
- H 4.3** Der Meditation Wert ist mit den Fahrradtyp Mountainbike signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Citybike.

3.3 Subjektiver Fahrkomfort

Neben der Erklärung des objektiven Fahrkomforts war es darüber hinaus notwendig den subjektiven Fahrkomfort zu erheben und auszuwerten. Dies erfolgte im Rahmen eines Fragebogens, welcher in Kapitel 4.1.5 erläutert wird und sich im Anhang findet. Auf Grund der, im Voraus erwarteten, eindeutigen Ergebnisse sollte dies als Kontrolle der Ergebnisse aus dem Bereich des objektiven Fahrkomforts dienen. Als Indikatoren wurden hier der subjektive Komfort und der subjektive Kraftaufwand während der Fahrt verwendet.

Forschungsfrage 5

Wie verhält sich die subjektive Empfindung des Fahrkomforts auf den Oberflächen Asphalt, Schotter und Pflasterstein?

- H 5.1** Der subjektive Komfort ist auf der Oberfläche Asphalt signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Pflasterstein.
- H 5.2** Der subjektive Kraftaufwand ist auf der Oberfläche Pflasterstein signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Asphalt.

Forschungsfrage 6

Wie verhält sich die subjektive Empfindung des Fahrkomforts auf den beiden Fahrradtypen Citybike und Mountainbike?

- H 6.1** Der subjektive Komfort ist mit den Fahrradtyp Mountainbike signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Citybike.
- H 6.2** Der subjektive Kraftaufwand ist mit den Fahrradtyp Citybike signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Mountainbike.

4 Methodische Vorgehensweise

Folgend wird das Erhebungskonzept sowie die Durchführung der Erhebung erläutert. Anschließend wird die Datenverarbeitung, -verarbeitung und die statistische Auswertung konkretisiert.

4.1 Erhebungskonzept

Im folgenden Kapitel wird erläutert, wie die Erhebungen durchgeführt wurden. Entscheidend war hierbei die Auswahl des Testgebietes bzw. der „Teststrecke“ und dessen Eigenschaften.

Es werden des Weiteren die Stichprobe bzw. die Testpersonen erläutert und es wird darauf eingegangen, welche Messgeräte verwendet wurden und welche Rohdaten diese lieferten sowie die verwendete Software.

4.1.1 Testgebiet

Die entscheidende Komponente für die Erhebung und damit für die gesamte Arbeit war die Suche nach einem geeigneten Testgebiet bzw. einer „Teststrecke“, welche viele verschiedene Voraussetzungen zur Gewährleistung der Validität der vorliegenden Untersuchung erfüllen musste. Entscheidend war dabei das Vorhandensein von verschiedenen Fahrbahnoberflächen. In diesem Zusammenhang waren insbesondere die Oberflächen Asphalt und Pflasterstein vorausgesetzt, da sich in vorangegangenen Studien hier besonders große Unterschiede bezüglich der Vibrationen und des Rollwiderstandes gezeigt haben. (Hölzel, Höchtl, & Senner, 2012)

Da in Bezug auf das Untersuchungsgebiet lediglich der Einfluss der Variable Oberfläche auf den Komfort untersucht werden sollte, war es darüber hinaus wichtig ein Gebiet zu finden, wo mögliche Störfaktoren bzw. ungewollte Einflussvariablen, welche Einfluss auf die Messergebnisse haben könnten, möglichst nicht vorkommen oder zumindest konstant gehalten werden.

Somit sollten folgende Variablen möglichst gering gehalten bzw. im Idealfall nicht vorkommen:

- Kfz-Verkehr (im Idealfall kein Kfz-Verkehr)
- Kreuzungsbereiche
- Passentenaufkommen
- Radverkehrsaufkommen

Dies erklärt sich unter anderem aus den Erkenntnissen der bisherigen Forschung, welche aufzeigt, dass insbesondere die Interaktion mit Kfz-Verkehr starke emotionale Reaktionen auslösen kann. (Daniel, Leszczynski, & Reinhart , 2015) Auch Kreuzungsbereiche mit Abbiegevorgängen und eine hohe Dichte an Passanten oder anderen Radfahrern könnten ungewollte Auswirkungen auf die Messergebnisse haben.

Andere Variablen lassen sich jedoch im Rahmen eines geeigneten Testgebietes nicht vollständig ausschalten und sollten somit möglichst konstant gehalten werden:

- Lärm
- Vegetation
- umliegende Bebauung
- Topographie

Es hat sich in der bisherigen Forschung gezeigt, dass der Lärmpegel einen Einfluss auf die elektrodermale Aktivität haben kann (Mertens, 2016). So wurde darauf geachtet, dass das Untersuchungsgebiet nicht in der Nähe des Flughafens, von Bahngleisen oder ähnlichen ungewollten Lärmquellen liegt. Der konstante Lärmpegel des Straßenverkehrs lässt sich jedoch nur schwer bei der Suche nach einem Testgebiet, besonders im urbanen Raum, vollständig eliminieren.

Des Weiteren wurde darauf geachtet eine möglichst ebene Topographie auf allen Oberflächen zu finden und visuelle Reize, wie eine wechselnde Vegetation und wechselnde umliegende Bebauung zu vermeiden.

Basierend auf diesen Voraussetzungen hat sich während der Recherche das südliche Wiener Donaukanalufer zwischen der Strandbar Herrmann und der Franzensbrücke als geeignetes Untersuchungsgebiet bzw. „Teststrecke“ herauskristallisiert.

Ausschlaggebend waren hierbei das Nichtvorhandensein von Kfz-Verkehr und der Umstand, dass 3 verschiedene Fahrbahnoberflächen (Asphalt, Schotter und Pflasterstein) in einem homogenen Umfeld vorhanden sind. Des Weiteren ist keine unmittelbar angrenzende Bebauung vorhanden und die Dichte an Passanten und anderen Radfahrern ist im Vergleich zu anderen Strecken am Donaukanal, wie zum Beispiel im Bereich des Schwedenplatzes, vergleichsweise überschaubar. Die nördlich zur Asphaltstrecke verlaufende Schotterstrecke liegt abseits der Hauptwegeverbindung und weist somit ein deutlich geringeres Passanten- als auch Radfahreraufkommen auf als die beiden anderen Abschnitte. Dies sollte bei der abschließenden Interpretation berücksichtigt werden. Einen zusätzlichen logistischen Vorteil stellte die unmittelbare Nähe einer Citybikestation, von der aus die verwendeten Citybikes ausgeliehen werden konnten, dar.



Abbildung 3: Luftbild des Testgebietes, Google Maps 2017, eigene Darstellung

Wie das Luftbild in Abbildung 1 zeigt, sind die drei Oberflächen so angeordnet, dass eine Befahrung aller drei Oberflächen mit einer Testfahrt ohne Unterbrechung möglich war.



Abbildung 4: Streckenabschnitt mit der Oberfläche Asphalt, eigene Erhebung 2017



Abbildung 5: Streckenabschnitt mit der Oberfläche Schotter, eigene Erhebung 2017



Abbildung 6: Streckenabschnitt mit der Oberfläche Pflasterstein, eigene Erhebung 2017

4.1.2 Stichprobe

Insgesamt haben 29 Testpersonen an der Erhebung teilgenommen.

Das Durchschnittsalter der Testpersonen lag bei 29,17 Jahren wobei die jüngste Testperson 24 und die älteste 61 war. Die nächst älteste Person war 34. Fünf Personen waren 26 Jahre alt. Auch wenn im Voraus keine konkreten Kriterien definiert wurden, ist die Stichprobe, bis auf eine Ausnahme, bezüglich des Alters relativ homogen.

11 Testpersonen (37,9 %) waren weiblich und 18 Personen (62,1 %) waren männlich.

Es bestand ein leichtes Übergewicht an männlichen Testpersonen. Im Rahmen der Hypothesentests wurde auch überprüft, ob ein Unterschied der gemessenen Daten bei den weiblichen und männlichen Testpersonen feststellbar war.

4.1.3 Fahrräder

Um einen möglichst deutlichen Vergleich zwischen zwei Fahrradtypen aufzustellen, wurden zwei Fahrradtypen ausgewählt, welche bezüglich ihrer Bauart sehr unterschiedlich waren. Bei dem ersten Fahrrad handelte es sich um ein Mountainbike mit Gabelfederung und 27 Gängen. Als Vergleichsfahrrad wurden Citybikes gewählt, welche in Wien durch das Werbeunternehmen Gewista betrieben werden (www.gewista.at).

Die Citybikes sind nicht gefedert, haben drei Gänge und haben im Gegensatz zum Mountainbike Vollgummireifen.

Um mit dem Mountainbike konstant gleiche Bedingungen bei den Messungen zu schaffen, wurde der Reifendruck regelmäßig überprüft und für jede Testfahrt auf 3,5 bar festgelegt. Durch die Vollgummireifen der Citybikes war dies hier nicht notwendig. Durch das Ausleihen und Abgeben der Citybikes an den Stationen konnte nicht gewährleistet werden, dass für jede Testfahrt das gleiche Fahrrad verwendet wurde. Da die Fahrräder aber alle baugleich sind, stellte dies für die Erhebung kein Problem dar.



Abbildung 7: Das für die Erhebung verwendete Mountainbike, eigene Erhebung 2017



Abbildung 8: Eines der für die Erhebung verwendeten Citybikes, eigene Erhebung 2017

4.1.4 Messgeräte und Erhebungsmethoden

In diesem Kapitel werden, die im Rahmen der Erhebung verwendeten, Messgeräte vorgestellt und kurz erläutert. Darüber hinaus wird der Zweck der jeweiligen Messung erläutert.

4.1.4.1 Smartphone

Als Smartphone wurde ein Samsung Galaxy S4 mini verwendet. Die für die Messgeräte entsprechenden Apps zur Aufzeichnung waren auf dem Handy installiert. Zusätzlich war die App G-Sensor Pro auf dem Handy installiert. Das Handy war bei beiden Fahrradtypen mit einer „Finn“ Handyhalterung der Firma Bike Citizens (www.getfinn.com) in einer waagerechten Position am Lenkrad befestigt.



Abbildung 9: Das für die Messung verwendete Smartphone vom Typ Samsung Galaxy S4 Mini; Quelle: eigene Erhebung 2017

4.1.4.2 G-Sensor Pro

Zur Messung der Erschütterungen bzw. Beschleunigungswerte wurde die APP G-Sensor Pro verwendet. Das Ziel der Messung war es die Unterschiede zwischen den drei Oberflächen bezüglich der Vibrationen zu erheben und anschließend statistisch zu belegen.

Die App zeichnete während der Testfahrten die Beschleunigungswerte auf der X-, Y- und Z-Achse auf. Die App verwendet dabei den im Smartphone eingebauten Beschleunigungssensor zur Aufzeichnung der Daten. Für die Erhebung im Rahmen dieser Arbeit war aber lediglich die vertikale Beschleunigung von Relevanz. Auf Grund der waagerechten Lage des Smartphones handelt es sich in diesem Fall um die Z-Achse.

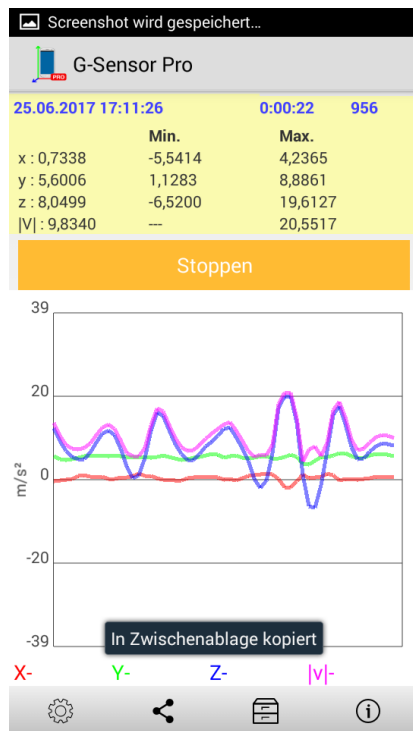


Abbildung 10: Aufzeichnung der Beschleunigungswerte mittels der App G-Sensor Pro: Quelle: G-Sensor Pro

Als Rohdatei wurde eine csv. Datei mit exakten Start- und Endzeitpunkt der Messung ausgegeben.

4.1.4.3 GPS Logger

Zur Aufzeichnung der GPS Daten wurde der GPS Logger „Sport LogBook“ der Firma canware verwendet. Die Aufzeichnung des aktuellen Standortes während der Testfahrten diente der späteren Zuordnung der Daten zu einer der drei Oberflächen. Der GPS Logger konnte während der Fahrt mittels Armband am Arm der Testpersonen oder am Lenkrad befestigt werden. Einmal eingeschaltet konnte das Gerät mehrere Testfahrten hintereinander aufzeichnen. Als Rohdatei wurde eine gpx. Datei mit Zeitstempel ausgegeben.



Abbildung 11: verwendeter GPS Logger „Sport LogBook“ der Firma canway; Quelle: eigene Erhebung 2017

4.1.4.4 eSense Skin Response

Für die Messung der elektrodermalen Aktivität wurde das Hautleitfähigkeitsmessgerät eSense Skin Response der Firma Mindfield Biosystems verwendet.

Das Gerät war mittels Klinkenstecker mit der Audiobüchse des Handys verbunden.

Das Messgerät hat während der Testfahrt den Hautleitwert in Mikro-Siemens gemessen (Mindfield, o. J.).

Der Hautleitwert wurde dabei mittels zweier Elektroden, welche am Zeigefinger und Mittelfinger angebracht waren, gemessen. Zur Aufzeichnung mittels Smartphone wurde die entsprechende App eSense verwendet. Als Rohdaten wurde eine csv. Datei mit Start- und Endzeitpunkt der Messung sowie den Hautleitwerten zu den jeweiligen Messzeitpunkten ausgegeben. Dasselbe Messgerät wurde bereits im Rahmen des Projektes „bike emotions“ (Daniel, Leszczynski, & Reinhart, 2015) verwendet und hat sich als zuverlässig in der Identifikation von „Triggern“ für Stressreaktionen gezeigt.



Abbildung 12: verwendetes Hautleitfähigkeitsmessgerät eSense Skin Response der Firma Mindfield Biosystems; Quelle: eigene Erhebung 2017

4.1.4.5 MindCap

Bezüglich der Elektroenzephalographie wurde das MindCap XL Stirnband der Firma TITAN Commerce (www.titan-commerce.de) verwendet. Zwei Elektroden im Stirnbereich und eine Elektrode am Ohr zur Erdung messen die elektrische Aktivität des Gehirns, welche durch einen Computerchip der Firma NeuroSky verarbeitet werden. Zur Aufzeichnung der Messung wurde die App eegID der Firma Isomer Programming LLC (www.isomerprogramming.com) verwendet, wobei das MindCap mittels Bluetooth mit dem Smartphone verbunden war.

Neben den Rohwerten der Alphawellen, Betawellen etc. gibt das Gerät auch die bereits beschriebenen Attention- und Meditation Werte in einer csv. Datei aus. Neben diesen Werten wurde auch ein Wert der Signalstärke ausgegeben, welcher bei der späteren Datenverarbeitung wichtig war. Auch wurden die Daten mit einem Zeitstempel versehen. Auch dieses Gerät wurde bereits im Rahmen des Projektes „bike emotions“ (Daniel, Leszczynski, & Reinhart, 2015) verwendet wobei das Gerät, anders als in dieser Arbeit, mittels Bluetooth mit einem im Rucksack mitgeführten Laptop verbunden war. Dadurch waren Daten jedoch zum Großteil nicht verwendbar, da die Verbindung regelmäßig abgebrochen ist.



Abbildung 13: verwendetes MindCap XL der Firma TITAN Commerce mit Neurosky Chip; Quelle: eigene Erhebung 2017

4.1.5 Fragebogen

Zur Erhebung der subjektiven Wahrnehmung wurde ein Fragebogen erstellt, welcher nach jeder Testfahrt aufgefüllt werden sollte. Neben den demographischen Daten wurde die subjektive Wahrnehmung des Fahrkomforts und des subjektiven Kraftaufwandes mit Hilfe einer sechsstufigen Skala (sehr unkomfortabel bis sehr komfortabel und sehr anstrengend bis sehr mühelos) abgefragt.

Die Testpersonen wurden außerdem gebeten auf einer vierstufigen Skala (kein Einfluss bis sehr großer Einfluss) anzugeben, wie groß der subjektive Einfluss verschiedener Faktoren auf den Komfort während der Fahrt war. Neben der Oberfläche und dem Fahrrad wurden noch folgende Faktoren angegeben:

- Umgebungsgeräusche
- Fußgänger
- Andere Radfahrer
- Anstrengung
- Messgeräte
-

Darüber hinaus konnten die Testpersonen noch weitere Einflussfaktoren angeben, die ihnen aufgefallen sind.

Der Fragebogen inklusive der Ergebnisse befindet sich im Anhang.

4.2 Voruntersuchung

Im Vorfeld der eigentlichen Erhebung wurde die Funktionalität der Messgeräte getestet. Ein besonderes Augenmerk lag dabei auf der simultanen Aufzeichnung mit mehreren Apps mit Hilfe des Smartphones. Es zeigte sich, dass es möglich ist jede der verwendete Apps im Hintergrund laufen und aufzeichnen zu lassen. Die Erfahrungen aus dem Projekt „bike emotions“ (Daniel, Leszczynski, & Reinhart , 2015) zeigten, dass die Testpersonen regelmäßig ihren Blick auf den Bildschirm des Smartphones mit der laufenden App lenkten. Um etwaige Ablenkungen und somit eine Verfälschung der Messung zu vermeiden, wurde zusätzlich sichergestellt, dass sich der Bildschirm während der Messung ausschalten lässt. Nach mehreren persönlichen Testfahrten wurden anschließend die Rohdaten gesichtet und die anschließenden Schritte der Datenverarbeitung überprüft.

Neben der Prüfung der Messgeräte wurde auch die Teststrecke gesichtet und die zu befahrende Route festgelegt, wobei darauf geachtet wurde gleiche Streckenlängen für alle drei Oberflächen zu gewährleisten.

4.3 Durchführung

Die Erhebungen wurden an insgesamt sieben Tagen durchgeführt. Am 24., 25. und am 26.04.2017 sowie am 24., 26., 27. und 28.06.2017. Ein Ziel der Erhebung war es die Wetterverhältnisse und die Lichtverhältnisse möglichst konstant zu halten. Durch die terminlich eingeschränkte Verfügbarkeit der Testpersonen, wie auch der Messgeräte konnten gleiche Wetterverhältnisse nicht immer sichergestellt werden. Auch wechselten der Grad Bewölkung, die Windverhältnisse und die Außentemperatur teilweise im Laufe des Tages. An allen Messtagen hat es jedoch nicht geregnet und die Fahrbahn war zu jeder Zeit trocken.

Gemessen wurde zwischen Mittag und späten Nachmittag. Somit wurde immer bei Tageslicht gemessen.

Zu Beginn einer jeden Testfahrt wurde den Testpersonen zunächst die Route erläutert und sie wurden gebeten die Route einmal ohne Messung abzufahren. Den Testpersonen wurde dabei nicht vorgegeben wie schnell sie fahren sollen oder welche Gänge sie verwenden sollen um sie nicht unnötig abzulenken und die Messergebnisse zu verfälschen, auch wenn der eingestellte Gang mit Sicherheit einen Einfluss auf den

Kraftaufwand und somit auch die Aktivität der Schweißdrüsen hat.

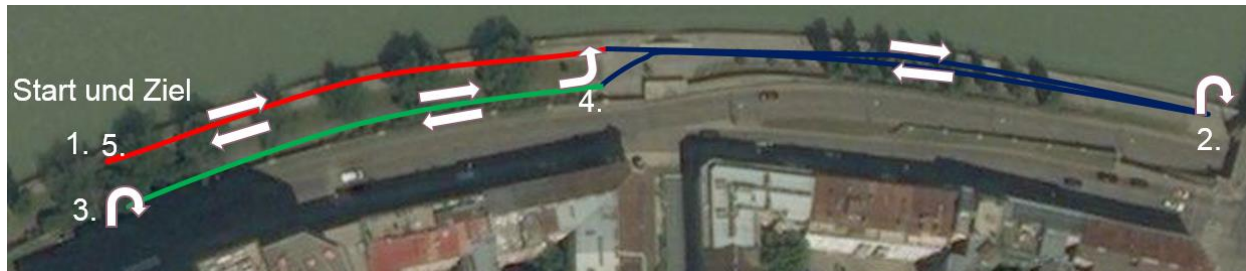


Abbildung 14: Teststrecke mit Routenvorgabe; Quelle Google maps 2017, eigene Darstellung

Abbildung 11 visualisiert den vorgegebenen Routenverlauf. Die Route wurde so festgelegt, dass auf jeder Oberfläche ca. 260 Meter zurückgelegt wurden. Gestartet (1.) wurde auf der Oberfläche Schotter (Rot) und nach ca. 130 Metern folgte der Wechsel auf die Oberfläche Pflasterstein (Blau). Vor der Franzensbrücke wurde gewendet (2.) und auf dem Rückweg wurde auf den Asphaltweg (Grün) gewechselt, welcher parallel zum Schotterweg verläuft. Nach ca. 130 Metern wurde auch hier gewendet (3.) und vor dem Übergang auf die Oberfläche Pflasterstein links auf den Schotterweg abgebogen (4.) wo die Route am Ausgangspunkt endete (5.).

Vor der eigentlichen Testfahrt wurde das Smartphone am Lenkrad des jeweiligen Fahrrads montiert und das Hautleitfähigkeitsmessgerät verkabelt. Den Testpersonen wurde das MindCap Stirnband aufgesetzt und alle Apps wurden gestartet. Zusätzlich wurde der bereits laufende GPS Logger angebracht.

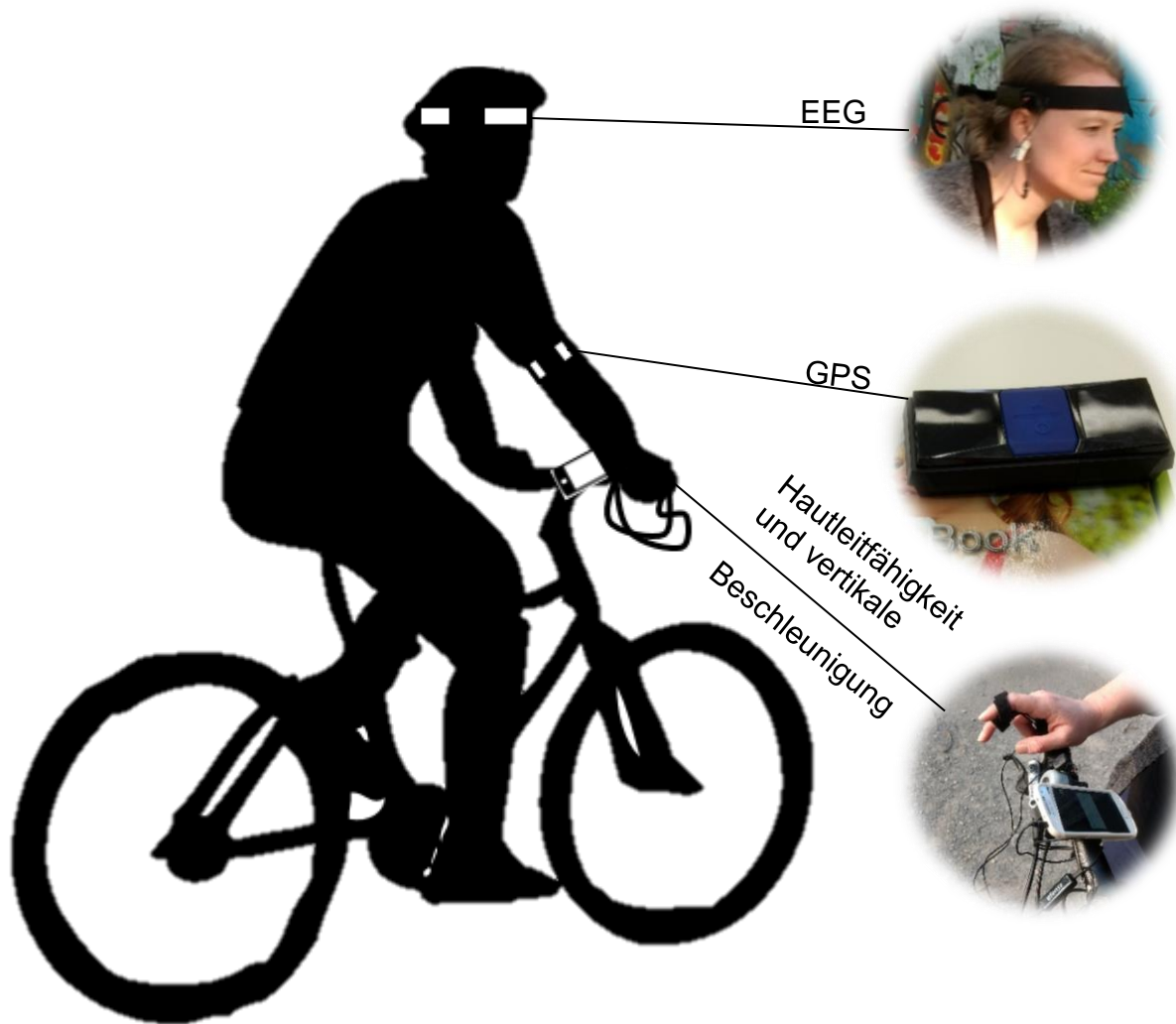


Abbildung 15: Illustration des Messaufbaus; Quelle: eigene Darstellung

Nachdem alle Messungen gestartet wurden und der Bildschirm des Smartphones ausgeschaltet wurde, konnten die Testpersonen die Fahrt starten. Um die spätere Synchronisierung der Daten zu gewährleisten, wurde die Uhrzeit bei Start und Ende der Fahrt sekundengenau notiert. Nach Abschluss der Fahrt wurden die Daten gesichert und das zweite Fahrrad für die Testperson vorbereitet. Währenddessen konnte die Testperson den Fragebogen ausfüllen. Zu erwähnen ist, dass eine Testperson nur mit dem Citybike gefahren ist, da das Mountainbike für sie zu groß war. So wurden mit den 29 Testpersonen insgesamt 57 Testfahrten durchgeführt. Weitere Fotos der Testfahrten finden sich im Anhang.

4.3.1 Probleme und Schwierigkeiten in der Durchführung

Trotz der vorangegangenen Voruntersuchung sind während der Testfahrten diverse Probleme aufgetreten.

So mussten mehrere Testfahrten wiederholt werden, da beispielsweise das Stirnband, die Elektroden des Hautleitfähigkeitsmessgerätes oder der GPS Logger sich während der Fahrt gelöst haben. Besonders bei starker Sonneneinstrahlung kam es hin und wieder vor, dass sich das Smartphone überhitzt hat und die eSense App abgestürzt ist. Folglich konnten die Daten nicht gespeichert werden und die Fahrt musste wiederholt werden. Außerdem kam es vereinzelt vor, dass die Testpersonen trotz vorheriger Erläuterung die Route falsch abgefahren sind. Diese Zwischenfälle stellten jedoch geringe Schwierigkeiten dar, da die Testfahrten einfach wiederholt werden konnten.

Ein anderes Problem waren Fehler in der Messung, welche beim MindCap auf Grund von Störungen der Bluetooth Verbindung ausgelöst wurden. Diese Messfehler sind erst im Rahmen der Datenverarbeitung aufgefallen und somit waren für 7 der 29 Testfahrten mit dem Citybike und 5 der 28 Fahrten mit dem Mountainbike keine Daten im Rahmen der Elektroenzephalographie verfügbar.

Auch die eSense App hat einige Messfehler ausgegeben, welche erst im Nachhinein aufgefallen sind. So waren für 6 Fahrten mit dem Citybike und für 2 Fahrten mit dem Mountainbike keine Daten der elektrodermalen Aktivität verfügbar.

4.4 Datenverarbeitung und -bereinigung

Folgendes Kapitel beschreibt den Umgang mit den jeweiligen Rohdaten sowie deren Verarbeitung und Bereinigung.

Im ersten Schritt wurden die Rohdaten gesichtet und auf Messfehler untersucht. Wie bereits beschrieben wurden so für mehrere Testfahrten nachträglich die Daten des Hautleitfähigkeitsmessgerätes und des MindCaps aussortiert. Der GPS Logger und der die App G-Sensor Pro haben bei jeder Fahrt einwandfrei funktioniert und entsprechend Daten geliefert.

Da die Messgeräte die Rohdaten in verschiedenen Zeitintervallen (Sekunden, Millisekunden, etc.) aufzeichneten, wurden die Rohdaten zunächst für jede Sekunde

einer Testfahrt mit der Funktion Mittelwert aggregiert. Dies war auch für die spätere Zuordnung der Oberflächen wichtig, da der GPS Logger ebenfalls in einem Sekundenintervall aufzeichnete.

Die Zusammenfassung der Datenbereinigung findet sich im Anhang.

4.4.1 Zuordnung der Oberflächen mittels GPS Daten

Um im weiteren Verlauf eine Auswertung der Messwerte in Abhängigkeit zur Fahrbahnoberfläche zu ermöglichen, mussten jedem Messwert der elektrodermalen Aktivität, der Elektroenzephalographie und der Beschleunigungsmessung einer der drei Oberflächen zugeordnet werden.

Mit Hilfe der gpx. Daten des GPS Loggers und der Homepage „<http://www.mygpsfiles.com>“ konnte für jede Testfahrt sekundengenau der Standort angezeigt werden und mit einem Luftbild abgeglichen werden.

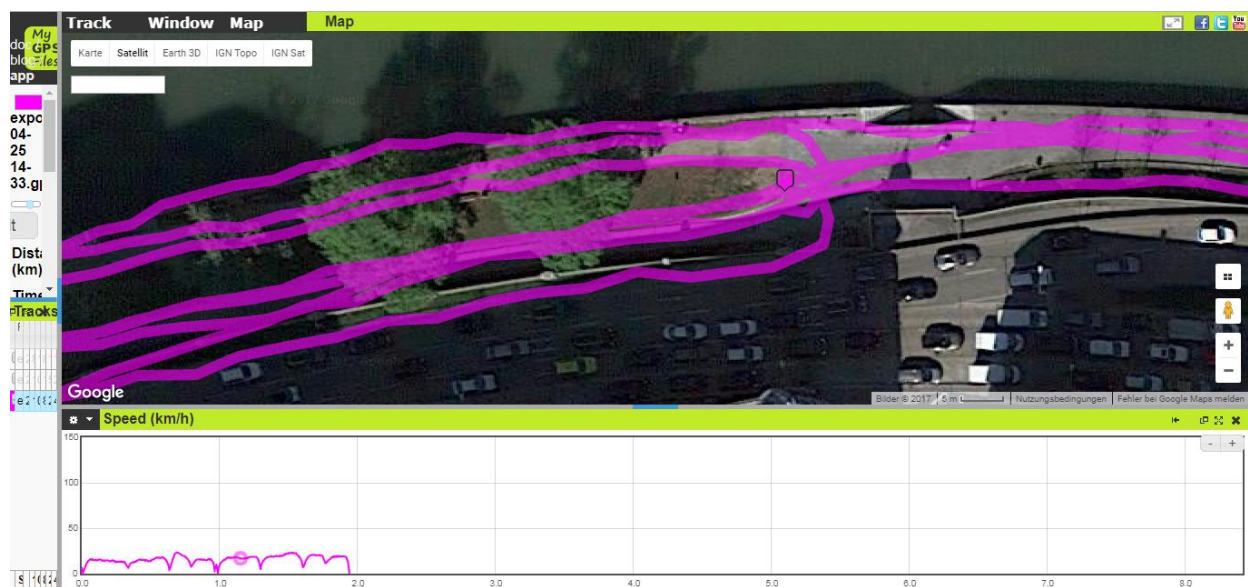


Abbildung 16: Zuordnung der Oberflächen mittels GPS, Quelle; mygpsfiles 2017

Dadurch konnte für jede Testfahrt ermittelt werden zu welcher Sekunde sich die Testperson auf welcher der drei Oberflächen befand. Daraus ergab sich die Variabel Oberfläche. Darauf aufbauend konnte für jede der übrigen erhobenen Variablen einer Testfahrt die Oberfläche zugeordnet werden

4.4.2 Vertikale Beschleunigung

Wie bereits beschrieben, waren für die spätere Auswertung lediglich die vertikalen Beschleunigungswerte der Z-Achse von Relevanz.

Während der Messung wirkt die konstante Erdbeschleunigung auf den Sensor ein, welche allgemein bekannt ca. $9,81 \text{ m/s}^2$ beträgt. Im Stillstand würden die Rohdaten unter normalen Umständen im Idealfall also immer einen Wert von 9,81 anzeigen. Um die Stärke der Beschleunigung wiederzugeben und die Daten später vergleichen zu können, musste dieser Wert auf 0 gesetzt werden. Da die Erdbeschleunigung aber je nach Standort (Meyer, Schneider, Scherer Alexandra, & Kallich, 2013, S. 6) und Genauigkeit des Messgerätes schwanken kann, wurde dieser Wert im Testgebiet mit dem gleichen Smartphone nachträglich erhoben. Der Mittelwert aus einer ca. vier Minuten langen Messung betrug $9,54 \text{ m/s}^2$. Dieser Wert wurde in allen Rohdaten von den Beschleunigungswerten der Z-Achse subtrahiert. Da die Beschleunigung je nach Bewegungsrichtung auch negativ sein kann, wurde der neue Wert zusätzlich absolut gesetzt, da es für die Auswertung nicht von Belangen war in welche Richtung die Erschütterung erfolgte. Lediglich die Stärke der Ausschläge war relevant.

Um die Ergebnisse der anschließenden Datenauswertung nicht durch besonders starke Beschleunigungswerte, welche beispielsweise durch das versehentliche Berühren des Handys, Wendemanöver, unerwartete Bremsvorgänge oder sonstige Auslöser verursacht wurden, nicht zu verfälschen, wurden Extremwerte identifiziert und entfernt. Dies erfolgte mit Hilfe der Software SPSS unter Einsatz von Boxplots und Stamm-Blatt-Diagrammen. Zur Identifizierung der Extremwerte wurde zunächst eine Datendatei angelegt in der alle Sekunden einer jeden Testfahrt mit den Beschleunigungswerten der Z-Achse sowie den Informationen zu Fahrradtyp und Oberfläche enthalten waren. Um die Unterschiede zwischen den Oberflächen und Fahrradtypen nicht „abzuschwächen“ erfolgte die Identifizierung der Extremwerte für jede Kombination aus Fahrrad und Oberfläche einzeln. Die Beschleunigungswerte, die als Extremwerte identifiziert wurden, wurden gelöscht und in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt.

4.4.3 Elektrodermale Aktivität

Der Hautleitwert, so wie er in den Rohdaten ausgegeben wurde, hängt stark von dem individuellen Niveaufwert ab und eignet sich nicht als Vergleichswert zwischen mehreren Individuen (Mertens, 2016, S. 20).

Es wurde daher zunächst für jede Sekunde einer Testfahrt die Steigung der Hautleitwerte berechnet und somit eine Vergleichbarkeit geschaffen. Wie bereits bei den Beschleunigungswerten erfolgte auch hier eine Datenbereinigung. Die Erfahrungen aus dem Projekt „bike emotions“ (Daniel, Leszczynski, & Reinhart, 2015) haben gezeigt, dass eine leichte Bewegung bzw. ein Verrutschen der Sensoren starke Ausschläge der Messergebnisse auslösen kann. Des Weiteren können starke Ausschläge durch Trigger, wie abruptes Bremsen oder plötzliche situationsbedingte Einflüsse, ausgelöst werden. Ähnliche Erfahrungen machten auch Zeile et al. (2009) in ihrem Projekt „Mapping people?“. Das Ziel der Arbeit war nicht die Identifikation von „Triggern“ für elektrodermale Reaktionen war, sondern der Vergleich mehrerer Oberflächen.

Solche Reaktionen würden das Messergebnis verfälschen und daher wurden auch hier die Extremwerte, mit den gleichen Methoden, wie zuvor bei den Beschleunigungswerten, identifiziert und gelöscht. Theoretisch können dabei allerdings auch valide Werte, die tatsächlich auf die Beschaffenheit der Oberfläche zurückzuführen sind verloren gehen, doch die Erfahrung hat gezeigt, dass besonders extreme Ausschläge aus Messfehlern oder durch besondere Auslöser entstehen.

Für den Zweck dieser Arbeit wurden nun elektrodermale Reaktionen identifiziert indem jede Zunahme $\geq 0,02 \mu\text{S}$ als eine Reaktion gezählt wurde.

Im Rahmen der anschließenden Bildung der finalen Datensätze wurden für jede Testperson und für jede mögliche Kombination aus Fahrrad und Oberfläche die Anzahl der elektrodermalen Reaktionen je Sekunde als Variable berechnet. Dafür wurde Anzahl der Sekunden mit einem Wert von $\geq 0,02 \mu\text{S}$ durch die Fahrzeit mit dem jeweiligen Fahrrad auf der jeweiligen Oberfläche dividiert.

So legte beispielsweise die Testperson 1 mit dem Fahrradtyp Citybike die Strecke auf der Oberfläche Schotter in 81 Sekunden zurück. In 10 der 81 Sekunden stieg der Hautleitwert um $\geq 0,02 \mu\text{S}$. Daher ergibt sich für die diese Kombination der Wert von 0,12 elektrodermale Reaktionen je Sekunde.

4.4.4 Elektroenzephalographie

Bis auf die Identifizierung von Extremwerten und deren Löschung mussten die Attention- und Meditation Werte nicht weiter bearbeitet werden. Das MindCap Stirnband

war im Gegensatz zum Hautleitfähigkeitsmessgerät weniger anfällig auf starke Reaktionen auf Grund diverser „Trigger“ oder ein Verrutschen der Elektroden. Dafür war das Gerät auf Grund der kabellosen Bluetooth Verbindung deutlich anfälliger auf Messfehler. Durch Signalstörung verursachte Messfehler konnten durch eine eigene Variable („poor Signal“) identifiziert und aussortiert werden. War dieser Wert > 0 , konnte von einem signalstörungsbedingten Messfehler ausgegangen werden. Andere Messfehler zeigten sich häufig durch Extremwerte der Attention- und Meditation Werte (z. B. 0 oder 100) die über mehrere Sekunden anhielten. Andere Extremwerte könnten aber auch durch diverse unbekannte Ablenkungen, wie abschweifende Gedanken, verursacht worden sein. Daher wurde auch hier eine Identifizierung Löschung von Extremwerten durchgeführt. Wie bei der elektrodermalen Aktivität war es auch hier nicht möglich die tatsächliche Ursache der Extremwerte zu kennen. Somit besteht immer das Risiko, dass valide Daten aus der darauffolgenden Auswertung exkludiert wurden.

4.4.5 Gesamtdatendatei

Nach der Verarbeitung und Bereinigung aller Daten wurden die finalen Datensätze für die anschließende Auswertung gebildet. Dafür wurde eine SPSS Datendatei aufgestellt in der jeder Fall einer Testperson entsprach. Neben den demographischen Daten und den Ergebnissen der Fragebögen wurden die Variablen der absoluten Beschleunigungswerte sowie Attention und Meditation Werte für jede Kombination aus Fahrradtyp und Oberfläche für jede Testperson mit der Funktion Mittelwert aggregiert. Außerdem wurden die, zuvor beschrieben, elektrodermalen Reaktionen je Sekunde für jede mögliche Kombination als Variablen hinzugefügt.

So wurden aus den Variablen Oberfläche, Fahrrad, Beschleunigung, Attention, Meditation und elektrodermale Reaktionen insgesamt 24 Variablen:

Absolute vertikale Beschleunigung Citybike Asphalt	Absolute vertikale Beschleunigung Mountainbike Asphalt
Absolute vertikale Beschleunigung Citybike Schotter	Absolute vertikale Beschleunigung Mountainbike Schotter
Absolute vertikale Beschleunigung Citybike Pflasterstein	Absolute vertikale Beschleunigung Mountainbike Pflasterstein
Attention Citybike Asphalt	Attention Mountainbike Asphalt

Attention Citybike Schotter	Attention Mountainbike Schotter
Attention Citybike Pflasterstein	Attention Mountainbike Pflasterstein
Meditation Citybike Asphalt	Meditation Mountainbike Asphalt
Meditation Citybike Schotter	Attention Mountainbike Schotter
Meditation Citybike Pflasterstein	Meditation Mountainbike Pflasterstein
Elektrodermale Reaktionen/Sekunde Citybike Asphalt	Elektrodermale Reaktionen/Sekunde Mountainbike Asphalt
Elektrodermale Reaktionen/Sekunde Citybike Schotter	Elektrodermale Reaktionen/Sekunde Mountainbike Schotter
Elektrodermale Reaktionen/Sekunde Citybike Pflasterstein	Elektrodermale Reaktionen/Sekunde Mountainbike Pflasterstein

Tabelle 4: Variablen in der Gesamtdatendatei; Quelle: eigene Erhebung

Die Variable Attention_Citybike_Aspphalt beschreibt somit den durchschnittlichen Attention Wert einer Testperson mit dem Citybike auf der Oberfläche Asphalt.

4.5 Erläuterung der statistischen Auswertung

Um eine möglichst hohe Objektivität der Datenauswertung und Interpretation im Rahmen dieser Arbeit zu gewährleisten, wurde eine hypothesengeleitete Auswertung der Daten mit Hilfe der Software SPSS durchgeführt.

Das Ziel der Auswertung lag darin, herauszufinden ob die unabhängigen Variablen Fahrbahnoberfläche und Fahrradtyp einen signifikanten Einfluss auf die abhängigen Variablen hatten, welche im Rahmen der Messungen und der Fragebögen erhoben wurden.

Dafür musste festgestellt werden, ob sich die vertikalen Beschleunigungswerte, die elektrodermalen Reaktionen je Sekunde, die Attention und Meditation Werte auf den drei verschiedenen Oberflächen bzw. mit den beiden Fahrrädern signifikant voneinander unterscheiden.

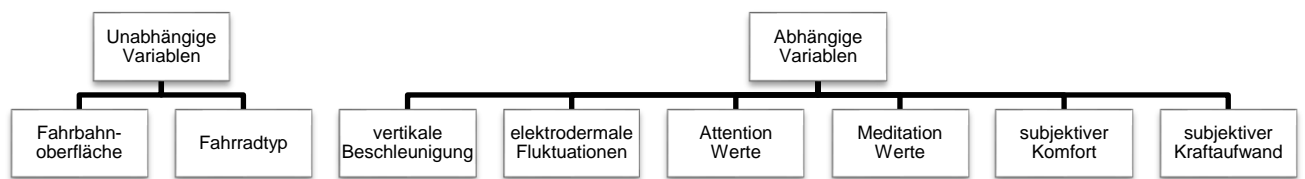


Abbildung 17: Abhängige und unabhängige Variablen im Rahmen der statistischen Auswertung; Quelle: eigene Darstellung

So wurden je nach Hypothese bzw. je nach behandelter Variable folgende statistische Verfahren verwendet:

- Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung bzw. ANOVA
- t-test für verbundene Stichproben
- Friedman-Test

Die generelle Funktion dieser Verfahren war es, die Mittelwerte der abhängigen Variablen in den, durch die unabhängigen Variablen definierten, Gruppen zu vergleichen (UZH Zürich, o.J.). Dadurch konnte festgestellt werden, ob sich die erhobenen Daten auf den drei Oberflächen, sowie mit den beiden Fahrradtypen, statistisch signifikant voneinander unterscheiden. (UZH Zürich, o.J.)

Die ANOVA sowie der t-test für verbundene Stichproben wurden im Rahmen der Auswertung der gemessenen intervallskalierten Daten der elektrodermalen Aktivität und Gehirnaktivität verwendet.

Die ANOVA wurde hierbei bei der Auswertung des Einflusses der drei Fahrbahnoberflächen und der t-test bei der Auswertung des Einflusses der beiden Fahrradtypen verwendet.

Der nichtparametrische Friedman-Test wurde wiederum im Rahmen der Auswertung der subjektiv, im Rahmen des Fragebogens, erhobenen ordinalskalierten Daten verwendet.

5 Der Einfluss von Fahrbahnoberflächen auf den Fahrkomfort – Datenauswertung und Hypothesentests

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der statistischen Datenauswertung dargelegt. Bezüglich der Variablen vertikale Beschleunigung, elektrodermale Reaktionen je Sekunde, Attention und Meditation, als auch für die Ergebnisse der Fragebögen wurden hypothesengeleitete Auswertungen durchgeführt, wobei jeweils die in Kapitel 3 aufgeführten Hypothesen H 1.1 bis H 6.2 getestet wurden. So entspricht beispielsweise H 1.1₀ der jeweiligen Nullhypothese und H 1.1₁ der Alternativhypothese. Je nach Ergebnis der Auswertung wird die Nullhypothese beibehalten oder abgelehnt bzw. die Alternativhypothese angenommen. Die Voraussetzungen für die jeweiligen Methoden wurden im Voraus immer geprüft. Die Ergebnisse der Prüfung der Voraussetzungen befinden sich im Anhang.

5.1 Vertikale Beschleunigung

Bevor geprüft wurde, was für einen Einfluss die jeweilige Oberfläche auf die Messergebnisse der elektrodermalen Aktivität und der Elektroenzephalografie hat, wurde zunächst verglichen, wie sich die Messwerte des Beschleunigungssensors auf den drei Oberflächen verhalten. Hierzu wurden, wie zuvor bereits beschrieben, ausschließlich die durchschnittlichen vertikalen Beschleunigungswerte während einer jeden Testfahrt auf der jeweiligen Oberflächen untersucht. Dabei wurden die Untersuchungen für die Testfahrten mit dem Fahrradtyp Citybike und Mountainbike einzeln durchgeführt. Wie zuvor beschrieben handelt es sich hierbei um die absoluten Werte.

Bezüglich der unterschiedlichen Wirkung der drei Oberflächen Asphalt, Schotter und Pflasterstein auf die vertikale Beschleunigung wurde die Hypothese 1.1 bzw. die entsprechende Nullhypothese geprüft:

- H 1.1₀ Die Verteilung der vertikalen Beschleunigungswerte ist auf den Oberflächen Asphalt, Schotter, Pflasterstein identisch.
- H 1.1₁ Die vertikale Beschleunigung ist auf der Oberfläche Pflasterstein signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Asphalt

Die Hypothese wurde getestet um zu prüfen, ob die vertikalen Beschleunigungswerte sich auf den verschiedenen Oberflächen unterscheiden. Es wurde in diesem Zusammenhang davon ausgegangen, dass die vertikale Beschleunigung auf Grund der Oberflächenbeschaffung auf der Oberfläche Asphalt am geringsten und auf der Oberfläche Pflasterstein am höchsten ist.

5.1.1 Hypothesentest mit dem Fahrradtyp Citybike

Zunächst wurden die statistischen Kennwerte der vertikalen Beschleunigung auf den unterschiedlichen Oberflächen betrachtet.

Wie in Tabelle 5 zu sehen ist, unterscheiden sich die Mittelwerte wie zu erwarten von einander. Die Mittelwerte sind auf der Oberfläche Pflasterstein am höchsten und auf der Oberfläche Asphalt am geringsten. Auffällig ist, dass die Standardabweichung auf den Oberflächen Schotter und Pflasterstein höher ist als auf der Oberfläche Asphalt.

	Absolute Vertikale Beschleunigung in m/s ² Citybike Asphalt	Absolute Vertikale Beschleunigung in m/s ² Citybike Schotter	Absolute Vertikale Beschleunigung in m/s ² Citybike Pflaster
<i>N</i>	29	29	29
Mittelwert	1,68	4,97	7,29
Median	1,53	4,52	6,86
Standardabweichung	,52	1,37	1,90
Minimum	1,00	2,99	3,60
Maximum	2,63	7,84	11,28

Tabelle 5 Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der vertikalen Beschleunigung nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung

Die höhere Standardabweichung kann damit erklärt werden, dass auf der Oberfläche Asphalt kaum abrupte Stöße gemessen wurden bzw. die wenigen Ausnahmen, z. B. durch Schlaglöcher bereits bei der Datenbereinigung entfernt wurden.

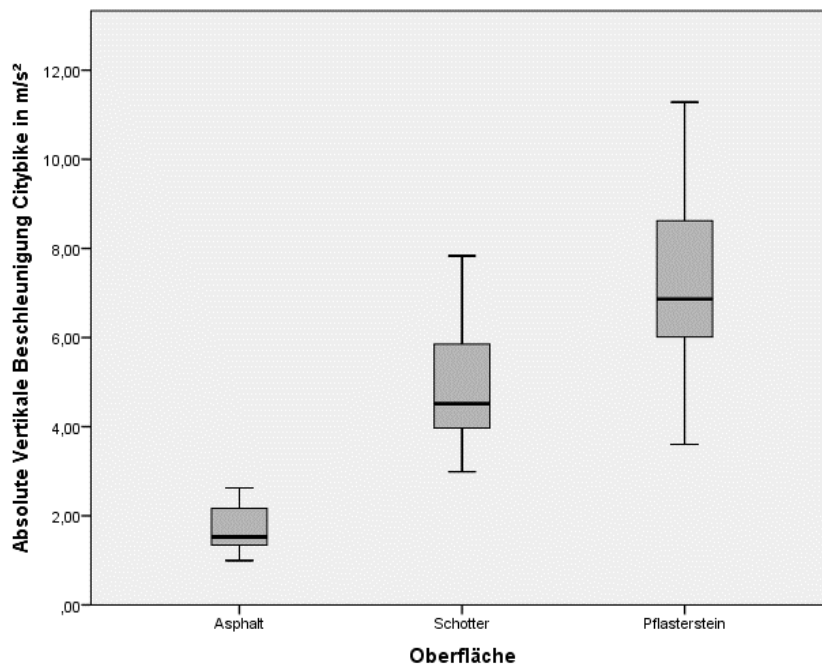


Abbildung 18 Boxplot vertikale Beschleunigung nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung

Die Unterschiede bezüglich der Standardabweichung der Variable vertikale Beschleunigung auf den drei Oberflächen ist auch bei der Betrachtung der Boxplots in Abbildung 18 ersichtlich. Auch ist auf allen drei Oberflächen eine rechtsschiefe Verteilung festzustellen.

Zur Überprüfung der Signifikanz wurde zunächst eine ANOVA mit Messwiederholung (auf Niveau $\alpha = 0,05$) mit den vertikalen Beschleunigungswerten als abhängige Variable und der Oberfläche als unabhängige Variable durchgeführt. Die Prüfung der Voraussetzungen ergab, dass weder die Voraussetzung der Normalverteilung noch die der Sphärizität gegeben war. Da die Varianzanalyse als relativ robust gilt, was die Verletzung der vorausgesetzten Normalverteilung betrifft, wurde der Test dennoch durchgeführt. (Lüpsen, 2017, S. 27) Um die Verletzung der Sphärizitätsannahme auszugleichen, wurden die Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser ($\epsilon_{GG} = .64$) korrigiert.

Die ANOVA mit Messwiederholung (Sphärizität nicht angenommen: Mauchly- $W(2) = .437$, $p = .00$) hat demnach ergeben, dass die vertikale Beschleunigung von der Oberfläche abhängt. ($F(1.3, 35.8) = 312.43$, $p = .00$, partielles $\eta^2 = .92$, $n = 29$). Die Effektstärke nach Cohen (1988) beträgt 3,62. Nach Cohen (1992) entspricht dies einem starken Effekt.

Zusätzlich wurden noch ein Post-hoc-Test (auf Niveau $\alpha = 0,05$) durchgeführt um die Signifikanz der Unterschiede zwischen den Oberflächen zu ermitteln. Der Post-hoc-Test wurde mit der Bonferroni Korrektur durchgeführt.

Die paarweisen Vergleiche zeigen, dass zwischen jeder Oberfläche signifikante Unterschiede bestehen. Die vertikalen Beschleunigungswerte sind somit auf der Oberfläche Pflasterstein ($M = 7,29$, $SD = 1,90$) signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter ($M = 4,97$, $SD = 1,37$). Auch sind die Beschleunigungswerte auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Asphalt ($M = 1,68$, $SD = 0,51$). Tabelle 6 gibt den paarweisen Vergleich mit der mittleren Differenz wieder.

(I)Oberfläche	(J)Oberfläche	Mittlere Differenz (I-J)	Sig.
Asphalt	Schotter	-3,28	,00
	Pflasterstein	-5,61	,00
Schotter	Asphalt	3,28	,00
	Pflasterstein	-2,32	,00
Pflasterstein	Asphalt	5,61	,00
	Schotter	2,32	,00

Tabelle 6 Paarweiser Vergleich der vertikalen Beschleunigung auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung

Um zu prüfen, ob die Verletzung der vorausgesetzten Normalverteilung Einfluss auf das Ergebnis hatte, wurde zusätzlich der nichtparametrische Friedman-Test durchgeführt, welcher ebenfalls signifikante Ergebnis lieferte.

Für den Fahrradtyp Citybike wird in diesem Fall $H_{1.1}$ angenommen.

5.1.2 Hypothesentest mit dem Fahrradtyp Mountainbike

Der bereits für den Fahrradtyp Citybike beschriebene Hypothesentest bezüglich des Einflusses der Oberfläche auf die vertikale Beschleunigung wurde in gleicher Weise für den Fahrradtyp Mountainbike durchgeführt.

Wie in Tabelle 7 zu sehen ist, unterscheiden sich die Mittelwerte auch beim Fahrradtyp Mountainbike voneinander. Die Mittelwerte sind auf der Oberfläche Pflasterstein am höchsten und auf der Oberfläche Asphalt am geringsten. Auch beim Fahrradtyp Mountainbike sind die höheren Standardabweichungen auf den Oberflächen Schotter und Pflasterstein zu beobachten.

	Absolute Vertikale Beschleunigung in m/s ² MTB Asphalt	Absolute Vertikale Beschleunigung in m/s ² MTB Schotter	Absolute Vertikale Beschleunigung in m/s ² MTB Pflaster
<i>N</i>	28	28	28
Mittelwert	1,74	5,30	6,96
Median	1,66	5,22	6,81
Standardabweichung	,31	1,09	1,30
Minimum	1,19	3,40	4,77
Maximum	2,37	7,96	9,66

Tabelle 7: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der vertikalen Beschleunigung nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

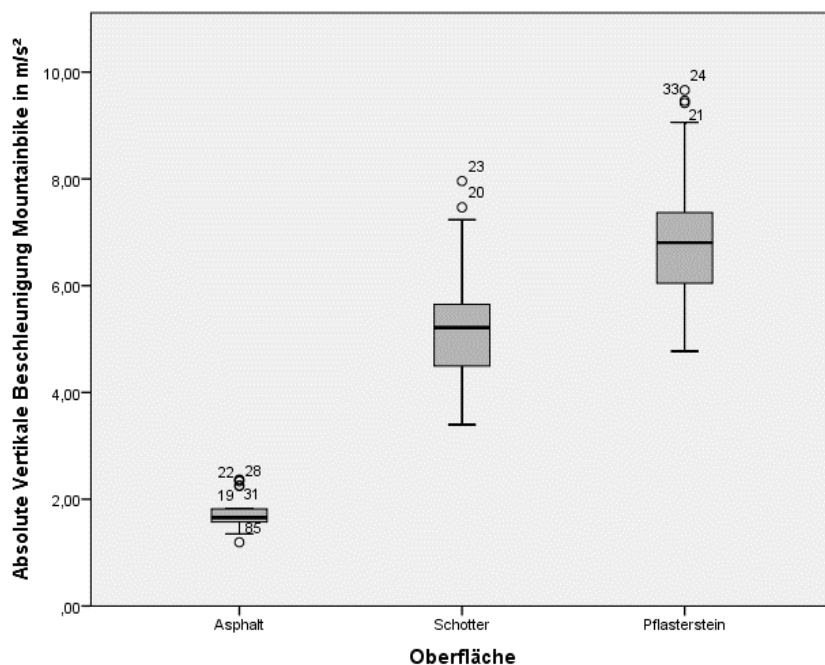


Abbildung 19 Boxplot vertikale Beschleunigung nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Im Gegensatz zum Citybike, ist beim Fahrradtyp Mountainbike beim Boxplot in Abbildung 19 eine linksschiefe Verteilung der vertikalen Beschleunigung auf den Oberflächen Schotter und Pflasterstein ersichtlich. Auch ist die deutlich geringere Standardabweichung auf der Oberfläche Asphalt gut sichtbar.

Auch beim Fahrradtyp Mountainbike wurde eine ANOVA mit Messwiederholung (auf Niveau $\alpha = 0,05$) mit den vertikalen Beschleunigungswerten als abhängige Variable und der Oberfläche als unabhängige Variable durchgeführt. Die vorangegangene Prüfung der Voraussetzungen ergab, dass auch in diesem Fall weder die Sphärizität, noch die Normalverteilung gegeben war. Die Vorgehensweise entsprach der gleichen wie beim Fahrradtyp Citybike. Die Verletzung der Sphärizitätsannahme wurde durch die Korrektur der Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser ($\epsilon_{GG} = .60$) ausgeglichen.

Die ANOVA mit Messwiederholung (Sphärizität nicht angenommen: Mauchly-W(2) = 0,34, $p = .00$) hat demnach ergeben, dass die vertikale Beschleunigung von der Oberfläche abhängt ($F(1.2, 35.5) = 533.04$, $p = .00$, partielles $\eta^2 = .95$, $n = 28$). Die Effektstärke nach Cohen (1988) beträgt 4,45. Nach Cohen (1992) entspricht dies einem starken Effekt.

Die Post-hoc-Untersuchungen (auf Niveau $\alpha = 0,05$) mit Bonferroni Korrektur ergaben, dass zwischen jeder Oberfläche signifikante Unterschiede bestehen. Die vertikalen Beschleunigungswerte sind somit auf der Oberfläche Pflasterstein ($M = 6,96$, $SD = 1,30$) signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter ($M = 5,30$, $SD = 1,09$). Auch sind die Beschleunigungswerte auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Asphalt ($M = 1,74$, $SD = 0,31$). Tabelle 2 gibt den paarweisen Vergleich mit der mittleren Differenz wieder.

(I)Oberfläche	(J)Oberfläche	Mittlere Differenz (I-J)	Sig. ^b
Asphalt	Schotter	-3,55	,00
	Pflasterstein	-5,22	,00
Schotter	Asphalt	3,55	,00
	Pflasterstein	-1,67	,00
Pflasterstein	Asphalt	5,22	,00
	Schotter	1,67	,00

Tabelle 8: Paarweiser Vergleich der vertikalen Beschleunigung auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Der im Anschluss, zur Kontrolle, durchgeführte Friedman-Test ergab ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen.

Die Nullhypothese $H_{1.1_0}$ kann somit auch für den Fahrradtyp Mountainbike abgelehnt werden.

5.1.3 Vergleich der Fahrradtypen Citybike und Mountainbike

Neben dem Einfluss der Variable Oberfläche wurde auch der Einfluss der Variable Fahrradtyp auf die vertikale Beschleunigung untersucht. Dafür wurde folgende einseitig gerichtete Hypothese mit entsprechender Nullhypothese aufgestellt:

$H_{2.1_0}$ Die Verteilung der vertikalen Beschleunigungswerte ist mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike auf den jeweiligen Oberflächen identisch.

$H_{2.1_1}$ Die vertikale Beschleunigung mit den Fahrradtypen Citybike ist auf allen Oberflächen signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Mountainbike.

Es wurde davon ausgegangen, dass durch die baulichen Unterschiede der beiden Fahrradtypen, insbesondere die gefederte Gabel am Mountainbike und die Vollgummireifen am Citybike, ein Unterschied in der vertikalen Beschleunigung feststellbar sein wird.

Um diese Hypothese zu testen, wurden zunächst die statistischen Kennwerte der vertikalen Beschleunigung mit den beiden Fahrradtypen auf jeder Oberfläche miteinander verglichen. Im Anschluss wurde ein t-test für verbundene Stichproben durchgeführt.

Fahrrad		Absolute Vertikale Beschleunigung in m/s ² Asphalt	Absolute Vertikale Beschleunigung in m/s ² Schotter	Absolute Vertikale Beschleunigung in m/s ² Pflaster
Citybike	N	29	29	29
	Mittelwert	1,68	4,96	7,30
	Median	1,53	4,52	6,86
	Standardabweichung	,52	1,37	1,90
	Minimum	1,00	2,99	3,60
	Maximum	2,63	7,84	11,28
Mountainbike	N	28	28	28
	Mittelwert	1,74	5,30	6,96
	Median	1,66	5,22	6,81
	Standardabweichung	,31	1,09	1,30
	Minimum	1,19	3,40	4,77
	Maximum	2,37	7,96	9,66

Tabelle 9: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der vertikalen Beschleunigung nach Oberflächen mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Wie in Tabelle 9 zu sehen ist, ist der Mittelwert der vertikalen Beschleunigung mit dem Fahrradtyp Mountainbike auf den Oberflächen Asphalt und Schotter höher als beim Fahrradtyp Citybike. Auf der Oberfläche Pflasterstein ist dieser Wert wiederum mit dem Fahrradtyp Citybike höher. Die Standardabweichung ist auf allen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike höher.

Die beschriebenen Unterschiede sind in den folgenden Boxplots (Abbildung 20-22) visuell ablesbar.

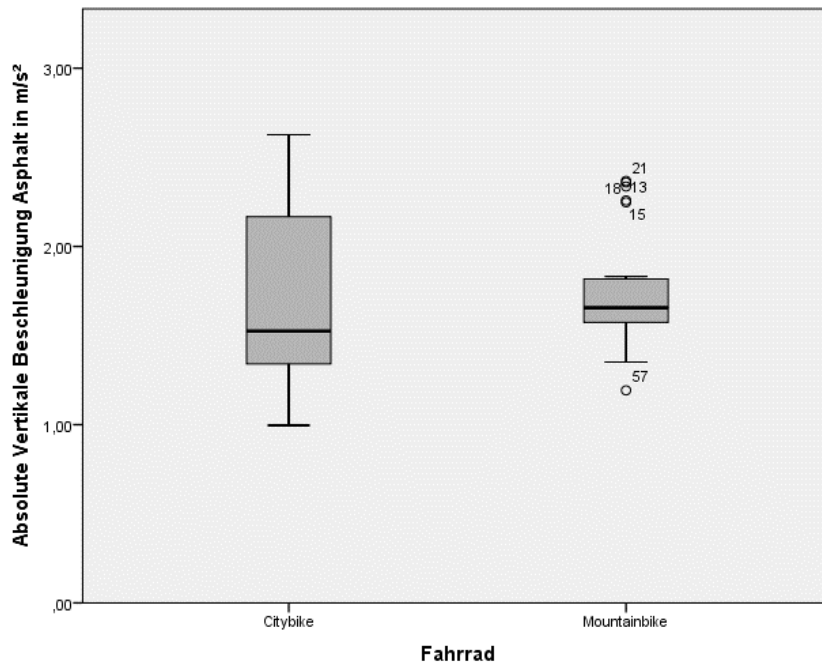


Abbildung 20: Boxplot der vertikalen Beschleunigung auf der Oberfläche Asphalt mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

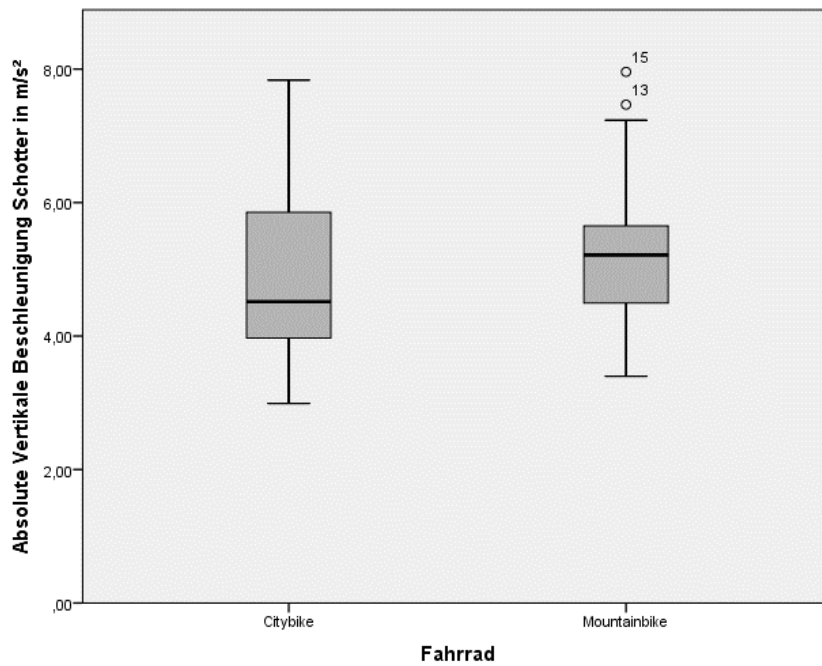


Abbildung 21: Boxplot der vertikalen Beschleunigung auf der Oberfläche Schotter mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

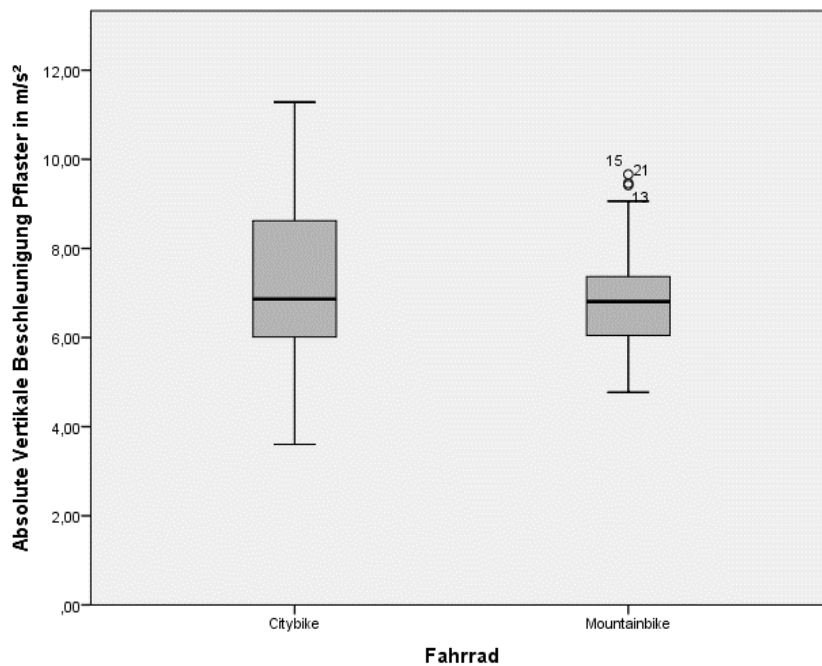


Abbildung 22 Boxplot der vertikalen Beschleunigung auf der Oberfläche Pflasterstein mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Um zu prüfen, ob der Fahrradtyp einen signifikanten Einfluss auf die vertikale Beschleunigung auf den unterschiedlichen Oberflächen hatte, wurde ein t-test für verbundene Stichproben (auf Niveau $\alpha = 0,05$) durchgeführt. Die Signifikanz wurde hierbei einseitig gerichtet geprüft. Die vorausgesetzte Normalverteilung der Differenzen zwischen den Variablen war in diesem Fall gegeben.

Der t-test hat ergeben, dass der Fahrradtyp keinen signifikanten Einfluss auf die vertikale Beschleunigung hat. Dies trifft auf alle drei Oberflächen zu (Asphalt: $t = -.31$, $p = .38$, $n = 28$; Schotter: $t = -.95$, $p = .18$, $n = 28$; Pflasterstein: $t = 1.39$, $p = .09$, $n = 28$).

Da auf den Oberflächen Asphalt und Schotter $p > .10$ ist, kann nach Rasch et al. (2014) für diese Oberflächen die Nullhypothese beibehalten werden.

Auf der Oberfläche Pflasterstein ist jedoch ein statistischer Trend feststellbar, da $p < .10$ ist. Auch wurde eine Effektstärke von $r = .26$ festgestellt. Basierend auf der Effektstärke, der Stichprobenzahl von $n = 28$ und dem α Niveau von 0,05 konnte mit Hilfe des Programms G*Power die Teststärke berechnet werden. Auf der Oberfläche Pflasterstein betrug diese $1 - \beta = .38$. Das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit die Nullhypothese fälschlich anzunehmen bei über 60 % liegt. Nach Cohen (1992) wird

jedoch eine Teststärke von mindestens .80 gefordert, also einer Wahrscheinlichkeit die Nullhypothese fälschlich anzunehmen von höchstens 20 %.

Es kann nach Rasch et al. (2014) auf Grund der geringen Teststärke und dem statistischen Trend auf der Oberfläche Pflasterstein für H 2.1 weder die Null- noch die Alternativhypothese angenommen werden.

5.2 Elektrodermale Aktivität

Als erster Indikator für den objektiven Fahrkomfort wurde die elektrodermale Aktivität untersucht.

Wie bereits bei der vertikalen Beschleunigung wurden die Auswertungen der Einflüsse der Oberflächen auf die elektrodermale Aktivität für die Testfahrten mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike zunächst einzeln durchgeführt. Im Anschluss folgt der Vergleich zwischen den beiden Fahrradtypen.

Bezüglich der unterschiedlichen Wirkung der drei verschiedenen Oberflächen, Asphalt, Schotter und Pflasterstein auf die elektrodermale Aktivität wurde die einseitig gerichtete Hypothese bzw. die entsprechende Nullhypothese geprüft:

H 3.1₀ Die Verteilung der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde ist auf den Oberflächen Asphalt, Schotter, Pflasterstein identisch.

H 3.1₁ Die elektrodermalen Reaktionen/Sekunde sind auf der Oberfläche Pflasterstein signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Asphalt.

Diese Hypothese wurde getestet um zu überprüfen, ob ein signifikanter Einfluss der Variable Oberfläche auf die elektrodermale Aktivität und somit einen der festgelegten Indikatoren für den Fahrkomfort festzustellen ist. Die Vermutung lag hierbei darin, dass die elektrodermalen Reaktionen/Sekunde auf der Oberfläche Asphalt am geringsten sind und auf der Oberfläche Pflasterstein am höchsten.

5.2.1 Hypothesentest der elektrodermalen Aktivität mit dem Fahrradtyp Citybike

	Elektrodermalen Reaktionen/Sek Citybike Asphalt	Elektrodermalen Reaktionen/Sek Citybike Schotter	Elektrodermalen Reaktionen/Sek Citybike Pflaster
<i>N</i>	23	23	23
Mittelwert	,17	,17	,16
Median	,15	,19	,18
Standardabweichung	,11	,09	,09
Minimum	,00	,01	,00
Maximum	,41	,31	,37

Tabelle 10: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung

Der Vergleich der statistischen Kennwerte in Tabelle 10 zeigt, dass auf den ersten Blick kaum Unterschiede zwischen den Mittelwerten auf den drei Oberflächen erkennbar sind. Allerdings ist der Mittelwert auf der Oberfläche Pflasterstein entgegen der Erwartungen am geringsten. Die Standardabweichung unterscheidet sich etwas deutlicher, wobei sie auf der Oberfläche Asphalt am höchsten ist und auf der Oberfläche Pflasterstein am geringsten.

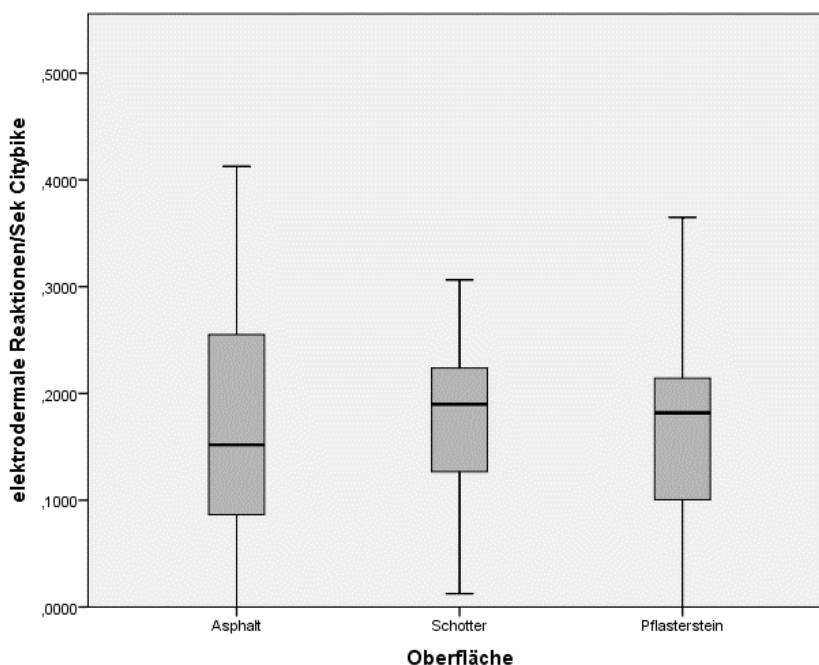


Abbildung 23: Boxplot elektrodermale Reaktionen/Sekunde nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung

Auch die Boxplots (Abbildung 23) visualisieren, wie nahe die Mittelwerte und die Standardabweichungen beieinander liegen. Es ist auch sichtbar, dass auf der

Oberfläche Asphalt eine rechtsschiefe und auf den beiden anderen Oberflächen eine linksschiefe Verteilung vorherrscht. Dies erklärt auch die Unterschiede bezüglich des Medians.

Auch wenn der vorherige Mittelwertvergleich und die Boxplots den Verdacht nahe legen, dass die Alternativhypothese abgelehnt wird, wurde dennoch eine ANOVA mit Messwiederholung (auf Niveau $\alpha = 0,05$) mit den elektrodermalen Reaktionen/Sekunde als abhängige Variable und der Oberfläche als unabhängige Variable durchgeführt. Die vorangegangene Prüfung der Voraussetzungen ergab, dass sowohl die Sphärizität, als auch die Normalverteilung gegeben war.

Die ANOVA mit Messwiederholung (Sphärizität angenommen: $Mauchly-W(2) = .89, p = .28$) hat demnach ergeben, dass die Variable elektrodermale Reaktionen/Sekunde nicht von der Oberfläche abhängt ($F(2,44) = .28, p = .79, \text{partielles } \eta^2 = .01, n = 23$).

In diesem Fall wurde somit auch auf den Post-hoc-Test verzichtet.

Die Nullhypothese H_3 wurde in diesem Fall beibehalten.

5.2.2 Hypothesentest der elektrodermalen Aktivität mit dem Fahrradtyp Mountainbike

Wie bereits beim Fahrradtyp Citybike, liegen die in Tabelle 8 sichtbaren Werte auch beim Fahrradtyp Mountainbike nahe beieinander.

	Elektrodermale Reaktionen / Sek MTB Asphalt	Elektrodermale Reaktionen / Sek MTB Schotter	Elektrodermale Reaktionen / Sek MTB Pflaster
<i>N</i>	26	26	26
Mittelwert	,18	,16	,18
Median	,19	,17	,18
Standardabweichung	,11	,10	,10
Minimum	,00	,00	,00
Maximum	,39	,33	,35

Tabelle 11 Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

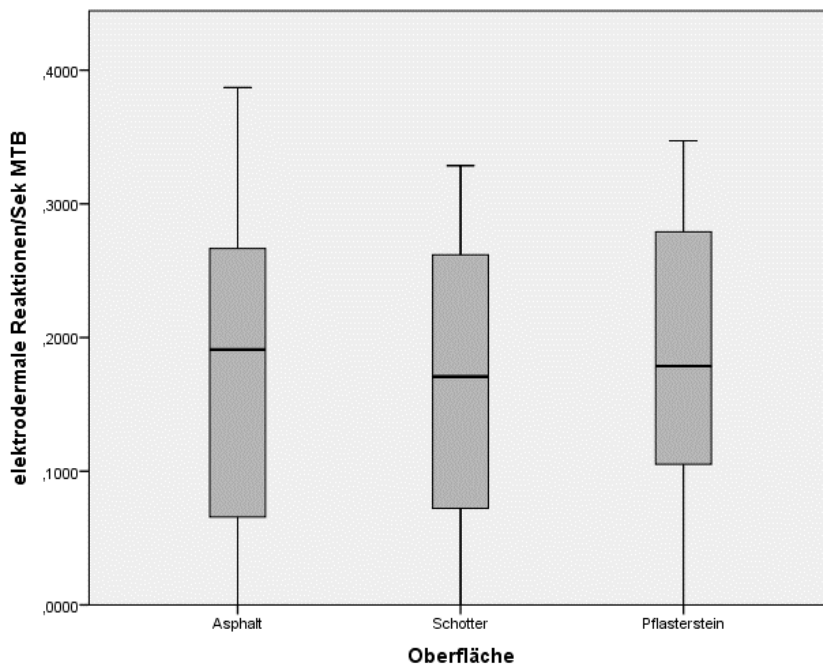


Abbildung 24 Boxplot elektrodermale Reaktionen/Sekunde nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike;
Quelle: eigene Erhebung

Dies wird auch durch die Boxplots in Abbildung 24 verdeutlicht.

Beim Fahrradtyp Mountainbike wurde ebenfalls wieder eine ANOVA mit Messwiederholung (auf Niveau $\alpha = 0,05$) mit den elektrodermalen Reaktionen/Sekunde als abhängige Variable und der Oberfläche als unabhängige Variable durchgeführt. Die vorangegangene Prüfung der Voraussetzungen ergab, dass sowohl die Sphärizität, als auch die Normalverteilung gegeben war.

Die ANOVA mit Messwiederholung (Sphärizität angenommen: $Mauchly-W(2) = .96$, $p = .64$) hat demnach ergeben, dass die Variable elektrodermale Reaktionen/Sekunde auch mit dem Fahrradtyp Mountainbike nicht von der Oberfläche abhängt ($F(2.50) = .61$, $p = .55$, partielles $\eta^2 = .02$, $n = 26$).

Es kann also auch in diesem Fall wieder die Nullhypothese $H_{3.1_0}$ beibehalten werden.

5.2.3 Vergleich der Fahrradtypen Citybike und Mountainbike bezüglich der elektrodermalen Aktivität

Wie zuvor mit der Variable vertikale Beschleunigung wurde auch der Einfluss der Variable Fahrradtyp auf die Variable elektrodermale Reaktionen/Sekunde untersucht. Dafür wurde folgende einseitig gerichtete Hypothese mit entsprechender Nullhypothese aufgestellt:

H 4.1₀ Die Verteilung der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde ist mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike identisch.

H 4.1₁ Die elektrodermalen Reaktionen/Sekunde mit den Fahrradtyp Citybike sind signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Mountainbike.

Es wurde bei diesem Hypothesentest vermutet, dass der Wert der elektrodermalen Reaktionen mit dem Fahrradtyp Citybike höher ist, als mit dem Fahrradtyp Mountainbike, da der Verdacht nahe lag, dass die Personen auf dem Fahrradtyp Citybike „gestresster“ waren, als mit dem Fahrradtyp Mountainbike.

Zu beachten ist, dass sich die Mittelwerte im Rahmen dieses Vergleichs gegenüber den zuvor dargestellten Mittelwerten unterscheiden, da auf Grund des paarweisen Fallausschlusses der fehlenden Werte die Stichprobengröße der Paare, im Gegensatz zu $n = 23$ beim Citybike und $n = 26$ beim Mountainbike, bei $n = 21$ liegt. Bei diesem Vergleich hat also der Fahrradtyp Citybike zwei Fälle und der Fahrradtyp Mountainbike fünf Fälle weniger.

Fahrrad		Elektrodermale Reaktionen/Sek Asphalt	Elektrodermale Reaktionen /Sek Schotter	Elektrodermale Reaktionen /Sek Pflaster
		Citybike	N	21
	Mittelwert	,18	,18	,17
	Median	,15	,19	,18
	Standardabweichung	,11	,09	,08
	Minimum	,00	,01	,00
	Maximum	,41	,31	,37
Mountainbike	N	21	21	21
	Mittelwert	,17	,15	,17
	Median	,15	,12	,16
	Standardabweichung	,12	,10	,11
	Minimum	,00	,00	,00
	Maximum	,39	,33	,35

Tabelle 12: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der elektrodermalen Reaktionen nach Oberflächen mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Wie in Tabelle 12 zu sehen ist, liegen die Werte der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde auch im Vergleich zwischen den beiden Fahrradtypen nah beieinander. Lediglich auf der Oberfläche Schotter ist der Mittelwert als auch der Median den elektrodermalen Reaktionen/Sekunde auffällig höher. Dennoch ist der Mittelwert bei dieser Stichprobe auf allen Oberflächen mit dem Citybike höher als mit dem Mountainbike.

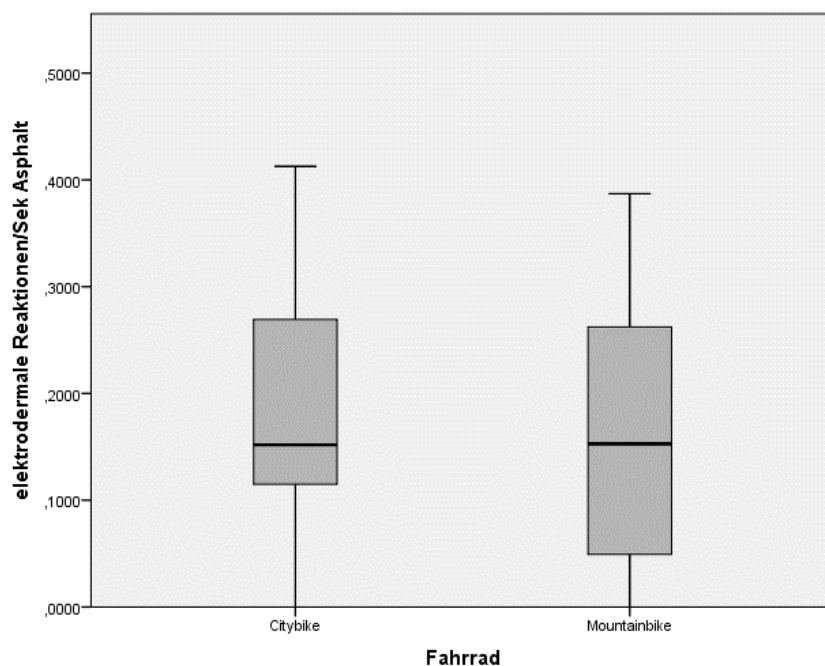


Abbildung 25: Boxplot der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde auf der Oberfläche Asphalt mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

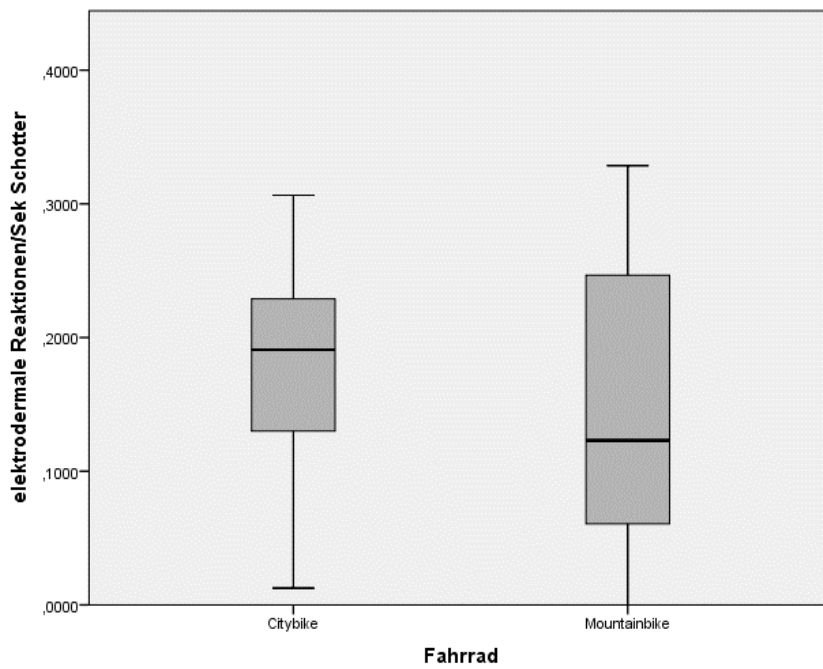


Abbildung 26: Boxplot der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde auf der Oberfläche Schotter mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

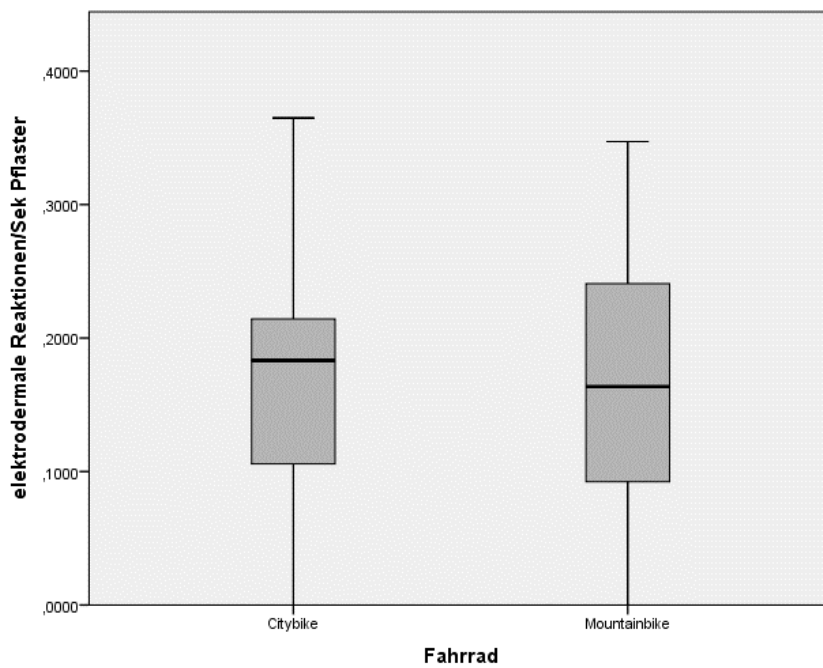


Abbildung 27: Boxplot der elektrodermalen Reaktion/Sekunde auf der Oberfläche Schotter mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Die beschriebenen Unterschiede sind auch mit Hilfe der Boxplots (Abbildung 25-27) gut ablesbar.

Um den Einfluss der Variable Fahrradtyp auf die Variable elektrodermale Reaktionen/Sekunde zu testen, wurden zwei t-tests für verbundene Stichproben (auf Niveau $\alpha = 0,05$) durchgeführt.

Beim ersten t-test wurden die Werte der elektrodermalen Reaktionen auf den drei Oberflächen einer jeden Testfahrt aggregiert. Somit gab es jeweils eine Variable für die elektrodermalen Reaktionen für beide Fahrradtypen was einen Vergleich zwischen den beiden Fahrradtypen unabhängig von der Oberfläche über die gesamte Testfahrt hinweg ermöglichte. Im Anschluss wurde ein t-test durchgeführt bei dem der Einfluss auf jeder Oberfläche einzeln untersucht wurde. Bei beiden Tests war die Voraussetzung der Normalverteilung der Differenzen zwischen den Variablen gegeben.

T-test nach Fahrradtyp unabhängig von der Oberfläche

Werden die Werte der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde nach Fahrradtyp in Tabelle 13 und Abbildung 28 verglichen, wird ersichtlich, dass sie in allen Bereichen sehr nahe beieinander liegen. Der Mittelwert und der Median sind mit dem Fahrradtyp Citybike etwas höher.

	Elektrodermale Reaktionen/Sek Citybike	Elektrodermale Reaktionen/Sek Mountainbike
<i>N</i>	21	21
Mittelwert	,17	,16
Median	,19	,18
Standardabweichung	,09	,10
Minimum	,00	,01
Maximum	,32	,32

Tabelle 13: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der elektrodermalen Reaktionen über die gesamte Testfahrt mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

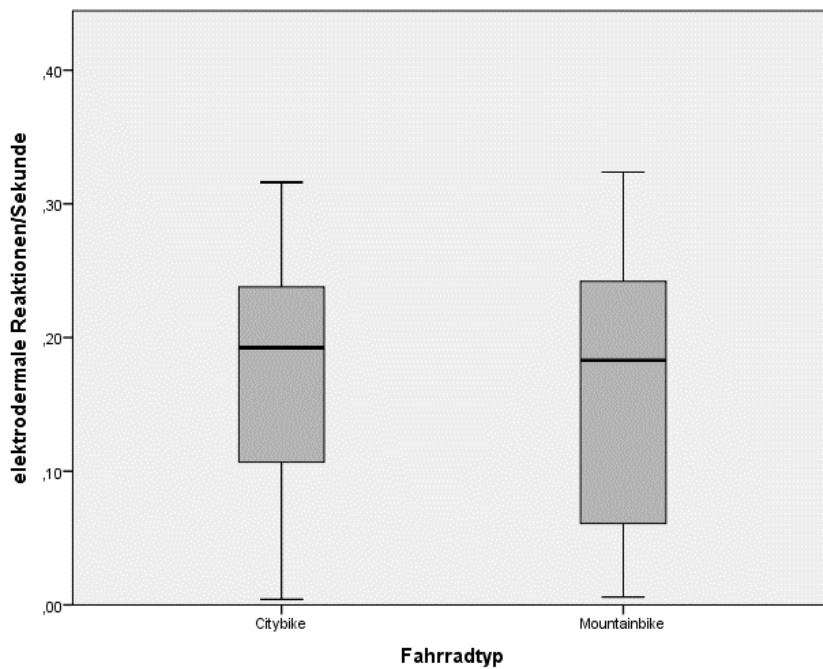


Abbildung 28: Boxplots der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde auf allen Oberflächen mit Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Der einseitig gerichtete t-test hat ergeben, dass der Fahrradtyp keinen signifikanten Einfluss auf die elektrodermalen Reaktionen/Sekunde hat ($t = .92$; $p = .19$; $n = 21$).

Die Nullhypothese H_0 wurde beibehalten.

T-test nach Fahrradtyp abhängig von der Oberfläche

Um zu prüfen, ob der Fahrradtyp einen signifikanten Einfluss auf die elektrodermalen Reaktionen auf den einzelnen Oberflächen hatte, wurde ein t-test für verbundene Stichproben (auf Niveau $\alpha = 0,05$) durchgeführt.

Wie bereits in Tabelle 12 zu sehen ist, liegen bei dieser Stichprobe die Mittelwerte auf den Oberflächen Asphalt und Pflasterstein nah beieinander.

Der einseitig gerichtete t-test hat ergeben, dass der Fahrradtyp auf den Oberflächen Asphalt ($t = .22$, $p = .42$; $n = 21$) und auf der Oberfläche Pflasterstein ($t = .048$, $p = .48$; $n = 21$) keinen signifikanten Einfluss auf die elektrodermale Reaktionen/Sekunde hat. Auf der Oberfläche Schotter ($t = 1.870$, $p = .04$ $n = 21$) sind die elektrodermale Reaktionen/Sekunde mit dem Fahrradtyp Citybike signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Mountainbike.

Die Effektstärke nach Cohen (1992) beträgt auf der Oberfläche Schotter $r = .39$, was einem mittleren Effekt entspricht.

Somit kann für die Oberflächen Asphalt und Pflasterstein H 4.1₀ beibehalten werden. Auf der Oberfläche Schotter wurde H 4.1₁ angenommen.

5.2.4 Zusätzliche statistische Untersuchungen

Es wurden zusätzliche Untersuchungen durchgeführt um zu testen ob andere Variablen einen Einfluss auf die elektrodermalen Reaktionen/Sekunde haben bzw. ob ein linearer Zusammenhang mit einer anderen Variable besteht. So wurden mit den Variablen Außentemperatur, Alter, Erfahrung, als auch mit den anderen gemessenen Variablen im Rahmen der Elektroenzephalografie und der vertikalen Beschleunigung bivariate Korrelationsanalysen durchgeführt. Es konnten jedoch keine signifikanten Korrelationen entdeckt werden.

Zusätzlich wurden t-tests für unabhängige Stichproben durchgeführt um zu überprüfen, ob die Variable Geschlecht einen Einfluss auf die elektrodermalen Reaktionen/Sekunde hat.

	Geschlecht	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Elektrodermale Reaktionen /Sek Citybike Asphalt	Weiblich	9	,23	,11	,04
	Männlich	14	,13	,10	,03
Elektrodermale Reaktionen /Sek Citybike Schotter	Weiblich	9	,21	,09	,03
	Männlich	14	,15	,09	,02
Elektrodermale Reaktionen /Sek Citybike Pflaster	Weiblich	9	,20	,07	,02
	Männlich	14	,14	,09	,02
Elektrodermale Reaktionen /Sek MTB Asphalt	Weiblich	10	,18	,11	,04
	Männlich	16	,19	,12	,03
Elektrodermale Reaktionen /Sek MTB Schotter	Weiblich	10	,22	,10	,03
	Männlich	16	,13	,09	,02
Elektrodermale Reaktionen /Sek MTB Pflaster	Weiblich	10	,20	,10	,03
	Männlich	16	,17	,11	,03

Tabelle 14: Vergleich der Mittelwerte der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde abhängig vom Geschlecht; Quelle: eigene Erhebung

In Tabelle 14 wird ersichtlich, dass die Mittelwerte der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde auf fast allen Oberflächen und mit beiden Fahrradtypen bei den

weiblichen Testpersonen höher ist. Lediglich auf der Oberfläche Asphalt und mit dem Fahrradtyp Mountainbike ist der Wert bei den männlichen Testpersonen etwas höher. Zu beachten ist jedoch hierbei die unterschiedliche Anzahl an männlichen und weiblichen Testpersonen.

Der t-test hat ergeben, dass zwischen den männlichen und weiblichen Testpersonen mit dem Citybike auf der Oberfläche Asphalt ($t = 2,23; p = .04$) und mit dem Mountainbike auf der Oberfläche Schotter ($t = 2,30; p = 0,03$) signifikante Unterschiede bestehen.

Es muss also im Rahmen der Interpretation bezüglich der Variable elektrodermale Reaktionen je Sekunde berücksichtigt werden, dass das Geschlecht der Testpersonen durchaus einen Einfluss auf ihre elektrodermale Aktivität bzw. die elektrodermalen Reaktionen je Sekunde haben kann. Allerdings konnte beim Vergleich der Mittelwerte in Tabelle 14 auch nicht festgestellt werden, dass sich die Mittelwerte der elektrodermalen Reaktion, sowohl bei den weiblichen als auch bei den männlichen Testpersonen, auf den verschiedenen Oberflächen unterscheiden.

5.3 Attention (Elektroenzephalografie)

Als zweiter Indikator für den gemessenen Fahrkomfort wurde der Attention Wert untersucht, welcher im Rahmen der Elektroenzephalografie gemessen wurde. Vorgegangen wurde hier wie bei dem vorherigen Hypothesentest bezüglich der elektrodermalen Aktivität.

Folglich wurde folgende Hypothese bzw. ihre entsprechende Nullhypothese geprüft.

H 3.2₀ Die Verteilung des Attention Wertes ist auf den Oberflächen Asphalt, Schotter, Pflasterstein identisch.

H 3.2₁ Der Attention Wert ist auf der Oberfläche Pflasterstein signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Asphalt.

Diese Hypothese wurde getestet um zu überprüfen, ob ein signifikanter Einfluss der Variable Oberfläche auf den Attention Wert und somit einen der festgelegten Indikatoren für den Fahrkomfort festzustellen ist. Die Vermutung lag hierbei darin, dass der Attention Wert auf der Oberfläche Asphalt am geringsten und auf der Oberfläche Pflasterstein am höchsten ist.

5.3.1 Hypothesentest des Attention Wertes mit dem Fahrradtyp Citybike

	Attention Citybike Asphalt	Attention Citybike Schotter	Attention Citybike Pflaster
<i>N</i>	22	22	22
Mittelwert	51,07	46,61	56,84
Median	50,10	47,52	55,50
Standardabweichung	10,54	9,85	13,26
Minimum	35,24	29,81	36,05
Maximum	70,89	64,18	82,38

Tabelle 15: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des Attention Wertes nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung

Wie in Tabelle 15 zu sehen ist, unterscheiden sich die Mittelwerte auffällig voneinander, wobei der Wert auf der Oberfläche Pflasterstein am höchsten und auf der Oberfläche Schotter am geringsten ist. Die Mediane liegen sehr nahe an den Mittelwerten. Die Standardabweichung ist auf der Oberfläche Pflasterstein auffällig höher als auf den beiden anderen Oberflächen.

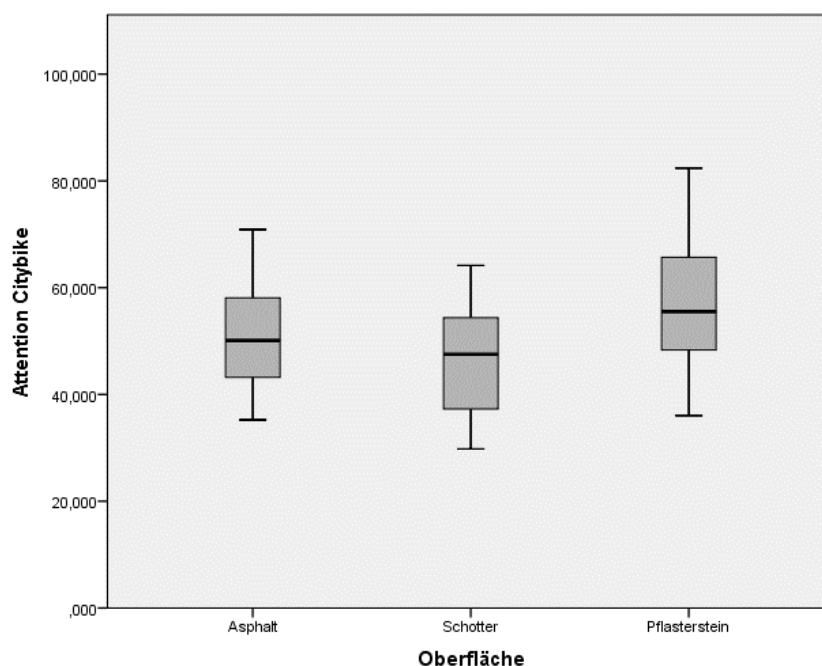


Abbildung 29: Boxplot Attention nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung

Die beschriebenen Unterschiede sind in Abbildung 29 sichtbar gemacht. Der Mittelwert des Attention Wertes war auf der Oberfläche Asphalt unerwartet höher als auf der Oberfläche Schotter. Der Mittelwert auf der Oberfläche Pflasterstein war jedoch wie erwartet am höchsten. Um zu prüfen, ob der Unterschied des Mittelwertes signifikant ist, wurde eine ANOVA mit Messwiederholung (auf Niveau $\alpha = 0,05$) mit dem Attention Wert als abhängige Variable und der Oberfläche als unabhängige Variable durchgeführt.

Die vorangegangene Prüfung der Voraussetzungen ergab, dass sowohl die Sphärizität, als auch die Normalverteilung gegeben war.

Die ANOVA mit Messwiederholung (Sphärizität angenommen: Mauchly- $W(2) = .93$, $p = .46$) hat demnach ergeben, dass die Variable Attention von der Oberfläche abhängt ($F(2,42) = 14.96$, $p = .00$, partielles $\eta^2 = .42$, $n = 22$). Die Effektstärke nach Cohen (1988) beträgt 0,84. Nach Cohen (1992) entspricht dies einem starken Effekt.

Um zu prüfen zwischen welchen Oberflächen sich die Attention Werte signifikant voneinander unterscheiden, wurden Post-hoc-Vergleiche (auf Niveau $\alpha = 0,05$) durchgeführt. Der Post-hoc-Test wurde mit der Bonferroni Korrektur durchgeführt.

Die paarweisen Vergleiche zeigen, dass die Attention Werte auf der Oberfläche Pflasterstein ($M = 56,84$; $SD = 13,26$) sich signifikant von denen auf den Oberflächen Asphalt ($M = 51,07$; $SD = 10,54$) und Schotter ($M = 46,60452$; $SD = 9,84$) unterscheiden. Der Unterschied zwischen den Oberflächen Asphalt und Schotter ist knapp nicht signifikant.

(I)Oberfläche	(J)Oberfläche	Mittlere Differenz (I-J)	Sig. ^b
Asphalt	Schotter	4,47	,06
	Pflasterstein	-5,77	,01
Schotter	Asphalt	-4,47	,06
	Pflasterstein	-10,24	,00
Pflasterstein	Asphalt	5,77	,01
	Schotter	10,24	,00

Tabelle 16: Paarweiser Vergleich des Attention Wertes auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung

Die Nullhypothese $H_{3.2_0}$ kann somit für den Fahrradtyp Citybike abgelehnt werden. Die Alternativhypothese $H_{3.2_1}$ kann allerdings nicht vollständig angenommen werden, da kein signifikanter Unterschied zwischen den Oberflächen Asphalt und Schotter besteht. Festzuhalten ist jedoch, dass der Mittelwert der Attention Werte auf der Oberfläche Pflasterstein signifikant höher ist als auf den beiden anderen Oberflächen.

5.3.2 Hypothesentest des Attention Wertes mit dem Fahrradtyp Mountainbike

Ähnlich wie beim Fahrradtyp Citybike ist, wie in Tabelle 17 sichtbar, der Attention Wert auf der Oberfläche Asphalt höher als auf der Oberfläche Schotter. Auch ist der Wert auf der Oberfläche Pflasterstein am höchsten, wobei der Unterschied zur Oberfläche Asphalt geringer ausfällt. Auch beim Mountainbike liegen die Mediane dicht bei den Mittelwerten und auch die Standardabweichung ist auf der Oberfläche Pflasterstein auffällig höher.

	Attention MTB Asphalt	Attention MTB Schotter	Attention MTB Pflaster
N	23	23	23
Mittelwert	48,67	43,25	48,96
Median	48,02	42,36	49,97
Standardabweichung	7,70	8,96	10,88
Minimum	32,51	27,50	33,95
Maximum	68,62	65,28	69,25

Tabelle 17: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des Attention Wertes auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

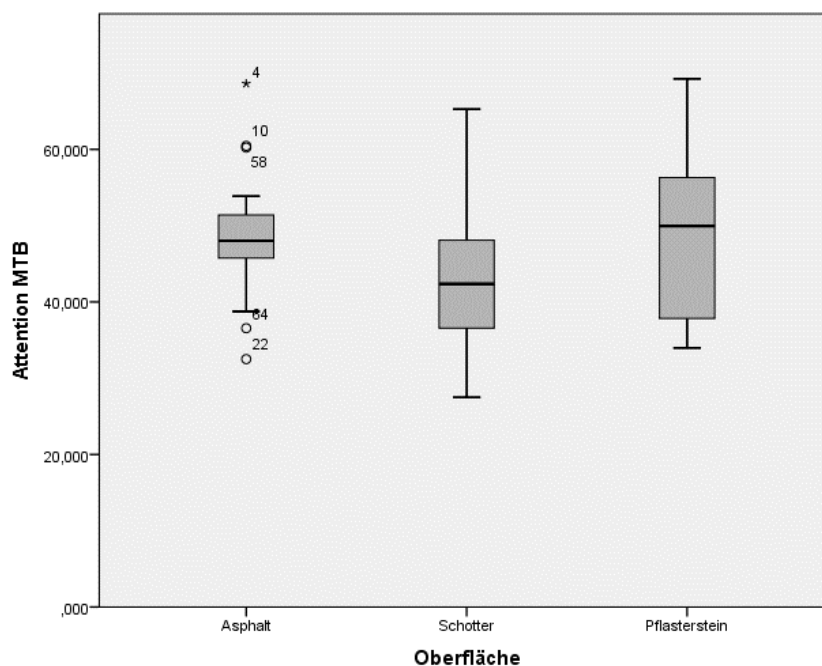


Abbildung 30: Boxplot Attention nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Die Boxplots in Abbildung 30 zeigen auf, dass auch nach der vorangegangenen Datenbereinigung auf der Oberfläche Asphalt noch einige Ausreißer festzustellen sind, sowohl im unteren als auch im oberen Bereich.

Auch mit dem Fahrradtyp Mountainbike wurde eine ANOVA mit Messwiederholung (auf Niveau $\alpha = 0,05$) mit dem Attention Wert als abhängige Variable und der Oberfläche als unabhängige Variable durchgeführt.

Auch in diesem Fall war sowohl die Sphärizität, als auch die Normalverteilung gegeben.

Die ANOVA mit Messwiederholung (Sphärizität angenommen: Mauchly- $W(2) = .87$, $p = .23$) hat demnach ergeben, dass die Variable Attention auch mit dem Fahrradtyp Mountainbike von der Oberfläche abhängt ($F(2,44) = 8.67$, $p = .00$, partielles $\eta^2 = .28$, $n = 23$). Die Effektstärke nach Cohen (1988) beträgt 0,63. Nach Cohen (1992) entspricht dies somit auch einem starken Effekt.

Es wurden wieder Post-hoc-Vergleiche (auf Niveau $\alpha = 0,05$) mit der Bonferroni Korrektur durchgeführt

Die paarweisen Vergleiche zeigen, dass die Attention Werte auf der Oberfläche Pflasterstein ($M = 48,96$; $SD = 10,88$) sich signifikant von denen auf der Oberfläche Schotter ($M = 46,26$; $SD = 8,96$) unterscheiden. Der Unterschied zwischen den Oberflächen Asphalt ($M = 48,67$; $SD = 7,70$) und Schotter ist ebenfalls signifikant.

(I)Oberfläche	(J)Oberfläche	Mittlere Differenz (I-J)	Sig. ^b
Asphalt	Schotter	5,42	,00
	Pflasterstein	-,29	1,00
Schotter	Asphalt	-5,42	,00
	Pflasterstein	-5,71	,01
Pflasterstein	Asphalt	,29	1,00
	Schotter	5,71	,01

Tabelle 18: Paarweiser Vergleich des Attention Wertes auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Die Nullhypothese $H_{3.2_0}$ kann somit abgelehnt werden.

Die Ergebnisse verhalten sich etwas anders, wie zuvor mit dem Citybike. Die Attention Werte sind zwar auch hier auf der Oberfläche Pflasterstein signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter, allerdings konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Oberflächen Asphalt und Pflasterstein festgestellt werden. Auch sind die Attention Werte mit dem Mountainbike auf der Oberfläche Asphalt, anders als zuvor, signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter.

Die Rangfolge der drei Oberflächen ist jedoch gleich, wobei die Mittelwerte des

Attention Wertes auf der Oberfläche Schotter mit beiden Fahrrädern am geringsten ist.

Die Alternativhypothese H 3.2₁ kann somit auch hier nicht vollständig angenommen werden. Dennoch ist auch in diesem Fall der Mittelwert auf der Oberfläche Pflasterstein am höchsten und ist signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter.

5.3.3 Vergleich der Fahrradtypen Citybike und Mountainbike bezüglich des Attention Wertes

Der Einfluss der Variable Fahrradtyp wurde auch in Bezug auf die Variable Attention untersucht. Dafür wurde folgende Hypothese mit entsprechender Nullhypothese aufgestellt:

H 4.2₀ Die Verteilung der Attention Werte ist mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike identisch.

H 4.2₁ Der Attention Wert ist mit den Fahrradtyp Citybike signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Mountainbike.

Es wurde bei diesem Hypothesentest vermutet, dass der Attention Wert mit dem Fahrradtyp Citybike höher ist als mit dem Fahrradtyp Mountainbike, da davon ausgegangen wurde, dass die Testpersonen auf dem vermeintlich unkomfortableren Citybike sich mehr auf die Fahrt fokussieren, während sie auf dem Fahrradtyp Mountainbike sich eher durch andere Gedanken ablenken lassen.

Auch hier unterscheiden sich die Mittelwerte, auf Grund des paarweisen Fallausschlusses der fehlenden Werte die Stichprobengröße der Paare, leicht von den vorherigen Werten. Die Stichprobengröße beträgt nun $n = 20$. Somit wurden 2 Stichproben mit dem Fahrradtyp Citybike und 3 mit dem Fahrradtyp Mountainbike ausgeschlossen.

Fahrrad		Attention Asphalt	Attention Schotter	Attention Pflaster
Citybike	N	20	20	20
	Mittelwert	51,85	47,63	58,69
	Median	50,10	49,26	56,61
	Standardabweichung	10,49	9,73	12,45
	Minimum	35,24	29,81	36,05
	Maximum	70,89	64,18	82,38
Mountainbike	N	20	20	20
	Mittelwert	48,69	43,19	48,87
	Median	48,04	42,70	48,65
	Standardabweichung	8,21	9,21	11,70
	Minimum	32,51	27,50	33,95
	Maximum	68,62	65,28	69,25

Tabelle 19: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des Attention Wertes nach Oberflächen mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Tabelle 19 verdeutlicht, dass die Mittelwerte als auch die Mediane des Attention Wertes mit dem Fahrradtyp Citybike auffällig höher sind als mit dem Fahrradtyp Mountainbike. Lediglich auf der Oberfläche Asphalt liegen die Werte relativ nah beieinander.

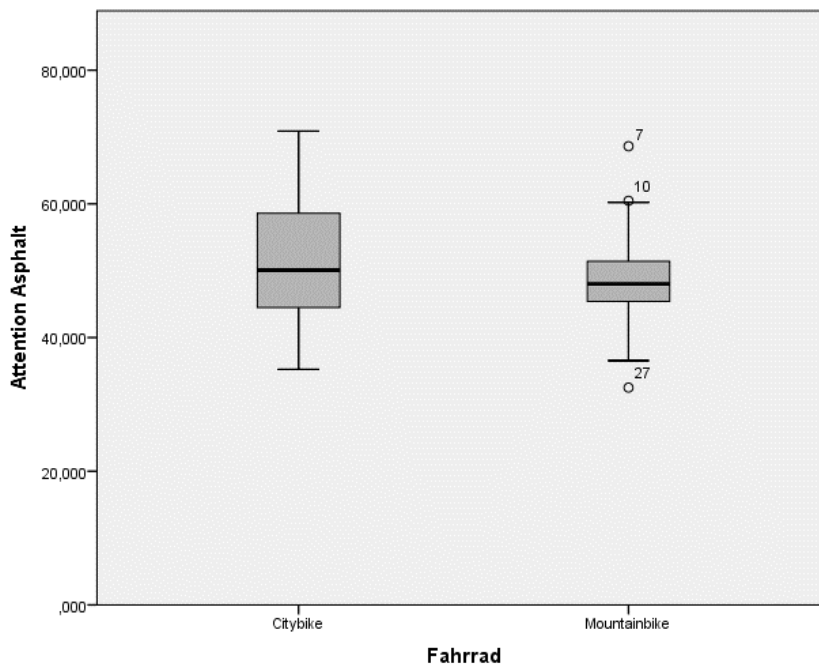


Abbildung 31: Boxplot der Attention Werte auf der Oberfläche Asphalt mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

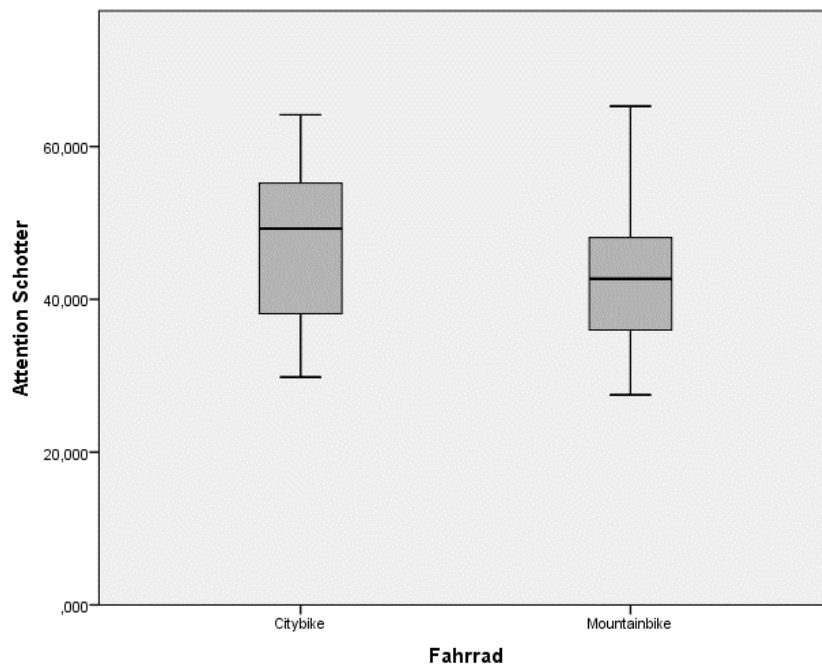


Abbildung 32: Boxplot der Attention Werte auf der Oberfläche Schotter mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

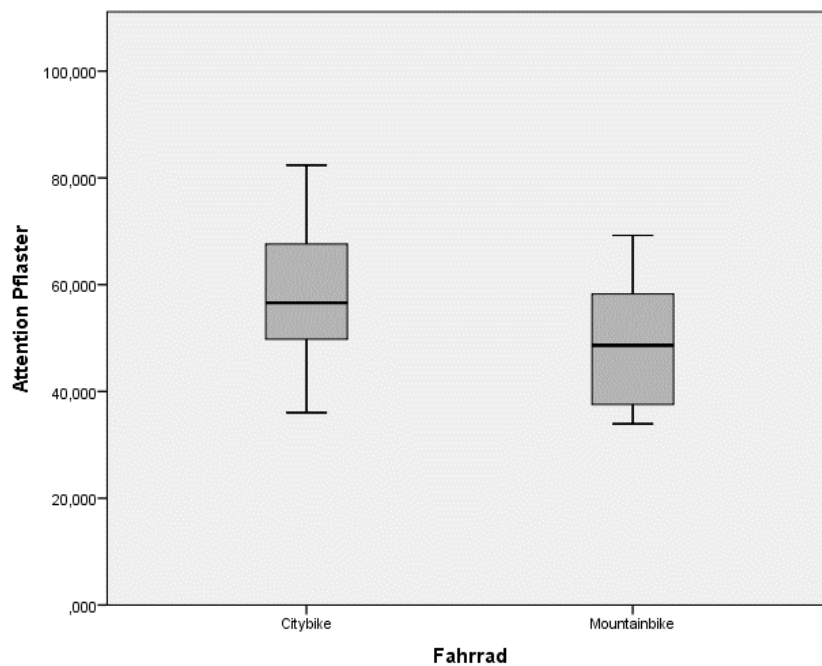


Abbildung 33: Boxplot der Attention Werte auf der Oberfläche Schotter mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Die beschriebenen Unterschiede sind auch mit Hilfe der Boxplots (Abbildung 31-33) gut ablesbar.

Wie bereits bei der Variable elektrodermale Reaktionen/Sekunde wurden zwei t-tests für verbundene Stichproben (auf Niveau $\alpha = 0,05$) durchgeführt. Beim ersten t-test wurden die Attention Werte auf den drei Oberflächen für jeden Fahrradtyp einzeln mit

der Funktion Mittelwert aggregiert und somit ein Vergleich zwischen den beiden Fahrradtypen auf allen Oberflächen insgesamt durchgeführt. Im Anschluss wurde ein t-test durchgeführt bei dem der Einfluss auf der jeder Oberfläche einzeln untersucht wurde. Bei beiden Tests war die Voraussetzung der Normalverteilung der Differenzen zwischen den Variablen gegeben.

T-test nach Fahrradtyp unabhängig von der Oberfläche

Der Vergleich der Attention Werte nach Fahrradtyp in Tabelle 20 und Abbildung 34 macht deutlich, dass der Mittelwert mit dem Fahrradtyp Citybike wie zuvor erwartet auffällig höher ist. Dies trifft auch auf den Median zu.

	Attention Wert alle Oberflächen MTB	Attention Wert alle Oberflächen Citybike
N	20	20
Mittelwert	46,92	52,72
Median	44,99	52,66
Standardabweichung	8,77	9,77
Minimum	33,21	33,70
Maximum	64,13	68,81

Tabelle 20: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der Attention Werte mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

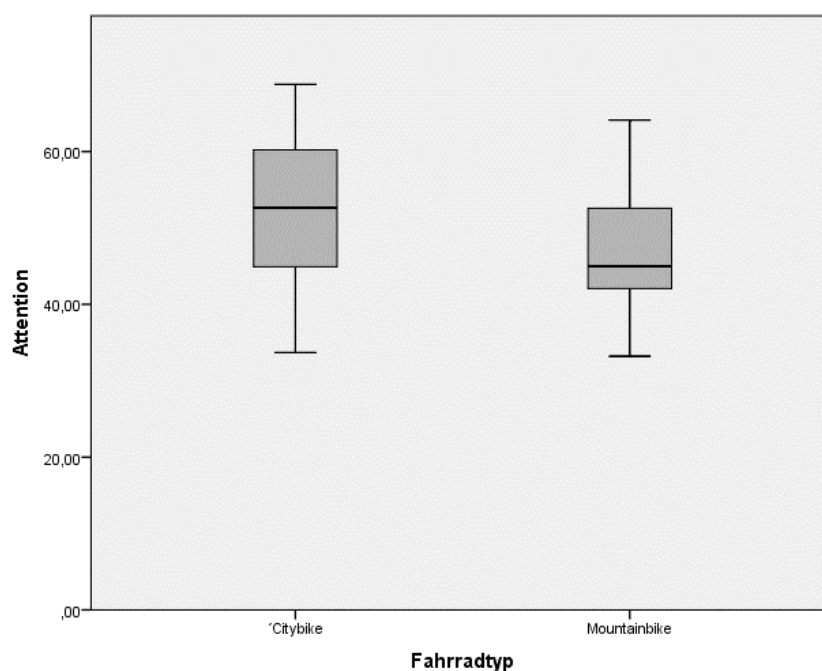


Abbildung 34: Boxplots der Attention Werte auf allen Oberflächen mit Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Der einseitig gerichtete t-test hat ergeben, dass der Attention Wert mit dem Citybike signifikant höher ist als mit dem Mountainbike ($t = 2,18$; $p = .02$; $n = 20$).

Die Effektstärke liegt nach Cohen (1992) liegt bei $r = .45$ was einem mittleren Effekt entspricht.

H 4.2₁ konnte in diesem Fall also angenommen werden.

T-test nach Fahrradtyp abhängig von der Oberfläche

Um zu prüfen, welchen Einfluss der Fahrradtyp auf den Attention Wert auf den einzelnen Oberflächen hatte, wurde ein t-test für verbundene Stichproben (auf Niveau $\alpha = 0,05$) durchgeführt.

Wie bereits in Tabelle 19 zu sehen ist, liegen bei dieser Stichprobe die Mittelwerte auf den Oberflächen Asphalt und Pflasterstein nah beieinander.

Der einseitig gerichtete t-test hat ergeben, dass der Fahrradtyp auf den Oberflächen Asphalt ($t = 1.31$, $p = .10$ $n = 20$) und auf der Oberfläche Schotter ($t = .1.53$, $p = .07$ $n = 20$) keinen signifikanten Einfluss auf den Attention Wert hat. Auf der Oberfläche Pflasterstein ($t = 2.99$, $p = .00$ $n = 20$) sind die Attention Werte mit dem Fahrradtyp Citybike signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Mountainbike. Nach Cohen wurde auf der Oberfläche Pflasterstein eine Effektstärke von $r = .57$ berechnet, was einem starken Effekt entspricht.

Auf der Oberfläche Schotter ist eine statistische Tendenz ($p < .10$) sowie eine mittlere Effektstärke von $r = .33$ feststellbar. Die mit G*Power berechnete Teststärke beträgt hier $1-\beta = .41$.

Auf der Oberfläche Schotter kann nach Rasch et al. (2014) somit weder H 4.2₀ beibehalten noch H 4.2₁ angenommen werden.

Auf der Oberfläche Pflasterstein wurde H 4.2₁ angenommen und auf der Oberfläche Asphalt H 4.2₀ beibehalten.

5.3.4 Zusätzliche statistische Untersuchungen

Auch mit der Variable Attention wurden bivariate Korrelationsanalysen mit den restlichen Variablen durchgeführt. Es konnten jedoch auch hier keine signifikanten Korrelationen entdeckt werden.

Zusätzlich wurden t-tests für unabhängige Stichproben durchgeführt um zu überprüfen, ob die Variable Geschlecht einen Einfluss auf den Attention Wert hat. Es konnten jedoch auch hier keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

5.4 Meditation (Elektroenzephalografie)

Als dritter und letzter Indikator für den gemessenen Fahrkomfort wurde der Meditation Wert untersucht, welcher im Rahmen der Elektroenzephalografie gemessen wurde.

Die Vorgehensweise gleicht den zuvor durchgeführten Hypothesentests.

Folglich wurde folgende Hypothese bzw. ihre entsprechende Nullhypothese geprüft.

H 3.3₀ Die Verteilung des Meditation Wertes ist auf den Oberflächen Asphalt, Schotter, Pflasterstein identisch.

H 3.3₁ Der Meditation Wert ist auf der Oberfläche Asphalt signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Pflasterstein.

Diese Hypothese wurde getestet um zu überprüfen, ob ein signifikanter Einfluss der Variable Oberfläche auf den Meditation Wert und somit einen der festgelegten Indikatoren für den Fahrkomfort festzustellen ist. Die Vermutung lag hierbei darin, dass der Meditation Wert auf der Oberfläche Asphalt am höchsten, da die Testpersonen hier „mental entspannter“ sind als auf den beiden anderen Oberflächen.

5.4.1 Hypothesentest des Meditation Wertes mit dem Fahrradtyp Citybike

	Meditation Citybike Asphalt	Meditation Citybike Schotter	Meditation Citybike Pflaster
<i>N</i>	22	22	22
Mittelwert	51,63	51,17	50,72
Median	54,13	50,09	50,93
Standardabweichung	10,05	9,63	9,82
Minimum	29,04	34,70	34,49
Maximum	65,00	70,10	72,07

Tabelle 21: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des Attention Wertes nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung

Tabelle 21 macht deutlich, dass kaum Unterschiede zwischen den drei Oberflächen feststellbar sind. Dennoch entspricht die Rangfolge der Mittelwerte den Erwartungen, wobei der Wert auf der Oberfläche Asphalt am höchsten und auf der Oberfläche Pflasterstein am geringsten ist. Der Median ist auf der Oberfläche Asphalt auffällig höher.

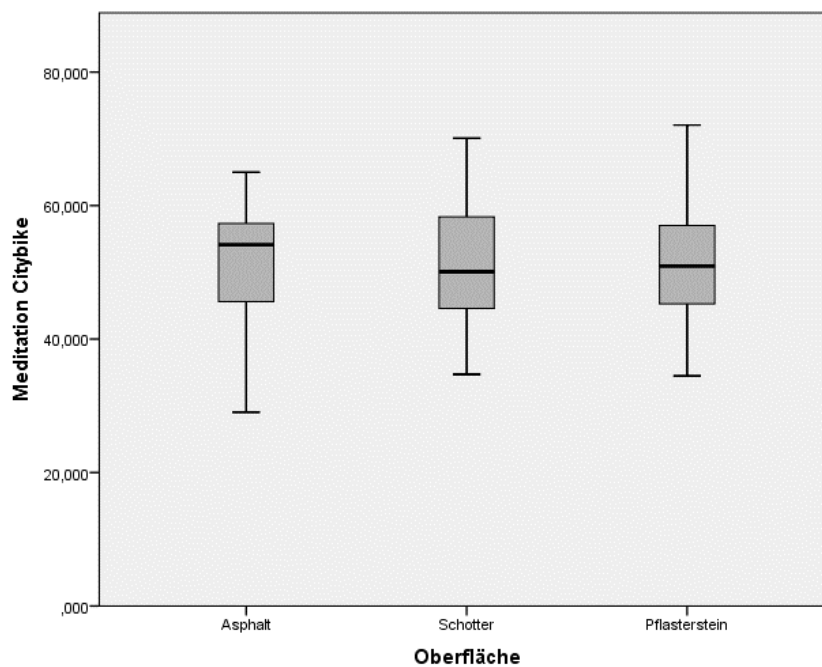


Abbildung 35: Boxplot Meditation nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung

Es wurde wieder eine ANOVA mit Messwiederholung (auf Niveau $\alpha = 0,05$) mit dem Meditation Wert als abhängige Variable und der Oberfläche als unabhängige Variable durchgeführt um zu prüfen, ob diese Unterschiede signifikant sind.

Die vorangegangene Prüfung der Voraussetzungen ergab, dass sowohl die Sphärizität, als auch die Normalverteilung gegeben war.

Die ANOVA mit Messwiederholung (Sphärizität angenommen: Mauchly- $W(2) = .98$, $p = .85$) hat demnach ergeben, dass die Variable Meditation mit dem Fahrradtyp Citybike nicht von der Oberfläche abhängt ($F(2,42) = .19$, $p = .83$, partielles $\eta^2 = .01$, $n = 22$).

Auf einen Post Hoc Vergleich konnte somit auch verzichtet werden.

H 3.2₀ wird in diesem Fall beibehalten.

5.4.2 Hypothesentest des Meditation Wertes mit dem Fahrradtyp Mountainbike

Die Meditation Werte liegen auch beim Fahrradtyp Mountainbike auf allen drei Oberflächen nahe beieinander, wobei der Mittelwert auf der Oberfläche Asphalt etwas höher ist als auf den anderen zwei Oberflächen. Auch ist der Mittelwert auf der Oberfläche Schotter höher als auf der Oberfläche Pflasterstein. Somit entsprechen die Unterschiede, auch wenn sie gering ausfallen, zunächst den Erwartungen.

	Meditation MTB Asphalt	Meditation MTB Schotter	Meditation MTB Pflaster
<i>N</i>	23	23	23
Mittelwert	52,88	51,31	49,82
Median	53,10	52,58	49,14
Standardabweichung	9,66	8,30	10,04
Minimum	35,52	38,93	34,07
Maximum	71,56	68,94	69,57

Tabelle 22: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des Attention Wertes auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

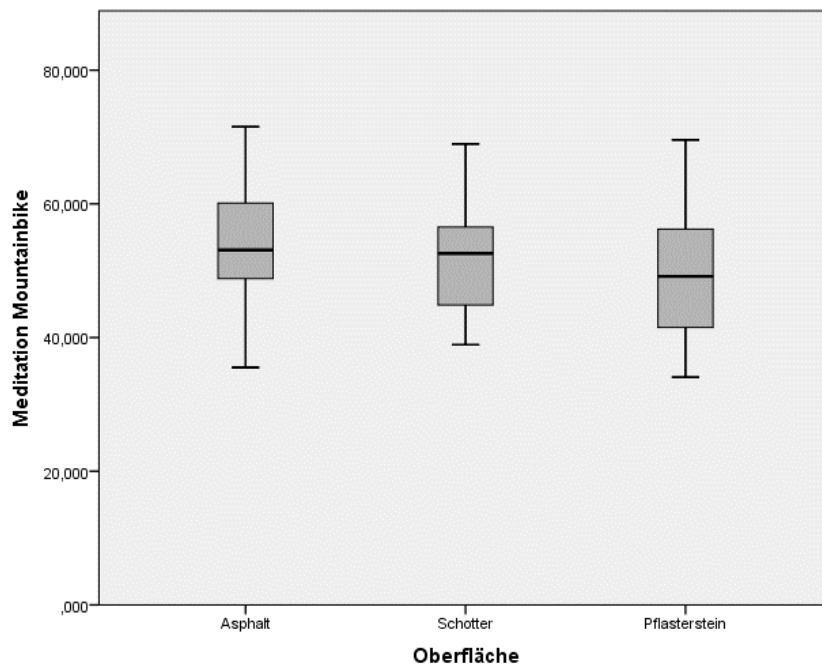


Abbildung 36: Boxplot Meditation nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Es wurde eine ANOVA mit Messwiederholung (auf Niveau $\alpha = 0,05$) mit dem Meditation Wert als abhängige Variable und der Oberfläche als unabhängige Variable durchgeführt. Auch in diesem Fall war sowohl die Sphärizität, als auch die Normalverteilung gegeben.

Die ANOVA mit Messwiederholung (Sphärizität angenommen: $\text{Mauchly-}W(2) = .99$, $p = .99$ hat demnach ergeben, dass die Variable Meditation auch mit dem Fahrradtyp Mountainbike nicht von der Oberfläche abhängt ($F(2,44) = 1,74$, $p = .19$, partielles $\eta^2 = .07$, $n = 23$).

Es konnte somit auch hier auf die Post-hoc Vergleiche verzichtet werden.

H 3.3₀ wird auch mit dem Fahrradtyp Mountainbike beibehalten.

5.4.3 Vergleich der Fahrradtypen Citybike und Mountainbike bezüglich des Meditation Wertes

Es wurde wie zuvor auch der Einfluss der Variable Fahrradtyp auf den Indikator für Fahrkomfort, in diesem Fall den Meditation Wert, untersucht.

Dafür wurde folgende Hypothese mit entsprechender Nullhypothese aufgestellt und getestet:

H 4.3₀ Die Verteilung der Meditation Werte ist mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike identisch.

H 4.3₁ Der Meditation Wert ist mit den Fahrradtyp Mountainbike signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Citybike.

Es wurde bei diesem Hypothesentest vermutet, dass der Meditation Wert mit dem Fahrradtyp Mountainbike höher ist als mit dem Fahrradtyp Mountainbike, da davon ausgegangen wurde, dass die Testpersonen auf dem vermeintlich komfortableren Mountainbike „entspannter“ waren als auf dem Fahrradtyp Citybike.

Durch den Ausschluss von fehlenden Werten unterscheiden sich die Mittelwerte etwas von den vorherigen. Die Stichprobengröße beträgt nun $n = 20$. Somit wurden zwei Stichproben mit dem Fahrradtyp Citybike und drei mit dem Fahrradtyp Mountainbike ausgeschlossen.

Fahrrad		Meditation Asphalt	Meditation Schotter	Meditation Pflaster
Citybike	N	20	20	20
	Mittelwert	51,64	51,33	51,29
	Median	54,13	50,09	50,93
	Standardabweichung	10,22	9,63	9,84
	Minimum	29,04	34,70	34,49
	Maximum	65,00	70,10	72,07
Mountainbike	N	20	20	20
	Mittelwert	52,35	50,76	50,06
	Median	52,15	51,87	49,73
	Standardabweichung	10,14	8,31	10,29
	Minimum	35,52	38,93	34,07
	Maximum	71,56	68,94	69,57

Tabelle 23: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des Meditation Wertes nach Oberflächen mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Tabelle 23 zeigt, dass kaum Unterschiede zwischen den beiden Fahrradtypen feststellbar sind.

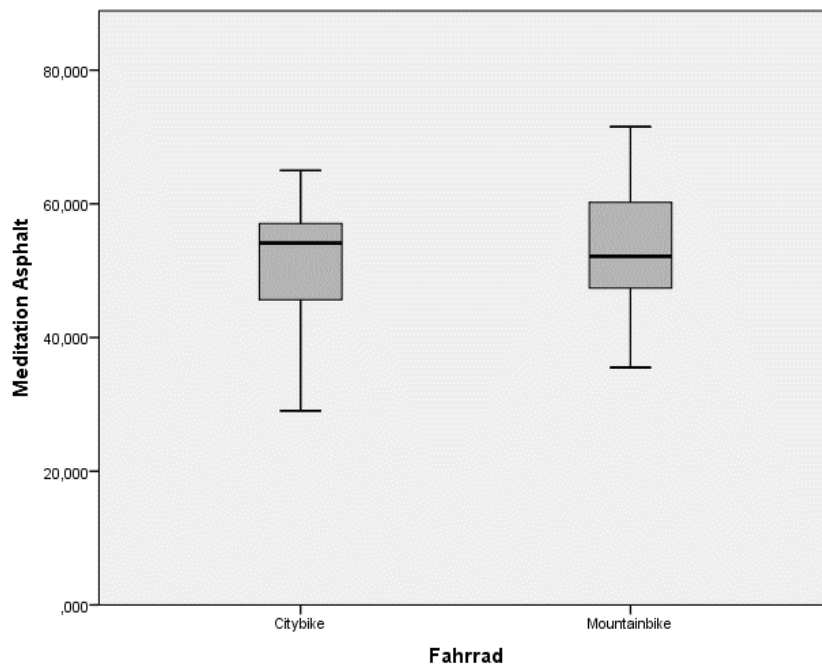


Abbildung 37: Boxplot der Meditation Werte auf der Oberfläche Asphalt mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

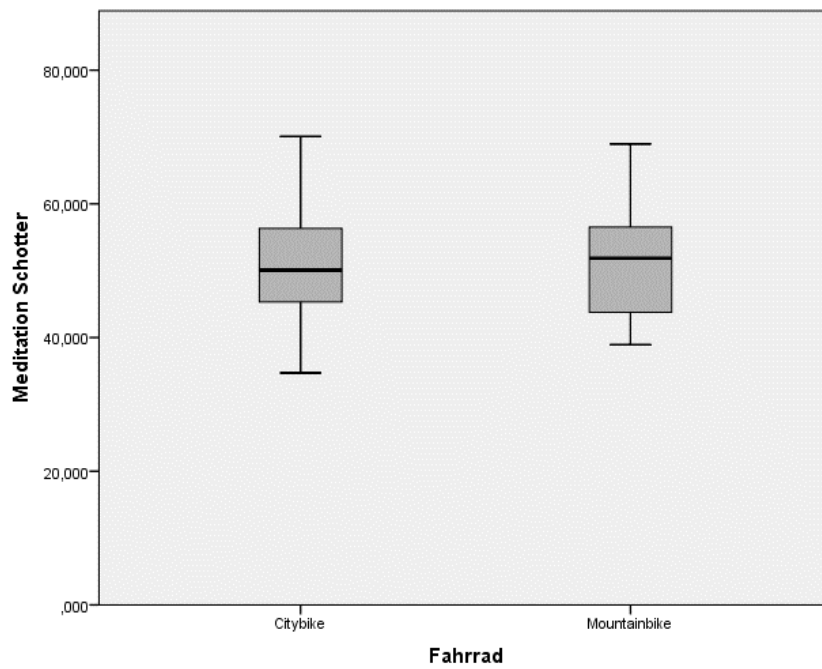


Abbildung 38: Boxplot der Meditation Werte auf der Oberfläche Schotter mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

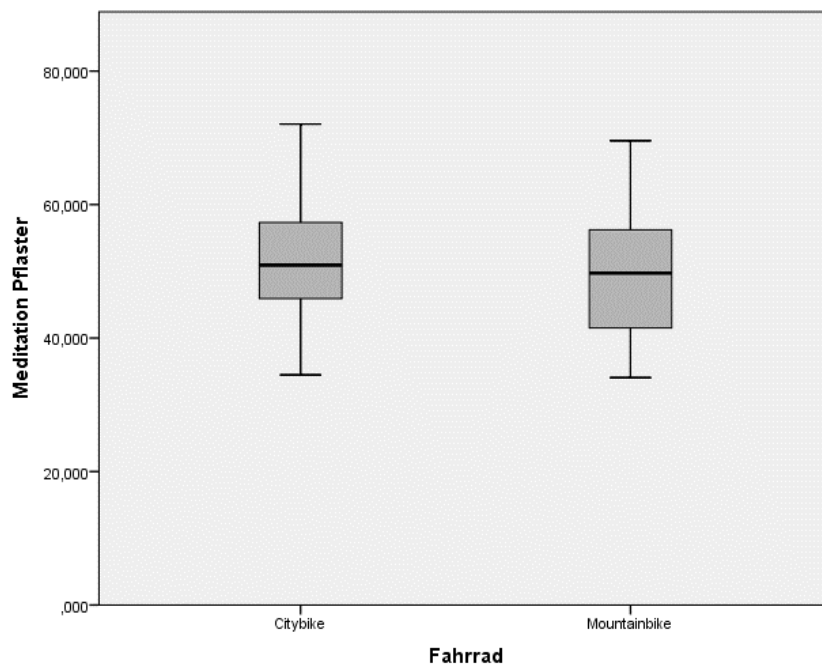


Abbildung 39: Boxplot der Meditation Werte auf der Oberfläche Pflasterstein mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Auch wenn auf den ersten Blick keine relevanten Unterschiede feststellbar sind, wurden wieder zwei t-tests für verbundene Stichproben (auf Niveau $\alpha = 0,05$) durchgeführt. Dies erfolgte einmal unabhängig von der Oberfläche und nochmal für jede Oberfläche separat.

Bei allen Tests war die Voraussetzung der Normalverteilung der Differenzen zwischen den Variablen gegeben.

T-test nach Fahrradtyp unabhängig von der Oberfläche

Die Werte in Tabelle 24 und Abbildung 40 machen deutlich, dass die Mittelwerte der Meditation Werte sehr nahe beieinander liegen bzw. fast identisch sind. Die Mediane unterscheiden sich etwas deutlicher.

	Meditation alle Oberflächen Citybike	Meditation alle Oberflächen Mountainbike
<i>N</i>	20	20
Mittelwert	51,42	51,05
Median	51,40	49,95
Standardabweichung	9,00	8,40
Minimum	34,81	36,99
Maximum	65,71	66,17

Tabelle 24: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der Meditation Werte mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

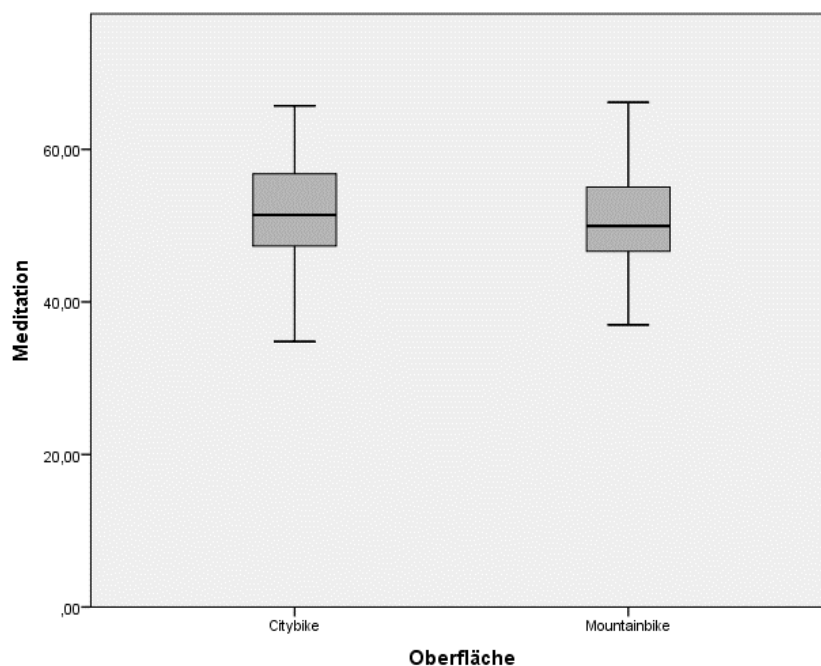


Abbildung 40: Boxplots des Meditation Wertes auf allen Oberflächen mit Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Der einseitig gerichtete t-test hat ergeben, dass der Fahrradtyp keinen signifikanten Einfluss auf den Meditation Wert hat ($t = .13$; $p = .45$, $n = 20$).

H 4.3₀ wurde hier beibehalten.

T-test nach Fahrradtyp abhängig von der Oberfläche

Wie bereits in Tabelle 23 zu sehen ist, liegen bei dieser Stichprobe die Mittelwerte auf allen Oberflächen nahe beieinander.

Der einseitig gerichtete t-test (auf Niveau $\alpha = 0,05$) hat ergeben, dass der Fahrradtyp auf den Oberflächen Asphalt ($t = -.25$, $p = .40$, $n = 20$), Oberfläche Schotter ($t = .18$, $p = .43$, $n = 20$) und auf der Oberfläche Pflasterstein ($t = .35$, $p = .37$, $n = 20$) keinen signifikanten Einfluss auf den Meditation Wert hat.

H 4.3₀ kann somit auf allen drei Oberflächen beibehalten werden.

5.4.4 Zusätzliche statistische Untersuchungen

Die bivariaten Korrelationsanalysen haben auch bei der Variable Meditation keine signifikanten Korrelationen hervorgebracht.

Mit Hilfe der t-tests für unabhängige Stichproben mit der Variable Geschlecht als unabhängige Variable wurden auf der Oberfläche Schotter mit dem Fahrradtyp Mountainbike ($t = 2.31$, $p = .03$, $n = 20$) signifikante Unterschiede entdeckt. Der Mittelwert ist hier bei den weiblichen Testpersonen ($M = 55,60$; $SD = 5,44$) signifikant höher als bei den männlichen Testpersonen ($M = 48,38$; $SD = 8,64$).

Auf den anderen Oberflächen bzw. mit den anderen Fahrradtypen sind die Unterschiede hingegen deutlich insignifikant.

Die Bedeutung dieses Unterschiedes ist hier nicht erklärbar. Es kann jedoch vermutet werden, dass das Geschlecht einen Einfluss auf die Variable Meditation haben könnte. Dieser Verdacht wird auch durch die in Tabelle 25 dargestellten Mittelwerte bekräftigt, welche in allen möglichen Kombinationen bei den weiblichen Testpersonen einen höheren Wert aufweisen. Zu beachten ist hier jedoch auch die unterschiedliche Stichprobenzahl zwischen männlichen und weiblichen Testpersonen.

	Geschlecht	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Meditation Citybike Asphalt	Weiblich	8	53,33	9,20	3,25
	Männlich	14	50,67	10,72	2,87
Meditation Citybike Schotter	Weiblich	8	51,34	9,78	3,46
	Männlich	14	51,08	9,92	2,65
Meditation Citybike Pflaster	Weiblich	8	52,09	7,56	2,67
	Männlich	14	49,94	11,09	2,97
Meditation MTB Asphalt	Weiblich	9	54,88	8,79	2,93
	Männlich	14	51,60	10,29	2,75
Meditation MTB Schotter	Weiblich	9	55,86	5,44	1,81
	Männlich	14	48,38	8,64	2,31
Meditation MTB Pflaster	Weiblich	9	50,92	10,91	3,64
	Männlich	14	49,11	9,80	2,62

Tabelle 25: Vergleich der Mittelwerte des Meditation Wertes abhängig vom Geschlecht; Quelle: eigene Erhebung

5.5 Subjektiver Fahrkomfort und Kraftaufwand (Fragebogen)

Neben dem gemessenen Fahrkomfort bzw. dessen Indikatoren wurden auch die Ergebnisse im Rahmen der Fragebögen untersucht. Wie zuvor beschrieben, wurden für den subjektiven Fahrkomfort die Testpersonen mittels Fragebogen nach jeder Testfahrt gefragt, wie komfortabel und wie anstrengend die Fahrt für sie auf jeder Oberfläche war.

5.5.1 Subjektiver Komfort

Die sechsstufige Skala aus dem Fragebogen wurde zur statistischen Auswertung, wie folgt in Zahlenwerte umcodiert:

Sehr unkomfortabel	unkomfortabel	eher unkomfortabel	eher komfortabel	komfortabel	sehr komfortabel
1	2	3	4	5	6

Tabelle 26: Umcodierung der subjektiven Variable Komfort in Zahlenwerte; Quelle: eigene Erhebung

Für den subjektiv gemessenen Komfort wurde folgende Hypothese und ihre entsprechende Nullhypothese aufgestellt:

H 5.1₀ Die Verteilung des subjektiven Komforts ist auf allen drei Oberflächen identisch.

H 5.1₁ Der subjektive Komfort ist auf der Oberfläche Asphalt signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Pflasterstein.

Die Untersuchungen wurden wieder separat für jeden Fahrradtyp durchgeführt mit anschließendem Vergleich zwischen den Fahrradtypen.

Da es sich bei dieser Variable um eine ordinalskalierte Variable handelt, wurde der nichtparametrische Friedman-Test verwendet. Da für den Friedman-Test keine Voraussetzungen, wie die Normalverteilung, zu prüfen sind, konnte auf Voruntersuchungen verzichtet werden.

5.5.1.1 Hypothesentest des subjektiven Komforts mit dem Fahrradtyp Citybike

Die Ergebnisse in Tabelle 27 verdeutlichen, dass die Mittelwerte des subjektiven Komforts, sich wie zuvor erwartet, verhalten. Es ist eine klare Abstufung zwischen den drei Oberflächen erkennbar, wobei der Wert auf der Oberfläche am höchsten ist.

	Subjektiver Komfort Citybike Asphalt	Subjektiver Komfort Citybike Schotter	Subjektiver Komfort Citybike Pflaster
<i>N</i>	29	29	29
Mittelwert	5,17	3,79	1,72
Median	5,00	4,00	1,00
Standardabweichung	,97	1,01	,84
Minimum	3	2	1
Maximum	6	6	3

Tabelle 27: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des subjektiven Komforts auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung

Der Friedman-Test ($\text{Chi-Quadrat}(2) = 54.84, p = .00, n = 29$) hat ergeben, dass die Variable Oberfläche einen signifikanten Einfluss auf den subjektiven Komfort hat. Der paarweise Vergleich nach Bonferroni-Korrektor ergibt auch für alle Kombinationen einen Wert von $p = .00$.

Die Effektstärken nach Cohen (1992) sind wie folgt:

- Asphalt und Schotter $r = .15$
- Schotter und Pflasterstein $r = .20$

Dies entspricht in beiden Fällen einem schwachen Effekt.

Dennoch ist der Effekt signifikant und somit kann $H_{5.2_1}$ angenommen werden.

5.5.1.2 Hypothesentest des subjektiven Komforts mit dem Fahrradtyp Mountainbike

Wie bereits beim Citybike ist auch beim Mountainbike eine Abstufung der Mittelwerte zwischen den Oberflächen erkennbar. Die Reihung ist dabei wie zuvor erwartet.

	Subjektiver Komfort Mountainbike Asphalt	Subjektiver Komfort Mountainbike Schotter	Subjektiver Komfort Mountainbike Pflaster
<i>N</i>	28	28	28
Mittelwert	5,79	4,61	3,04
Median	6,00	5,00	3,00
Standardabweichung	,63	1,10	1,23
Minimum	3	3	1
Maximum	6	6	5

Tabelle 28: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des subjektiven Komforts auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Der Friedman-Test ($\chi^2(2) = 49.55, p = .00, n = 28$) hat auch beim Mountainbike ergeben, dass die Variable Oberfläche einen signifikanten Einfluss auf den subjektiven Komfort hat.

Der paarweise Vergleich nach Bonferroni-Korrektor ergibt für das Paar Pflasterstein und Schotter $p = .00$.

Der Vergleich der Paare Schotter und Asphalt ergab $p = .01$

Die Effektstärken nach Cohen (1992) sind wie folgt:

- Asphalt und Schotter $r = .33$
- Schotter und Pflasterstein $r = .19$

Dies entspricht bei dem Paar Asphalt und Schotter einem mittleren und bei dem anderen Paar einem schwachen Effekt.

H 5.1₁ kann auch beim Fahrradtyp Mountainbike angenommen werden.

5.5.1.3 Vergleich der Fahrradtypen Citybike und Mountainbike bezüglich des subjektiven Komforts

Für den Vergleich zwischen den beiden Fahrradtypen in Bezug auf den subjektiven Komfort wurde folgende Hypothese und ihre Nullhypothese aufgestellt:

H 6.1₀ Die Verteilung des subjektiven Komforts ist mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike identisch.

H 6.1₁ Der subjektive Komfort ist mit dem Fahrradtyp Mountainbike signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Citybike.

Der Verdacht lag hierbei nahe, dass sich die Testpersonen subjektiv auf dem gefederten und mit mehr Gängen versehenen Mountainbike komfortabler fühlen als auf dem ungefederten, nur mit drei Gängen und mit Vollgummireifen ausgestatteten Citybike.

Da eine Testperson nicht mit dem Mountainbike gefahren ist, wurden deren Angaben zum Komfort auf dem Citybike in dieser Untersuchung ausgeschlossen. Somit gilt für beide Fahrradtypen $n = 28$

Tabelle 29 zeigt, dass die Mittelwerte mit dem Fahrradtyp Mountainbike auf allen drei Oberflächen höher sind.

Fahrrad		subjektiver Komfort	subjektiver Komfort	subjektiver Komfort
		Asphalt	Schotter	Pflaster
Citybike	Mittelwert	5,18	3,79	1,68
	<i>N</i>	28	28	28
	Standardabweichung	,98	1,03	,82
Mountainbike	Mittelwert	5,79	4,61	3,04
	<i>N</i>	28	28	28
	Standardabweichung	,63	1,10	1,23

Tabelle 29: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des subjektiven Kraftaufwandes nach Oberflächen mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Um den Einfluss der Variable Fahrradtyp auf die Variable subjektiver Komfort zu testen, wurden zwei Friedman-Tests durchgeführt. Beim ersten Test wurden die Werte, wie bei den bisherigen Hypothesentests, für alle Oberflächen zusammengefasst und ein

Vergleich der beiden Fahrräder insgesamt durchgeführt.

Der zweite Friedman-Test wurde wieder für jede Oberfläche einzeln durchgeführt.

Friedman-Test nach Fahrradtyp unabhängig von der Oberfläche

Wie zu erwarten, ist der Mittelwert des subjektiven Komforts mit dem Mountainbike höher als mit dem Citybike.

	Subjektiver Komfort Citybike alle Oberflächen	Subjektiver Komfort MTB alle Oberflächen
<i>N</i>	28	28
Mittelwert	3,55	4,48
Median	3,50	4,67
Standardabweichung	,73	,81
Minimum	2,33	2,33
Maximum	5,00	5,67

Tabelle 30: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des subjektiven Komforts mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Der Friedman-Test ($\text{Chi-Quadrat}(1) = 17.64, p = .00, n = 28$) hat ergeben, dass der subjektive Komfort mit dem Fahrradtyp Mountainbike signifikant höher ist als mit dem Fahrradtyp Citybike.

Friedman-Test nach Fahrradtyp abhängig von der Oberfläche

Wie zuvor bereits in Tabelle 29 zu sehen war, waren die Mittelwerte auf allen drei Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike höher. Die Signifikanz dieser Unterschiede wurde hier mit dem Friedman-Test überprüft.

Folgende Ergebnisse ergaben sich für die drei Oberflächen:

- Asphalt (Friedman-Test: $\text{Chi-Quadrat}(1) = 12.00, p = .00, n = 28$)
- Schotter (Friedman-Test: $\text{Chi-Quadrat}(1) = 11.64, p = .00, n = 28$)
- Pflasterstein (Friedman-Test: $\text{Chi-Quadrat}(1) = 15.70, p = .00, n = 28$)

Der subjektive Komfort ist somit auf allen drei Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike signifikant höher als mit dem Citybike.

H 6.1₁ kann somit unabhängig von der Oberfläche, als auch auf allen drei Oberflächen einzeln angenommen werden.

5.5.2 Subjektiver Kraftaufwand

Auch hier wurde die sechsstufige Skala aus dem Fragebogen zur statistischen Auswertung, wie folgt in Zahlenwerte umcodiert:

Sehr anstrengend	anstrengend	Eher anstrengend	Eher mühelos	mühelos	Sehr mühelos
6	5	4	3	2	1

Tabelle 31 Umcodierung der subjektiven Variable Kraftaufwand in Zahlenwerte; Quelle: eigene Erhebung

H 5.2₀ Die Verteilung des subjektiven Kraftaufwandes ist auf allen drei Oberflächen identisch.

H 5.2₁ Der subjektive Kraftaufwand ist auf der Oberfläche Pflasterstein signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Asphalt.

Wie zuvor beim subjektiven Komfort wurden auch hier der Friedman-Tests zur Überprüfung der Hypothese durchgeführt.

5.5.2.1 Hypothesentest des subjektiven Kraftaufwandes mit dem Fahrradtyp Citybike

Die Ergebnisse in Tabelle 32 verdeutlichen, dass die Mittelwerte des subjektiven Komforts sich, wie zuvor erwartet, verhalten. Es ist eine klare Abstufung zwischen den drei Oberflächen erkennbar, wobei der Wert auf der Oberfläche Pflasterstein am höchsten ist.

	Subjektiver Kraftaufwand Citybike Asphalt	Subjektiver Kraftaufwand Citybike Schotter	Subjektiver Kraftaufwand CitybikePflaster
N	29	29	29
Mittelwert	2,03	3,97	4,38
Median	2,00	3,00	4,00
Standardabweichung	,91	,98	1,15
Minimum	1	1	2
Maximum	4	5	6

Tabelle 32: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des subjektiven Kraftaufwandes auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung

Der Friedman-Test ($\chi^2(2) = 48.14, p = .00, n = 29$) hat ergeben, dass die Variable Oberfläche einen signifikanten Einfluss auf den subjektiven Kraftaufwand hat. Der paarweise Vergleich nach Bonferroni-Korrektor ergibt auch für alle Kombinationen einen signifikanten Unterschied von $p = .00$ zwischen der Oberfläche Schotter und Asphalt und $p = .00$ zwischen den Oberflächen Pflasterstein und Schotter.

Die Effektstärken nach Cohen (1992) sind wie folgt:

- Asphalt und Schotter $r = .15$
- Schotter und Pflasterstein $r = .17$

Dies entspricht in beiden Fällen einem schwachen Effekt.

Der Effekt ist jedoch signifikant und somit kann $H_{5.21}$ angenommen werden.

5.5.2.2 Hypothesentest des subjektiven Kraftaufwandes mit dem Fahrradtyp Mountainbike

Die Reihung ist in Tabelle 33 wie zuvor beim Citybike auch hier erkennbar. Der Unterschied zwischen den Oberflächen Asphalt und Schotter fällt jedoch auf den ersten Blick auffällig geringer aus als zuvor.

	Subjektiver Kraftaufwand MTB Asphalt	Subjektiver Kraftaufwand MTB Schotter	Subjektiver Kraftaufwand MTB Pflaster
<i>N</i>	28	28	28
Mittelwert	1,18	1,82	3,21
Median	1,00	2,00	3,00
Standardabweichung	,39	,77	,88
Minimum	1	1	2
Maximum	2	3	5

Tabelle 33: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des subjektiven Kraftaufwandes auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Der Friedman-Test ($\chi^2(2) = 50.25, p = .00, n = 28$) hat beim Mountainbike ergeben, dass die Variable Oberfläche einen signifikanten Einfluss auf den subjektiven Kraftaufwand hat.

Der paarweise Vergleich nach Bonferroni-Korrektor ergibt für das Paar Pflasterstein und Schotter $p = .00$.

Der Vergleich der Paare Schotter und Asphalt ergab $p = 0,14$.

Zwischen den Oberflächen Schotter und Asphalt besteht also kein signifikanter Unterschied.

Die Effektstärke nach Cohen (1992) beim Paar Pflasterstein und Schotter liegt bei $r = .22$, was einem schwachen Effekt entspricht.

H 5.2₀ kann für den Fahrradtyp Mountainbike abgelehnt werden.

H 5.2₁ kann jedoch nur bedingt angenommen werden, da kein signifikanter Unterschied zwischen den Oberflächen Schotter und Asphalt feststellbar ist.

5.5.2.3 Vergleich der Fahrradtypen Citybike und Mountainbike bezüglich des subjektiven Kraftaufwandes

Für den Vergleich zwischen den beiden Fahrradtypen in Bezug auf den subjektiven Komfort wurde folgende Hypothese und ihre Nullhypothese aufgestellt:

H 6.2₀ Die Verteilung des subjektiven Kraftaufwandes ist mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike identisch.

H 6.2₁ Der subjektive Kraftaufwand ist mit den Fahrradtyp Citybike signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Mountainbike.

Hierbei wurde davon ausgegangen, dass vor allem die Gangschaltung und somit die Kraftübertragung einen Einfluss auf den Kraftaufwand haben würde. Somit wurde auch davon ausgegangen, dass der subjektive Kraftaufwand auf dem Citybike auch höher sein wird.

Auch hier ist auf Grund einer fehlenden Testfahrt mit dem Citybike für beide Fahrradtypen $n = 28$.

Fahrrad		Subjektiver Kraftaufwand Asphalt	Subjektiver Kraftaufwand Schotter	Subjektiver Kraftaufwand Pflaster
Citybike	Mittelwert	2,03	3,03	4,38
	N	29	29	29
	Standardabweichung	,91	,98	1,15
Mountainbike	Mittelwert	1,18	1,82	3,21
	N	28	28	28
	Standardabweichung	,39	,77	,88

Tabelle 34: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des subjektiven Kraftaufwandes nach Oberflächen mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Friedman-Test nach Fahrradtyp unabhängig von der Oberfläche

Wie zu erwarten ist der Mittelwert des subjektiven Kraftaufwandes mit dem Mountainbike höher als mit dem Citybike.

	Subjektiver Kraftaufwand Citybike alle Oberflächen	Subjektiver Kraftaufwand MTB alle Oberflächen
Mittelwert	3,19	2,07
Median	3,17	2,00
N	28	28
Standardabweichung	,82	,58
Minimum	2,67	3,67
Maximum	5,67	5,67

Tabelle 35: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des subjektiven Kraftaufwandes mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung

Der Friedman-Test ($\text{Chi-Quadrat}(1) = 24.00$, $p = .00$, $n = 28$) hat ergeben, dass der subjektive Kraftaufwand mit dem Fahrradtyp Citybike signifikant höher ist als mit dem Fahrradtyp Mountainbike.

H_1 kann also unabhängig von den Oberflächen angenommen werden.

Friedman-Test nach Fahrradtyp abhängig von der Oberfläche

Die Signifikanz der höheren Mittelwerte mit dem Fahrradtyp Citybike (Tabelle 34) auf allen drei Oberflächen wurde auch hier mit dem Friedman-Test untersucht

Folgende Ergebnisse ergaben sich für die drei Oberflächen

- Asphalt (Friedman-Test: Chi-Quadrat(1) = 16.00, $p = .00$, $n = 28$)
- Schotter (Friedman-Test: Chi-Quadrat(1) = 24.64, $p = .00$, $n = 28$)
- Pflasterstein (Friedman-Test: Chi-Quadrat(1) = 17.19, $p = .00$, $n = 28$)

Der subjektive Kraftaufwand ist somit auf allen drei Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike signifikant höher als mit dem Citybike

H 6.2₁ kann somit unabhängig von der Oberfläche, als auch auf allen drei Oberflächen einzeln angenommen werden.

5.6 Subjektive Einflussfaktoren auf den Fahrkomfort (Fragebogen)

Wie bereits erläutert wurde mittels der Fragebögen erhoben, welche sonstigen Faktoren einen Einfluss auf den subjektiven Fahrkomfort haben und wie groß dieser ist. Die Auswahl der Teststrecke hatte unter anderem den Zweck andere Einflussfaktoren, abgesehen vom Fahrradtyp und der Oberfläche, möglichst gering zu halten. Daher wurde auch bei der Auswertung des Fragebogens davon ausgegangen, dass das Fahrrad selbst und die Oberfläche den stärksten Einfluss auf den Fahrkomfort hatten. Die vierstufige Skala wurde für den Vergleich der Ergebnisse, wie folgt umcodiert:

Kein Einfluss	Geringer Einfluss	Großer Einfluss	Sehr großer Einfluss
1	2	3	4

Tabelle 36: Umcodierung der Einschätzung der Einflussstärke verschiedener Faktoren in Zahlenwerte; Quelle: eigene Erhebung

Wie in Tabelle 37 zu sehen ist, haben, wie erwartet, das Fahrrad und die Oberfläche laut Fragebogen den höchsten Einfluss auf den Fahrkomfort. Alle anderen möglichen Einflussfaktoren haben höchstens einen geringen Einfluss auf den Fahrkomfort.

Einflussvariable	Fahrrad (Citybike)	Fahrrad (Mountainbike)		Oberfläche (Citybike)	Oberfläche (Mountainbike)
<i>N</i>	29	28	<i>N</i>	29	28
Mittelwert	3,31	3,46	Mittelwert	3,55	3,29
Median	3,00	4,00	Median	4,00	3,00
Standard- abweichung	0,66	0,69	Standard- abweichung	0,57	0,66
Minimum	2	2	Minimum	2	2
Maximum	4	4	Maximum	4	4
Einflussvariable	Umgebungs- geräusche (Citybike)	Umgebungs- geräusche (Mountainbike)		Fußgänger (Citybike)	Fußgänger (Mountainbike)
<i>N</i>	29	28	<i>N</i>	29	27
Mittelwert	1,45	1,39	Mittelwert	2,17	2,22
Median	1,00	1,00	Median	2,00	2,00
Standard- abweichung	0,57	0,50	Standard- abweichung	0,85	0,89
Minimum	1	1	Minimum	1	1
Maximum	3	2	Maximum	4	4
Einflussvariable	Radfahrer (Citybike)	Radfahrer (Mountainbike)		Anstrengung (Citybike)	Anstrengung (Mountainbike)
<i>N</i>	29	28	<i>N</i>	29	28
Mittelwert	1,86	1,96	Mittelwert	2,24	2,14
Median	2,00	2,00	Median	2,00	2,00
Standard- abweichung	0,83	0,84	Standard- abweichung	0,872	0,76
Minimum	1	1	Minimum	1	1
Maximum	4	4	Maximum	4	3
Einflussvariable	Wetter- bedingungen (Citybike)	Wetter- bedingungen (Mountainbike)		Messgeräte (Citybike)	Messgeräte (Mountainbike)
<i>N</i>	29	28	<i>N</i>	29	27
Mittelwert	1,97	2,04	Mittelwert	1,48	1,37
Median	2,00	2,00	Median	1,00	1,00
Standard- abweichung	0,91	0,84	Standard- abweichung	0,51	0,49
Minimum	1	1	Minimum	1	1
Maximum	4	4	Maximum	2	2

Tabelle 37: Ergebnisse der Fragebogenauswertung bezüglich der subjektiven Einflussstärke verschiedener Faktoren auf den Fahrkomfort; Quelle: eigene Erhebung

Neben den vorgegebenen Auswahlmöglichkeiten, hatten die Testpersonen auch die Möglichkeit weitere Einflussfaktoren hinzuzufügen, welche ihnen während der Fahrt aufgefallen sind.

Am auffälligsten war hierbei, dass vier Personen angegeben haben, dass Hunde einen geringen bis großen Einfluss auf den Fahrkomfort hatten. Eine Testperson nannte hierbei explizit „Hunde ohne Maulkorb“ als großen Einflussfaktor.

Alle anderen Anmerkungen waren Einzelfälle, aber dennoch interessant genug um sie in der anschließenden Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

So gab eine Testperson an, dass sie sich darauf konzentrieren musste nicht die rechte Hand zum Bremsen zu benutzen, da sich an dieser Hand die Sensoren des E-Sense Hautleitfähigkeitsmessgerätes befanden. Eine weitere Person gab an, dass der Wind einen geringen Einfluss auf den Fahrkomfort hatte. Der Wind wurde im Rahmen der Testfahrten zwar nicht gemessen, er zeigte sich aber in unregelmäßigen Abständen und unterschiedlichen Stärken was auch zusätzlich durch die unmittelbare Nähe zum Donaukanal beeinflusst wurde. Eine andere Testperson gab wiederum an durch ihren Gesundheitszustand bzw. durch ihre Erkältung beeinträchtigt gewesen zu sein. Dadurch hatte der Gesundheitszustand nach ihren Angaben einen großen Einfluss auf den Fahrkomfort. Noch eine Testperson gab an, dass ein „Klicken“ am Pedal beim Citybike einen großen Einfluss hatte. Die gleiche Testperson gab beim Mountainbike an, dass das Pedal für sie ungewohnt war, da es sich hierbei um ein Klickpedal handelte.

Des Weiteren wurden noch folgende Einflussfaktoren genannt.

- Einhaltung der Teststrecke (geringer Einfluss)
- Kinder (geringer Einfluss)
- Interessante Gegend (geringer Einfluss)
- Wechsel des Fahrbahnbelags (großer Einfluss)
- Breite des Radwegs / Verfügbarer Platz (Sehr großer Einfluss)

6 Diskussion und Interpretation

Dieses Kapitel beinhaltet die Zusammenfassung der Ergebnisse sowie deren Interpretation. Anschließend folgen das Fazit sowie Empfehlungen für zukünftige Studien.

6.1 Ergebnisse

In folgender Tabelle werden alle Ergebnisse der Hypothesentests zusammengefasst dargestellt und im Anschluss genauer erläutert.

Alternativhypothese und Variablen	Statistisches Verfahren	Ergebnis und Signifikanz	Bemerkungen
<p>H 1.1 Die vertikale Beschleunigung ist auf der Oberfläche Pflasterstein signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Asphalt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oberfläche (unabhängig) • Vertikale Beschleunigung (abhängig) 	ANOVA mit Messwiederholung	<p>Signifikanter Einfluss der Oberfläche auf die vertikale Beschleunigung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Citybike ($p = .00$) • MTB ($p = .00$) 	Die Oberfläche hatte mit beiden Fahrrädern einen signifikanten Einfluss auf die vertikalen Beschleunigungswerte. Die Unterschiede zwischen den Oberflächen waren ebenfalls signifikant.
<p>H 2.1 Die vertikale Beschleunigung mit den Fahrradtypen Citybike ist auf allen Oberflächen signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Mountainbike.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fahrrad (unabhängig) • Vertikale Beschleunigung (abhängig) 	t-test für verbundene Stichproben	<p>Nullhypothese beibehalten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Asphalt ($p = .38$) • Schotter ($p = .18$) <p>Weder Null- noch Alternativhypothese</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pflasterstein ($p = .09$) 	Auf Grund der geringen Teststärke und dem statistischen Trend auf der Oberfläche Pflasterstein konnte weder die Null- noch die Alternativhypothese angenommen werden.
<p>H 3.1 Die elektrodermalen Reaktionen/Sekunde sind auf der Oberfläche Pflasterstein signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Asphalt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oberfläche (unabhängig) • Elektrodermale Reaktionen/Sekunde (abhängig) 	ANOVA mit Messwiederholung	<p>Nullhypothese beibehalten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Citybike ($p = .79$) • MTB ($p = .55$) 	Die Oberfläche hatte mit beiden Fahrrädern keinen signifikanten Einfluss auf die elektrodermalen Reaktionen/Sekunde.

Alternativhypothese und Variablen	Statistisches Verfahren	Ergebnis und Signifikanz	Bemerkungen
<p>H 3.2 Der Attention Wert ist auf der Oberfläche Pflasterstein signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Asphalt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oberfläche (unabhängig) • Attention Wert (abhängig) 	ANOVA mit Messwiederholung	<p>Signifikanter Einfluss der Oberfläche auf den Attention Wert</p> <ul style="list-style-type: none"> • Citybike ($p = .00$) • MTB ($p = .00$) 	<p>Mit beiden Fahrrädern hat die Oberfläche einen signifikanten Einfluss auf den Attention Wert.</p> <p>Mit beiden Fahrrädern war der Attention Wert auf der Oberfläche Schotter am geringsten. Jedoch war dieser Unterschied nicht in jedem Fall Signifikant. Die Alternativhypothese konnte somit für beide Fahrräder nicht vollständig angenommen werden.</p>
<p>H 3.3 Der Meditation Wert ist auf der Oberfläche Asphalt signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Pflasterstein.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oberfläche (unabhängig) • Meditation Wert (abhängig) 	ANOVA mit Messwiederholung	<p>Nullhypothese beibehalten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Citybike ($p = .83$) • MTB ($p = .19$) 	Die Meditation Werte waren auf allen Oberflächen mit beiden Fahrrädern nahezu identisch. Die Oberfläche hatte somit keinen signifikanten Einfluss auf den Meditation Wert.
<p>H 4.1 Die elektrodermalen Reaktionen/Sekunde mit dem Fahrradtyp Citybike ist signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Mountainbike.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fahrrad (unabhängig) • Elektrodermale Reaktionen/ Sekunde (abhängig) 	t-test für verbundene Stichproben	<p>Nullhypothese beibehalten</p> <ul style="list-style-type: none"> • unabhängig von der Oberfläche ($p = .19$) <p>sowie auf den Oberflächen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Asphalt ($p = .42$) • Pflasterstein ($p = .48$) <p>Alternativhypothese angenommen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schotter ($p = .04$) 	Lediglich auf der Oberfläche Schotter war die Anzahl der elektrodermalen Reaktionen mit dem Citybike höher als mit dem Mountainbike. Auf den anderen Oberflächen als auf den anderen Oberflächen gab es keine signifikanten Ergebnisse.

Alternativhypothese und Variablen	Statistisches Verfahren	Ergebnis und Signifikanz	Bemerkungen
<p>H 4.2 Der Attention Wert ist mit den Fahrradtyp Citybike signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Mountainbike.</p> <ul style="list-style-type: none"> Fahrrad (unabhängig) Attention Wert (abhängig) 	t-test für verbundene Stichproben	<p>Alternativhypothese angenommen</p> <ul style="list-style-type: none"> unabhängig von der Oberfläche ($p = .02$) <p>sowie auf der Oberfläche</p> <ul style="list-style-type: none"> Pflasterstein ($p = .00$) <p>Nullhypothese beibehalten</p> <ul style="list-style-type: none"> Asphalt ($p = .10$) <p>Weder Null- noch Alternativhypothese</p> <ul style="list-style-type: none"> Schotter ($p = .07$) 	<p>Generell gesehen ist der Attention Wert mit dem Citybike signifikant höher als mit dem Mountainbike.</p> <p>Auf den einzelnen Oberflächen ist der Unterschied lediglich auf der Oberfläche Pflasterstein signifikant. Auf der Oberfläche Asphalt ist der Unterschied insignifikant und auf der Oberfläche Schotter war eine statistische Tendenz feststellbar, wobei der Attention Wert mit dem Fahrradtyp Citybike höher war.</p>
<p>H 4.3 Der Meditation Wert ist mit den Fahrradtyp Mountainbike signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Citybike.</p> <ul style="list-style-type: none"> Fahrrad (unabhängig) Meditation Wert (abhängig) 	t-test für verbundene Stichproben	<p>Nullhypothese beibehalten</p> <ul style="list-style-type: none"> unabhängig von der Oberfläche ($p = .45$) Asphalt ($p = .40$) Schotter ($p = .43$) Pflasterstein ($p = .37$) 	Der Fahrradtyp hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Meditation Wert.
<p>H 5.1 Der subjektive Komfort ist auf der Oberfläche Asphalt signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Pflasterstein.</p> <ul style="list-style-type: none"> Oberfläche (unabhängig) Subjektiver Komfort (abhängig) 	Friedman-Test	<p>Signifikanter Einfluss der Oberfläche auf den subjektiven Komfort.</p> <ul style="list-style-type: none"> Citybike ($p = .00$) MTB ($p = .00$) 	Der subjektive Komfort ist mit beiden Fahrrädern auf der Oberfläche Pflasterstein am geringsten und auf der Oberfläche Asphalt am höchsten gewesen. Die Unterschiede zwischen den Oberflächen waren ebenfalls alles signifikant.

Alternativhypothese und Variablen	Statistisches Verfahren	Ergebnis und Signifikanz	Bemerkungen
<p>H 5.2 Der subjektive Kraftaufwand ist auf der Oberfläche Pflasterstein signifikant höher als auf der Oberfläche Schotter und auf der Oberfläche Schotter signifikant höher als auf der Oberfläche Asphalt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oberfläche (unabhängig) • Subjektiver Kraftaufwand (abhängig) 	Friedman-Test	<p>Signifikanter Einfluss der Oberfläche auf den subjektiven Kraftaufwand.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Citybike ($p = .00$) • MTB ($p = .00$) 	<p>Die Variable Oberfläche hatte bei beiden Fahrrädern einen signifikanten Einfluss auf den subjektiven Kraftaufwand. Mit dem Citybike waren die Unterschiede zwischen den Oberflächen signifikant.</p> <p>Mit dem Fahrradtyp Mountainbike konnte jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Oberflächen Asphalt und Schotter festgestellt werden.</p>
<p>H 6.1 Der subjektive Komfort ist mit den Fahrradtyp Mountainbike signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Citybike.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fahrrad (unabhängig) • Subjektiver Komfort (abhängig) 	Friedman-Test	<p>Alternativhypothese angenommen</p> <ul style="list-style-type: none"> • unabhängig von der Oberfläche ($p = .00$) • Asphalt ($p = .00$) • Schotter ($p = .00$) • Pflasterstein ($p = .00$) 	<p>Der subjektive Komfort war mit dem Fahrrad Mountainbike generell, aber auch auf allen drei Oberflächen einzeln signifikant höher als mit dem Citybike.</p>
<p>H 6.2 Der subjektive Kraftaufwand ist mit den Fahrradtyp Citybike signifikant höher als mit dem Fahrradtyp Mountainbike.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fahrrad (unabhängig) • Subjektiver Kraftaufwand (abhängig) 	Friedman-Test	<p>Alternativhypothese angenommen</p> <ul style="list-style-type: none"> • unabhängig von der Oberfläche ($p = .00$) • Asphalt ($p = .00$) • Schotter ($p = .00$) • Pflasterstein ($p = .00$) 	<p>Der subjektive Kraftaufwand war mit dem Fahrrad Citybike generell, aber auch auf allen drei Oberflächen einzeln signifikant höher als mit dem Mountainbike.</p>

Tabelle 38: Zusammenfassung aller Hypothesentests und ihrer Ergebnisse; Quelle: eigene Erhebung

6.1.1 Vertikale Beschleunigung

Zunächst konnte, wie zuvor erwartet, festgestellt werden, dass die vertikale Beschleunigung auf der Oberfläche Asphalt am geringsten und auf der Oberfläche Pflasterstein am höchsten war. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen der Studie „Cycling comfort on different road surfaces“ (Hölzel, Höchtel, & Senner, 2012), welche in Tabelle 2 zusammengefasst sind. Darüber hinaus war dieser Unterschied mit beiden Fahrradtypen feststellbar.

Entgegen der Erwartungen, war jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Fahrradtypen in Bezug auf die vertikale Beschleunigung feststellbar. Auf der Oberfläche Pflasterstein war jedoch ein statistischer Trend zugunsten des Citybikes feststellbar.

Arpinar-Avsar et al. (2012) stellten in ihrer Studie „The Effects of Surface-Induced Loads on Forearm Muscle Activity during Steering a Bicycle“ hingegen fest, dass die Vibrationen bei der Verwendung eines Rennrades höher waren als mit einem Mountainbike.

Überraschend war, dass vertikale Beschleunigung mit dem Mountainbike auf der Oberfläche Asphalt höher war als mit dem Citybike, auch wenn dieser Unterschied nicht signifikant war. Da das Messgerät, also das Smartphone, während der Fahrt am Lenkrad befestigt war, kann davon ausgegangen werden, dass die gefederte Gabel des Mountainbikes dazu führte, dass mehr „vertikaler Spielraum“ vorhanden war als beim Fahrradtyp Citybike. So reagiert die Federung bereits beim bloßen Treten der Pedale mit entsprechender vertikaler Bewegung. Dies führte dazu, dass auf der vermeintlich „glatten“ Oberfläche Asphalt die durchschnittliche vertikale Beschleunigung höher war als mit dem Citybike, bei dem der Beschleunigungssensor nur auf Unebenheiten der Oberfläche reagiert.

Aus dem gleichen Grund kann auch davon ausgegangen werden, dass die Federung des Mountainbikes im Zusammenspiel mit den luftgefüllten Reifen auf der Oberfläche Pflasterstein die erwarteten „stärkeren“ Stöße besser abfederte als das ungefederte, mit Vollgummireifen ausgestattete Citybike. Somit ist auch der höhere Mittelwert mit dem Citybike auf der Oberfläche Pflasterstein erklärbar.

Somit lassen sich die Unterschiede bezüglich des gemessenen Komforts mit den beiden Fahrrädern, als auch des subjektiven Komforts, nicht unmittelbar mit der durchschnittlichen Stärke der vertikalen Beschleunigungswerte in Bezug auf die Fahrradtypen zurückführen. Andere Faktoren, wie beispielsweise der Sattel, das Lenkrad oder der Kraftaufwand könnten somit einen Unterschied ausmachen. Hier könnten auch, die im Fragebogen erwähnten ungewohnten Pedale des Mountainbikes einen Einfluss haben.

6.1.2 Elektrodermale Aktivität

Bezüglich der elektrodermalen Reaktionen je Sekunde konnte mit beiden Fahrradtypen, im Zusammenhang mit den Oberflächen kein signifikanter Einfluss festgestellt werden.

Im Vergleich der Fahrradtypen wurde festgestellt, dass die Anzahl der elektrodermalen Reaktionen je Sekunde mit dem Citybike auf der Oberfläche Schotter signifikant höher war als mit dem Mountainbike, während auf den anderen Oberflächen als auch unabhängig von der Oberfläche kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte.

Auf den ersten Blick scheint es nicht erklärbar zu warum dieser signifikante Unterschied nur auf der Oberfläche Schotter feststellbar war.

Nach Hölzel et al. (2012, S. 482) weist jedoch die Oberfläche Schotter einen höheren Rollwiderstand als Asphalt und Pflasterstein auf. Damit ist der Energieverbrauch auch höher, was die verstärkte elektrodermale Aktivität mit dem Fahrradtyp Citybike erklären könnte.

Warum jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Oberflächen feststellbar ist, bleibt offen.

Es wurde allerdings auch festgestellt, dass die weiblichen Testpersonen bei nahezu allen Kombinationen aus Fahrradtyp und Oberfläche eine durchschnittlich höhere Anzahl an elektrodermalen Reaktionen je Sekunde aufweisen konnten. In zwei Fällen (Citybike und Asphalt sowie Mountainbike und Schotter) war dieser Unterschied sogar signifikant. Es ist also möglich, dass eine rein weibliche bzw. eine rein männliche Stichprobe auch andere Ergebnisse geliefert hätte.

6.1.3 Attention

Die Ergebnisse bezüglich der Attention Werte sind im Vergleich zur elektrodermalen Aktivität deutlicher ausgefallen.

Mit beiden Fahrradtypen hatte die Variable Oberfläche einen signifikanten Einfluss auf die Variable Attention, wobei der Wert auf der Oberfläche Pflasterstein in beiden Fällen am höchsten und auf der Oberfläche Schotter am geringsten war. Der Unterschied zwischen den Oberflächen war jedoch nicht in allen Fällen signifikant.

Es lässt sich dennoch festhalten, dass die Testpersonen mit beiden Fahrrädern auf der Oberfläche Pflasterstein am fokussiertesten waren und auf der Oberfläche Schotter am wenigsten fokussiert waren. Somit scheint es als wäre der Fahrkomfort auf der Oberfläche Schotter, in Anbetracht des Indikators Attention, am höchsten und auf der Oberfläche Pflasterstein am geringsten. Hierbei muss jedoch wieder darauf hingewiesen werden, dass der Streckenabschnitt mit der Oberfläche Schotter abseits der Hauptwegeverbindung lag und somit ein geringeres Passanten- und Radverkehrsaufkommen hatte. Dieser Umstand sollte im Rahmen dieses Ergebnisses berücksichtigt werden.

Neben der Variable Oberfläche, konnte auch festgestellt werden, dass die Variable Fahrradtyp einen signifikanten Einfluss auf die Variable Attention hat. Das bedeutet, dass die Testpersonen mit dem Fahrradtyp Citybike fokussierter waren als mit dem Mountainbike. Die Fahrt mit dem Citybike war also generell gesehen unkomfortabler.

In Bezug auf die Oberflächen ist der Einfluss lediglich auf der Oberfläche Pflasterstein signifikant, wobei auf der Oberfläche Schotter die Attention Werte mit dem Citybike tendenziell höher waren. Auf der Oberfläche Asphalt wurde kein signifikanter Einfluss festgestellt.

Auch wenn die Alternativhypothese nicht vollständig angenommen werden konnte, machen die Ergebnisse deutlich, dass die Fahrt mit dem Citybike auf der Oberfläche Pflasterstein eine deutlich höhere Konzentration erforderte und somit weniger komfortabel war als mit dem Mountainbike. Gleichzeitig hatte auf der, vermeintlich komfortabelsten, Oberfläche Asphalt der Fahrradtyp keinen Einfluss auf die Konzentration der Testpersonen.

6.1.4 Meditation

Die Untersuchung der Meditation Werte hat im Gegensatz zu den Attention Werten keine signifikanten Ergebnisse geliefert. Dies trifft sowohl auf den Vergleich der Oberflächen als auf den Vergleich der Fahrradtypen zu. Die Frage nach dem Grund bleibt jedoch offen.

Der Einfluss der Variable Geschlecht hat jedoch gezeigt, dass die Meditation Werte bei den weiblichen Testpersonen höher waren. Auf der Kombination Mountainbike und Schotter waren die Werte sogar signifikant höher. Auch hier kann also ein Einfluss des Geschlechts nicht ausgeschlossen werden.

6.1.5 Fragebogen

Der, mittels Fragebogen erhobene, subjektive Komfort, ist wie zu erwarten auf der Oberfläche Asphalt am höchsten und auf der Oberfläche Pflasterstein am geringsten. Auch war der subjektive Komfort mit dem Fahrradtyp Mountainbike auf allen drei Oberflächen signifikant höher als mit dem Citybike.

Ähnlich sind auch die Ergebnisse der Fragebogenauswertung in Bezug auf den subjektiven Kraftaufwand ausgefallen, wobei der Kraftaufwand auf der Oberfläche Pflasterstein am höchsten und auf der Oberfläche Asphalt am geringsten war. Mit dem Mountainbike konnte jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Oberflächen Asphalt und Schotter festgestellt werden. Die Testpersonen empfanden mit dem Mountainbike somit keinen nennenswerten Unterschied bezüglich des Kraftaufwandes.

Im Vergleich der Fahrradtypen war die subjektive Empfindung des Kraftaufwandes mit dem Citybike auf allen Oberflächen signifikant höher.

6.2 Fazit und Empfehlungen

Im folgenden Kapitel werden abschließende Feststellungen erläutert sowie die angewendete Erhebungsmethode kritisch reflektiert. Hierbei wird insbesondere auf die Grenzen der Methodik als auch auf Potenziale für die Forschung und Planungspraxis eingegangen.

Es hat sich gezeigt, dass die Erklärung des Fahrkomforts durch die Messung der festgelegten Indikatoren nur eingeschränkt möglich war.

Insbesondere die Messung der Meditation Werte und der elektrodermalen Aktivität konnte keine nennenswerten Ergebnisse liefern.

Andererseits konnte die Messung der Attention Werte zufriedenstellende Ergebnisse liefern, auch wenn die Werte entgegen der Erwartungen auf der Oberfläche Schotter am geringsten waren. Es ist allerdings fraglich, ob die signifikanten Ergebnisse der Attention Werte, also das gemessene Maß der Konzentration bzw. Aufmerksamkeit allein den objektiven Fahrkomfort erklären können.

Die Ergebnisse des Fragebogens sind den Erwartungen entsprechend deutlich ausgefallen. Somit konnte keine Gemeinsamkeit zwischen der subjektiven Wahrnehmung des Fahrkomforts und des objektiv erhobenen Fahrkomforts festgestellt werden.

6.2.1 Der Faktor Mensch

Im Sinne der Reliabilität muss generell festgehalten werden, dass weitere Variablen, die nicht erhoben wurden, bzw. nicht erhoben werden konnten, welche ebenfalls einen Einfluss auf die gemessenen Indikatoren Attention, Meditation und elektrodermale Aktivität haben könnten im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden konnten. Dies können unbekannte Einflussfaktoren, wie der Gemütszustand, Gesundheitszustand oder andere Gedanken sein. Insbesondere die Ergebnisse der Elektroenzephalographie können durch die Gedanken der Testpersonen, welche sich weder steuern noch erheben lassen, beeinflusst werden.

Die Auswertung des Fragebogens hat ebenfalls aufgezeigt, welche anderen Faktoren einen Einfluss auf den gemessenen Komfort haben könnten. So wurden, neben anderen Faktoren, beispielsweise Hunde auf der Teststrecke als Einflussfaktor angegeben.

Es hat sich also gezeigt, dass der Faktor Mensch selbst eine wesentliche Grenze im Rahmen dieser Arbeit darstellt. Jeder Mensch ist einzigartig und somit auch die Messdaten des psychophysiologischen Monitorings.

6.2.2 Messgeräte und Daten

Ein weiterer entscheidender Punkt waren die verfügbaren Messgeräte, welche im Rahmen der Arbeit verwendet wurden. Diese stellten auch eine Grenze dar.

Da verschiedene Produkte auf dem Markt sind und manche Messgeräte eigens im Rahmen von Forschungsarbeiten entwickelt wurden, kann lediglich die Funktionalität der, im Rahmen dieser Arbeit, verwendeten Messgeräte beurteilt werden. Eine allgemeine valide Aussage zu den Messmethoden, unabhängig von den verwendeten Messgeräten, kann somit nicht getroffen werden.

Bezüglich der Zuverlässigkeit der Messgeräte muss festgehalten werden, dass im Rahmen der Erhebung wiederholt Probleme auftraten. Besonders das MindCap hat eine relativ hohe Ausfallquote der Messungen gehabt. Die Messung der Hautleitfähigkeit mittels Elektroden an den Fingern während des Fahrradfahrens war durch das mögliche Verrutschen auch nicht die optimalste Lösung. Eine Verwendung von Smartbändern sollte bevorzugt werden.

Die Validität der Messmethoden ist auf Grund des experimentellen Charakters der Arbeit ohnehin schwierig festzuhalten.

Generell haben die Messgeräte gemessen, was sie sollen und fehlerhafte Messergebnisse wurden vor der Auswertung aussortiert. Jedoch stellt sich die Frage, ob die Definition der gemessenen Daten als Indikatoren für den Fahrkomfort tatsächlich inhaltlich valide begründbar ist. Besonders die Komplexität die hinter der Auswertung und Interpretation der Daten im Rahmen der Hautleitfähigkeitsmessung und der Elektroenzephalographie steckt, macht die Definierung von Indikatoren zu einer Wissenschaft für sich. Insbesondere im Bereich der elektrodermalen Aktivität bedarf es

einer vertieften Auseinandersetzung mit der Thematik. Jeder Mensch hat eine individuelle Spontanfluktuationsrate und –stärke, welche auch abhängig vom Geschlecht ist. (Burk, 2005) So müsste streng genommen jede Testperson im Voraus in dieser Hinsicht im Ruhezustand untersucht werden um im Nachhinein individuell festzulegen, welche Werte tatsächlich eine reizbedingte elektrodermale Reaktion beschreiben.

Um eine weitere Verfolgung dieses Themas zu ermöglichen bedarf es somit einer vertieften Auseinandersetzung mit den verwendeten Indikatoren als auch mit weiteren möglichen und vor allem messbaren Indikatoren für den Fahrkomfort. Dies setzt jedoch eine intensive Überschneidung mit den Forschungsbereichen der Psychophysiologie und die Unterstützung von Experten auf diesem Fachgebiet voraus.

6.2.3 Stichprobe

Trotz des homogenen Alters der Stichprobe, konnte ein tendenzieller, jedoch nicht stichhaltiger Einfluss des Geschlechts auf die Meditation Werte und die elektrodermale Aktivität beobachtet werden. Dass das Geschlecht einen Einfluss auf die elektrodermale Aktivität hat konnte Burk (2005) in seiner Literaturrecherche ebenfalls aufzeigen. Hinsichtlich der hohen Ausfallquote der Messgeräte wäre es von Vorteil mehr Testpersonen zur Verfügung zu haben um die Ausfälle zu kompensieren. Somit wird für weitere Studien eine homogenere und auch größere Stichprobe empfohlen um die genannten Einflussfaktoren auszuschließen. Darüber hinaus sollte im Rahmen einer Vorauswahl sichergestellt werden, dass keine Testperson gesundheitlich geschwächt, übermüdet, im Stress ist oder auf sonstige Weise beeinflusst ist.

6.2.4 Untersuchungsgebiet

Bezüglich des Untersuchungsgebietes konnten, trotz der gründlichen Auswahl nicht alle ungewollten Einflussfaktoren ausgeschaltet werden.

Das Untersuchungsgebiet war in vielen Bereichen geeignet für die Erhebung. Es muss jedoch festgehalten werden, dass es in der realen Welt kein, für dieses Forschungsinteresse „perfektes“, Untersuchungsgebiet gibt, welches Laborbedingungen mitbringt.

Dennoch wäre ein Untersuchungsgebiet mit einem Minimum an Passanten- und Radverkehrsaufkommen optimaler und zielführender. Ein Verzicht auf eine Oberfläche, insbesondere Schotter, zugunsten eines geringeren Passanten-/Radfahreraufkommens und eines noch homogeneren Umfeldes wäre ebenfalls zielführend.

6.2.5 Fahrräder

Die gewählten Fahrradtypen waren in ihrer Bauweise bereits sehr unterschiedlich und eigneten sich gut für die Erhebungen. Für weitere Studien wäre es interessant weitere Fahrradtypen miteinzubeziehen, wie beispielsweise Rennräder oder Tourenfahrräder. In Anbetracht der technologischen Entwicklung wäre es ebenfalls sehr interessant auch den, zunehmend verbreiteten, Fahrradtyp E-Bike zu inkludieren.

6.2.6 Schlussfolgerungen

Abschließend lässt sich sagen, dass die Methode der Datenerhebung, besonders hinsichtlich ihrer Objektivität in der Messung von „Emotionen“, höchst spannend ist und große Potenziale aufweist. Auch die Möglichkeit der statistischen Auswertung dieser Daten ermöglicht eine objektive Auswertung von emotionalen Reaktionen.

Um jedoch zukünftig eine Validität solcher Erhebungen zu gewährleisten bedarf es noch viel Grundlagenforschung, insbesondere bezüglich der Definition der richtigen Indikatoren. Auch die Stichprobe sollte größer sein und mehr auf Homogenität abzielen. Generell besteht also immer noch Forschungsbedarf in der Messung des Fahrkomforts während des Radfahrens als auch auf dem Gebiet des psychophysiologischen Monitorings in Bezug auf den Radverkehr.

Frei nach Marcus Tullius Cicero zitiert sind „unsere Gedanken frei“ und es stellt sich somit auch die Frage inwieweit man Emotionen tatsächlich in bezüglich eines konkreten Zusammenhanges messen und interpretieren kann. Dennoch sollten die hier verwendeten Erhebungs- und Auswertungsmethoden weiter verfolgt und studiert werden um die daraus entstehenden Potenziale zu nutzen, welche im folgenden und abschließenden Kapitel erläutert werden

6.2.7 Potenziale und Relevanz für zukünftige Studien und die Planungspraxis

Eine Optimierung der Messmethoden könnte zukünftig einen Beitrag leisten Fahrbahnoberflächen, aber auch andere Faktoren der Bikeability objektiv zu bewerten. Darüber hinaus besteht auch ein Potenzial darin, psychophysiologisches Monitoring mittels tragbarer Sensoren in anderen planungsrelevanten Bereichen, wie der Erforschung von urbanen Angsträumen und der objektiven Messung der Wahrnehmung von Räumen im Allgemeinen. Die Ergebnisse solcher Erhebung können so in Planungsprozesse im Bereich der Verkehrsplanung als auch der Raumplanung, insbesondere in gestalterischer Hinsicht, einfließen. In der Praxis kann beispielsweise die Neugestaltung eines Straßenraumes basierend auf der objektiven Wahrnehmung geplant aber auch im Nachhinein evaluiert werden.

Neben Radfahrern könnte auch die Messung, Auswertung und Interpretation von Emotionen von Autofahrern während der Fahrt planungsrelevante Ergebnisse liefern. So könnte, ähnlich wie in dieser Arbeit, erhoben werden welchen Einfluss Fahrbahnoberflächen oder Straßenräume auf die Aufmerksamkeit von Autofahrern haben.

In der Theorie könnte so alles was bisher subjektiv auf Basis von Emotionen und Gefühlen bewertet wurde, objektiv und unter realen Bedingungen gemessen werden, vorausgesetzt es werden die entsprechenden Indikatoren definiert.

7 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit; Quelle: Eigene Darstellung	15
Abbildung 2 Einflussfaktoren auf den Fahrkomfort in der Kategorie Umwelt; Quelle: (Ayachi & Gustavino, 2015).....	21
Abbildung 3: Luftbild des Testgebietes, Google Maps 2017, eigene Darstellung.....	42
Abbildung 4: Streckenabschnitt mit der Oberfläche Asphalt, eigene Erhebung 2017...	43
Abbildung 5: Streckenabschnitt mit der Oberfläche Schotter, eigene Erhebung 2017 .	43
Abbildung 6: Streckenabschnitt mit der Oberfläche Pflasterstein, eigene Erhebung 2017	43
Abbildung 7: Das für die Erhebung verwendete Mountainbike, eigene Erhebung 2017	44
Abbildung 8: Eines der für die Erhebung verwendeten Citybikes, eigene Erhebung 2017	45
Abbildung 9: Das für die Messung verwendete Smartphone vom Typ Samsung Galaxy S4 Mini; Quelle: eigene Erhebung 2017.....	46
Abbildung 10: Aufzeichnung der Beschleunigungswerte mittels der App G-Sensor Pro: Quelle: G-Sensor Pro.....	47
Abbildung 11: verwendeter GPS Logger „Sport LogBook“ der Firma canway; Quelle: eigene Erhebung 2017	48
Abbildung 12: verwendetes Hautleitfähigkeitsmessgerät eSense Skin Response der Firma Mindfield Biosystems; Quelle: eigene Erhebung 2017	49
Abbildung 13: verwendetes MindCap XL der Firma TITAN Commerce mit Neurosky Chip; Quelle: eigene Erhebung 2017	50
Abbildung 14: Teststrecke mit Routenvorgabe; Qielle Google maps 2017, eigene Darstellung.....	52

Abbildung 15: Illustration des Messaufbaus; Quelle: eigene Darstellung	53
Abbildung 16: Zuordnung der Oberflächen mittels GPS, Quelle; mygpsfiles 2017	55
Abbildung 17: Abhängige und unabhängige Variablen im Rahmen der statistischen Auswertung; Quelle: eigene Darstellung	60
Abbildung 18 Boxplot vertikale Beschleunigung nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung.....	63
Abbildung 19 Boxplot vertikale Beschleunigung nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	65
Abbildung 20: Boxplot der vertikalen Beschleunigung auf der Oberfläche Asphalt mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	69
Abbildung 21: Boxplot der vertikalen Beschleunigung auf der Oberfläche Schotter mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	69
Abbildung 22 Boxplot der vertikalen Beschleunigung auf der Oberfläche Pflasterstein mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	70
Abbildung 23: Boxplot elektrodermale Reaktionen/Sekunde nach Oberflächen mit dem Fahradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung.....	73
Abbildung 24 Boxplot elektrodermale Reaktionen/Sekunde nach Oberflächen mit dem Fahradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	75
Abbildung 25: Boxplot der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde auf der Oberfläche Asphalt mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	77
Abbildung 26: Boxplot der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde auf der Oberfläche Schotter mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	78
Abbildung 27: Boxplot der elektrodermalen Reaktion/Sekunde auf der Oberfläche Schotter mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	78

Abbildung 28: Boxplots der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde auf allen Oberflächen mit Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	80
Abbildung 29: Boxplot Attention nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung.....	83
Abbildung 30: Boxplot Attention nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	85
Abbildung 31: Boxplot der Attention Werte auf der Oberfläche Asphalt mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	88
Abbildung 32: Boxplot der Attention Werte auf der Oberfläche Schotter mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	89
Abbildung 33: Boxplot der Attention Werte auf der Oberfläche Schotter mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	89
Abbildung 34: Boxplots der Attention Werte auf allen Oberflächen mit Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	90
Abbildung 35: Boxplot Meditation nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung.....	93
Abbildung 36: Boxplot Meditation nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	95
Abbildung 37: Boxplot der Meditation Werte auf der Oberfläche Asphalt mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	97
Abbildung 38: Boxplot der Meditation Werte auf der Oberfläche Schotter mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	98
Abbildung 39: Boxplot der Meditation Werte auf der Oberfläche Pflasterstein mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	98
Abbildung 40: Boxplots des Meditation Wertes auf allen Oberflächen mit Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	99
Abbildung 41: Das Untersuchungsgebiet; Quelle; eigene Erhebungs 2017	142

Abbildung 42: Testfahrt mit einem Citybike 1; Quelle: eigene Erhebungs 2017 143

Abbildung 43: Testfahrt mit einem Citybike 2; Quelle: eigene Erhebungs 2017 143

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der bisherigen Forschung im Bereich der Erhebung von Fahrkomfort in Bezug auf Fahrbahnoberflächen; Quelle: Eigene Darstellung	19
Tabelle 2: Ergebnisse der Studie „Cycling comfort on different road surfaces“; Quelle: (Hölzel, Höchtl, & Senner, 2012).....	22
Tabelle 3: Zusammenfassung der bisherigen Forschung im Bereich der Messung von Emotionen; Quelle: Eigene Darstellung	26
Tabelle 4: Variablen in der Gesamtdatendatei; Quelle: eigene Erhebung.....	59
Tabelle 5 Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der vertikalen Beschleunigung nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung	62
Tabelle 6 Paarweiser Vergleich der vertikalen Beschleunigung auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung	64
Tabelle 7: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der vertikalen Beschleunigung nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	65
Tabelle 8: Paarweiser Vergleich der vertikalen Beschleunigung auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	66
Tabelle 9: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der vertikalen Beschleunigung nach Oberflächen mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	68
Tabelle 10: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung.....	73
Tabelle 11 Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	74

Tabelle 12: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der elektrodermalen Reaktionen nach Oberflächen mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	77
Tabelle 13: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der elektrodermalen Reaktionen über die gesamte Testfahrt mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	79
Tabelle 14: Vergleich der Mittelwerte der elektrodermalen Reaktionen/Sekunde abhängig vom Geschlecht; Quelle: eigene Erhebung	81
Tabelle 15: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des Attention Wertes nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung	83
Tabelle 16: Paarweiser Vergleich des Attention Wertes auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung	84
Tabelle 17: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des Attention Wertes auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	85
Tabelle 18: Paarweiser Vergleich des Attention Wertes auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	86
Tabelle 19: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des Attention Wertes nach Oberflächen mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	88
Tabelle 20: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der Attention Werte mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	90
Tabelle 21: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des Attention Wertes nach Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung	93
Tabelle 22: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des Attention Wertes auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	94

Tabelle 23: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des Meditation Wertes nach Oberflächen mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	97
Tabelle 24: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der Meditation Werte mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	99
Tabelle 25: Vergleich der Mittelwerte des Meditation Wertes abhängig vom Geschlecht; Quelle: eigene Erhebung.....	101
Tabelle 26: Umcodierung der subjektiven Variable Komfort in Zahlenwerte; Quelle: eigene Erhebung.....	102
Tabelle 27: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des subjektiven Komforts auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung	103
Tabelle 28: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des subjektiven Komforts auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	104
Tabelle 29: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des subjektiven Kraftaufwandes nach Oberflächen mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	105
Tabelle 30: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des subjektiven Komforts mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	106
Tabelle 31 Umcodierung der subjektiven Variable Kraftaufwand in Zahlenwerte; Quelle: eigene Erhebung.....	107
Tabelle 32: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des subjektiven Kraftaufwandes auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Citybike; Quelle: eigene Erhebung.....	107
Tabelle 33: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des subjektiven Kraftaufwandes auf den verschiedenen Oberflächen mit dem Fahrradtyp Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	108

Tabelle 34: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des subjektiven Kraftaufwandes nach Oberflächen mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung.....	110
Tabelle 35: Ergebnisse des Mittelwertvergleiches des subjektiven Kraftaufwandes mit den Fahrradtypen Citybike und Mountainbike; Quelle: eigene Erhebung	110
Tabelle 36: Umcodierung der Einschätzung der Einflussstärke verschiedener Faktoren in Zahlenwerte; Quelle: eigene Erhebung	111
Tabelle 37: Ergebnisse der Fragebogenauswertung bezüglich der subjektiven Einflussstärke verschiedener Faktoren auf den Fahrkomfort; Quelle: eigene Erhebung.....	112
Tabelle 38: Zusammenfassung aller Hypothesentests und ihrer Ergebnisse; Quelle: eigene Erhebung.....	118
Tabelle 39: Ausreißer Untersuchung Attention; Quelle: eigene Erhebung	144
Tabelle 40: Ausreißer Untersuchung Meditation; Quelle: eigene Erhebung	144
Tabelle 41: Ausreißer Untersuchung Steigung der Hautleitfähigkeit; Quelle: eigene Erhebung.....	145
Tabelle 42: Ausreißer Untersuchung absolute vertikale Beschleunigung; Quelle: eigene Erhebung.....	145
Tabelle 43: Test auf Normalverteilung 1; Quelle: eigene Erhebung	146
Tabelle 44: Mauchly-Test 1; Quelle: eigene Erhebung.....	146
Tabelle 45: Test auf Normalverteilung 2; Quelle: eigene Erhebung	147
Tabelle 46: Mauchly-Test 2; Quelle: eigene Erhebung.....	147
Tabelle 47: Test auf Normalverteilung 3; Quelle: eigene Erhebung	148
Tabelle 48: Test auf Normalverteilung 4; Quelle: eigene Erhebung	148
Tabelle 49: Mauchly-Test 3; Quelle: eigene Erhebung.....	149

Tabelle 50: Test auf Normalverteilung 5; Quelle: eigene Erhebung	149
Tabelle 51: Mauchly-Test 4; Quelle: eigene Erhebung.....	149
Tabelle 52: Test auf Normalverteilung 6; Quelle: eigene Erhebung	150
Tabelle 53: Test auf Normalverteilung 7; Quelle: eigene Erhebung	150
Tabelle 54: Test auf Normalverteilung 8; Quelle: eigene Erhebung	150
Tabelle 55: Mauchly-Test 5; Quelle: eigene Erhebung.....	151
Tabelle 56: Test auf Normalverteilung 9; Quelle: eigene Erhebung	151
Tabelle 57: Mauchly-Test 6; Quelle: eigene Erhebung.....	151
Tabelle 58: Test auf Normalverteilung 10; Quelle: eigene Erhebung	152
Tabelle 59: Test auf Normalverteilung 11; Quelle: eigene Erhebung	152
Tabelle 60: Test auf Normalverteilung 12; Quelle: eigene Erhebung	152
Tabelle 61: Mauchly-Test 7; Quelle: eigene Erhebung.....	153
Tabelle 62: Test auf Normalverteilung 13; Quelle: eigene Erhebung	153
Tabelle 63: Mauchly-Test 8; Quelle: eigene Erhebung.....	153
Tabelle 64: Test auf Normalverteilung 14; Quelle: eigene Erhebung	154
Tabelle 65: Test auf Normalverteilung 15; Quelle: eigene Erhebung	154

9 Literaturverzeichnis

- Arpinar-Avsar, P., Birlik, G., Sezgin, Ö. C., & Soylu, A. R. (2013). The Effects of Surface-Induced Loads on Forearm Muscle Activity during. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12, S. 512-520.
- Ayachi, F. S., & Gustavino, C. (2015). Identifying factors of bicycle comfort: An online survey with enthusiast cyclists. *Applied Ergonomics* 46, S. 124-136.
- Bergner, B. S., Exner, J.-P., Zeile, P., & Rumberg, M. (14-16. Mai 2012). Sensing the City – How to Identify Recreational Benefits of Urban Green Areas with the Help of Sensor Technology. *Proceedings REAL CORP 2012 Tagungsband*, S. 737-46.
- Bovy, P., & Bradley, P. (1985). Route choice analyzed with stated-preference approaches. *Transportation Research Record* 1037, 11-20.
- Burk, C. L. (2005). *Physische elektrodermale Aktivität als Persönlichkeitsindikator*. Gießen: Universität Gießen.
- Buschlinger, S., Denzer, F., Daude, N., Groß, D., Meyer-Hentschel, A., Miller, C., . . . Yesil, F. (2013). *EmoCycling*. Kaiserslautern: TU Kaiserslautern.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, Vol. 112(1), 155-159.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2. Auflage. Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates.
- Daniel, A., Leszczynski, T., & Reinhart, L. (2015). *bike emotions*. Wien: Institut für Verkehrssystemplanung. TU Wien.
- Dudenredaktion. (o. J.). *Fahrkomfort*. Abgerufen am 31. Oktober 2017 von <https://www.duden.de/rechtschreibung/Fahrkomfort>
- Dudenredaktion. (o. J.). *Gefühl*. Abgerufen am 31. Oktober 2017 von <https://www.duden.de/rechtschreibung/Gefuehl>
- Dudenredaktion. (o. J.). *komfortabel*. Abgerufen am 31. Oktober 2017 von <https://www.duden.de/rechtschreibung/komfortabel#Bedeutung>

- Ekkehard, A.-C., & Ludwig, S. (2007). Planungsleitfaden Radverkehr. Radfahranlagen / Auswahlkriterien / Trassierung / Sichere Knotengestaltung / Bodenmarkierungen. *mobile - Impulse für eine nachhaltige Mobilität* Amt der Tiroler Landesregierung – Abteilung Verkehrsplanung, Amt der Tiroler Landesregierung – Abteilung Verkehrsplanung(04/07). Abgerufen am 15. Oktober 2017 von <https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/verkehr/verkehrsplanung/downloads/mobile04-07.pdf>
- Ewing, R., Handy, S., Brownson, R. C., Clemente, O., & Winston, E. (2006). Identifying and Measuring Urban Design Qualities Related to Walkability. *Journal of Physical Activity and Health*, 3, Suppl 1,, S. 223-240.
- Exner, J.-P., Bergner, B., Zeile, P., & Broschart, D. (2012). Humansensorik in der räumlichen Planung. *Angewandte Geoinformatik 2012 - Beiträge zum 24te AGIT-Symposium*, von J.Strobl, T. Bische und G. Grieserebner, S. 690-699.
- Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: The World of colunteered geography. *GeoJournal*, S. 211-221.
- Groß, D. (2015). EmoCyclingConcept - Potentiale der emotionalen Stadtkartierung für Radverkehrskonzepte am Usecase Worms. Kaiserslautern. Abgerufen am 9. September 2017 von https://www.researchgate.net/publication/283856335_EmoCyclingConcept_-_Potentiale_der_emotionalen_Stadtkartierung_fur_Radverkehrskonzepte_am_Usecase_Worms
- Groß, D., Holderle, C., & Wilhelm, J. (5-7. Mai 2015). EmoCycling –Analyse von Radwegen mittels Humansensorik für Kommunen. *Proceedings REAL CORP 2015 Tagungsband*, S. 249-259.
- Höffken, S. (2010). Bionsensorik und emotionale Stadtkartierung. Die Erfassung physiologischer Daten im Stadtraum. *Die Zukunft der Räume. Gesellschaftliche Frangen auf dem Weg zur "Ambient Intelligence"*, Graue Reihe(50), 9-22.

- Höffken, S., Wilhelm, J., Groß, D., Bergner, B. S., & Zeile, P. (2014). EmoCycling – Analysen von Radwegen mittels Humansensorik und Wearable Computing. In R. C. 2014 (Hrsg.), *Proceedings REAL CORP 2014 Tagungsband* (S. 851-860). Wien.
- Hölzel, C., Höchtl, F., & Senner, V. (2012). Cycling comfort on different road surfaces. *Procedia Engineering* 34, S. 479-484.
- Krabbenborg, L. (2015). *Cycling to a Railway Station. Exploring the Influence of the Urban Environment on Travel Resistance*. Delf University of Technology. Master of Science Thesis. Abgerufen am 2. September 2017 von <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Aa4d94637-3be0-45b7-90af-cd04bb066871>
- Kreibig, S. D. (2010). Autonomic Nervous System Activity in Emotion: A Review. *Biological Psychology*, 84 (3), S. 394-421.
- Krenn, P. J., Oja, P., & Titze, S. (2015). Development of a Bikeability Index to Assess the Bicycle-Friendliness of Urban Environments. *Open Journal of Civil Engineering*, 5, S. 451-459.
- Lee, K. (2009). Evaluation of Attention and Relaxation Levels of Archers in Shooting Process using Brain Wave Signal Analysis Algorithms. *감성과학*, Vol- 12(No 3), 341-350.
- Leitinger, S. (2017). *Salzburg Research*. Abgerufen am 11. September 2017 von <https://www.salzburgresearch.at/presseaussendung/fahrradwege-auf-dem-pruefstand-wie-sicher-sind-rad-infrastrukturen/>
- Liu, F., & Figliozzi, M. (2016). *Utilizing Egocentric Video and Sensors to Conduct Naturalistic Bicycling Studies*. Portland: National Institute for Transportation and Communities. Abgerufen am 2. September 2017 von https://pdxscholar.library.pdx.edu/trec_reports/117/
- Lowry, M. B., Callister, D., Gresham, M., & Moore, B. (2012). *Using Bicycle Level of Service to Assess Community-wide Bikeability*. Transportation. Abgerufen am 12. September 2017 von <http://docs.trb.org/prp/12-4154.pdf>

- Lüpsen, H. (2. Dezember 2017). *Varianzanalysen - Prüfen der Voraussetzungen und nichtparametrische Methoden sowie praktische Anwendungen mit R und SPSS*. (U. Köln, Hrsg.) Abgerufen am 22. 10 2017 von <http://www.uni-koeln.de/~a0032/statistik/buch/nonpar-anova.pdf>
- Mertens, R. (2016). *Aussagekraft der elektrodermalen Aktivität in Laborexperimenten mit Schwerpunkt Lärm – Literaturstudie zu wichtigen Einflussfaktoren und gesundheitlichen Implikationen –*. Düsseldorf: Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf. Abgerufen am 22. Oktober 2017 von <https://d-nb.info/1105645339/34>
- Meschik, M. (2008). *Planungshandbuch Radverkehr*. Wien: Springer Wien NewYork.
- Meyer, T., Schneider, S., Scherer Alexandra, & Kallich, C. (2013). *Das Schwerefeld der Erde*. Großbeeren: Koordinierungsbüro GEOTECHNOLOGIEN. Abgerufen am 04. Dezember 2017 von <http://gfzpublic.gfz-potsdam.de/pubman/item/escidoc:1165894:4/component/escidoc:1165893/Das%20Schwerefeld%20der%20Erde.pdf>
- Mindfield. (o. J.). *Mindfield eSense Skind Reponse Handbuch*. Abgerufen am 31. Oktober 2017 von <https://www.mindfield.de/phocadownload/eSense/German/eSense%20Skin%20Response%20Anleitung%20deutsch%20171031.pdf>
- Neurosky. (o. J.). *NeuroSky Homepage Algorithmen*. Abgerufen am 31. Oktober 2017 von <http://neurosky.com/biosensors/eeg-sensor/algorithms/>
- Nold, C. (2009). *Emotional Cartography. Technologies of the self*. welcome trust. Abgerufen am 10. November 2017 von <http://www.emotionalcartography.net/EmotionalCartographyLow.pdf>
- Patsis, G., Sahli, H., Verhelst, W., & De Troyer, O. (2013). Evaluation of Attention Levels in a Tetris Game Using a Tetris Game Using a Brain Computer Interface. In *Lecture Notes in Computer Science* (S. 127-138). Brüssel: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W., & Naumann, E. (2014). *Quantitative Methoden 1 Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler 4. Auflage*. Springer Verlag Berlin-Heidelberg.
- Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W., & Naumann, E. (2014). *Quantitative Methoden 2: Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. Springer Verlag Berlin-Heidelberg.
- Tatum, W. O., Husain, A. M., Benbadis, S. R., & Kaplan, P. W. (2008). *Handbook of EEG Interpretation*. Library of Congress Catalog-in-Publication Data.
- Teplan, M. (2002). FUNDAMENTALS OF EEG MEASUREMENT. *MEASUREMENT SCIENCE REVIEW, Volume 2, Section 2*.
- Zeile, P., Höffken, S., & Papastefanou, G. (2009). Mapping people? – The measurement of physiological data in city areas and potential benefit for urban planning. *Proceedings REAL CORP 2009 Tagungsband*, 341-352.
- Zeile, P., Rodruques Da Silva, A. N., Aguiar, F., Papastefanou, G., & Bergner, B. S. (2011). *Smart sensing as a planning support tool for barrier free planning*. Abgerufen am 22. Oktober 2017 von ResearchGate:
https://www.researchgate.net/publication/268270642_SMART_SENSORING_AS_A_PLANNING_SUPPORT_TOOL_FOR_BARRIER_FREE_PLANNING

Anhang

Fotos



Abbildung 41: Das Untersuchungsgebiet; Quelle; eigene Erhebungs 2017

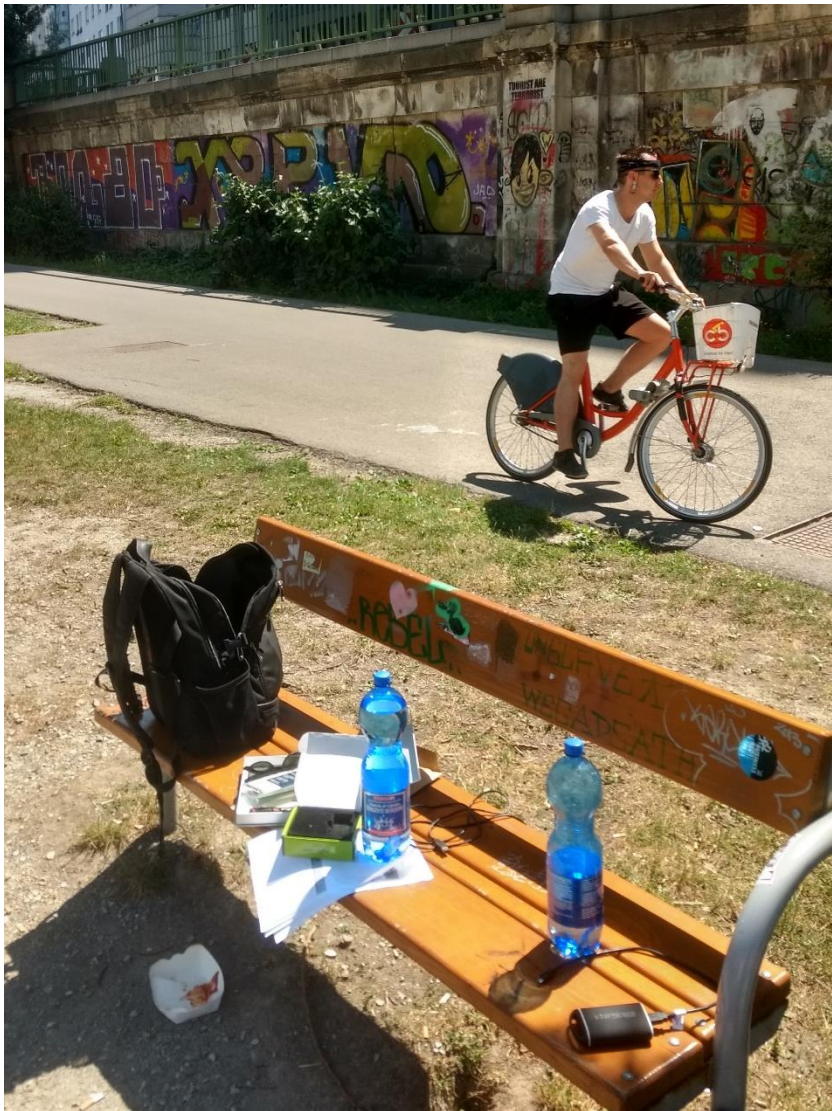


Abbildung 42: Testfahrt mit einem Citybike 1; Quelle: eigene Erhebungs 2017



Abbildung 43: Testfahrt mit einem Citybike 2; Quelle: eigene Erhebungs 2017

Datenbereinigung – Identifizierung und Ausschluss von Ausreißern

Die Anzahl der Werte und der Wert N beziehen sich auf die Sekunden die alle Testpersonen auf den beiden Fahrrädern auf den drei Oberflächen zurückgelegt haben. Daten die durch Messfehler bereits im Voraus ausgeschlossen wurden, werden hier entsprechend nicht mitgezählt.

Variable			Attention		
Fahrrad	Oberfläche	Grenzen der Ausreißer	N	Wert	Anzahl ausgeschlossener Werte
Citybike	Asphalt	Oben	1647	≥ 99	2
		Unten		≤ 3	4
	Schotter	Oben	1680	≥ 91	8
		Unten		≤ 3	13
	Pflasterstein	Oben	1475	≥ 0	6
		Unten		-	-
Mountainbike	Asphalt	Oben	1385	≥ 89	15
		Unten		≤ 9	6
	Schotter	Oben	1531	≥ 88	15
		Unten		-	-
	Pflasterstein	Oben	1312	≥ 98	9
		Unten		-	-

Tabelle 39: Ausreißer Untersuchung Attention; Quelle: eigene Erhebung

Variable			Meditation		
Fahrrad	Oberfläche	Grenzen der Ausreißer	N	Wert	Anzahl ausgeschlossener Werte
Citybike	Asphalt	Oben	1647	-	-
		Unten		≤ 8	7
	Schotter	Oben	1680	≥ 99	5
		Unten		≤ 5	19
	Pflasterstein	Oben	1475	≥ 95	5
		Unten		≤ 2	9
Mountainbike	Asphalt	Oben	1385	-	-
		Unten		≤ 8	5
	Schotter	Oben	1531	≥ 99	2
		Unten		≤ 5	9
	Pflasterstein	Oben	1312	-	-
		Unten		≤ 1	3

Tabelle 40: Ausreißer Untersuchung Meditation; Quelle: eigene Erhebung

Variable			Steigung des Hautleitwertes		
			N	Wert	Anzahl ausgeschlossener Werte
Fahrrad	Oberfläche	Grenzen der Ausreißer			
Citybike	Asphalt	Oben	1831	>0,05	128
		Unten		<-0,05	139
	Schotter	Oben	1870	>0,05	150
		Unten		<-0,05	125
	Pflasterstein	Oben	1685	>0,05	122
		Unten		<-0,05	123
Mountainbike	Asphalt	Oben	1650	>0,07	92
		Unten		<-0,06	100
	Schotter	Oben	1812	>0,05	141
		Unten		<-0,05	144
	Pflasterstein	Oben	1602	>0,05	153
		Unten		<-0,05	128

Tabelle 41: Ausreißer Untersuchung Steigung der Hautleitfähigkeit; Quelle: eigene Erhebung

Variable			Absolute vertikale Beschleunigung		
			N	Wert	Anzahl ausgeschlossener Werte
Fahrrad	Oberfläche	Grenzen der Ausreißer			
Citybike	Asphalt	Oben	2268	$\geq 4,2$	158
		Unten		-	-
	Schotter	Oben	2329	$\geq 10,7$	64
		Unten			
	Pflasterstein	Oben	2097	$\geq 14,3$	17
		Unten			
Mountainbike	Asphalt	Oben	1765	$\geq 3,8$	182
		Unten		-	-
	Schotter	Oben	1955	$\geq 10,5$	38
		Unten		-	-
	Pflasterstein	Oben	1706	$\geq 12,9$	52
		Unten		$\leq 1,2$	13

Tabelle 42: Ausreißer Untersuchung absolute vertikale Beschleunigung; Quelle: eigene Erhebung

Prüfung der Voraussetzungen für die statistischen Verfahren

Einfluss der Oberfläche auf die Vertikale Beschleunigung Citybike (ANOVA)

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Absolute Vertikale Beschleunigung Asphalt	,162	29	,050	,914	29	,022
Absolute Vertikale Beschleunigung Schotter	,177	29	,021	,919	29	,029
Absolute Vertikale Beschleunigung Pflaster	,176	29	,022	,939	29	,092

Tabelle 43: Test auf Normalverteilung 1; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Keine Normalverteilung → ANOVA dennoch durchgeführt

Mauchly-Test auf Sphärizität

Maß: MEASURE_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approx. Chi-Quadrat	df	Sig.	Epsilon		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
Oberfläche	,437	22,363	2	,000	,640	,657	,500

Tabelle 44: Mauchly-Test 1; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Sphärizität nicht angenommen → Korrektur der Freiheitsgrade nach Greenhouse Geisser

Einfluss der Oberfläche auf die Vertikale Beschleunigung Mountainbike (ANOVA)

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Absolute Vertikale Beschleunigung MTB Asphalt	,205	28	,004	,874	28	,003
Absolute Vertikale Beschleunigung MTB Schotter	,154	28	,085	,943	28	,132
Absolute Vertikale Beschleunigung MTB Pflaster	,168	28	,041	,917	28	,029

Tabelle 45: Test auf Normalverteilung 2; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Keine Normalverteilung → ANOVA dennoch durchgeführt

Mauchly-Test auf Sphärizität

Maß: MEASURE_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approx. Chi-Quadrat	df	Sig.	Epsilon		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
Oberfläche	,337	28,296	2	,000	,601	,614	,500

Tabelle 46: Mauchly-Test 2; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Sphärizität nicht angenommen → Korrektur der Freiheitsgrade nach Greenhouse Geisser

Einfluss der Variable Fahrrad auf die Vertikale Beschleunigung (ANOVA)

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Differenz Absolute Vertikale Beschleunigung Citybike und MTB Asphalt	,121	28	,200*	,950	28	,195
Differenz Absolute Vertikale Beschleunigung Citybike und MTB Schotter	,092	28	,200*	,974	28	,681
Differenz Absolute Vertikale Beschleunigung Citybike und MTB Pflaster	,084	28	,200*	,976	28	,739

Tabelle 47: Test auf Normalverteilung 3; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Normalverteilung gegeben

Einfluss der Variable Oberfläche auf die elektrodermale Aktivität Citybike (ANOVA)

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Elektrodermale Reaktionen/Sek Citybike Asphalt	,108	23	,200*	,965	23	,560
Elektrodermale Reaktionen /Sek Citybike Schotter	,145	23	,200*	,933	23	,127
Elektrodermale Reaktionen /Sek Citybike Pflaster	,148	23	,200*	,953	23	,337

Tabelle 48: Test auf Normalverteilung 4; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Normalverteilung gegeben

Mauchly-Test auf Sphärizität^a

Maß: MEASURE_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approx. Chi- Quadrat	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse- Geisser	Huynh- Feldt	Unter- grenze
Oberfläche	,887	2,518	2	,284	,898	,973	,500

Tabelle 49: Mauchly-Test 3; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Sphärizität gegeben

Einfluss der Variable Oberfläche auf die elektrodermale Aktivität Mountainbike (ANOVA)

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Elektrodermale Reaktionen /Sek MTB Asphalt	,117	26	,200*	,956	26	,315
Elektrodermale Reaktionen /Sek MTB Schotter	,122	26	,200*	,943	26	,160
Elektrodermale Reaktionen /Sek MTB Pflaster	,102	26	,200*	,958	26	,354

Tabelle 50: Test auf Normalverteilung 5; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Normalverteilung gegeben

Mauchly-Test auf Sphärizität^a

Maß: MEASURE_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approx. Chi- Quadrat	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse- Geisser	Huynh-Feldt	Unter- grenze
Oberfläche	,963	,895	2	,639	,965	1,000	,500

Tabelle 51: Mauchly-Test 4; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Sphärizität gegeben

T-Test elektrodermale Aktivität nach Fahrrad und Oberflächen

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Elektrodermale Reaktionen /Sek_Differenz_Aspphalt	,185	21	,060	,894	21	,027
Elektrodermale Reaktionen /Sek_Differenz_Schotter	,161	21	,166	,926	21	,115
Elektrodermale Reaktionen /Sek_Differenz_Pflaster	,115	21	,200*	,968	21	,682

Tabelle 52: Test auf Normalverteilung 6; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Normalverteilung gegeben

T-Test elektrodermale Aktivität nur nach Fahrrad

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Differenz_elektrodermale Reaktionen /Sek	,149	21	,200*	,955	21	,413

Tabelle 53: Test auf Normalverteilung 7; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Normalverteilung gegeben

Einfluss der Variable Oberfläche auf die Attention Werte Citybike (ANOVA)

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Attention Citybike Asphalt	,108	22	,200*	,958	22	,448
Attention Citybike Schotter	,145	22	,200*	,954	22	,372
Attention Citybike Pflaster	,087	22	,200*	,968	22	,672

Tabelle 54: Test auf Normalverteilung 8; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Normalverteilung gegeben

Mauchly-Test auf Sphärizität^a

Maß: MEASURE_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approx. Chi-			Greenhouse-Geisser	Epsilon ^b		Unter-grenze
		Quadrat	df	Sig.		Huynh-Feldt		
Oberfläche	,925	1,549	2	,461	,931	1,000	,500	

Tabelle 55: Mauchly-Test 5; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Sphärizität gegeben

Einfluss der Variable Oberfläche auf die Attention Werte Mountainbike (ANOVA)

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Attention MTB Asphalt	,147	23	,200*	,940	23	,179
Attention MTB Schotter	,119	23	,200*	,960	23	,468
Attention MTB Pflaster	,171	23	,081	,934	23	,130

Tabelle 56: Test auf Normalverteilung 9; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Normalverteilung gegeben

Mauchly-Test auf Sphärizität^a

Maß: MEASURE_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approx. Chi-			Greenhouse-Geisser	Epsilon ^b		Unter-grenze
		Quadrat	df	Sig.		Huynh-Feldt		
Oberfläche	,868	2,974	2	,226	,883	,955	,500	

Tabelle 57: Mauchly-Test 6; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Sphärizität gegeben

T-Test Attention nach Fahrrad alle Oberflächen

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
AttentionWert_alle_ Oberflächen_Differenz	,104	20	,200*	,965	20	,646

Tabelle 58: Test auf Normalverteilung 10; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Normalverteilung gegeben

T-Test Attention nach Fahrrad und Oberflächen

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Differenz_Attention_Aspphalt	,148	20	,200*	,947	20	,319
Differenz_Attention_Schotter	,122	20	,200*	,941	20	,254
Differenz_Attention_Pflaster	,095	20	,200*	,985	20	,981

Tabelle 59: Test auf Normalverteilung 11; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Normalverteilung gegeben

Einfluss der Variable Oberfläche auf die Meditation Werte Citybike (ANOVA)

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Meditation Citybike Asphalt	,174	22	,083	,926	22	,100
Meditation Citybike Schotter	,098	22	,200*	,975	22	,830
Meditation Citybike Pflaster	,153	22	,197	,956	22	,411

Tabelle 60: Test auf Normalverteilung 12; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Normalverteilung gegeben

Mauchly-Test auf Sphärizität^a

Maß: MEASURE_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approx. Chi-Quadrat			Sig.	Greenhouse-Geisser	Epsilon ^b		Untergrenze
		df					Huynh-Feldt		
Oberfläche	,984	,320	2	,852	,984	1,000	,500		

Tabelle 61: Mauchly-Test 7; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Sphärizität gegeben

Einfluss der Variable Oberfläche auf die Meditation Werte Citybike (ANOVA)

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Meditation MTB Asphalt	,123	23	,200 [*]	,953	23	,341
Meditation MTB Schotter	,114	23	,200 [*]	,965	23	,569
Meditation MTB Pflaster	,091	23	,200 [*]	,966	23	,584

Tabelle 62: Test auf Normalverteilung 13; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Normalverteilung gegeben

Mauchly-Test auf Sphärizität^a

Maß: MEASURE_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approx. Chi-Quadrat			Sig.	Greenhouse-Geisser	Epsilon ^b		Untergrenze
		df					Huynh-Feldt		
Oberfläche	,996	,084	2	,959	,996	1,000	,500		

Tabelle 63: Mauchly-Test 8; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Sphärizität gegeben

T-Test Meditation nach Fahrrad alle Oberflächen

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Differenz_Meditation_alle_Oberflächen	,128	20	,200*	,965	20	,649

Tabelle 64: Test auf Normalverteilung 14; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Normalverteilung gegeben

T-Test Attention nach Fahrrad und Oberflächen

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Differenz_Meditation_Aspphalt	,106	20	,200*	,972	20	,797
Differenz_Meditation_Schotter	,098	20	,200*	,974	20	,830
Differenz_Meditation_Pflaster	,131	20	,200*	,949	20	,351

Tabelle 65: Test auf Normalverteilung 15; Quelle: eigene Erhebung

Resultat: Normalverteilung gegeben

Fragebogen Ergebnisse Citybike



Einfluss von Oberflächenbelägen auf die Bikeability/Fahrkomfort
Verfasser: Tomas Leszczynski, BSc

Testpersonnr:

Datum:

Wetter:

Fahrradtyp: Citybike

Startzeit:

Endzeit:

Persönliche Angaben

Geschlecht:

Weiblich Männlich

Alter: Ø 29,17 Jahre

Tätigkeit:

Erfahrung im Bereich Radfahren (Wie geübt sind sie?)					
sehr unerfahren	unerfahren	eher unerfahren	eher erfahren	erfahren	sehr erfahren
Σ 0	Σ 2	Σ 4	Σ 7	Σ 7	Σ 9

1. Fahrkomfort auf den jeweiligen Fahrbahnoberflächen

1.1. Asphalt

Das Radfahren auf der Oberfläche Asphalt war:					
sehr unkomfortabel	unkomfortabel	eher unkomfortabel	eher komfortabel	komfortabel	sehr komfortabel
$\Sigma 0$	$\Sigma 0$	$\Sigma 2$	$\Sigma 5$	$\Sigma 8$	$\Sigma 14$

1.2. Schotter

Das Radfahren auf der Oberfläche Schotter war:					
sehr unkomfortabel	unkomfortabel	eher unkomfortabel	eher komfortabel	komfortabel	sehr komfortabel
$\Sigma 0$	$\Sigma 2$	$\Sigma 11$	$\Sigma 8$	$\Sigma 7$	$\Sigma 1$

1.3. Pflasterstein

Das Radfahren auf der Oberfläche Pflasterstein war:					
sehr unkomfortabel	unkomfortabel	eher unkomfortabel	eher komfortabel	komfortabel	sehr komfortabel
$\Sigma 15$	$\Sigma 7$	$\Sigma 7$	$\Sigma 0$	$\Sigma 0$	$\Sigma 0$

2. Kraftaufwand auf den jeweiligen Fahrbahnoberflächen

2.1. Asphalt

Das Radfahren auf der Oberfläche Asphalt war:					
sehr anstrengend	anstrengend	eher anstrengend	eher mühelos	mühelos	sehr mühelos
$\Sigma 0$	$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 9$	$\Sigma 9$	$\Sigma 10$

2.2. Schotter

Das Radfahren auf der Oberfläche Schotter war:					
sehr anstrengend	anstrengend	eher anstrengend	eher mühelos	mühelos	sehr mühelos
$\Sigma 0$	$\Sigma 2$	$\Sigma 7$	$\Sigma 11$	$\Sigma 8$	$\Sigma 1$

2.3. Pflasterstein

Das Radfahren auf der Oberfläche Pflasterstein war:					
sehr anstrengend	anstrengend	eher anstrengend	eher mühelos	mühelos	sehr mühelos
$\Sigma 5$	$\Sigma 9$	$\Sigma 9$	$\Sigma 4$	$\Sigma 2$	$\Sigma 0$

3. Weitere Einflussfaktoren auf den Fahrkomfort

Wurden während der Testfahrt neben der Oberfläche noch weitere Einflussfaktoren wahrgenommen die Einfluss auf den Fahrkomfort hatten?				
Einfluss auf den Fahrkomfort	kein Einfluss	geringer Einfluss	großer Einfluss	sehr großer Einfluss
Fahrbahnoberfläche	∑ 0	∑ 1	∑ 11	∑ 17
Fahrrad	∑ 0	∑ 3	∑ 14	∑ 12
Umgebungsgeräusche	∑ 17	∑ 11	∑ 1	∑ 0
FußgängerInnen	∑ 6	∑ 14	∑ 7	∑ 2
Andere RadfahrerInnen	∑ 10	∑ 15	∑ 2	∑ 2
Anstrengung	∑ 6	∑ 12	∑ 9	∑ 2
Wetterbedingungen	∑ 10	∑ 12	∑ 5	∑ 2
Messgeräte	∑ 15	∑ 14	∑ 0	∑ 0
Gab es noch weitere Einflussfaktoren, die während der Fahrt aufgefallen sind? Wenn ja, bitte angeben und den Einflussgrad angeben				
Einfluss auf den Fahrkomfort	kein Einfluss	geringer Einfluss	großer Einfluss	sehr großer Einfluss
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fragebogen Ergebnisse Citybike



Einfluss von Oberflächenbelägen auf die Bikeability/Fahrkomfort
Verfasser: Tomas Leszczynski, BSc

TESTPERSONNR:

DATUM:

WETTER:

FAHRRADTYP: MOUNTAINBIKE

STARTZEIT:

ENDZEIT:

PERSÖNLICHE ANGABEN

Geschlecht:

Weiblich

Männlich

Alter: Ø 29,17 Jahre

Tätigkeit:

Erfahrung im Bereich Radfahren (Wie geübt sind sie?)					
sehr unerfahren	unerfahren	eher unerfahren	eher erfahren	erfahren	sehr erfahren
Σ 0	Σ 2	Σ 4	Σ 7	Σ 7	Σ 9

1. Fahrkomfort auf den jeweiligen Fahrbahnoberflächen

1.1. Asphalt

Das Radfahren auf der Oberfläche Asphalt war:					
sehr unkomfortabel	unkomfortabel	eher unkomfortabel	eher komfortabel	komfortabel	sehr komfortabel
$\Sigma 0$	$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 0$	$\Sigma 3$	$\Sigma 24$

1.2. Schotter

Das Radfahren auf der Oberfläche Schotter war:					
sehr unkomfortabel	unkomfortabel	eher unkomfortabel	eher komfortabel	komfortabel	sehr komfortabel
$\Sigma 0$	$\Sigma 0$	$\Sigma 7$	$\Sigma 3$	$\Sigma 12$	$\Sigma 6$

1.3. Pflasterstein

Das Radfahren auf der Oberfläche Pflasterstein war:					
sehr unkomfortabel	unkomfortabel	eher unkomfortabel	eher komfortabel	komfortabel	sehr komfortabel
$\Sigma 4$	$\Sigma 4$	$\Sigma 11$	$\Sigma 5$	$\Sigma 4$	$\Sigma 0$

2. Kraftaufwand auf den jeweiligen Fahrbahnoberflächen

2.1. Asphalt

Das Radfahren auf der Oberfläche Asphalt war:					
sehr anstrengend	anstrengend	eher anstrengend	eher mühelos	mühelos	sehr mühelos
$\Sigma 0$	$\Sigma 0$	$\Sigma 0$	$\Sigma 0$	$\Sigma 5$	$\Sigma 23$

2.2. Schotter

Das Radfahren auf der Oberfläche Schotter war:					
sehr anstrengend	anstrengend	eher anstrengend	eher mühelos	mühelos	sehr mühelos
$\Sigma 0$	$\Sigma 0$	$\Sigma 0$	$\Sigma 6$	$\Sigma 11$	$\Sigma 11$

2.3. Pflasterstein

Das Radfahren auf der Oberfläche Pflasterstein war:					
sehr anstrengend	anstrengend	eher anstrengend	eher mühelos	mühelos	sehr mühelos
$\Sigma 0$	$\Sigma 2$	$\Sigma 8$	$\Sigma 12$	$\Sigma 6$	$\Sigma 0$

3. Weitere Einflussfaktoren auf den Fahrkomfort

Wurden während der Testfahrt neben der Oberfläche noch weitere Einflussfaktoren wahrgenommen die Einfluss auf den Fahrkomfort hatten?				
Einfluss auf den Fahrkomfort	kein Einfluss	geringer Einfluss	großer Einfluss	sehr großer Einfluss
Fahrbahnoberfläche	$\Sigma 0$	$\Sigma 3$	$\Sigma 14$	$\Sigma 11$
Fahrrad	$\Sigma 0$	$\Sigma 3$	$\Sigma 9$	$\Sigma 16$
Umgebungsgeräusche	$\Sigma 17$	$\Sigma 11$	$\Sigma 0$	$\Sigma 0$
FußgängerInnen	$\Sigma 6$	$\Sigma 11$	$\Sigma 8$	$\Sigma 2$
Andere RadfahrerInnen	$\Sigma 8$	$\Sigma 15$	$\Sigma 3$	$\Sigma 2$
Anstrengung	$\Sigma 6$	$\Sigma 12$	$\Sigma 10$	$\Sigma 0$
Wetterbedingungen	$\Sigma 7$	$\Sigma 15$	$\Sigma 4$	$\Sigma 2$
Messgeräte	$\Sigma 17$	$\Sigma 10$	$\Sigma 0$	$\Sigma 0$
Gab es noch weitere Einflussfaktoren, die während der Fahrt aufgefallen sind? Wenn ja, bitte angeben und den Einflussgrad angeben				
Einfluss auf den Fahrkomfort	kein Einfluss	geringer Einfluss	großer Einfluss	sehr großer Einfluss
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Gesamtdatendatei

Testperson	Erfahrung	Alter	Geschlecht	Außentemperatur	Subjektiver Komfort Citybike Asphalt (Fragebogen)
1	5	33	männlich	14	6
2	4	24	männlich	16	6
3	6	61	weiblich	18	5
4	5	25	weiblich	18	6
5	6	27	männlich	19	6
6	6	26	weiblich	20	5
7	3	25	weiblich	20	6
8	5	31	männlich	21	5
9	6	25	männlich	14	6
10	6	28	männlich	14	6
11	2	27	weiblich	14	6
12	6	26	männlich	16	6
13	6	32	männlich	15	5
14	4	29	männlich	28	6
15	2	26	männlich	28	4
16	4	24	männlich	28	4
17	5	28	männlich	26	5
18	3	26	weiblich	28	5
19	5	29	weiblich	28	5
20	4	33	männlich	28	4
21	6	25	männlich	27	5
22	4	29	weiblich	27	4
23	4	26	weiblich	27	4
24	5	34	männlich	27	3
25	3	33	männlich	27	3
26	5	27	männlich	27	6
27	3	30	weiblich	27	6
28	4	29	weiblich	27	6
29	6	28	männlich	27	6

Testperson	Subjektiver Komfort Citybike Schotter (Fragebogen)	Subjektiver Komfort Citybike Pflasterstein (Fragebogen)	Subjektiver Kraftaufwand Citybike Asphalt (Fragebogen)	Subjektiver Kraftaufwand Citybike Schotter (Fragebogen)	Subjektiver Kraftaufwand Citybike Pflasterstein (Fragebogen)
1	4	2	2	3	5
2	6	3	1	1	2
3	4	3	1	2	3
4	4	3	1	2	2
5	2	2	2	5	4
6	2	1	3	4	6
7	4	1	1	3	5
8	3	1	2	4	5
9	3	2	1	4	3
10	3	1	3	5	5
11	3	1	2	3	5
12	5	1	1	2	4
13	3	2	2	3	4
14	5	1	1	2	6
15	3	1	3	4	6
16	3	1	3	4	4
17	4	1	3	3	5
18	4	1	3	3	6
19	5	2	2	2	3
20	3	1	2	2	4
21	5	1	3	3	5
22	3	1	3	4	6
23	4	3	3	3	4
24	3	1	2	2	5
25	3	2	4	4	5
26	4	2	2	3	4
27	5	3	1	2	3
28	5	3	1	3	4
29	5	3	1	3	4

Testperson	Attention Citybike Asphalt	Attention Citybike Schotter	Attention Citybike Pflasterstein	Meditation Citybike Asphalt	Meditation Citybike Schotter
1	70,89	57,82	69,54	29,04	46,76
2	50,61	34,58	38,09	43,26	40,06
3	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert
4	60,66	46,17	82,38	55,67	42,96
5	69,58	53,06	77,10	45,73	42,97
6	49,72	52,35	54,74	42,24	46,09
7	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert
8	35,89	38,23	38,67	59,89	59,14
9	58,09	64,18	53,76	65,00	70,10
10	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert
11	56,56	49,65	52,93	38,35	35,69
12	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert
13	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert
14	43,19	56,55	60,27	57,31	62,40
15	53,68	42,98	56,96	52,57	49,82
16	50,48	56,04	62,86	31,13	34,70
17	42,96	38,97	45,45	54,93	50,36
18	46,84	36,49	42,24	64,10	58,31
19	35,24	29,81	36,05	64,38	67,58
20	59,10	54,38	71,89	56,82	44,59
21	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert
22	46,98	43,52	59,68	54,57	53,61
23	35,40	37,28	49,01	53,59	54,35
24	46,06	34,79	56,26	51,05	49,12
25	45,81	35,97	50,56	45,62	52,09
26	67,40	61,00	78,03	61,87	64,89
27	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert
28	40,90	48,87	48,32	53,69	52,13
29	57,52	52,61	65,69	55,09	48,08

Testperson	Meditation Citybike Pflasterstein	Elektro- dermale Reaktionen/ Sekunde Citybike Asphalt	Elektro- dermale Reaktionen/ Sekunde Citybike Schotter	Elektro- dermale Reaktionen/ Sekunde Citybike Pflasterstein	Absolute vertikale Besch- leunigung Citybike Asphalt
1	34,49	0,05	0,12	0,03	1,83
2	37,63	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	1,86
3	Kein Wert	0,22	0,13	0,23	1,00
4	57,02	0,29	0,26	0,23	1,58
5	42,06	0,13	0,14	0,06	2,01
6	51,33	0,05	0,05	0,11	1,57
7	Kein Wert	0,24	0,18	0,21	2,48
8	52,56	0,14	0,19	0,19	2,34
9	57,61	0,01	0,04	0,09	1,36
10	Kein Wert	0,06	0,03	0,10	1,53
11	37,13	0,11	0,19	0,17	1,48
12	Kein Wert	0,21	0,16	0,21	1,34
13	Kein Wert	0,14	0,22	0,24	2,17
14	72,07	0,04	0,04	0,03	2,56
15	50,32	0,00	0,01	0,00	2,63
16	38,60	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	2,50
17	51,55	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	1,29
18	48,76	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	1,41
19	59,16	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	1,47
20	45,27	0,23	0,30	0,19	1,42
21	Kein Wert	0,30	0,23	0,21	1,07
22	61,46	0,15	0,19	0,18	1,03
23	50,72	0,29	0,30	0,18	1,12
24	52,14	0,27	0,21	0,18	1,13
25	46,54	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	1,11
26	70,38	0,12	0,19	0,13	1,39
27	Kein Wert	0,31	0,27	0,36	2,17
28	51,14	0,41	0,31	0,16	2,32
29	47,91	0,19	0,20	0,25	1,66

Testperson	Absolute vertikale Beschleunigung Citybike Schotter	Absolute vertikale Beschleunigung Citybike Pflasterstein	Gesamtfahrzeit Citybike in Sekunden	Fahrzeit auf der Oberfläche Asphalt Citybike in Sekunden	Fahrzeit auf der Oberfläche Schotter Citybike in Sekunden
1	4,96	7,10	208	64	81
2	3,29	3,60	227	78	78
3	2,99	4,60	290	100	100
4	4,17	6,22	224	86	76
5	6,46	11,28	244	87	87
6	7,36	10,06	341	108	110
7	7,84	11,11	249	82	83
8	5,56	8,44	221	73	75
9	3,69	6,49	255	86	89
10	4,43	7,20	258	85	89
11	4,51	5,55	246	86	77
12	4,16	8,62	215	72	82
13	5,85	9,62	171	56	64
14	6,84	8,91	222	70	82
15	7,43	9,93	228	77	80
16	7,16	9,58	205	70	71
17	4,57	6,54	212	70	77
18	5,25	6,64	214	69	78
19	4,51	6,90	221	69	75
20	4,65	6,86	229	79	80
21	3,97	6,13	235	82	83
22	3,60	5,93	225	78	79
23	3,46	5,98	226	79	82
24	3,81	5,94	224	77	81
25	3,83	5,55	223	75	80
26	4,23	6,22	215	74	73
27	5,24	6,87	214	66	74
28	6,02	7,62	192	62	62
29	4,19	6,01	232	79	81

Testperson	Fahrzeit auf der Oberfläche Pflasterstein Citybike in Sekunden	Subjektiver Komfort Mountainbike Asphalt (Fragebogen)	Subjektiver Komfort Mountainbike Schotter (Fragebogen)	Subjektiver Komfort Mountainbike Pflasterstein (Fragebogen)	Subjektiver Kraftaufwand Mountainbike Asphalt (Fragebogen)
1	63	6	5	3	1
2	71	6	3	2	1
3	90	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert
4	62	6	6	5	1
5	70	6	4	2	1
6	123	6	3	1	1
7	84	6	3	3	1
8	73	6	5	5	1
9	80	6	4	3	1
10	84	6	3	3	1
11	83	6	3	1	2
12	61	6	5	3	1
13	51	6	3	1	2
14	70	6	5	4	1
15	71	6	5	4	1
16	64	6	6	5	1
17	65	6	5	3	1
18	67	5	5	2	2
19	77	6	6	3	1
20	69	5	5	3	1
21	70	6	6	4	1
22	68	5	5	2	1
23	65	6	5	5	1
24	66	3	3	1	2
25	68	6	5	3	2
26	68	6	5	3	1
27	74	6	6	4	1
28	68	6	6	4	1
29	72	6	4	3	1

Testperson	Subjektiver Kraftaufwand Mountainbike Schotter (Fragebogen)	Subjektiver Kraftaufwand Mountainbike Pflasterstein (Fragebogen)	Attention Mountainbike Asphalt	Attention Mountainbike Schotter	Attention Mountainbike Pflasterstein
1	2	4	51,28	41,17	35,85
2	1	2	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert
3	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert
4	1	2	68,62	51,36	69,24
5	3	4	50,83	45,61	58,81
6	3	4	60,46	65,28	66,66
7	3	3	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert
8	2	2	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert
9	3	4	48,59	47,47	37,44
10	2	3	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert
11	3	5	44,11	35,98	37,13
12	1	3	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert
13	2	3	47,62	37,12	50,03
14	1	3	32,51	31,45	35,66
15	1	3	46,77	35,00	53,41
16	2	3	45,84	36,00	38,89
17	1	3	51,52	48,70	64,12
18	2	4	44,96	42,16	37,71
19	1	2	46,54	43,04	37,97
20	1	2	38,75	27,50	33,95
21	1	2	52,25	53,53	48,65
22	2	4	48,02	34,80	50,04
23	1	3	49,57	38,85	47,26
24	2	5	48,06	43,98	45,19
25	3	4	53,88	48,70	57,69
26	2	3	60,23	61,12	62,82
27	1	3	45,64	40,16	49,96
28	2	3	36,55	43,30	54,91
29	2	4	46,76	42,36	52,63

Testperson	Meditation Mountainbike Asphalt	Meditation Mountainbike Schotter	Meditation Mountainbike Pflasterstein	Elektro- dermale Reaktionen/ Sekunde Mountainbike Asphalt	Elektro- dermale Reaktionen/ Sekunde Mountainbike Schotter
1	38,75	41,44	39,25	0,02	0,02
2	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	0,27	0,17
3	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert
4	66,28	62,66	69,57	0,31	0,25
5	71,56	54,27	66,39	0,20	0,10
6	35,52	45,59	37,78	0,07	0,07
7	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	0,00	0,04
8	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	0,04	0,03
9	48,90	44,18	57,59	0,05	0,01
10	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	0,05	0,12
11	59,94	52,66	50,38	0,15	0,26
12	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	0,26	0,12
13	60,29	55,60	48,91	0,15	0,17
14	37,45	43,38	42,81	Kein Wert	Kein Wert
15	53,15	39,42	50,32	0,02	0,00
16	48,75	47,46	51,77	Kein Wert	Kein Wert
17	46,00	46,69	49,14	0,22	0,27
18	51,20	54,94	59,95	0,21	0,29
19	53,10	57,84	47,69	0,18	0,24
20	61,98	68,94	65,48	0,31	0,14
21	50,53	45,80	37,91	0,24	0,19
22	50,99	55,80	34,77	0,24	0,27
23	60,73	57,28	46,21	0,15	0,12
24	60,50	59,42	54,85	0,29	0,06
25	36,27	40,62	34,07	0,32	0,23
26	59,18	38,93	40,21	0,39	0,20
27	58,55	63,44	57,84	0,36	0,33
28	57,64	52,58	54,05	0,10	0,30
29	49,03	51,16	48,84	0,17	0,26

Testperson	Elektro- dermale Reaktionen/ Sekunde Mountainbike Pflasterstein	Absolute vertikale Besch- leunigung Mountainbike Asphalt	Absolute vertikale Besch- leunigung Mountainbike Schotter	Absolute vertikale Besch- leunigung Mountainbike Pflasterstein	Gesamt- fahrzeit Mountainbike in Sekunden
1	0,02	1,82	5,42	7,57	179
2	0,30	1,67	4,11	5,41	199
3	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert	#NULL!
4	0,21	1,64	4,90	7,11	207
5	0,13	1,72	6,83	9,06	214
6	0,04	1,62	5,96	8,88	225
7	0,04	2,34	7,47	9,46	208
8	0,03	2,26	7,96	9,66	199
9	0,12	1,45	5,02	6,33	255
10	0,09	2,25	4,69	6,86	211
11	0,13	2,36	7,23	9,42	221
12	0,16	1,59	5,57	7,06	180
13	0,19	2,37	5,64	7,03	158
14	Kein Wert	1,35	4,34	6,21	185
15	0,00	1,56	5,54	7,04	163
16	Kein Wert	1,65	4,21	6,17	175
17	0,11	1,49	4,07	5,92	184
18	0,20	1,47	4,56	5,50	179
19	0,23	1,54	4,54	5,89	183
20	0,13	1,62	4,45	5,80	184
21	0,17	1,76	5,66	6,74	175
22	0,22	1,80	5,45	6,90	174
23	0,29	1,82	6,02	7,45	175
24	0,24	1,66	5,14	6,75	178
25	0,33	1,83	5,29	6,65	168
26	0,29	1,62	4,15	5,60	185
27	0,28	1,64	5,06	6,34	221
28	0,33	1,68	5,60	7,28	181
29	0,35	1,19	3,40	4,77	232

Testperson	Fahrzeit auf der Oberfläche Asphalt Mountainbike in Sekunden	Fahrzeit auf der Oberfläche Schotter Mountainbike in Sekunden	Fahrzeit auf der Oberfläche Schotter Mountainbike in Sekunden
1	58	66	55
2	59	71	69
3	Kein Wert	Kein Wert	Kein Wert
4	76	73	58
5	75	72	67
6	75	83	67
7	68	73	67
8	66	64	69
9	86	86	83
10	60	86	65
11	71	72	78
12	60	65	55
13	52	58	48
14	55	79	51
15	55	57	51
16	58	64	53
17	22	105	57
18	57	63	59
19	64	63	56
20	60	69	55
21	58	64	53
22	58	62	54
23	65	58	52
24	58	66	54
25	59	57	52
26	61	65	59
27	65	70	86
28	60	60	61
29	76	84	72