

Geschwindigkeitswahrnehmung von einspurigen Fahrzeugen

Katja Schleinitz

Tibor Petzoldt

Josef Krems

Matthias Kühn

Tina Gehlert

Geschwindigkeitswahrnehmung von einspurigen Fahrzeugen

Dipl.-Psych. Katja Schleinitz
Dr. Tibor Petzoldt
Prof. Dr. Josef Krems
Dr. Matthias Kühn
Dr. Tina Gehlert

Impressum

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Unfallforschung der Versicherer

Wilhelmstraße 43/43G, 10117 Berlin

Postfach 08 02 64, 10002 Berlin

E-Mail: unfallforschung@gdv.de

Internet: www.udv.de

Facebook: www.facebook.com/unfallforschung

Twitter: [@unfallforschung](https://twitter.com/unfallforschung)

YouTube: www.youtube.com/unfallforschung

ISBN-Nr.: 978-3-939163-61-9

Redaktion: Dr. Tina Gehlert

Bildnachweis: UDV, TU Chemnitz und siehe Quellenangaben

Erschienen: 04/2015

Im Auftrag der Unfallforschung der Versicherer (UDV)

Geschwindigkeitswahrnehmung von einspurigen Fahrzeugen

bearbeitet durch:

TU Chemnitz
Professur für Allgemeine und Arbeitspsychologie
Dipl.-Psych. Katja Schleinitz
Dr. Tibor Petzold
Prof. Dr. Josef Kreams



Bei der UDV betreut von:

Dr. Matthias Kühn
Dr. Tina Gehlert



Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	5
Abstract.....	6
Kurzfassung.....	8
1 Allgemeine Einführung.....	10
1.1 Wahrnehmung von Geschwindigkeiten.....	10
1.2 Time-to-Arrival-Schätzung.....	11
1.2.1 Einflussgrößen auf die Time-to-Arrival-Schätzung.....	12
1.3 Lückenwahl.....	13
1.3.1 Einflussgrößen auf die Lückenwahl.....	13
1.4 Zusammenfassung.....	14
1.5 Struktur und Hintergründe der Versuchsreihe.....	15
1.5.1 Versuchsübergreifende methodische Aspekte.....	16
1.5.2 Allgemeine Hinweise zur Auswertung.....	17
2 Experiment 1: Einfluss der Geschwindigkeit auf die Lückenwahl auf der Teststrecke.....	19
2.1 Methode.....	19
2.1.1 Stichprobe.....	19
2.1.2 Versuchsaufbau.....	20
2.1.3 Ablauf.....	20
2.1.4 Design.....	22
2.2 Ergebnisse.....	23
2.3 Zusammenfassung.....	26
3 Experiment 2: Einfluss des Zweiradtyps und des Fahreralters auf Lückenwahl und Time-to-Arrival- Schätzung.....	27
3.1 Methode.....	27
3.1.1 Stichprobe.....	27
3.1.2 Verwendete Materialien und Versuchsaufbau.....	28
3.1.3 Ablauf.....	29
3.1.4 Design.....	29
3.2 Ergebnisse.....	30
3.2.1 Lückenwahl.....	30
3.2.2 Time-to-Arrival-Schätzung.....	33
3.3 Zusammenfassung.....	36
4 Experiment 3: Einfluss der Trittfrequenz auf Lückenwahl und Time-to-Arrival-Schätzung.....	38
4.1 Methode.....	38
4.1.1 Stichprobe.....	38
4.1.2 Verwendete Materialien und Versuchsaufbau.....	39
4.1.3 Ablauf.....	39
4.1.4 Design.....	39
4.2 Ergebnisse.....	40
4.2.1 Lückenwahl.....	40
4.2.2 Time-to-Arrival.....	41
4.3 Zusammenfassung.....	42

5 Experiment 4: Einfluss der Lichtverhältnisse sowie von Maßnahmen zur Sichtbarkeit auf Lückenwahl und Time-to-Arrival-Schätzung.....	43
5.1 Methode.....	43
5.1.1 <i>Stichprobe</i>	43
5.1.2 <i>Verwendete Materialien und Versuchsaufbau</i>	44
5.1.3 <i>Ablauf</i>	45
5.1.4 <i>Design</i>	45
5.2 Ergebnisse.....	46
5.3 Zusammenfassung	50
6 Zusammenfassung und Diskussion	51
6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	51
6.2 Diskussion der Ergebnisse.....	52
Literatur.....	55
Anhang	59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Konventionelles Fahrrad (links) und Pedelec 45 (rechts), so wie sie im Versuch eingesetzt wurden.	16
Abbildung 2: Videoausschnitt aus Sicht des Autofahrers.	17
Abbildung 3: Verschiedene Blickwinkel bei der Lückenwahl (links: frontal, rechts: seitlich).	20
Abbildung 4: Blick auf den ebenen Streckenabschnitt der Teststrecke (oben), Blickwinkel des Teilnehmers auf die Steigung der Teststrecke (unten).	21
Abbildung 5: Kumulierter Anteil akzeptierter Lücken einer bestimmten Größe in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Radfahrers. Durchgehende Linie bei „kritischer“ Zeitlücke von 3,4 s.	24
Abbildung 6: Akzeptierte Lückengröße für die verschiedenen Geschwindigkeitsstufen in Abhängigkeit von Zweiradtyp (6a), Streckenprofil (6b), Blickwinkel (6c) und Altersgruppe der Teilnehmer (6d).	25
Abbildung 7: Akzeptierte Lückengröße für die beiden Zweiradtypen und die Altersgruppen der Teilnehmer (N = 42).	26
Abbildung 8: Videoausschnitt älterer Radfahrer (oben) und jüngerer Radfahrer (unten).	29
Abbildung 9: Mittlere gewählte Lückengröße für alle verschiedenen Variationen über Altersgruppen hinweg (N = 42).	31
Abbildung 10: Mittlere gewählte Lückengröße für die beiden Fahrer- und Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h (N = 42).	32
Abbildung 11: Mittlere gewählte Lückengröße für die drei Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 25 bis 35 km/h (N = 42).	33
Abbildung 12: Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für die beiden Fahrer- und Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h (N = 44).	34
Abbildung 13: Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für die drei Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 25 bis 35 km/h (N = 44).	36
Abbildung 14: Mittlere gewählte Lückengröße für alle verschiedenen Variationen inklusive Altersgruppenvergleich (N = 42).	40
Abbildung 15: Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für Trittfrequenz und Geschwindigkeit (die TTAs wurden zusammengefasst, N = 44).	41
Abbildung 16: Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für Dämmerung (Mai 2014, 19:25 Uhr, N = 46).	44
Abbildung 17: Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für verschiedene Lichtverhältnisse (Mai 2014, 14:52 Uhr, N = 46).	45
Abbildung 18: Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für verschiedene Lichtverhältnisse (N = 46).	48
Abbildung 19: Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für verschiedene Lichtverhältnisse, Altersgruppen und Maßnahmen (N = 46).	48
Abbildung 20: Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für verschiedene Zweiradtypen (N = 46).	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stichprobenzusammensetzung Teststreckenversuch.....	19
Tabelle 2: Untersuchungsplan Zweiradtyp und Fahreralter.....	22
Tabelle 3: ANOVA Tabelle Lückenwahl für alle Variationen mit Altersgruppenvergleich (signifikante Ergebnisse sind Fett dargestellt, N = 42).....	23
Tabelle 4: Stichprobenzusammensetzung nach Fahrzeugtyp und Altersgruppe des Versuchs zur Lückenwahl.....	28
Tabelle 5: Stichprobenzusammensetzung nach Altersgruppe des Time-to-Arrival Versuchs.....	28
Tabelle 6: Untersuchungsplan Zweiradtyp und Fahreralter.....	30
Tabelle 7: ANOVA Tabelle Lückenwahl für die beiden Fahrer- und Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h mit Altersgruppenvergleich (signifikante Ergebnisse sind Fett dargestellt, N = 42).....	31
Tabelle 8: ANOVA Tabelle Lückenwahl für die drei Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 25 bis 35 km/h mit Vergleich der Altersgruppen der Teilnehmer (signifikante Ergebnisse sind Fett dargestellt, N = 42).....	33
Tabelle 9: ANOVA Tabelle TTA-Schätzung für die beiden Fahrer- und Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h mit Altersgruppenvergleich (signifikante Ergebnisse sind Fett dargestellt, N = 44).....	35
Tabelle 10: ANOVA Tabelle TTA-Schätzung für die drei Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 25 bis 35 km/h mit Altersgruppenvergleich (signifikante Ergebnisse sind Fett dargestellt, N = 44).....	36
Tabelle 11: Stichprobenzusammensetzung nach Altersgruppe beim Versuch zur Lückenwahl.....	38
Tabelle 12: Stichprobenzusammensetzung nach Altersgruppe des Time-to-Arrival Versuchs.....	38
Tabelle 13: Untersuchungsplan Trittfrequenz.....	40
Tabelle 14: ANOVA Tabelle Lückenwahl für die Trittfrequenzen gering vs. hoch und Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h mit Altersgruppenvergleich (signifikante Ergebnisse sind Fett dargestellt, N = 42).....	41
Tabelle 15: ANOVA Tabelle TTA-Schätzung für die Trittfrequenzen gering (90 bpm) und hoch (155 bpm) und Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h mit Altersgruppenvergleich (signifikante Ergebnisse sind Fett dargestellt, N = 44).....	42
Tabelle 16: Stichprobenzusammensetzung nach Zweiradtyp und Altersgruppe des Versuchs zur TTA-Schätzung.....	43
Tabelle 17: Untersuchungsplan Maßnahmen und Lichtverhältnisse.....	46
Tabelle 18: ANOVA Tabelle TTA-Schätzung für die Lichtverhältnisse, Maßnahme und Geschwindigkeiten von 15 bis 35 km/h mit Altersgruppenvergleich (signifikante Ergebnisse sind Fett dargestellt, N = 46).....	47
Tabelle 19: ANOVA Tabelle TTA-Schätzung für die Lichtverhältnisse, Zweiradtyp und Geschwindigkeiten von 15 bis 35 km/h mit Altersgruppenvergleich (N = 44).....	49

Abstract

In Germany, electric bicycles (pedelecs) have become highly popular over the past few years. Reasons for that are their potential to reach higher speeds and the reduction of cycling effort. While these are desirable effects, safety concerns have been raised. Pedelecs are, with regard to their design, hardly distinguishable from conventional bicycles. It has been argued that this could result in other road users misjudging the approach of an oncoming pedelec (e.g. at intersections) and subsequent unsafe behaviour, e.g. choosing rather small time gaps for crossing in front of pedelec riders. Therefore, the goal of this study was to conduct a series of experiments investigating road users' time-to-arrival estimations (TTA; the estimation of time gaps between the road user and other vehicles) and their gap acceptance behaviour (the gap a road user selects in front of or between other vehicles for turning or crossing) in relation to approaching two-wheelers, especially pedelecs and conventional bicycles.

Three experiments were conducted to investigate the influence of two-wheelers' approach speed, bicycle/vehicle type (conventional bicycle, S-pedelec, scooter), road gradient, observer perspective, observer age, cyclist age, and pedalling frequency on TTA estimation and/or gap acceptance. A fourth experiment investigated the impact of measures to enhance the visibility of cyclists on TTA estimation.

An intersection scenario was implemented either in a realistic setting on a test track (Experiment 1) or in a laboratory using video material (Experiments 2 to 4). On the test track, participants were seated in a real car. They observed an approaching cyclist and were instructed to depress a foot pedal to indicate the smallest acceptable gap to turn in front of the bicycle rider (gap acceptance). In the laboratory studies, participants were asked to indicate the smallest acceptable gap, too, but provided their judgements on the basis of videos of approaching cyclists. For TTA estimations, participants watched short videos of approaching two-wheelers. Before the rider reached the position of the participant, the videos were masked, and the participants were required to press a button to indicate the moment they believed the rider would have reached a predefined position (TTA estimation, Experiment 2 to 4 only).

In all four experiments, a higher approach speed of the two wheeler lead to higher TTA estimates and smaller accepted gaps in comparison to a lower approach speed. That means participants' turning decisions tended to be riskier for higher speeds. In addition, there were differences in gap acceptance and TTA estimation between the two bicycle types. Participants selected smaller gaps for the S-pedelec compared to the bicycle. Likewise, TTA estimations for the S-pedelec were higher, i.e. participants judged the time remaining until the S-pedelec reached the observers' position as longer compared to the bicycle, resulting in riskier turning behaviour. For the scooter, we found larger accepted gaps and smaller TTA estimations in comparison to the two bicycle types. This suggests a somewhat safer turning/crossing behaviour around scooters compared to bicycles. Furthermore, cyclists' age influenced TTA estimations, with an older cyclist being judged as arriving earlier at the observers' position than a younger cyclist. In addition, the participants chose smaller gaps and provided higher TTA estimations for a lower pedalling frequency in comparison to the higher one. The age of the participants affected only TTA estimation, not gap acceptance behaviour. Throughout the experiments, older participants judged TTA as being smaller compared to the younger participants. The measures for enhancing the visibility of the cyclists had no influence on TTA estimation.

The results demonstrate that the higher speed of pedelecs together with their similarity to conventional bicycles could indeed result in road safety problems. Simple measures that

mainly aim at increasing cyclist visibility do not seem to be suitable to change gap acceptance and speed judgement of pedelecs. The results indicate that observers base their speed judgements and turning/crossing decisions on their experience with conventional bicycles. Therefore it may be more appropriate to develop a unique pedelec design to clearly distinguish it from a conventional bicycle. In the future, it might be that with even more pedelecs on the road other road users will adapt and the difference between pedelecs and bicycles in speed judgments and turning / crossing decisions will disappear. At this point, however, this is mere speculation.

Kurzfassung

In Deutschland ist die Zahl der Elektrofahrräder (Pedelecs) in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen. Sie erfreuen sich vor allem wegen der durch Motorunterstützung schnelleren und komfortableren Fortbewegung im Vergleich zum Fahrrad großer Beliebtheit. Allerdings bergen vor allem die höheren Geschwindigkeiten im Vergleich zu konventionellen Fahrrädern Gefahren. So steht zu befürchten, dass andere Verkehrsteilnehmer nicht mit der relativ hohen Geschwindigkeit eines sich annähernden Elektrofahrrades rechnen, und dessen Eintreffen an einem bestimmten Punkt (z.B. eine Kreuzung) falsch bewerten. Als Folge einer solche Fehlbewertung ist gegebenenfalls auch mit riskanterem Verhalten zu rechnen, welches in Kreuzungssituationen im Wesentlichen durch ein sehr knappes Kreuzen der Spur des Elektrofahrradfahrers (z.B. beim Linksabbiegen) charakterisiert ist. Ziel der im Rahmen des Projektes durchgeführten Untersuchungen war es daher, die von anderen Fahrzeugführern vorgenommene Einschätzung der Zeit bis zum Eintreffen an einem vordefinierten Punkt (Time-to-Arrival, TTA) sowie die Lückenwahl im Zusammenhang mit sich annähernden Zweirädern, im Speziellen konventionellen und Elektrofahrrädern, genauer zu betrachten.

In einer Versuchsreihe bestehend aus vier Experimenten wurden verschiedene Einflussvariablen auf die Lückenwahl bzw. TTA-Schätzung untersucht. Ziel von Untersuchungen zur Lückenwahl ist es herauszufinden, welche Lücken Verkehrsteilnehmer vor oder zwischen anderen Fahrzeugen zum Einbiegen, Queren oder Einordnen wählen. Untersuchungen zur TTA-Schätzung hingegen befassen sich mit der Frage, für wie groß ein Verkehrsteilnehmer den zeitlichen Abstand zu einem anderen Verkehrsteilnehmer bewertet.

Als zentraler Faktor wurde die Geschwindigkeit der sich annähernden Zweiräder variiert. Ebenfalls wurde der Einfluss des Zweiradtyps (Fahrrad o. Pedelec 45), des Blickwinkels sowie des Streckenprofils in einem realistischen Umfeld auf der Teststrecke geprüft (Experiment 1). Anschließend wurden drei weitere Experimente (Experimente 2-4) im Labor mit Hilfe von Videomaterial durchgeführt. Hierbei wurden der Einfluss des Alters des Fahrradfahrers, der Trittfrequenz sowie der Vergleich der beiden Fahrradtypen mit einem Moped auf die Lückenwahl und TTA-Schätzung getestet (Experimente 2-3). In einem vierten Versuch (Experiment 4) standen die Auswirkungen von verschiedenen Maßnahmen zur Verbesserung der Sichtbarkeit von Radfahrern auf die TTA-Schätzung im Mittelpunkt. Bei allen vier Experimenten wurde zudem auch das Alter der Beobachter als Einflussfaktor überprüft (30 bis 45 Jahre, 65 Jahre und älter).

Auf der Teststrecke (Experiment 1) wurde die Lückenwahl der Teilnehmer erfasst, die dazu in einem echten Pkw saßen. Sie sahen einen Fahrradfahrer auf sich zukommen und sollten ein im Pkw angebrachtes Fußpedal in dem Moment betätigen, in dem ihrer Meinung nach die kleinste von ihnen akzeptierte Lücke zum Abbiegen vor dem Fahrrad erreicht war. In zwei der Laboruntersuchungen (Experimente 2-3) hatten die Teilnehmer die gleiche Aufgabe. Allerdings erfolgte hier die Bewertung anhand von Videos von sich nähernden Zweirädern. Zusätzlich zu der Aufgabe, die kleinste noch sichere Lücke anzugeben, sollten sie im Labor auch die Zeit bis zum Eintreffen an einem vordefinierten Punkt (TTA) für die sich annähernden Zweiräder schätzen (Experimente 2-4). Auch dazu sahen die Teilnehmer kurze Videosequenzen, in denen sich ein Zweiradfahrer näherte. Bevor der Zweiradfahrer jedoch die Höhe der Teilnehmer erreichte, wurde das Video ausgeblendet. Aufgabe der Probanden war es, eine Taste in dem Moment zu drücken, in dem sie glaubten, dass der Zweiradfahrer die vordefinierte Position erreicht hätte.

In allen Experimenten konnte gezeigt werden, dass es bei höheren Geschwindigkeiten des sich nähernden Zweirads im Vergleich zu geringeren Geschwindigkeiten zu größeren TTA-Schätzungen und kleineren zum Abbiegen gewählten Zeitlücken kommt. Abbiegeentscheidungen der Autofahrer fielen bei höheren Geschwindigkeiten also tendenziell riskanter aus. Außerdem zeigte sich ein Unterschied in der Lückenwahl und der TTA-Schätzung zwischen den beiden Fahrradtypen. So wurden vor einem Pedelec 45 kleinere Lücken gewählt als vor einem Fahrrad. Konsistent dazu wurde beim Pedelec 45 auch eine höhere TTA geschätzt. Die Teilnehmer schätzten die Zeit bis zum Eintreffen des Pedelec 45 als tendenziell etwas größer ein, was entsprechend zu riskanterem Abbiegeverhalten führte. Das Moped wiederum ging, im Vergleich zu den beiden anderen Zweiradtypen, mit deutlich größeren gewählten Lücken und entsprechend kleineren TTA-Schätzungen einher, was auf ein tendenziell sichereres Verhalten bei Mopeds im Vergleich zu Fahrrädern hindeutet.

Weiterhin zeigte sich ein Effekt des Radfahreralters auf die TTA-Schätzung. So wurde ein älterer Fahrer als früher beim Beobachter ankommend wahrgenommen als ein jüngerer Fahrer. Auch wählten die Teilnehmer bei einer geringeren Trittfrequenz kleinere Lücken und lieferten größere TTA-Schätzungen als bei einer höheren Trittfrequenz. Das Alter der Teilnehmer selbst hatte keinen Einfluss auf die Lückenwahl, obwohl sich die TTA-Schätzungen der beiden Altersgruppen teilweise sehr stark voneinander unterschieden. Ältere Teilnehmer gaben im Schnitt deutlich geringere TTA-Schätzungen ab als Jüngere. Die Maßnahmen zur Verbesserung der Sichtbarkeit der Zweiräder zeigten keinen Einfluss auf die TTA-Schätzung.

Die Befunde zeigen, dass sich durch die höheren Geschwindigkeiten der Elektrofahrräder und die gleichzeitig sehr hohe Ähnlichkeit zu konventionellen Fahrrädern durchaus Probleme für die Verkehrssicherheit ergeben können. Daher sind die bisher geäußerten Sicherheitsbedenken von Nutzern begründet. Leider lassen die Befunde vermuten, dass einfache Maßnahmen zur Erhöhung der Sichtbarkeit nicht ausreichend sind, dem Aspekt der erhöhten Geschwindigkeit von Elektrofahrrädern und den damit verbundenen Problemen hinsichtlich Geschwindigkeitsbewertung und Lückenwahl zu begegnen. Es bleibt jedoch abzuwarten, wie sich die Situation entwickelt, wenn die Verbreitung von Elektrofahrrädern weiter zunimmt, und sich dadurch unter Umständen die Erwartungen anderer Verkehrsteilnehmer in Bezug auf Fahrräder grundsätzlich verschieben.

1 Allgemeine Einführung

In den letzten Jahren hat die Verbreitung von Elektrofahrrädern (Pedelecs) deutlich zugenommen (Rose, 2012). Im Jahr 2013 wurden in Europa 1,2 Millionen Elektrofahrräder verkauft, mehr als 400.000 davon allein in Deutschland (Zweirad-Industrie-Verband, 2014). Es wird erwartet, dass diese Zahlen auch in den kommenden Jahren steigen werden (Jellinek, Hildebrandt, Pfaffenbichler, & Lemmerer, 2013). Elektrofahrräder erleben vor allem wegen der sich durch die Motorunterstützung ergebenden Vorteile eine derartige Nachfrage. Übergeordnet steht dabei das Fahren mit geringerer Anstrengung im Fokus (Chaloupka-Risser, Aichleitner, Wolf-Eberl, Ausserer, & Konecny, 2011; Kubitzki, 2013; Schleinitz et al., 2014; Short & Caulfield, 2014). Dadurch ist es möglich längere sowie bergigere Strecken ohne größere Anstrengung zurückzulegen (Preißner, Kemming, Wittkowsky, Bülow, & Stark, 2013; Schleinitz et al., 2014). Ebenso ermöglicht es den Fahrern schneller unterwegs zu sein (Kuratorium für Verkehrssicherheit, 2011). Gleichzeitig ergeben sich besonders aus diesem Aspekt potentielle Sicherheitsrisiken. Es werden Befürchtungen geäußert, dass aus den höheren Geschwindigkeiten von Elektrofahrrädern im Vergleich zu herkömmlichen Fahrrädern ein erhöhtes Gefahrenpotential erwächst (Jellinek et al., 2013; Schleinitz et al., 2014). Ein Aspekt ist die Wahrnehmung der Geschwindigkeit durch andere Verkehrsteilnehmer. Elektrofahrradfahrer berichten, dass andere Verkehrsteilnehmer ihre höheren Geschwindigkeiten der Elektrofahrräder zu unterschätzen scheinen (bfu-Beratungsstelle für Unfallverhütung, 2012; Jellinek et al., 2013). Die Vermutung liegt nahe, dass Elektrofahrräder fälschlicherweise für herkömmliche Fahrräder gehalten werden und damit eine langsamere Geschwindigkeit assoziiert wird. Dies kann vor allem an Kreuzungen gefährlich werden. Beispielsweise könnten andere Verkehrsteilnehmer beim Abbiegen die Vorfahrt des Elektrofahrradfahrers missachten, da sie die Annäherung eines vermeintlichen Fahrrades unterschätzen. Unfallzahlen belegen, dass Radfahrer in Kreuzungssituationen grundsätzlich einer höheren Gefahr ausgesetzt sind. So wird berichtet, dass sich in Deutschland ungefähr die Hälfte der tödlichen Radfahrerunfälle an Kreuzungen ereignen (Candappa et al., 2012; Kolrep-Rometsch et al., 2012; Schreiber, Ortlepp, Butterwegge, & Gehlert, in press). Dabei scheinen durch Pkw verursachte Linksabbiegerunfälle vor allem an Kreuzungen ohne Radinfrastruktur besonderes Gefahrenpotential zu bergen (Schreiber, Ortlepp, & Butterwegge, 2013). Unfallzahlen aus der Schweiz zeigen, dass die Mehrheit der Kollisionen mit Elektrofahrradfahrern eine Vorfahrtsmissachtung durch einen anderen motorisierten Verkehrsteilnehmer zur Ursache haben (bfu-Beratungsstelle für Unfallverhütung, 2014). Entsprechend ergibt sich die Frage, inwieweit es tatsächlich zu Unterschieden in der Wahrnehmung der Geschwindigkeit von Elektrofahrrädern im Vergleich zu herkömmlichem Fahrrädern durch andere (motorisierte) Verkehrsteilnehmer kommt, beziehungsweise ob sich in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Fahrrades und anderer relevanter Merkmale unterschiedliche Verhaltensweisen der (motorisierten) Verkehrsteilnehmer zeigen lassen.

1.1 Wahrnehmung von Geschwindigkeiten

Frühe Untersuchungen zur Einschätzung von Geschwindigkeiten beschäftigten sich zunächst primär mit der Eigenwahrnehmung von Geschwindigkeit. Dabei wurden grundsätzlich zwei verschiedene Methoden angewandt. Bei der Herstellungsmethode sollte der Proband als Fahrzeugführer eine bestimmte Zielgeschwindigkeit selbst herstellen (Barch, 1958; Denton, 1966). Bei der Schätzmethode war der Proband nur Beifahrer, und sollte die gefahrene Geschwindigkeit verbal einschätzen (Evans, 1970; Recarte & Nunes, 1996). Beide Methoden erwiesen sich allerdings als ungenau. In den meisten Fällen zeigte sich, dass die Probanden die Geschwindigkeiten deutlich

unterschätzten (z.B. Barch, 1958; Evans, 1970; Recarte & Nunes, 1996; Triggs & Berenyi, 1982). Dieser Befund zeigte sich auch unter verschiedenen äußeren Bedingungen, wie bei Tag- und Nachtfahrten (Triggs & Berenyi, 1982) oder auch bei Kurvenfahrten (Milosevic & Milic, 1990). Es wurde schnell deutlich, dass Fahrer explizit eine Geschwindigkeit nur sehr bedingt korrekt einschätzen können. Gleichzeitig scheinen die meisten Verkehrsteilnehmer die implizite Schätzung der Geschwindigkeit im Straßenverkehr hinreichend gut zu meistern, um darauf aufbauend entsprechende Entscheidungen (etwa zur Querung einer Straße) zu treffen. Zentral für dieses Entscheidungsverhalten ist das Konstrukt der „Time-to-Arrival“ (TTA), das die verbleibende Zeit bis zum Eintreffen eines Fahrzeuges beschreibt.

1.2 Time-to-Arrival-Schätzung

Time-to-Arrival (TTA) ist die Zeit, die verbleibt, bis ein Objekt (oder auch Fahrzeug) einen bestimmten Ort oder eine Person erreicht (Tresilian, 1995). Je nach konkretem Bereich werden auch die Bezeichnungen Time to Collision, Time to Contact oder Arrival Time verwendet. Diese Zeit einschätzen zu können ist wichtig, u.a. im Straßenverkehr, um Kollisionen zu verhindern und sichere Überquerungs- oder Abbiegeentscheidungen zu fällen. Die Bewertung der TTA spielt im Straßenverkehr sowohl bei der eigenen Bewegung als auch bei fremden Bewegungen (bzw. der Kombination daraus) eine Rolle. In Situationen, in denen sich ein Fahrzeugführer an ein langsames (z.B. ein vorausfahrendes Fahrzeug) oder stationäres Objekt (z.B. ein Stauende) annähert, ist die Bewertung der Zeit bis zum Eintreffen am Objekt von zentraler Bedeutung für ein rechtzeitiges und angemessenes Auslösen einer Bremsreaktion oder eines Ausweichmanövers. Ebenso ist die Bewertung der Einschätzung der Zeit bis zum Eintreffen eines sich bewegenden Objektes (z.B. ein sich im Gegenverkehr näherndes Fahrzeug) bedeutsam für die Wahl sicherer Lücken zum Einbiegen, Queren oder Einordnen.

Aufgrund des offensichtlichen Gefährdungspotentials in solchen Situationen wird zur wissenschaftlichen Untersuchung von TTA Schätzungen und Lückenwahl häufig auf experimentelle Untersuchungen im Labor, im Fahrsimulator oder auf der Teststrecke zurückgegriffen. Bei Untersuchungen der Wahrnehmung eigener Bewegungen befinden sich die Versuchsteilnehmer zumeist in einem sich bewegenden Fahrzeug (virtuell oder real) und schätzen, wann sie einen bestimmten vordefinierten Punkt (i.d.R. ein statisches Objekt) erreichen (Recarte, Conchillo, & Nunes, 2005). Bei der Bewertung fremder Bewegung ist der Proband zumeist statischer Beobachter, und schätzt ein, wann ein anderes sich bewegendes Fahrzeug einen bestimmten Punkt (i.d.R. die Position des Beobachters) erreicht (z.B. Caird & Hancock, 1994; Hancock & Manser, 1997). Bisherige Arbeiten haben sich verstärkt auf die Wahrnehmung der Bewegung bzw. Annäherung anderer Verkehrsteilnehmer konzentriert. Dabei haben sich zwei Untersuchungsansätze etabliert. Im Paradigma der *relative judgement task* wird die Annäherung von verschiedenen Objekten / Fahrzeugen direkt verglichen (z.B. DeLucia, Kaiser, Bush, Meyer, & Sweet, 2003; Seward, Ashmead, & Bodenheimer, 2007). Den Probanden werden dazu i.d.R. nacheinander zwei Videosequenzen dargeboten, in denen sich jeweils ein Fahrzeug annähert. Die Sequenzen werden ausgeblendet, bevor die Fahrzeuge tatsächlich den Beobachter (bzw. den vordefinierten Zielpunkt) erreicht haben. Aufgabe der Probanden ist es anzugeben, welches der beiden dargebotenen Fahrzeuge sie früher erreichen würde. Beim Paradigma der *prediction motion task* hingegen erfolgt eine absolute Vorhersage darüber, wann ein Objekt / Fahrzeug einen bestimmten Punkt erreicht (z.B. Caird & Hancock, 1994; Schiff & Oldak, 1990). Auch hierfür werden in der Regel Videosequenzen präsentiert. Es existieren jedoch auch Umsetzungen auf Teststrecken (z.B. Cavallo & Laurent, 1988). Allerdings ist hier kein

vergleichendes Urteil gefordert. Vielmehr ist es Aufgabe der Teilnehmer zu schätzen, wann das Fahrzeug sie (bzw. den vordefinierten Punkt) erreicht hätte. In bisherigen Untersuchungen erfolgte die Abgabe der Antwort entweder verbal oder als direkte Einschätzung per Knopfdruck, wobei sich eine höhere Genauigkeit der Schätzung bei Knopfdruck zeigte (Schiff, Oldak, & Shah, 1992). Als immer wiederkehrenden Befund zeigten die meisten Studien eine Unterschätzung der TTA (z.B. Caird & Hancock, 1994; Hancock & Manser, 1997; Schiff & Oldak, 1990). Die Probanden erwarteten die Objekte oder Fahrzeuge eher an einer vordefinierten Position im Vergleich zu ihrer tatsächlichen Ankunft an diesem Punkt. Daraus kann entsprechend auch abgeleitet werden, dass sie die Geschwindigkeit der Fahrzeuge tendenziell überschätzten. Allerdings wurde gelegentlich auch von Überschätzungen der TTA berichtet (Seward et al., 2007).

1.2.1 Einflussgrößen auf die Time-to-Arrival-Schätzung

Ausgehend von diesen globalen Befunden wurden verschiedene Einflussgrößen ermittelt, welche die absolute Größe der TTA Schätzung beeinflussen. So scheinen sowohl die *Beobachtungsdauer des sich nähernden Fahrzeugs* als auch *die tatsächliche TTA* eine Rolle zu spielen. So berichteten Hoffmann und Mortimer (1994), dass je länger die Probanden Zeit hatten, das Objekt bei der Annäherung zu verfolgen, desto genauer schätzten sie die TTA. Die Unterschätzung der TTA fiel bei einer langen Beobachtung geringer aus als bei einer kurzen Beobachtungsdauer. Die tatsächliche Größe der TTA wirkt sich linear auf die Größe der Unterschätzung aus. Je größer die TTA objektiv war, desto stärker wurde sie unterschätzt (z.B. Schiff & Oldak, 1990; Seward et al., 2007).

Die Geschwindigkeit, mit der sich das Fahrzeug nähert, hat ebenfalls Auswirkungen auf die TTA-Schätzung. So fanden sich bei höheren Geschwindigkeiten größere TTA-Schätzungen (z.B. Petzoldt, 2014). Entsprechend häufig wurde berichtet, dass bei zunehmender Geschwindigkeit die Schätzungen genauer, d.h. die Unterschätzung kleiner wurde (Manser, 1999; McLeod & Ross, 1983; Sidaway, Fairweather, Sekiya, & McNitt-Gray, 1996). Allerdings zeigen die Befunde von McLeod und Ross (1983) dass dieser Trend nicht linear ist.

Hinsichtlich des Einflusses der *Objektgröße* zeigten sich widersprüchliche Befunde für die unterschiedlichen Untersuchungsansätze. Seward et al., (2007) untersuchten die TTA-Schätzung mit Hilfe der „relative judgement task“, und fanden keinen Unterschied zwischen einem Sattelschlepper und einer deutlich kleineren Limousine. Bei Untersuchungen mit der „prediction motion task“ hingegen fand sich immer wieder der sogenannte „size-arrival-effect“. Das heißt, dass große Objekte bei gleicher Geschwindigkeit im Vergleich zu kleineren Objekten als früher an einem vordefinierten Punkt ankommend wahrgenommen wurden (z.B. DeLucia et al., 2003; DeLucia, 1999). Dies zeigte sich sowohl mit abstrakten Objekten (Quadern, Kugeln) als auch mit realitätsnahen Umsetzungen wie etwa Fahrzeugen (DeLucia et al., 2003; Horswill, Helman, Ardiles, & Wann, 2005). Die Genauigkeit der TTA-Schätzungen nahm vom Motorrad bis zum Lieferwagen signifikant ab, d.h. die Probanden erwarteten, dass ein Lieferwagen früher am vordefinierten Punkt (im vorliegenden Fall beim Beobachter) einträte als ein Motorrad (Caird & Hancock, 1994).

Die Bewegungsbahn sowie der Blickwinkel des Beobachters wurden ebenfalls von einigen Autoren als potentielle Einflussgröße identifiziert, allerdings mit widersprüchlichen Befunden. Schiff and Oldak (1990) zeigten ihren Probanden das Fahrzeug entweder in frontaler Annäherung oder aus einer seitlichen Perspektive. Die Genauigkeit der TTA-Schätzung stieg, je stärker seitlich ein Fahrzeug zu sehen war. Manser und Hancock (1996) fanden hingegen eine größere Genauigkeit bei der frontalen Annäherung eines Fahrzeugs im Gegensatz zu einem 40° Winkel. Bei Seward et al.

(2007) schließlich hatte der Blickwinkel keinen Effekt auf die TTA-Schätzungen bei Fußgängerentscheidungen.

Auch das *Alter der Probanden bzw. Beobachter* spielt bei TTA-Schätzungen eine Rolle. Für ältere Probanden wurde in mehreren Untersuchungen eine signifikant geringere Genauigkeit bei der TTA-Schätzung festgestellt. Sie schätzten die TTA deutlich konservativer, was bedeutet, dass die Fahrzeuge von ihnen früher an einem vordefinierten Punkt (Beobachter) erwartet wurden, als sie diesen tatsächlich erreichten (z.B. Hancock & Manser, 1997; Petzoldt, 2014; Schiff et al., 1992).

So groß die theoretische Relevanz der Schätzung der Time-to-Arrival jedoch auch sein mag, so ist sie doch lediglich eine von mehreren denkbaren Ausgangsvariablen, auf denen Entscheidungen im Straßenverkehr basieren. Von letztendlich größter Sicherheitsrelevanz sind die getroffenen Entscheidungen bzw. das daraus folgende Verhalten selbst. Entsprechend beschäftigt sich die anwendungsnahe verkehrspsychologische Forschung intensiv mit dem Verhalten der Verkehrsteilnehmer in den entsprechenden Situationen, und zwar konkret mit deren Lückenwahl.

1.3 Lückenwahl

Es besteht bereits eine lange Tradition der Untersuchungen zur Lückenwahl (oder Lückenakzeptanz) (Blumenfeld & Weiss, 1979; Gibbs, 1968; Hurst, Perchonok, & Sequin, 1968). Frühe Untersuchungen konzentrierten sich dabei zunächst auf Zeitlückenwahl von Autofahrern (z.B. Blumenfeld & Weiss, 1979; Hurst et al., 1968). Erst in den letzten Jahren rückten vermehrt auch Fußgängerentscheidungen in den Blickpunkt (z.B. Oxley, Ihsen, Fildes, Charlton, & Day, 2005; te Velde, van der Kamp, Barela, & Savelsbergh, 2005). Studien, in denen die Probanden aus Sicht eines Autofahrers agierten, befassten sich zumeist mit Linksabbiegesituationen (Hancock, Caird, & Shekhar, 1991; Yan, Radwan, & Guo, 2007). In derartigen Untersuchungen werden den Probanden zumeist Fahrzeuge bzw. Abfolgen von Fahrzeugen auf einer Teststrecke, in einem Fahrsimulator oder einer Laborumgebung präsentiert. Aufgabe der Probanden ist es anzugeben, ob bzw. wann sie, in Anbetracht des sich annähernden Verkehrs, mit dem Pkw Abbiegen, Einbiegen oder die Straße noch überqueren würden. Ebenso wie bei der TTA-Schätzungen wurden auch bei der Lückenwahl verschiedene Ansätze zur Abfrage der Probandenentscheidung genutzt. Teilweise gaben die Probanden ihre Entscheidungen verbal ab, teilweise war gefordert, dass sie die Straße wirklich bzw. im Simulator überquerten. Dabei zeigte sich, dass die Versuchsteilnehmer bei einer rein verbalen Einschätzung zu deutlich riskanteren Urteilen neigten, das heißt deutlich kleinere Zeitlücken wählten als bei Überquerungen (te Velde et al., 2005). Ein Kompromiss zwischen Realitätsnähe und Sicherheit stellt die Abgabe der Entscheidung per Knopfdruck dar. Die Entscheidung zur Lückenwahl wird noch von weiteren Variablen beeinflusst, die im nächsten Abschnitt beschrieben werden.

1.3.1 Einflussgrößen auf die Lückenwahl

Ebenso wie bei der TTA-Schätzung ist die *Geschwindigkeit des sich annähernden Fahrzeuges* auch für die Akzeptanz einer Lücke ein Einflussfaktor. Verschiedene Studien konnten zeigen, dass Fahrer bei zunehmender Geschwindigkeit signifikant kleinere zeitliche Lücken akzeptieren (Alexander, Barham, & Black, 2002; Bottom & Ashworth, 1978; Yan et al., 2007). In einem Experiment von Hancock et al., (1991) bogen die Fahrer bei gleicher Lückengröße und bei höherer Geschwindigkeit des sich nähernden Fahrzeugs signifikant häufiger links ab als bei einer niedrigeren Geschwindigkeit. Entsprechend sind schnellere Fahrzeuge bzw. Fahrer einem stärkeren Risiko durch

einbiegende oder linksabbiegende Fahrzeuge ausgesetzt als langsamere (Cooper, Storr, & Wennell, 1977; Hancock et al., 1991).

Analog zur TTA-Schätzung konnte auch ein *Effekt der Fahrzeuggröße* gefunden werden. So waren Autofahrer bei gleicher Lückengröße seltener bereit, vor einem Lkw abzubiegen als vor einem Pkw (z.B. Alexander et al., 2002; Bottom & Ashworth, 1978). Gleichzeitig querten Versuchspersonen signifikant häufiger vor einem Motorrad oder Kleinwagen verglichen mit einer Limousine oder einem Lieferwagen (Hancock et al., 1991).

Das *Alter der Probanden* beeinflusste die Lückenwahl ebenfalls. Ältere Versuchsteilnehmer wählten signifikant größere Zeitlücken im Vergleich zu jüngeren oder mittelalten Probanden (z.B. Alexander et al., 2002; Yan et al., 2007). Dieser Alterseffekt konnte ebenfalls bei Entscheidungen von Fußgängern die Straße zu überqueren gefunden werden (z.B. Lobjois, Benguigui, & Cavallo, 2013; Lobjois & Cavallo, 2007; Oxley et al., 2005).

1.4 Zusammenfassung

Den meisten Menschen gelingt es im Alltag ausreichend gut die Geschwindigkeiten von Fahrzeugen einzuschätzen, um darauf basierend Entscheidungen zu treffen. Gleichzeitig gibt es eine Reihe von Einflussgrößen, die diese Entscheidungen beeinflussen. Ein zentrales Konstrukt ist die sogenannte Time-to-Arrival (TTA), die verbleibende Zeit bis zum Eintreffen des Fahrzeugs beim Beobachter bzw. an einem bestimmten Punkt. Bisherige Arbeiten konnten zeigen, dass die TTA generell unterschätzt wird. Gleichzeitig haben offenbar die Geschwindigkeit des sich annähernden Fahrzeugs, die Fahrzeuggröße und das Alter des Beobachters einen Einfluss auf die Genauigkeit der Schätzung. Ebenso spielen die Beobachtungsdauer sowie die objektive TTA eine Rolle. In weiteren Untersuchungen hat sich gezeigt, dass sich die gleichen Faktoren offenbar auch auf das tatsächliche Verhalten, die Lückenwahl von Verkehrsteilnehmern, auswirkt.

Einschränkend ist jedoch anzumerken, dass in den bisherigen Untersuchungen zur Einschätzung der TTA sowie zur Zeitlückenwahl zumeist motorisierte Verkehrsteilnehmer und entsprechend hohe Geschwindigkeiten von 30 km/h bis 120 km/h untersucht wurden. Fahrräder bzw. Elektrofahrräder und die zugehörigen geringeren Geschwindigkeitsbereiche von 15 km/h bis 35 km/h spielten dabei keine Rolle. Zwar legt die Literatur grundsätzlich nahe, dass es bei geringeren Geschwindigkeiten zu einer stärkeren Unterschätzung der TTA kommen sollte. Aufgrund der berichteten Nonlinearität dieses Effektes ist jedoch eine genaue Vorhersage der Auswirkungen der niedrigen Geschwindigkeiten von Fahrrädern sowie von Elektrofahrrädern auf die Zeitlückenwahl und die Schätzung der TTA schwierig. Zudem lassen die Befunde zum Einfluss der Objektgröße vermuten, dass sich die Bewertung der TTA von Fahrrädern und Pedelecs auch bei gleicher Annäherungsgeschwindigkeit deutlich von anderen, größeren Fahrzeugen wie Motorrädern oder Pkw unterscheidet. Aufgrund der eindeutigen Größenunterschiede ist davon auszugehen, dass die Schätzungen größer, und damit tendenziell gefährlicher werden.

Konkrete Befunde zu diesen Annahmen lagen bislang jedoch nicht vor. Fahrradfahrer haben bislang, sowohl im Hinblick auf die TTA Schätzung, als auch die Lückenwahl, keine Berücksichtigung in der Forschung gefunden. Entsprechend war es Zielstellung dieses Projektes, die formulierten Annahmen im Rahmen von vier experimentellen Untersuchungen zu überprüfen.

1.5 Struktur und Hintergründe der Versuchsreihe

Ziel der im Projekt durchgeführten Untersuchungen war es, die Lückenwahl sowie die Einschätzung der Time-to-Arrival im Zusammenhang mit sich annähernden Zweirädern, im Speziellen konventionellen und Elektrofahrrädern, genauer zu beleuchten. Aufbauend auf den theoretischen Vorarbeiten wurde eine Versuchsreihe bestehend aus vier Experimenten geplant.

Die im ersten Experiment zu beantwortende Frage war, inwieweit sich unterschiedliche Annäherungsgeschwindigkeiten auf die Lückenwahl auswirken. Hierfür wurde eine möglichst realistische Versuchsumgebung auf einer Teststrecke gewählt. Als weitere Faktoren wurden der Zweiradtyp, das Alter der Beobachter, die Perspektive der Beobachter und das Streckenprofil bei der Annäherung variiert.

Die folgenden drei Experimente wurden mit Hilfe von Videomaterial im Labor durchgeführt. Die Entscheidung für die Laborumgebung lag zum einen im geringeren Aufwand einer solchen Laborstudie begründet, aber vor allem auch im größeren Spielraum, den eine videobasierte Umsetzung bietet. So kann eine Vielzahl von Bedingungen und Faktoren innerhalb eines Experimentes dargeboten werden, was in dieser Form in einem Teststreckenversuch nicht möglich wäre.

Aufbauend auf den Befunden des ersten Experimentes wurde im zweiten Versuch erneut der Zweiradtyp variiert, um zu klären, inwieweit tatsächlich Unterschiede in der Wahl von Zeitlücken zwischen Fahrrad und Pedelec 45 (unabhängig von der Geschwindigkeit) bestehen. Zudem wurde das Alter des Zweiradfahrers als weiterer Einflussfaktor getestet. Hintergrund für die Einführung dieser zusätzlichen Variation war die Annahme, dass Altersstereotype unter Umständen Einfluss auf die wahrgenommene Geschwindigkeit eines Zweiradfahrers haben. Die Variation der Geschwindigkeit und des Beobachteralters wurden beibehalten. Da die Laborumgebung, anders als die Teststrecke, die wiederholte Darbietung verschiedener Versuchsbedingungen stark vereinfachte, wurde zudem neben der Zeitlückenwahl die Schätzung der TTA als weiterer Untersuchungsgegenstand eingeführt.

Da die beiden ersten Experimente, etwas überraschend, auch unabhängig von der Geschwindigkeit Unterschiede zwischen Fahrrad und Pedelec 45 bezüglich Lückenwahl und TTA Schätzung ergaben, war es Ziel des dritten Versuches, eine mögliche Ursache für diesen Befund zu überprüfen. So war zu vermuten, dass die Unterstützung, die ein Pedelec 45 dem Fahrer bietet, zu einer scheinbar entspannteren, körperlich weniger intensiven Fahrweise beigetragen hat, vermittelt vor allem durch eine relativ geringe Trittfrequenz. Entsprechend war denkbar, dass, aufgrund dieser verringerten Trittfrequenz und dem damit verbundenen scheinbar geringeren Aufwand, das Pedelec 45 für den Beobachter langsamer erschien als das Fahrrad. Um diese Annahme zu testen, wurde die Trittfrequenz des sich annähernden Zweirades systematisch variiert. Wie im zweiten Experiment wurden zudem erneut die Geschwindigkeit und das Beobachteralter variiert. Es wurden sowohl Lückenwahl als auch TTA Schätzung untersucht.

Die Ergebnisse der ersten drei Experimente legten nahe, dass durchaus von einer tendenziell problematischen Wahrnehmung der Geschwindigkeit insbesondere der Elektrofahrräder ausgegangen werden kann. In der vierten Studie wurden daher die Auswirkungen verschiedener potenzieller Maßnahmen zur Veränderung bzw. Verbesserung der Geschwindigkeitswahrnehmung untersucht. Diese Maßnahmen

zielten vor allem auf eine Erhöhung der Sichtbarkeit der Zweiräder ab. Entsprechend wurden diese Maßnahmen unter verschiedenen Lichtverhältnissen getestet. Erneut erfolgten zudem Variationen des Zweiradtyps, der Geschwindigkeit und des Beobachteralters. Auf Grund der erhöhten Anzahl an untersuchten Variablen, und einer damit verbundenen zeitlichen Verlängerung des Versuchs, wurde in dieser Untersuchung nur noch die Schätzung der TTA als abhängige Variable erfasst.

1.5.1 Versuchsübergreifende methodische Aspekte

In allen Experimenten kamen zwei verschiedene Fahrräder zum Einsatz – ein konventionelles Fahrrad und ein Pedelec 45, welches beim Pedalieren bis zu einer Geschwindigkeit von 45 km/h unterstützte (siehe Abbildung 1). Der laut StVO für Pedelec 45 vorgeschriebene Rückspiegel und das Nummernschild wurden entfernt, damit es von einem konventionellen Fahrrad nicht zu unterscheiden war. Einzig an der Batterie am Gepäckträger war das Pedelec 45 eindeutig als Pedelec zu identifizieren. Das Modell des konventionellen Fahrrades wurde so gewählt, dass es dem Pedelec 45 optisch möglichst nahe kommt. Entsprechend gab es keine auffälligen Design-Unterschiede, die aus einer gewissen Entfernung erkennbar gewesen wären. An beiden Fahrrädern war ein Fahrradcomputer angebracht, der die aktuelle Geschwindigkeit anzeigte.



Abbildung 1:
Konventionelles Fahrrad (links) und Pedelec 45 (rechts), so wie sie im Versuch eingesetzt wurden.

Für die vier Experimente wurden die Versuchspersonen über Anzeigen auf der Universitätshomepage und in regionalen Zeitungen akquiriert. Angeworben wurden Teilnehmer der Altersgruppen 30-45 Jahre bzw. 65 Jahre und älter. Als Bedingungen für die Teilnahme waren der Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis sowie eine regelmäßige aktive Beteiligung am Straßenverkehr als Autofahrer formuliert. Alle Teilnehmer erhielten eine Aufwandsentschädigung.

Für die Experimente zwei bis vier wurde zur Beantwortung der Forschungsfragen eine Laborumgebung genutzt. Zur Erstellung des erforderlichen Versuchsmaterials wurden Videos von sich annähernden Zweirädern auf einem kleinen Sportflugplatz aufgezeichnet. Abbildung 2 zeigt die Darstellung aus Sicht des Autofahrers. Zu sehen ist der Zweiradfahrer, der sich im Gegenverkehr annähert, und eine T-Kreuzung (Einfahrt links), an der sich eine mögliche Konfliktsituation zwischen Auto und Zweiradfahrer ergeben könnte. Um zu verdeutlichen, an welcher Stelle das Zweirad mit dem Autofahrer zusammentreffen würde, wurde eine weiße Linie auf der Straße angebracht. Diese diente zudem als visueller Vergleichspunkt bei der TTA-Schätzung.



Abbildung 2:
Videoausschnitt aus Sicht des Autofahrers.

1.5.2 Allgemeine Hinweise zur Auswertung

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden Signifikanztests eingesetzt. Mit diesen kann ermittelt werden, ob ein gefundener Unterschied zwischen Gruppen oder Versuchsbedingungen zufällig oder statistisch bedeutsam (d.h. signifikant) ist. Entscheidend dabei ist, dass mit hinreichender Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden kann, dass dieser Unterschied nicht zufällig zustande gekommen ist. Ist diese Wahrscheinlichkeit kleiner als 5% ($p < ,05$), wird in der Regel die Annahme, dass ein relevanter Unterschied zwischen den Gruppen oder Bedingungen besteht, als zutreffend akzeptiert. Diese Wahrscheinlichkeit wird im *p-Wert* abgebildet.

In den berichteten Studien wurden zur Prüfung auf Signifikanz für die verschiedenen Experimentalbedingungen und Altersgruppen Varianzanalysen (ANOVA) für Mixed Designs berechnet. Diese ermöglichen den Vergleich der Haupteffekte der verschiedenen potentiellen Einflussgrößen sowie die Betrachtung möglicher Interaktionen zwischen diesen. Der *F-Wert* ist der berechnete Kennwert einer solchen Varianzanalyse. Gleichzeitig wird eine Effektgröße angegeben, da sie den Vergleich von Ergebnissen verschiedener Studien ermöglicht. Hierfür existieren je nach angewendetem Verfahren unterschiedliche Effektgrößen. Bei einer Varianzanalyse wird die Größe des Effekts als *partielles Eta Quadrat* angegeben (η^2_p). Die vollständigen Kennwerte der ANOVAs (F-Werte, p-Werte, partielles Eta Quadrat η^2_p) werden in Übersichtstabellen dargestellt. In diesen Tabellen werden als erstes die Haupteffekte, danach Zweifach- und Dreifachinteraktionen usw. dargestellt. Alle signifikanten Ergebnisse werden dabei fett markiert. Für ausgewählte Aspekte wurden zudem post-hoc Einzelvergleiche mit Bonferroni-Korrektur vorgenommen. Diese ermöglichen den direkten Vergleich einzelner Bedingungen oder Gruppen auf Unterschiedlichkeit.

In den Experimenten zwei bis vier wurde als Kontrollvariable die TTA des sich annähernden Zweirades mit 4, 6 und 8 s variiert. Zweck dieser Variation war es, Gewöhnungseffekte zu vermeiden. Inhaltlich hatte die Größe der präsentierten Abstände keinerlei Bedeutung für die Untersuchung. Entsprechend wurden für die Auswertung die unter den drei verschiedenen TTA-Bedingungen abgegebenen Schätzungen zu einem Wert zusammengefasst. Zu diesem Zweck war zunächst eine Transformation der absoluten TTA erforderlich. Dabei wurde jeweils der Anteil der geschätzten an der tatsächlichen TTA berechnet:

$$\text{Anteil geschätzter an tatsächlicher TTA} = \text{geschätzte TTA} / \text{tatsächliche TTA}$$

Werte unter 1 bedeuten eine Unterschätzung der TTA, d.h. das Zweirad wurde früher an der weißen Linie erwartet, als es diese in der Realität tatsächlich erreichte. Werte über 1 würden eine Überschätzung bedeuten. Somit waren die Schätzungen, die bei 4, 6 und 8 s TTA abgegeben wurden, vergleichbar und konnten zu einem Wert aggregiert werden. Statistische Prüfungen innerhalb der einzelnen Experimente zeigten jeweils, dass kein Unterschied zwischen den drei verschiedenen TTA Stufen bestand, so dass die beschriebene Zusammenfassung in einen Gesamtwert statistisch unproblematisch war.

Im Folgenden werden nun die vier Experimente im Einzelnen erläutert. Hierbei wird jeweils in einer kurzen Einleitung auf die wichtigsten Punkte der Untersuchung eingegangen. Anschließend wird im Methodenteil ein Überblick über die Stichprobe, den Versuchsaufbau, den Ablauf und das Versuchsdesign erfolgen, um anschließend die Ergebnisse der einzelnen Experimente darzustellen. Bei den Experimenten zwei und drei werden zuerst die Ergebnisse zur Lückenwahl und anschließend zur TTA-Schätzung erläutert. Diese werden am Schluss des jeweiligen Kapitels reflektiert.

2 Experiment 1: Einfluss der Geschwindigkeit auf die Lückenwahl auf der Teststrecke

Der Fokus der ersten empirischen Untersuchung im Projekt lag auf den möglichen Auswirkungen der Geschwindigkeit eines sich annähernden Radfahrers auf die von Autofahrern in einer Abbiegesituation gewählten Zeitlücken. Als weitere Faktoren, die unter Umständen zusätzliche Auswirkungen auf die Größe der gewählten Lücken haben könnten, wurden der Zweiradtyp, das Streckenprofil, und der Blickwinkel des Beobachters identifiziert. Hinzu kam das Alter des Beobachters als mögliche Einflussgröße. Für den Effekt der Geschwindigkeit konnte bereits aus bisherigen Untersuchungen mit Pkw die Annahme abgeleitet werden, dass je höher die Geschwindigkeit des herannahenden Fahrzeuges ist, desto kleinere Lücken werden gewählt (z.B. Alexander et al., 2004; Yan et al., 2007). Zu den anderen Variablen existieren keine Befunde bezüglich der Lückenwahl. Allerdings sind generell keine Studien mit Fahrrädern bekannt, daher wurden sehr offene Forschungsfragen formuliert. Zur Beantwortung der aufgeworfenen Forschungsfragen wurde ein Teststreckenversuch durchgeführt. Im Rahmen dieses Versuches bewerteten Teilnehmer in einem Pkw sitzend aus Fahrerperspektive die Annäherung eines Radfahrers. Aufgabe der Teilnehmer war, anzuzeigen, zu welchem Zeitpunkt sie gerade noch bereit wären, die Trajektorie des sich annähernden Radfahrers mit dem Pkw zu queren (umgesetzt in einem Linksabbiegeszenario). Es wurden folgende Forschungsfragen formuliert:

- Welchen Einfluss hat die Geschwindigkeit auf die Größe der gewählten Lücken?
- Welchen Einfluss hat der Zweiradtyp auf die Größe der gewählten Lücken?
- Welchen Einfluss hat das Streckenprofil auf die Größe der gewählten Lücken?
- Welchen Einfluss hat der Blickwinkel auf die Größe der gewählten Lücken?
- Welchen Einfluss hat das Teilnehmeralter auf die Größe der gewählten Lücken?

2.1 Methode

2.1.1 Stichprobe

Es nahmen 42 Probanden, unterteilt in zwei Altersgruppen (30-45 Jahre, 65 Jahre und älter), an der Untersuchung teil (siehe Tabelle 1). Die jüngeren Teilnehmer wiesen ein Durchschnittsalter von 34,0 Jahren auf, die älteren Probanden waren im Schnitt 71,1 Jahre alt. Alle Probanden waren in Besitz eines Führerscheins der Klasse B (Pkw). Die jährliche Fahrleistung betrug 15.938 km (jüngere Gruppe) beziehungsweise 13.526 km (ältere Gruppe).

Tabelle 1:
Stichprobenzusammensetzung Teststreckenversuch.

Altersgruppe	N	Alter				Geschlecht	
		M	SD	Min	Max	Männer	Frauen
30-45 Jahre	21	34,0	4,4	30	45	13	8
≥ 65 Jahre	21	71,1	5,0	65	83	19	3

2.1.2 Versuchsaufbau

In diesem Experiment wurden die beiden in Kapitel 1.5 beschriebenen Fahrräder genutzt.

Um das Streckenprofil zu variieren wurden zwei verschiedene Streckenabschnitte für die Untersuchung ausgewählt. Einer der Abschnitte wies ein Streckenprofil von 0% auf, das heißt die Annäherung der Fahrräder erfolgte in einer Ebene mit dem Pkw. Der zweite Abschnitt hatte eine Steigung von 3,75%, was in einer leichten (aber für den Fahrer deutlich sichtbaren) Steigung für die sich annähernden Fahrräder resultierte.

Um verschiedene Blickwinkel herzustellen wurde eine Abbiege- und eine Einbiegesituation umgesetzt (siehe Abbildung 3). In der ersten Situation sollte der Proband sich vorstellen, nach links in eine Seitenstraße abzubiegen (vgl. Abb. 3, links). Dabei näherte sich ein Radfahrer auf der Gegenfahrbahn, was in einer frontalen Ansicht des Radfahrers resultierte. Auch bei der zweiten Situation handelte es sich um eine Linksabbiegesituation. Hier jedoch näherte sich das Fahrrad von links auf einer vorfahrtsberechtigten Straße kommend, in die der Proband einbiegen soll (vgl. Abb. 3, rechts). Entsprechend ergab sich eine seitliche Ansicht des Radfahrers.

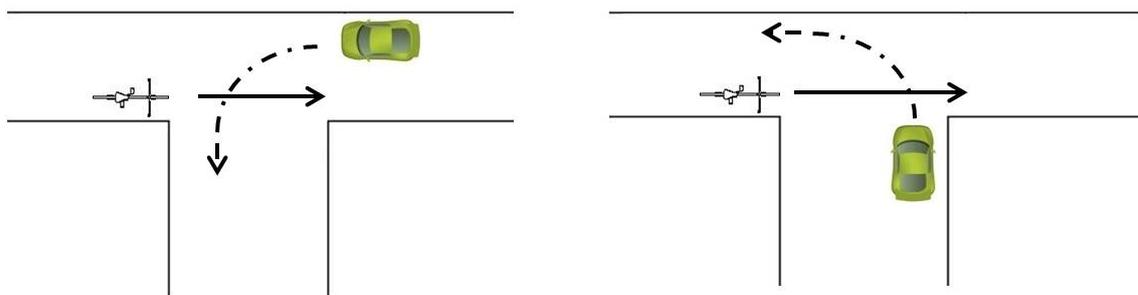


Abbildung 3:
Verschiedene Blickwinkel bei der Lückenwahl (links: frontal, rechts: seitlich).

Es wurden vier verschiedene Geschwindigkeitsstufen für die Umsetzung im Versuch ausgewählt. Beide Zweiradtypen sollten sich jeweils mit 15, 20 und 25 km/h annähern. Zudem wurde mit dem Pedelec 45 eine 35 km/h Bedingung realisiert (im Rahmen unseres Aufbaus konnte diese Geschwindigkeit vom konventionellen Fahrrad nicht erreicht werden). Die Fahrräder wurden jeweils von studentischen Versuchsleitern gefahren, die vorab entsprechend trainiert wurden, so dass sie die geforderte Geschwindigkeit problemlos erreichen und halten konnten. Die Versuchsleiter nutzten das Display des Radcomputers um die eigene Geschwindigkeit zu überwachen. Wurden Abweichungen von mehr als 1 km/h von der Zielgeschwindigkeit festgestellt, wurde der Versuchsdurchgang abgebrochen und wiederholt.

2.1.3 Ablauf

Bevor das eigentliche Experiment begann, wurde mit den Teilnehmern ein Sehtest durchgeführt, um sicherzustellen, dass sie auch in der Lage sind, das sich annähernde Fahrrad hinreichend gut zu erkennen. Keiner der Teilnehmer zeigte auffällige Beeinträchtigungen. Danach erfolgte die Abfrage zentraler demografischer Daten.

Als Plattform für die Beobachtung der sich annähernden Radfahrer wurde ein echtes Fahrzeug (Renault Twingo) eingesetzt. Um dem realen Verhalten in der

Querungssituation so nahe wie möglich zu kommen ohne dabei die Versuchsteilnehmer oder die Radfahrer zu gefährden, war im Fahrzeug ein Fußpedal installiert, mit dessen Hilfe die Teilnehmer ihre Entscheidung signalisieren konnten. Außerhalb des Fahrzeuges war eine Kamera positioniert, die die Annäherung des Radfahrers aufzeichnete. Zudem war vor der Kamera eine Leuchtdiode angebracht, die aufleuchtete, sobald das Fußpedal getreten wurde. Damit war es möglich, die Entscheidung des Teilnehmers mit der Distanz beziehungsweise der Zeitlücke des Radfahrers in Beziehung zu setzen (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Blick auf den ebenen Streckenabschnitt der Teststrecke (oben), Blickwinkel des Teilnehmers auf die Steigung der Teststrecke (unten).

Sobald sich die Teilnehmer ins Fahrzeug gesetzt hatten, wurden sie wie folgt instruiert. Zu Beginn jedes Versuchsdurchganges sollten die Teilnehmer den Kopf zunächst gesenkt halten, so dass eine Beobachtung des sich annähernden Radfahrers nicht möglich war. Hatte der Radfahrer sich bis auf etwa 100 m angenähert, wurde den Teilnehmern vom Versuchsleiter ein Signal gegeben, woraufhin diese dann den Kopf heben und den Radfahrer beobachten konnten. Die Teilnehmer waren angehalten, das Fußpedal in dem Moment zu betätigen, in dem sie meinten, dass sich der Radfahrer in einer Distanz befände, in der sie gerade noch vor ihm queren würden, das heißt sie sollten die für sie minimal akzeptable Lücke anzeigen. Sie sollten dabei von der Nutzung ihres eigenen, nicht des Versuchsfahrzeuges ausgehen. Es wurden zwei Übungsdurchgänge bearbeitet bevor die Datenaufzeichnung begann. Insgesamt waren 28 Annäherungssituationen zu bewerten. Nachdem alle Versuchsdurchgänge abgeschlossen waren, wurden die Teilnehmer im Detail über den Zweck der

Untersuchung aufgeklärt und erhielten eine finanzielle Entschädigung für ihre Teilnahme. Insgesamt dauerte das Experiment etwa 90 min.

Um eine grobe Schätzung der Zeit zu haben, die für das tatsächliche Abbiegen bzw. Einbiegen erforderlich gewesen wäre, wurden zwei Personen gebeten, mit ihren eigenen PKW das Manöver mehrfach zu fahren. Es wurde die Zeit gemessen vom Beginn der Beschleunigung bis das Fahrzeug die Spur überquert hatte und wieder in Fahrtrichtung stand (d.h. in einem 90° Winkel zur Ausgangsstellung positioniert war). Die gemessene Zeit wird als die kritische Zeitlücke für das entsprechende Szenario angesehen. Dabei ist einzuräumen, dass das beschriebene Vorgehen nur eine grobe Einschätzung der tatsächlichen Abbiegezeit zulässt. Da der Start der Zeitmessung an den Beginn einer sichtbaren Fahrzeugbewegung gekoppelt war, sind z.B. Reaktionszeiten des Fahrers und des Fahrzeuges, die dieser Bewegung vorausgehen, nicht in der erfassten Zeit enthalten. Auch sind mögliche Sicherheitspuffer zu zuvor passierenden Fahrzeugen u.Ä. nicht berücksichtigt.

2.1.4 Design

Im Experiment wurden fünf unabhängige Variablen systematisch variiert und deren Einfluss auf die Zeitlückenwahl untersucht (fünffaktorielles Mixed Design). Als unabhängige Variablen variiert wurden das Alter der Probanden (between Variable) sowie die Geschwindigkeit des sich nähernden Radfahrers, der Zweiradtyp, das Profil der Strecke, auf der sich der Radfahrer annäherte und der Blickwinkel auf den Radfahrer (within Variablen), den der Proband bei seiner Entscheidung hatte. Gemessen wurde jeweils die für den Fahrer minimal akzeptable Zeitlücke. Da die Manipulation von Profil und Blickwinkel verschiedene Positionierungen des Versuchsfahrzeuges auf der Strecke erforderte, wurde der Versuch in vier verschiedenen Blöcken (Steigung x frontal, Steigung x seitlich, Ebene x frontal, Ebene x seitlich) durchgeführt, deren Reihenfolge über die Versuchspersonen hinweg ausbalanciert wurde. Innerhalb dieser Blöcke waren der Typ und die Geschwindigkeit des sich annähernden Fahrrades ebenfalls ausbalanciert.

Unabhängige Variable (UV):

- 1 Alter der Teilnehmer (30-45 Jahre, 65 Jahre und älter)
- 2 Geschwindigkeit (15 km/h, 20 km/h, 25 km/h, 35 km/h)
- 3 Zweiradtyp (Fahrrad vs. Pedelec 45)
- 4 Profil (Steigung/Ebene)
- 5 Blickwinkel (Frontal/Seitlich)

Abhängige Variable (AV):

Gewählte Zeitlücke in s

Tabelle 2:

Untersuchungsplan Zweiradtyp und Fahreralter.

	15 km/h		20 km/h				25 km/h				35 km/h				Anz.		
	Fahrrad		Pedelec 45		Fahrrad		Pedelec 45		Fahrrad		Pedelec 45		Fahrrad			Pedelec 45	
	F*	S ⁺	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S		F	S
Steigung																	14
Gerade																	16

F* = Frontal, S⁺ = Seitlich, die schwarzen Felder stehen für nichtrealisierte Faktorstufen

2.2 Ergebnisse

Die Datenauswertung erfolgte mit Hilfe einer fünffaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA). Die 35 km/h Bedingung wurde nicht in die inferenzstatistische Auswertung aufgenommen, da hier Daten nur für das Pedelec 45, nicht aber das Fahrrad vorlagen. Die Daten dieser Bedingung sind jedoch trotzdem in den Abbildungen dargestellt, so dass zumindest ein deskriptiver Vergleich möglich ist. Eine komplette Übersicht über die ANOVA, mit allen Haupteffekten und Interaktionen, ist in Tabelle 3 zu finden (Deskriptive Statistik Anhang A1). Sie zeigt, dass die Geschwindigkeit, der Zweiradtyp und das Streckenprofil einen signifikanten Einfluss auf die Größe der gewählten Lücken hatten. Ebenso ergaben sich zwei signifikante Interaktionen. Im Folgenden werden alle Haupteffekte (Geschwindigkeit, Zweiradtyp, Streckenprofil, Blickwinkel, Altersgruppe) sowie die signifikanten Interaktionen genauer betrachtet.

Tabelle 3:
ANOVA Tabelle Lückenwahl für alle Variationen mit Altersgruppenvergleich (signifikante Ergebnisse sind Fett dargestellt, $N = 42$).

	F	p	η^2_p
Geschwindigkeit	68.95	<.001	.63
Zweiradtyp	18.41	<.001	.32
Streckenprofil	12.21	.001	.23
Blickwinkel	0.61	.438	.02
Altersgruppe	1.02	.319	.03
Geschwindigkeit x Zweiradtyp	0.57	.570	.01
Geschwindigkeit x Streckenprofil	0.49	.616	.01
Geschwindigkeit x Blickwinkel	0.71	.495	.02
Geschwindigkeit x Altersgruppe	1.03	.316	.03
Zweiradtyp x Streckenprofil	2.34	.142	.05
Zweiradtyp x Blickwinkel	2.30	.138	.05
Zweiradtyp x Altersgruppe	12.76	.001	.24
Streckenprofil x Blickwinkel	0.26	.610	.01
Streckenprofil x Altersgruppe	2.72	.107	.06
Blickwinkel x Altersgruppe	2.99	.092	.07
Geschwindigkeit x Zweiradtyp x Streckenprofil	0.10	.907	<.01
Geschwindigkeit x Zweiradtyp x Blickwinkel	0.18	.835	<.01
Geschwindigkeit x Zweiradtyp x Altersgruppe	0.34	.709	.01
Geschwindigkeit x Streckenprofil x Blickwinkel	0.11	.894	<.01
Geschwindigkeit x Streckenprofil x Altersgruppe	6.77	.002	.14
Geschwindigkeit x Blickwinkel x Altersgruppe	2.97	.057	.07
Zweiradtyp x Streckenprofil x Blickwinkel	<0.01	.957	<.01
Zweiradtyp x Streckenprofil x Altersgruppe	0.19	.663	<.01

	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2_p
Zweiradtyp x Blickwinkel x Altersgruppe	0.09	.762	<.01
Streckenprofil x Blickwinkel x Altersgruppe	0.23	.635	.01

Geschw. x Fahrr. x Streckenprofil x Blickwinkel	0.03	.974	<.01
Geschw. x Fahrr. x Streckenprofil x Altersgruppe	1.42	.247	.03
Geschw. x Fahrr. x Blickwinkel x Altersgruppe	0.81	.451	.02
Fahrr. x Streckenprofil x Blickwinkel x Altersgruppe	1.00	.324	.02
Geschw. x Fahrr. x Streckenpr. x Blickw. x Altersgr.	1.80	.171	.04

In Abbildung 5 ist die Größe der akzeptierten Zeitlücken in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des sich nähernden Radfahrers dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass die Teilnehmer bei höheren Geschwindigkeiten des Radfahrers im Schnitt kleinere Zeitlücken akzeptierten. Dieser Eindruck wurde in der statistischen Analyse bestätigt. Post-hoc Vergleiche (korrigiert für Mehrfachvergleiche nach Bonferroni) zeigten signifikante Unterschiede zwischen allen drei ausgewerteten Geschwindigkeitsstufen (alle $p < ,001$). Die überwiegende Mehrheit der akzeptierten Lücken hätte zu einem sicheren Abbiegevorgang geführt. Allerdings wurden immerhin 29 Lücken (von insgesamt 1.176, ca. 2,5%) gewählt, die kleiner als die gefundene kritische Zeitlücke von 3,4 s waren.

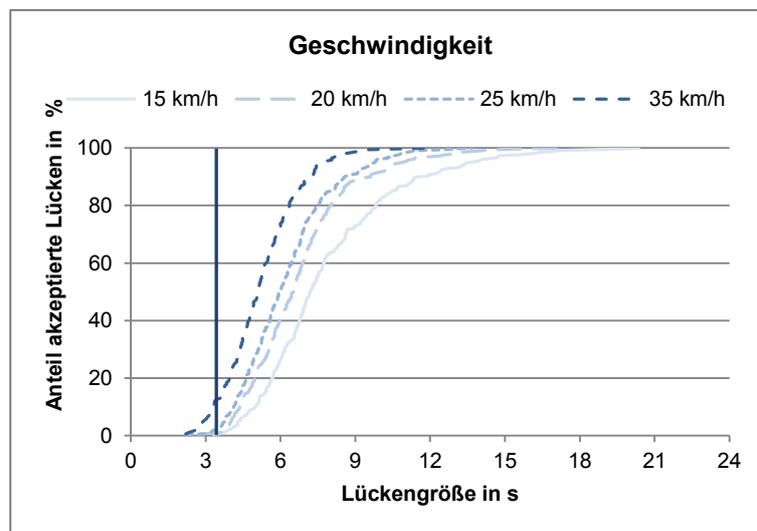


Abbildung 5:
Kumulierter Anteil akzeptierter Lücken einer bestimmten Größe in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Radfahrers. Durchgehende Linie bei „kritischer“ Zeitlücke von 3,4 s.

Abbildung 6 zeigt die Größe der akzeptierten Zeitlücken für die verschiedenen Geschwindigkeitsstufen in Abhängigkeit von den Faktoren Zweiradtyp, Streckenprofil, Blickwinkel und Altersgruppe. Es konnte ein deutlicher Effekt des Zweiradtyps gefunden werden (Abbildung 6a). Die akzeptierten Zeitlücken vor dem sich annähernden Pedelec 45 waren im Schnitt etwa 0,5 s kleiner als vor dem Fahrrad. Ebenso hatte das Streckenprofil (Abbildung 6b) einen Einfluss. Wenn der Radfahrer sich an der Steigung näherte, waren die akzeptierten Lücken erneut etwa 0,5 s kleiner im Vergleich zur

Annäherung in der Ebene. Der Blickwinkel (Abbildung 6c) hingegen hatte keinen signifikanten Effekt.

Die Betrachtung der Werte in Abhängigkeit vom Alter der Teilnehmer (Abbildung 6d) legt zunächst nahe, dass auch diese Variable einen signifikanten Einfluss auf die Größe der akzeptierten Lücke hatte. Teilweise bestehen Unterschiede von bis zu 1,0 s zwischen den Altersgruppen der Teilnehmer für bestimmte Geschwindigkeitsstufen. Die Varianzanalyse zeigte jedoch keinen signifikanten Effekt.

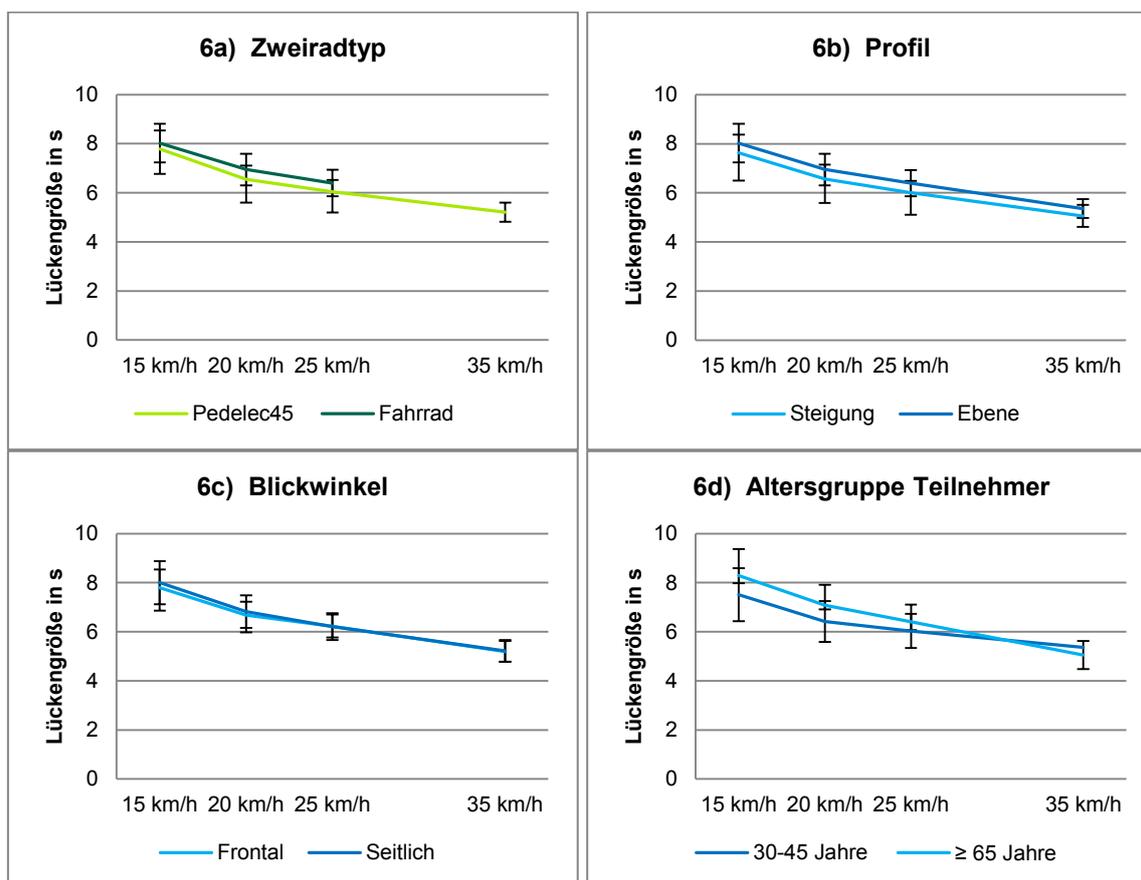


Abbildung 6: Akzeptierte Lückengröße für die verschiedenen Geschwindigkeitsstufen in Abhängigkeit von Zweiradtyp (6a), Streckenprofil (6b), Blickwinkel (6c) und Altersgruppe der Teilnehmer (6d).

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, ergab sich allerdings eine Interaktion zwischen dem Zweiradtyp und der Altersgruppe der Teilnehmer (siehe Abbildung 7). Die Betrachtung dieser Interaktion legt nahe, dass der Haupteffekt des Zweiradtyps vor allem in den Entscheidungen der älteren Teilnehmer begründet liegt, die eine durchschnittliche Lückengröße von 7,6 s ($SD = 2,4$) beim sich annähernden Fahrrad wählten, während die akzeptierte Lücke beim Pedelec 45 lediglich 7,0 s ($SD = 2,1$) groß war. Ein solcher Unterschied ließ sich bei den jüngeren Teilnehmern nicht finden. Hier betrug die durchschnittliche Größe der jeweils gewählten Lücken 6,7 s ($SD = 1,5$) bzw. 6,6 s ($SD = 1,6$). Zudem bestand eine Dreifachinteraktion zwischen Geschwindigkeit, Streckenprofil und Altersgruppe der Teilnehmer. Eine inhaltlich sinnvolle Interpretation ist jedoch nicht möglich.

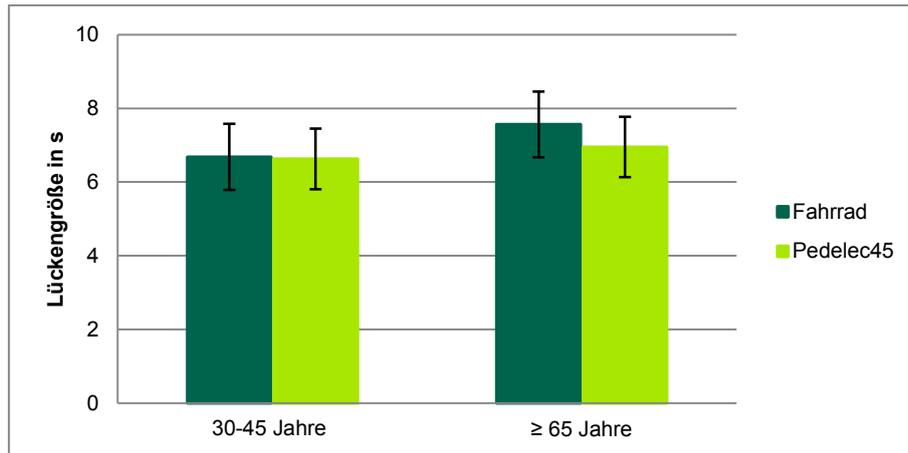


Abbildung 7:
Akzeptierte Lückengröße für die beiden Zweiradtypen und die Altersgruppen der Teilnehmer ($N = 42$).

2.3 Zusammenfassung

In der ersten empirischen Untersuchung im Projekt konnte belegt werden, dass größere Annäherungsgeschwindigkeiten eines Fahrrades mit kleineren akzeptierten Zeitlücken einhergehen. Tendenziell werden die Abbiegeentscheidungen von Autofahrern also riskanter. Überraschenderweise hatte auch der Zweiradtyp selbst einen Einfluss auf das Verhalten der Teilnehmer. Es wurde, bei gleicher Geschwindigkeit, deutlich knapper vor einem Elektrofahrrad abgebogen als vor einem konventionellen Rad, obwohl die Fahrräder selbst nicht voneinander zu unterscheiden waren. Ebenfalls auffällig war der Einfluss des Streckenprofils. Näherte sich der Radfahrer an einer Steigung, wurden ebenfalls kleinere Lücken gewählt. Der Blickwinkel hingegen schien keinen Effekt zu haben, ebenso wenig wie das Alter der Versuchsteilnehmer.

3 Experiment 2: Einfluss des Zweiradtyps und des Fahreralters auf Lückenwahl und Time-to-Arrival- Schätzung

Aufbauend auf den Befunden des Teststreckenversuchs wurden in der zweiten Studie weitere Variablen als Einflussfaktoren auf die Wahl von Zeitlücken getestet. Zudem wurde die Schätzung der TTA als weiterer Untersuchungsgegenstand eingeführt. Um eine einfache Umsetzung der TTA Schätzaufgabe zu ermöglichen, sowie den Aufwand im Vergleich zum Teststreckenversuch generell zu verringern, wurde diese Untersuchung unter Nutzung von zuvor aufgezeichnetem Videomaterial im Labor durchgeführt. Dieses Paradigma wurde bereits in anderen Studien erfolgreich eingesetzt (Recarte et al., 2005; Seward et al., 2007).

Zusätzlich zu den bereits aus der vorangegangenen Studie bekannten zwei Zweiradtypen wurde ein Moped eingesetzt, um den Effekt der Fahrzeuggröße („size arrival effect“ vgl. Kap. 1.2.1 und 1.3.1) genauer zu untersuchen. Es wurde angenommen, dass ein Moped als schneller wahrgenommen wird als die beiden anderen Zweiradtypen. Als zentraler Faktor wurde das Alter des zu beobachtenden Fahrradfahrers in das Versuchsdesign aufgenommen. Diese Variation liegt in der Überlegung begründet, dass bestimmten Verkehrsteilnehmern bzw. bestimmten Altersgruppen Eigenschaften zugeschrieben werden, die sich auch auf deren vermeintliche Geschwindigkeit auswirken können. So wurde für Autofahrer festgestellt, dass ältere Fahrer mit einer langsamen Geschwindigkeit assoziiert werden (Davies & Patel, 2005; Joannis, Gagnon, & Voloaca, 2012). Auch bei Radfahrern kann vermutet werden, dass dieser Aspekt eine Rolle spielt, ist doch die zu erwartende Geschwindigkeit abhängig von körperlichen Voraussetzungen, und damit auch zwangsläufig vom Alter. Zudem ist bei Radfahrern im Vergleich zu Autofahrern das Alter zumeist deutlich besser zu erkennen. Ferner wurde erneut der Einfluss der Geschwindigkeit und des Teilnehmeralters geprüft. Es wurden somit folgende Forschungsfragen formuliert:

- Welchen Einfluss hat die Geschwindigkeit auf die Lückengröße/Time-to-Arrival-Schätzung?
- Welchen Einfluss haben unterschiedliche Zweiradtypen auf die Lückengröße/Time-to-Arrival-Schätzung?
- Welchen Einfluss hat das Alter des Fahrers auf die Lückengröße / Time-to-Arrival-Schätzung?
- Welchen Einfluss hat das Teilnehmeralter auf die die Lückengröße / Time-to-Arrival-Schätzung?

3.1 Methode

3.1.1 Stichprobe

An dem Experiment nahmen 44 Personen in zwei Altersgruppen (30 bis 45 Jahre, 65 Jahre und älter) teil. Um eine möglichst aussagekräftige Datenbasis zu gewährleisten wurden alle fehlerfreien Daten verwendet. Beim Block zur Lückenwahl konnten die Daten von zwei Personen auf Grund von unplausiblen Werten nicht berücksichtigt werden, so dass 42 Datensätze in die Analyse eingeschlossen wurden. Die Stichprobe ist in Tabelle 4 beschrieben. Bei der TTA-Schätzung hingegen konnten alle Daten verwendet werden (siehe Tabelle 5). Dies erklärt die minimal verschobenen Stichprobenszusammensetzungen.

Tabelle 4:

Stichprobenzusammensetzung nach Fahrzeugtyp und Altersgruppe des Versuchs zur Lückenwahl.

Altersgruppe	N	Alter				Geschlecht	
		M	SD	Min	Max	Männer	Frauen
30-45 Jahre	22	37	4,9	30	45	6	16
≥ 65 Jahre	20	71	3,7	65	78	12	8

Tabelle 5:

Stichprobenzusammensetzung nach Altersgruppe des Time-to-Arrival Versuchs.

Altersgruppe	N	Alter				Geschlecht	
		M	SD	Min	Max	Männer	Frauen
30-45 Jahre	22	37	4,9	30	45	6	16
≥ 65 Jahre	22	71	3,7	65	78	13	9

3.1.2 Verwendete Materialien und Versuchsaufbau

Zentrales Element des Versuches war das auf einem Sportflugplatz aufgezeichnete Videomaterial (siehe Kap. 1.5.1). Es wurden erneut Fahrrad und Pedelec 45 aus dem Experiment 1 verwendet (siehe Abbildung 1 in Kap. 1.5.1), und sowohl in Kombination mit einem älteren (65 Jahre) als auch einem jüngeren (28 Jahre) Radfahrer gefilmt (siehe Abbildung 8). Als Vergleichsbedingung wurden Fahrten mit einem Moped (Motowell Crogen RS 95, max. Geschwindigkeit 45 km/h, Hubraum 49,3 ccm) aufgezeichnet. Die Zweiräder näherten sich mit der entsprechenden Geschwindigkeit (siehe Kap. 3.1.4) konstant frontal dem Autofahrer.

Im Block zur Lückenwahl wurde versucht, die Aufgabenstellung möglichst vergleichbar zum ersten Experiment zu gestalten (vgl. Kap. 2.1.3). Die Videosequenzen wurden so dargeboten, dass sich die Zweiradfahrer zu Beginn der Sequenz in einem Abstand von 100m vom Beobachter befanden. Die Videos wurden anschließend komplett gezeigt, bis der Zweiradfahrer den weißen Strich passiert hatte. Aus den möglichen Kombinationen der verschiedenen Faktorstufen ergaben sich insgesamt 21 verschiedene Videos. Um die Lückenwahl zu erfassen sollten die Probanden die Leertaste zu dem Zeitpunkt drücken, an dem sie gerade noch vor dem Zweiradfahrer links abgebogen wären.

Bei der TTA-Schätzung wurden Videosequenzen von jeweils 4 s gezeigt. Bei Ausblenden des Videos befand sich das näherkommende Zweirad entweder 4, 6 oder 8 s vom Beobachter bzw. der weißen Linie entfernt, anschließend wurde das Bild schwarz. Entsprechend ergaben sich aus den möglichen Kombinationen der verschiedenen Faktorstufen 63 unterschiedliche Videosequenzen. Aufgabe der Probanden war es, mittels Druck auf die Leertaste anzugeben, wann das Zweirad ihrer Meinung nach die weiße Linie erreicht hätte.



Abbildung 8:
Videoausschnitt älterer Radfahrer (oben) und jüngerer Radfahrer (unten).

3.1.3 Ablauf

Der Versuch fand in einem abgedunkelten Raum statt. Um eine möglichst großflächige Darstellung zu erreichen, wurden die Videosequenzen mit Hilfe eines Projektors an eine Wand des Labors projiziert (1,25 x 2,20 m). Der Abstand von der Wand zum Probanden betrug 2,50 m. Zunächst erhielten die Teilnehmer eine kurze Einführung durch den Versuchsleiter, anschließend folgten schriftliche Instruktionen am Computer. Im ersten Versuchsblock wurde die Aufgabe zur Lückenwahl bearbeitet. Um sich mit dem Ablauf vertraut zu machen, absolvierten die Probanden zwei Probedurchgänge. Sie hatten dabei die Möglichkeit, sich bei Unklarheiten oder Fragen an den Versuchsleiter zu wenden. Anschließend durchliefen sie alle 21 Versuchsdurchgänge. Darauf folgte eine kurze Pause. Der zweite Teil bestand in der TTA-Schätzung. Auch hier bearbeiteten die Teilnehmer zunächst zwei Probedurchgänge, bevor die 63 Experimentaldurchgänge folgten. Im Anschluss an die Videoversuche wurde ein Fragebogen zu demografischen Variablen ausgefüllt (Alter, Geschlecht und Dauer des Führerscheinbesitzes, sowie Marke des Fahrzeugs).

3.1.4 Design

Das Experiment bestand aus zwei Teilblöcken – der Untersuchung der Lückenwahl sowie der Untersuchung der TTA-Schätzung. Für beide Blöcke ergab sich jeweils ein vierfaktorielles Mixed Design. Als unabhängige Variablen (UV) wurden das Alter der Teilnehmer (between Variable), der Zweiradtyp, die Geschwindigkeit sowie das Fahreralter (within Variablen) variiert. Das Versuchsdesign war unvollständig (siehe

Tabelle 6), da es für den älteren Radfahrer nicht möglich war, die 30 km/h und 35 km/h Geschwindigkeiten mit einem Fahrrad zu erreichen. Ebenso wenig wurden Geschwindigkeiten unter 25 km/h mit dem Moped realisiert. Gemessen wurde die für den Fahrer minimal akzeptable Zeitlücke (Block Lückenwahl) bzw. die geschätzte TTA (Block TTA-Schätzung). Alle Bedingungen innerhalb der beiden Blöcke wurden den Teilnehmern randomisiert dargeboten.

Unabhängige Variable (UV):

- 1 Alter der Teilnehmer (30-45 Jahre, 65 Jahre und älter)
- 2 Zweiradtyp (Fahrrad, Pedelec 45, Moped)
- 3 Fahreralter (prototypisch älterer/jüngerer Fahrer)
- 4 Geschwindigkeit (15, 20, 25, 30, 35 km/h)

Abhängige Variable (AV):

Block 1: Gewählte Zeitlücke

Block 2: Time-to-Arrival (TTA) Schätzung

Tabelle 6:
Untersuchungsplan Zweiradtyp und Fahreralter.

Speed Fahrer	15		20		25			30			35			Anzahl	
	F	P	F	P	F	P	M	F	P	M	F	P	M		
alt															8
jung															13

* F = Fahrrad, P = Pedelec 45, M = Moped, die schwarzen Felder stehen für nichtrealisierte Faktorstufen

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Lückenwahl

In Experiment 1 wurde die durchschnittliche Dauer eines tatsächlichen Abbiegevorgangs mit 3.4 s ermittelt. Abbildung 9 beschreibt die durchschnittlich gewählte Lückengröße in den verschiedenen Experimentalbedingungen über die beiden Altersgruppen hinweg. Es lässt sich erkennen, dass die Durchschnittswerte der Lücken bei denen die Teilnehmer noch abgebogen wären deutlich über der mittleren Dauer eines Abbiegevorgangs liegen. Insgesamt gab es allerdings 7 Durchgänge bei denen eine kleinere Lücke gewählt wurde. Das Minimum der gewählten Lücken über alle Probanden hinweg lag bei 2,8 s und das Maximum bei 21,4 s (Deskriptive Statistik siehe Anhang A2). Es lässt sich erkennen, dass die Muster für alle Fahrer- und Zweiradtypen sehr ähnlich aussehen. Die gewählten Zeitlücken wurden mit zunehmender Geschwindigkeit immer kleiner. Die Lücken vor einem herannahenden Moped wurden im Schnitt größer gewählt als bei Pedelec 45 oder Fahrrad.

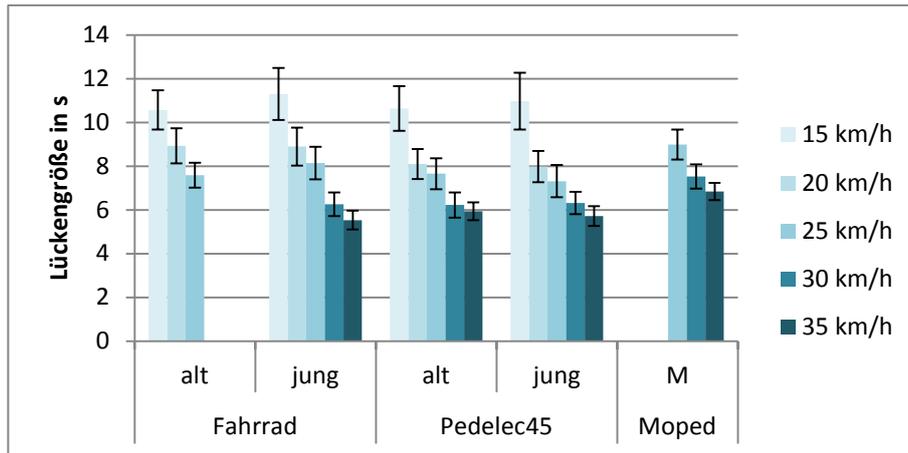


Abbildung 9: Mittlere gewählte Lückengröße für alle verschiedenen Variationen über Altersgruppen hinweg (N = 42).

Aufgrund des unvollständigen Designs wurde der Vergleich für das Fahreralter lediglich für Fahrrad und Pedelec bei den Geschwindigkeiten von 15-25 km/h gerechnet. Die Haupteffekte und Interaktionen sind in Tabelle 7 dargestellt. Es zeigten sich zwei signifikante Haupteffekte für Zweiradtyp und Geschwindigkeit, sowie zwei signifikante Interaktionen. Auf die Haupteffekte (Geschwindigkeit, Zweirad, Fahreralter, Alter der Teilnehmer) sowie die beiden Interaktionen wird in den folgenden Abschnitten näher eingegangen.

Tabelle 7: ANOVA Tabelle Lückenwahl für die beiden Fahrer- und Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h mit Altersgruppenvergleich (signifikante Ergebnisse sind Fett dargestellt, N = 42).

	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2_p
Geschwindigkeit	117,87	<,001	,75
Zweirad	14,31	,001	,26
Fahreralter	2,76	,105	,07
Altersgruppe	0,27	,603	,01
Geschwindigkeit x Zweirad	3,98	,023	,09
Geschwindigkeit x Fahreralter	2,26	,111	,05
Geschwindigkeit x Altersgruppe	4,59	,013	,10
Zweirad x Fahreralter	3,35	,075	,08
Zweirad x Altersgruppe	0,02	,891	<,01
Fahreralter x Altersgruppe	0,79	,379	,02
Geschwindigkeit x Zweirad x Fahreralter	0,98	,381	,02
Geschwindigkeit x Zweirad x Altersgruppe	0,06	,945	<,01
Geschwindigkeit x Fahreralter x Altersgruppe	0,01	,989	<,01
Zweirad x Fahreralter x Altersgruppe	0,47	,498	,01
Geschwindigkeit x Zweirad x Fahreralter x Altersgruppe	0,31	,735	,01

In Abbildung 10 ist die gewählte Lückengröße komprimiert für die beiden Zweiräder bei 15 bis 25 km/h und die beiden Fahrerarten dargestellt. Es ist wiederum die durchschnittliche Dauer eines tatsächlichen Abbiegevorgangs abgetragen (siehe Kap. 2.2). Es zeigte sich, dass die gewählten Lücken im Schnitt deutlich größer als die kritische Zeitlücke von 3,4 s waren. Gleichzeitig wählten die Teilnehmer bei steigender Geschwindigkeit eine jeweils signifikant kleinere Zeitlücke zum Abbiegen im Vergleich zur niedrigeren Geschwindigkeit (alle $p < ,001$). Es wurde ebenfalls ein signifikanter Unterschied in der gewählten Lückengröße zwischen den beiden Zweiradtypen festgestellt. Die Teilnehmer wählten eine signifikant kleinere Lücke vor einem Pedelec 45 als vor einem Fahrrad. Weiterhin zeigte sich eine signifikante Interaktion zwischen Zweiradtyp und Geschwindigkeit. Bei 20 und 25 km/h wurde bei einem Pedelec 45 eine kleinere Lücke gewählt als bei dem Fahrrad ($M_{P20} = 8,0$ s; $SD_{P20} = 2,1$ s; $M_{F20} = 7,5$ s, $SD_{F20} = 2,2$ s, $M_{F25} = 8,9$ s; $SD_{F25} = 2,5$ s; $M_{P25} = 7,5$ s, $SD_{P25} = 2,0$ s).

Es zeigte sich allerdings kein signifikanter Effekt für das Fahreralter. Offenbar spielte es keine Rolle, ob ein älterer oder jüngerer Radfahrer auf die Probanden zu gefahren kam. Ebenso war keine signifikante Interaktion für Zweiradtyp und Fahreralter zu erkennen, wie auch für Fahreralter und Geschwindigkeit. Auch das Alter der Teilnehmer hatte keinen Einfluss auf die Größe der gewählten Lücke. Die jüngeren Teilnehmer wählten nur eine geringfügig kleinere Lücke ($M = 8,8$ s, $SD = 2,4$ s) als diejenigen ab 65 Jahre ($M = 9,2$ s; $SD = 2,6$ s).

Allerdings zeigte sich eine signifikante Interaktion zwischen der Geschwindigkeit und dem Alter der Teilnehmer. Bei 15 km/h wählten die älteren Probanden deutlich größere Lücken ($M_{alt15} = 11,4$ s, $SD = 3,5$ s) als die jüngeren Teilnehmer ($M_{jung15} = 10,4$ s, $SD = 3,1$ s) während der Unterschied bei den höheren Geschwindigkeiten wesentlich geringer ausfiel ($M_{alt20} = 8,7$ s, $SD = 2,4$ s; $M_{jung20} = 8,3$ s, $SD = 2,1$ s; $M_{alt25} = 7,5$ s, $SD = 2,0$ s; $M_{jung25} = 7,8$ s, $SD = 2,1$ s).

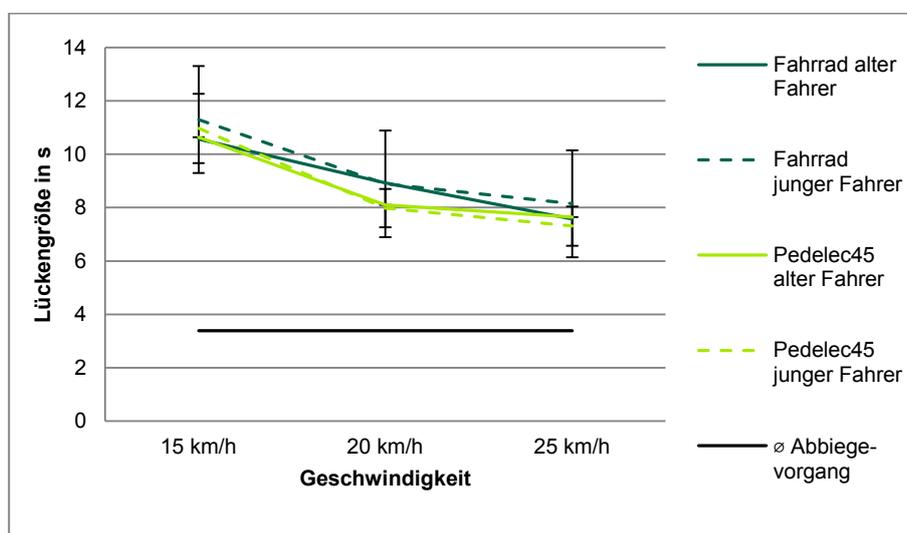


Abbildung 10:
Mittlere gewählte Lückengröße für die beiden Fahrer- und Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h ($N = 42$).

Einen weiteren Teil der Auswertung bildete der Vergleich des Pedelecs 45 und Fahrrads mit dem Moped. Dieser Vergleich konnte allerdings nur für die Geschwindigkeiten 25 bis 35 km/h, und nur mit dem jungen Radfahrer, der auch alle entsprechenden Geschwindigkeitsstufen herstellen konnte, durchgeführt werden (siehe Tabelle 8). Im

Folgenden werden die beiden Haupteffekte und die signifikante Interaktion zwischen Zweiradtyp und Geschwindigkeit genauer erläutert.

Tabelle 8:
ANOVA Tabelle Lückenwahl für die drei Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 25 bis 35 km/h mit Vergleich der Altersgruppen der Teilnehmer (signifikante Ergebnisse sind Fett dargestellt, N = 42).

	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2_p
Geschwindigkeit	98,86	<,001	,71
Zweirad	49,08	<,001	,55
Altersgruppe	0,37	,548	,01
Geschwindigkeit x Zweirad	3,75	,006	,09
Geschwindigkeit x Altersgruppe	0,78	,462	,02
Zweirad x Altersgruppe	2,89	,061	,07
Zweirad x Geschwindigkeit x Altersgruppe	0,55	,697	,01

Erwartungsgemäß wurde für höhere Geschwindigkeiten eine signifikant kleinere Lücke gewählt. Zudem zeigte sich, dass die Teilnehmer eine signifikant größere Lücke vor dem herannahenden Moped (alle $p < ,001$) wählten, während zwischen den Zweiradtypen kein Unterschied bestand (siehe Abbildung 11). Es konnte allerdings kein Einfluss des Alters der Teilnehmer festgestellt werden. Hinsichtlich der Auswirkung der Geschwindigkeit bei den verschiedenen Zweiradtypen auf die Lückenwahl bestehen bedeutsame Unterschiede. Während sich die gewählten Lücken zwischen Fahrrad und Pedelec 45 bei 25 km/h voneinander unterschieden, näherten sich die Werte bei den höheren Geschwindigkeiten aneinander an.

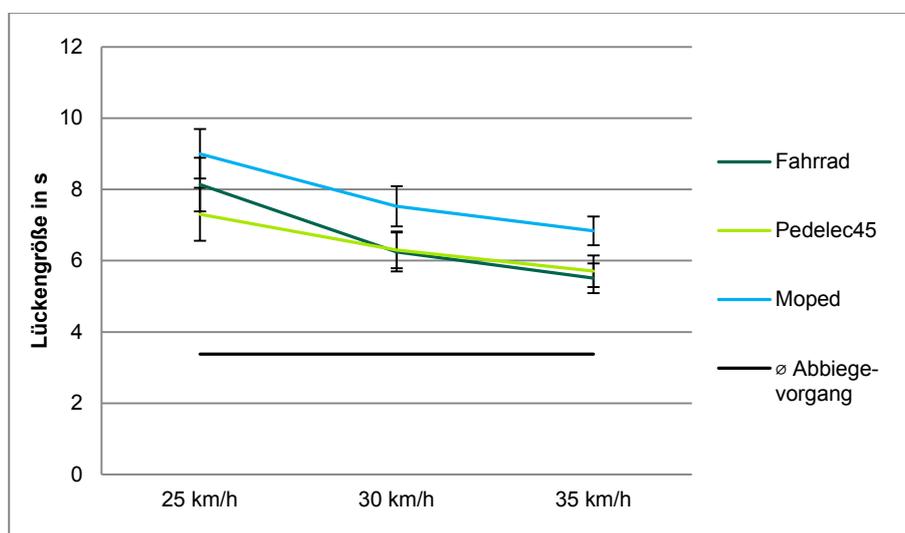


Abbildung 11:
Mittlere gewählte Lückengröße für die drei Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 25 bis 35 km/h (N = 42).

3.2.2 Time-to-Arrival-Schätzung

Generell zeigte sich, dass die Teilnehmer in der Mehrheit der Versuchsdurchgänge die TTA unterschätzten. Das heißt, dass sie das Zweirad zeitiger an der weißen Linie erwarteten, als es diese erreichte. In 631 von 4.032 Versuchsdurchgängen (15,7%)

wurde die TTA allerdings überschätzt (Deskriptive Statistik siehe Anhang A2). In Abbildung 12 ist der Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für die drei Geschwindigkeiten, die Zweiräder und den jungen bzw. älteren Fahrer dargestellt. Dort ist ebenso zu erkennen, dass die verbleibende Zeit bis zum Eintreffen des Zweirades generell unterschätzt wurde. Für den Anteil der geschätzten an der tatsächlichen TTA bedeuten Werte unter 1 eine Unterschätzung der TTA sowie Werte über 1 eine Überschätzung.

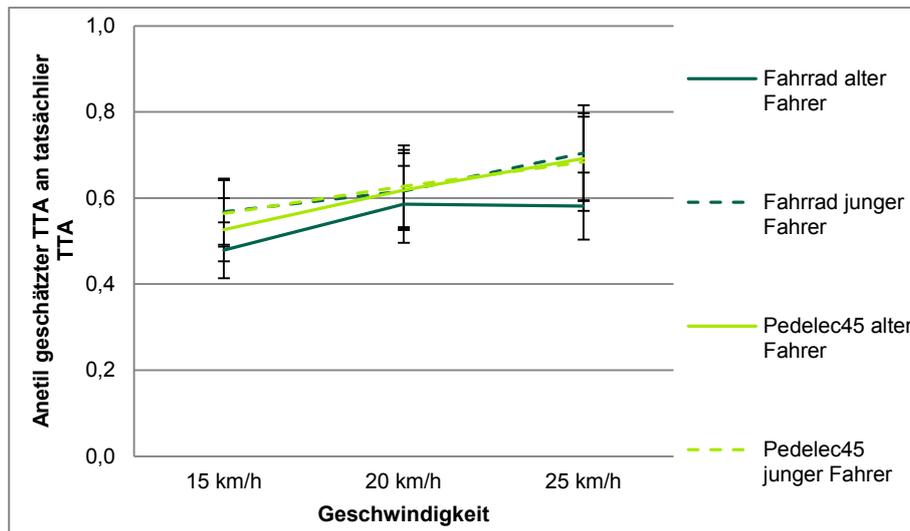


Abbildung 12:
Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für die beiden Fahrer- und Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h (N = 44).

Auch bei der TTA-Schätzung wurde ein statistischer Vergleich für das Fahreralter lediglich für Fahrrad und Pedelec 45 bei den Geschwindigkeiten von 15-25 km/h vorgenommen (siehe Tabelle 9). Es konnten vier signifikante Haupteffekte für Geschwindigkeit, Zweiradtyp, Fahreralter und Altersgruppe der Teilnehmer gefunden werden, welche im Folgenden genauso wie die signifikanten Interaktionen noch weitergehend betrachtet werden.

Tabelle 9:

ANOVA Tabelle TTA-Schätzung für die beiden Fahrer- und Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h mit Altersgruppenvergleich (signifikante Ergebnisse sind Fett dargestellt, $N = 44$).

	F	p	η^2_p
Geschwindigkeit	35,60	<,001	,48
Zweirad	11,87	,001	,22
Fahreralter	20,16	<,001	,32
Altersgruppe	14,54	<,001	,26
Geschwindigkeit x Zweirad	0,98	,379	,02
Geschwindigkeit x Fahreralter	1,50	,229	,03
Geschwindigkeit x Altersgruppe	2,93	,059	,07
Zweirad x Fahrertyp	10,85	,002	,21
Zweirad x Altersgruppe	0,01	,905	<,01
Fahreralter x Altersgruppe	5,39	,025	,11
Geschwindigkeit x Zweirad x Fahreralter	4,47	,014	,10
Geschwindigkeit x Zweirad x Altersgruppe	1,09	,340	,03
Geschwindigkeit x Fahreralter x Altersgruppe	1,19	,310	,03
Zweirad x Fahreralter x Altersgruppe	0,17	,682	<,01
Geschwindigkeit x Zweirad x Fahreralter x Altersgruppe	0,20	,819	,01

Es zeigte sich, dass sich alle Geschwindigkeitsbedingungen signifikant voneinander unterscheiden. Je höher die Geschwindigkeit war, desto kleiner war die Unterschätzung. Ferner unterschieden sich auch hier die Zweiradtypen signifikant voneinander. Die Teilnehmer schätzten, dass das Pedelec 45 die weiße Linie signifikant später erreicht als das Fahrrad. Wie in Tabelle 9 an den hervorgehobenen Werten zu erkennen, besteht ebenfalls ein signifikanter Unterschied in der TTA-Schätzung zwischen dem alten und dem jungen Fahrer. Die TTA wurde kleiner für den älteren Fahrer als für den Jüngeren geschätzt. Ebenso konnte eine signifikante Interaktion zwischen Zweirad und Fahrertyp festgestellt werden. Für den älteren Radfahrer wurde die kleinste TTA geschätzt.

Die beiden Altersgruppen unterschieden sich signifikant in ihrer Einschätzung. Die älteren Teilnehmer ($M = 0,45$, $SD = 0,17$) unterschätzten die TTA stärker als die jüngeren Teilnehmern ($M = 0,76$, $SD = 0,35$). Die jüngeren Probanden schätzten, dass der ältere Fahrer die weiße Linie zeitiger erreicht im Vergleich zum jüngeren Fahrer ($M_{alt} = 0,80$; $SD_{alt} = 0,38$; $M_{jung} = 0,73$, $SD_{jung} = 0,32$). Der Unterschied für das Fahreralter war bei den älteren Probanden nicht so stark ausgeprägt ($M_{alt} = 0,44$; $SD_{alt} = 0,16$; $M_{jung} = 0,46$, $SD_{alt} = 0,18$). Zudem ergab sich eine Dreifachinteraktion zwischen den Faktoren Zweirad, Fahreralter und Geschwindigkeit. Diese ist allerdings inhaltlich nicht sinnvoll zu interpretieren.

Erneut wurde auch ein Vergleich der beiden Fahrräder mit dem Moped vorgenommen, jeweils wieder für die Geschwindigkeiten 25-35 km/h und nur unter Einbezug des jungen Radfahrers (siehe Tabelle 10). Auch diesmal fanden sich ein signifikanter Einfluss des Zweiradtyps, der Geschwindigkeit und der Altersgruppe der Teilnehmer, sowie eine Interaktion aus Zweiradtyp und Geschwindigkeit. Diese werden im folgenden Abschnitt genauer erläutert.

Tabelle 10:

ANOVA Tabelle TTA-Schätzung für die drei Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 25 bis 35 km/h mit Altersgruppenvergleich (signifikante Ergebnisse sind Fett dargestellt, $N = 44$).

	F	p	η^2_p
Geschwindigkeit	11,57	<,001	,22
Zweirad	20,98	<,001	,33
Altersgruppe	14,03	,001	,25
Geschwindigkeit x Zweirad	3,45	,010	,08
Geschwindigkeit x Altersgruppe	1,09	,341	,03
Zweirad x Altersgruppe	1,05	,356	,02
Geschwindigkeit x Zweirad x Altersgruppe	1,52	,200	,04

Hinsichtlich der Geschwindigkeit ergab sich lediglich für den Vergleich von 25 km/h und 35 km/h ein signifikanter Unterschied ($p < ,001$) (siehe Abbildung 13). Ebenso zeigten sich erneut signifikante Unterschiede in den Schätzungen zwischen dem Moped und den beiden anderen Zweirädern (alle $p < ,001$), während zwischen diesen kein Unterschied bestand ($p = 1.000$). Für das Moped wurde eine kleinere TTA geschätzt als für Fahrrad und Pedelec 45. Auch unterschätzten die älteren Versuchsteilnehmer ($M = 0,51$, $SD = 0,18$) die TTA signifikant stärker als die jüngeren Versuchsteilnehmer ($M = 0,86$, $SD = 0,41$). Aus der Abbildung lässt sich auch die Interaktion zwischen Zweiradtyp und Geschwindigkeit erkennen. So ist bei beiden Zweiradtypen eine Veränderung in der Einschätzung in erster Linie zwischen 30 und 35 km/h auszumachen, während es beim Moped die 25 und 35 km/h Bedingung zu sein scheint, die von den anderen beiden abweicht.

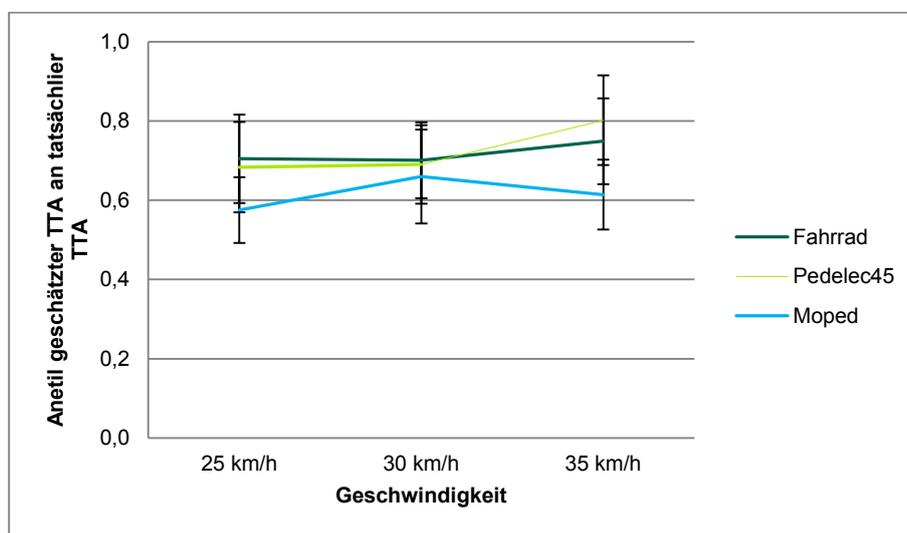


Abbildung 13:

Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für die drei Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 25 bis 35 km/h ($N = 44$).

3.3 Zusammenfassung

Vergleichbar zum Teststreckenversuch zeigte sich auch in dem Videoversuch ein Einfluss der Geschwindigkeit sowohl auf die Lückenwahl als auch die TTA-Schätzung. Bei höheren Geschwindigkeiten wurden kleinere Lücken vor den Zweirädern gewählt, als

auch eine geringere Unterschätzung der TTA gefunden. Zudem wurden erneut vor einem Pedelec 45 kleinere Lücken gewählt als vor einem Fahrrad. Erklärbar ist dies mit den Ergebnissen der TTA-Schätzung, in denen das Fahrrad zeitiger an der weißen Linie erwartet wurde als das Elektrofahrrad, obwohl beide äußerlich nicht voneinander zu unterscheiden waren. Das bedeutet, dass das Fahrrad als schneller wahrgenommen wurde als das Pedelec 45. Ebenso wurde bei einem herannahenden Moped die Lücke deutlich größer gewählt bzw. die TTA wesentlich kleiner geschätzt als bei den anderen beiden Zweiradtypen. Das Alter des Radfahrers wirkte sich lediglich auf die TTA-Schätzung aus. Der ältere Fahrer wurde (besonders auf dem Fahrrad) als am schnellsten wahrgenommen. Das Alter der Teilnehmer hatte ebenfalls keinen Einfluss auf die Lückenwahl, allerdings auf die TTA-Schätzung. Die älteren Teilnehmer schätzten die TTA geringer im Vergleich zu den jüngeren.

4 Experiment 3: Einfluss der Trittfrequenz auf Lückenwahl und Time-to-Arrival-Schätzung

In den beiden vorangegangenen Untersuchungen zeigten sich zwischen Fahrrad und Pedelec 45 teilweise deutliche Unterschiede sowohl in der Wahl der Lücken als auch in der Bewertung der TTA. Dies war insofern überraschend, als dass die beiden Zweiräder äußerlich nicht voneinander zu unterscheiden waren. Eine Erklärung, die unmittelbar auf den Zweiradtyp als entscheidende Ursache für diesen Befund verweist, würde also zu kurz greifen. Gleichwohl erschien es möglich, dass die Nutzung des Pedelec 45 durch dessen Motorunterstützung eine entspanntere, weniger beanspruchende, und damit in den Augen des Beobachters langsamere Fahrt zur Folge hatte. So war zu vermuten, dass der Pedelec 45-Fahrer die gleichen Geschwindigkeiten wie der Radfahrer mit niedrigeren Trittfrequenzen realisiert, was sich entsprechend in einem im Vergleich langsameren Bewegungsmuster niederschlägt. Aus dieser Überlegung ergaben sich folgende Forschungsfragen:

- Welchen Einfluss hat die Trittfrequenz auf die Lückengröße/Time-to-Arrival-Schätzung?
- Welchen Einfluss hat die Geschwindigkeit auf die Lückengröße/Time-to-Arrival-Schätzung?

4.1 Methode

4.1.1 Stichprobe

Am Experiment nahmen 44 Personen in zwei Altersgruppen (30 bis 45 Jahre, 65 Jahre und älter) teil. In die Analyse flossen nur fehlerfreie Datensätze ein. Bei dem Experiment zur Lückenwahl konnten im Gegensatz zu TTA-Schätzung die Daten von zwei Personen auf Grund von unplausiblen Werten nicht berücksichtigt werden, so dass 42 Datensätze verwendet wurden. Dies erklärt die unterschiedlichen Stichprobenszusammensetzungen für die Versuchsblöcke (siehe Tabelle 11 und Tabelle 12)

Tabelle 11:
Stichprobenszusammensetzung nach Altersgruppe beim Versuch zur Lückenwahl.

Altersgruppe	N	Alter				Geschlecht	
		M	SD	Min	Max	Männer	Frauen
30-45 Jahre	21	37	5,0	30	45	5	16
≥ 65 Jahre	21	71	3,4	65	78	12	9

Tabelle 12:
Stichprobenszusammensetzung nach Altersgruppe des Time-to-Arrival Versuchs.

Altersgruppe	N	Alter				Geschlecht	
		M	SD	Min	Max	Männer	Frauen
30-45 Jahre	22	37	4,9	30	45	6	16
≥ 65 Jahre	22	71	3,7	65	78	13	9

4.1.2 Verwendete Materialien und Versuchsaufbau

Als Versuchsmaterial wurden, ebenso wie in der vorangegangenen Untersuchung (siehe Kap. 3.1.2), Videos von einem sich nähernden Radfahrer auf einem Sportflugplatz aufgenommen. Es wurde erneut das Fahrrad aus den vorangegangenen Untersuchungen eingesetzt. Um die unterschiedlichen Trittfrequenzen zu realisieren, wurde dem Radfahrer das Tempo mit Hilfe eines Metronoms per MP3-Player in Schlägen pro Minute (bpm) vorgegeben (eine halbe Pedalumdrehung entsprach einem Schlag). Er hatte damit eine akustische Vorgabe für das Pedalieren. Zur Erreichung der jeweiligen Zielgeschwindigkeit wurde die Übersetzung mit Hilfe der Gangschaltung angepasst.

Das aufgezeichnete Videomaterial wurde, identisch zur vorangegangenen Untersuchung so geschnitten, dass die Videos entweder (a) mit dem Radfahrer in einem Abstand von 100 m vom Beobachter starteten und bis zum Passieren der Linie weiterliefen (Lückenwahl, 7 Videosequenzen) oder (b) jeweils 4 s lang waren und ausgeblendet wurden, sobald sich der Radfahrer in einem Abstand von 4, 6 oder 8 s vor der weißen Linie befand (TTA-Schätzung, 21 Videosequenzen). Auch bei den jeweiligen Aufgaben (kleinste akzeptable Lücke anzeigen, Ankunft des Fahrzeuges an der weißen Linie schätzen) wurde auf das Vorgehen aus der vorherigen Studie zurückgegriffen.

4.1.3 Ablauf

Laborraum und Versuchsaufbau waren identisch zur vorangegangenen Untersuchung. Die Teilnehmer erhielten eine kurze mündliche Einführung, weitere Instruktionen erfolgten per Computer. Als Erstes wurde der Block zur Lückenwahl bearbeitet. Um sich mit dem Ablauf vertraut zu machen, absolvierten die Probanden zwei Probedurchgänge und hatten dabei die Möglichkeit, sich bei Unklarheiten oder Fragen an den Versuchsleiter zu wenden. Anschließend durchliefen sie alle 7 Versuchsdurchgänge. Darauf folgte eine kurze Pause. Der zweite Block bestand wieder in der TTA-Schätzung. Hierbei sahen die Teilnehmer ebenfalls zuerst zwei Probedurchgänge und danach folgten 21 Experimentaldurchgänge. Im Anschluss an die Videoversuche füllten die Teilnehmer den Fragebogen zu demografischen Variablen aus.

4.1.4 Design

Auch diese Untersuchung bestand aus zwei Blöcken (Block 1 Lückenwahl, Block 2 TTA-Schätzung). Für die Betrachtung der Lückenwahl und der TTA-Schätzung ergab sich jeweils ein dreifaktorielles Mixed Design. Als unabhängige Variablen (UV) wurden das Alter der Teilnehmer (between Variable), die Trittfrequenz sowie die Geschwindigkeit (within Variablen) variiert. Das Versuchsdesign war auch hier unvollständig (siehe Tabelle 13), da bei der sehr geringen Trittfrequenz nicht alle Geschwindigkeiten erreicht werden konnten. Gemessen wurde die für den Fahrer minimal akzeptable Zeitlücke (Block Lückenwahl) bzw. die geschätzte TTA (Block TTA-Schätzung). Alle Bedingungen innerhalb der beiden Blöcke wurden den Teilnehmern randomisiert dargeboten.

Unabhängige Variable (UV):

- 1 Alter der Teilnehmer (30-45 Jahre, 65 Jahre und älter)
- 2 Trittfrequenz (sehr gering (60 BPM); gering (90 BPM); hoch (155 BPM))
- 3 Geschwindigkeit (15, 20, 25 km/h)

Abhängige Variable (AV):

Block 1: Gewählte Zeitlücke

Block 2: Time-to-Arrival (TTA) Schätzung

Tabelle 13:
Untersuchungsplan Trittfrequenz.

Trittfrequenz	Fahrrad			Anzahl
	15 km/h	20 km/h	25 km/h	
Sehr gering (60 bpm)				1
Gering (90 bpm)				3
Hoch (155 bpm)				3
Gesamt				7

*die schwarzen Felder stehen für nichtrealisierte Faktorstufen

4.2 Ergebnisse

4.2.1 Lückewahl

Auch in diesem Experiment lagen die durchschnittlich gewählten Zeitlücken deutlich über der zuvor ermittelten Durchschnittsdauer eines Abbiegevorgangs von 3,4 s. Allerdings wurden erneut auch acht Durchgänge gefunden, in denen die Teilnehmer bei einer Zeitlücke unterhalb dieser Grenze abgebogen wären. Die kleinste gewählte Zeitlücke war 1,2 s lang und die größte 22,0 s (Deskriptive Statistik Anhang A3). Aufgrund des unvollständigen Designs wurde die geringste Trittfrequenz (60 bpm) nicht in die statistische Analyse mit einbezogen. Zur Illustration ist sie jedoch in Abbildung 14 dargestellt. Für die Lückengröße zeigt sich wie in den vorangegangenen Experimenten ein signifikanter Effekt zwischen den verschiedenen Geschwindigkeiten (alle $p < ,001$, siehe Tabelle 14). Die beiden Trittfrequenzen unterschieden sich ebenfalls signifikant voneinander. Für die geringere Trittfrequenz wurden kleinere Lücken gewählt als für die höhere Trittfrequenz. Wie in Abbildung 14 zu erkennen, war der Einfluss der Trittfrequenz für die geringeren Geschwindigkeiten größer, während er bei den höheren Geschwindigkeiten nur noch marginal vorhanden war. Zwischen den Altersgruppen konnten keine bedeutsamen Unterschiede festgestellt werden.

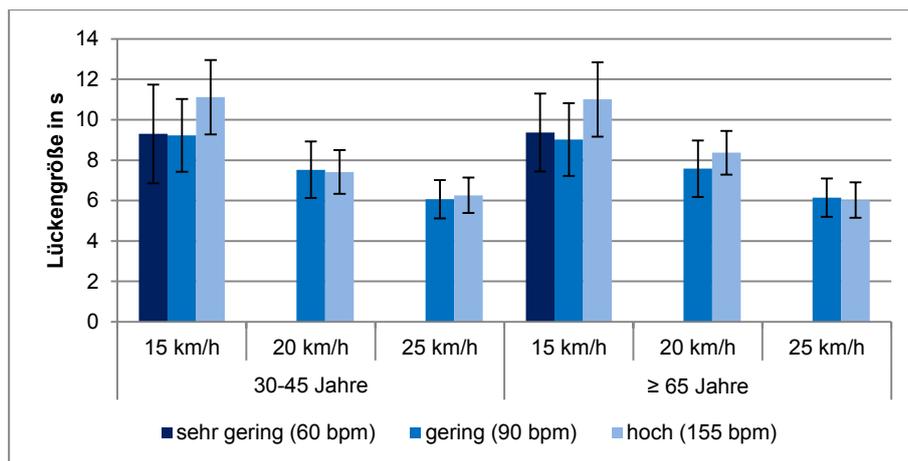


Abbildung 14:
Mittlere gewählte Lückengröße für alle verschiedenen Variationen inklusive Altersgruppenvergleich ($N = 42$).

Tabelle 14:

ANOVA Tabelle Lückenwahl für die Trittfrequenzen gering vs. hoch und Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h mit Altersgruppenvergleich (signifikante Ergebnisse sind Fett dargestellt, $N = 42$).

	F	p	η^2_p
Geschwindigkeit	89,39	<,001	,69
Trittfrequenz	11,76	,001	,23
Altersgruppe	0,01	,912	<,01
Geschwindigkeit x Trittfrequenz	6,27	,003	,14
Geschwindigkeit x Altersgruppe	0,74	,482	,02
Trittfrequenz x Altersgruppe	0,25	,620	,01
Geschwindigkeit x Trittfrequenz x Altersgruppe	0,57	,568	,01

4.2.2 Time-to-Arrival

Bei der Untersuchung der TTA-Schätzung zeigte sich eine generelle Unterschätzung der TTA (siehe Abbildung 15). In 18,1% der Durchgänge wurde die TTA allerdings überschätzt (335 von 1.848 Durchgängen, Deskriptive Statistik Anhang A3).

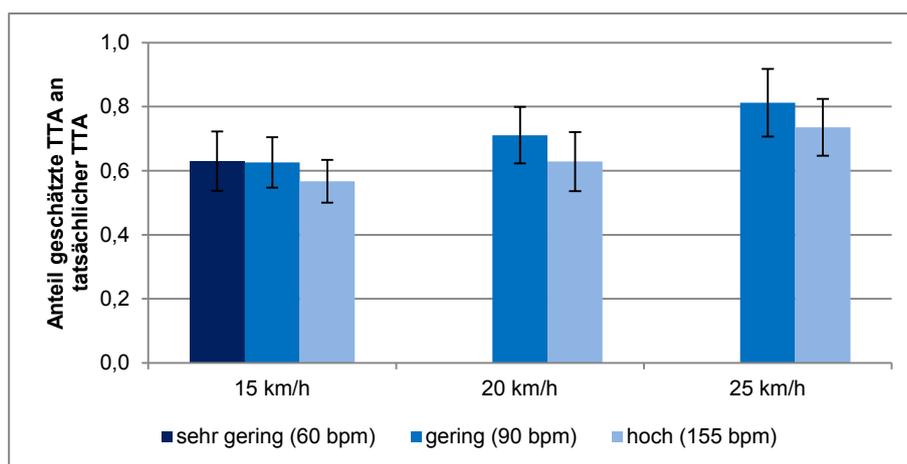


Abbildung 15:

Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für Trittfrequenz und Geschwindigkeit (die TTAs wurden zusammengefasst, $N = 44$).

Hinsichtlich der TTA-Schätzung zeigte sich ebenfalls wieder ein signifikanter Effekt der Geschwindigkeit (siehe Tabelle 15). Es unterschieden sich alle Bedingungen signifikant voneinander (alle $p < ,001$). Weiterhin wurde ein bedeutsamer Unterschied zwischen den beiden Trittfrequenzen (gering 90 bpm, hoch 155 bpm) ermittelt. Bei der höheren Trittfrequenz wurde eine niedrigere TTA geschätzt als bei der geringeren Trittfrequenz. Auch für die Altersgruppen wurden signifikante Unterschiede festgestellt. Die Älteren unterschätzten die TTA deutlicher als die Jüngeren ($M_{\geq 65} = 0,50$, $SD_{\geq 65} = 0,15$; $M_{30-45} = 0,86$, $SD_{30-45} = 0,36$).

Tabelle 15:

ANOVA Tabelle TTA-Schätzung für die Trittfrequenzen gering (90 bpm) und hoch (155 bpm) und Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h mit Altersgruppenvergleich (signifikante Ergebnisse sind Fett dargestellt, $N = 44$).

	F	p	η^2_p
Geschwindigkeit	45,81	<,001	,52
Trittfrequenz	37,94	<,001	,48
Altersgruppe	19,73	<,001	,32
Geschwindigkeit x Trittfrequenz	0,48	,624	,01
Geschwindigkeit x Altersgruppe	1,61	,207	,04
Trittfrequenz x Altersgruppe	3,09	,086	,07
Geschwindigkeit x Trittfrequenz x Altersgruppe	0,72	,491	,02

4.3 Zusammenfassung

Schwerpunkt dieser Untersuchung war die Betrachtung des Einflusses der Trittfrequenz eines Radfahrers auf Lückenwahl und TTA-Schätzung. Wie zuvor vermutet zeigte sich, dass bei einer niedrigeren im Vergleich zu einer höheren Trittfrequenz die kleineren Zeitlücken akzeptiert sowie eine größere TTA geschätzt wurde. Das bedeutet bei einer hohen Trittfrequenz wurde das Fahrrad als schneller wahrgenommen, als bei einer geringen Trittfrequenz. Ferner wurde wieder ein bedeutsamer Effekt für die Geschwindigkeit ermittelt. Für das Alter der Teilnehmer konnte wie in den vorangegangenen Experimenten nur ein signifikanter Einfluss bei der TTA-Schätzung festgestellt werden. Die älteren Probanden schätzten die TTA deutlich kleiner als die Jüngeren. Bei der Lückenwahl bestand hingegen kein Unterschied zwischen den Altersgruppen.

5 Experiment 4: Einfluss der Lichtverhältnisse sowie von Maßnahmen zur Sichtbarkeit auf Lückenwahl und Time-to-Arrival-Schätzung

In den vorangegangenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass sowohl erhöhte Fahrradgeschwindigkeiten allgemein, als auch die Nutzung von Elektrofahrrädern im Speziellen mit unter Umständen sicherheitskritischen Wahrnehmungen und Entscheidungen anderer Verkehrsteilnehmer einhergehen können (siehe Kap. 2.2 und 3.2). Entsprechend ist es naheliegend, sich mit möglichen Maßnahmen auseinanderzusetzen, die das Potential haben dem entgegenzuwirken. Ein Aspekt, der in diesem Zusammenhang immer wieder diskutiert wird, ist die Sichtbarkeit von Radfahrern. So wird berichtet, dass sich generell mehr schwere Unfälle von Radfahrern in den Wintermonaten in den Zeiten der Morgen- und Abendstunden ereignen, während dies in den gleichen Zeiten im Sommer nicht der Fall ist. Offensichtlich scheinen die Lichtverhältnisse bzw. die Sichtbarkeit der Radfahrer einen Einfluss auf das Unfallgeschehen zu haben (bfu-Beratungsstelle für Unfallverhütung, 2014; Ortlepp & Brandenstein, 2014). Verschiedene Untersuchungen legen in diesem Zusammenhang die Nutzung fluoreszierender Materialien, z.B. an der Kleidung, bei Tageslicht (Kwan & Mapstone, 2004), sowie natürlich das Einschalten der Fahrradbeleuchtung im Dunkeln nahe. Entsprechend empfiehlt der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. Radfahrern und Elektrofahrradfahrern: „Ratsam ist helle oder reflektierende Kleidung.“ (Ortlepp & Brandenstein, 2014, S. 11). Während jedoch derartige Maßnahmen vor allem auf die grundsätzliche Erkennbarkeit der Zweiradfahrer abzielen, ist unklar, ob damit auch eine Veränderung der Geschwindigkeitswahrnehmung des Zweiradfahrers durch einen externen Beobachter verbunden ist. Es stellt sich die Frage, inwieweit Beleuchtung am Rad oder fluoreszierende Kleidung unter verschiedenen Lichtverhältnissen das Potential haben, die Schätzung der verbleibenden Zeit bis zum Eintreffen des Fahrrades zu verändern. Es ergeben sich daher folgende Forschungsfragen:

- Welchen Einfluss haben die Lichtverhältnisse auf die Time-to-Arrival-Schätzung?
- Welchen Einfluss haben verschiedene Maßnahmen zur Erhöhung der Sichtbarkeit von Radfahrern auf die Time-to-Arrival-Schätzung?

5.1 Methode

5.1.1 Stichprobe

Am Experiment nahmen 46 Personen aus den bereits bekannten zwei Altersgruppen (30 bis 45 Jahre, 65 Jahre und älter) teil (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16:

Stichprobenezusammensetzung nach Zweiradtyp und Altersgruppe des Versuchs zur TTA-Schätzung.

Altersgruppe	N	Alter				Geschlecht	
		M	SD	Min	Max	Männer	Frauen
30-45 Jahre	20	36	5,4	30	45	9	11
≥ 65 Jahre	26	71	4,5	65	84	16	10

5.1.2 Verwendete Materialien und Versuchsaufbau

Das Videomaterial wurde, wie in den beiden vorangehenden Versuchen, auf einem Sportflugplatz mit demselben Versuchsaufbau und dem Fahrrad und Moped (Motowell Crogen RS 95, max. Geschwindigkeit 45 km/h, Hubraum 49,3 ccm) als Versuchsfahrzeugen aufgenommen. Als Beleuchtung des Fahrrads wurde die fest verbaute Leuchte des Rades genutzt (keine LED Leuchte). Als weitere Maßnahme wurde eine handelsübliche Warnweste, wie sie jeder Autofahrer mitführen muss, eingesetzt. Als Kontrolle wurde eine Bedingung ganz ohne Maßnahmen zur Erhöhung der Sichtbarkeit realisiert. Das Moped hatte in allen Bedingungen ein LED Tagfahrlicht an. Die Fahrten fanden entweder bei Tageslicht oder in der Dämmerung statt (siehe Abbildung 16 und Abbildung 17). Die in der Dämmerung aufgezeichneten Videos wurden anschließend nachbearbeitet, um weitgehend vergleichbare Helligkeiten bzw. Beleuchtungsbedingungen im Material zu gewährleisten. Dabei wurden alle Aufnahmen an ein Video angeglichen, welches im Mai um 19.25 Uhr aufgenommen wurde. Dies war erforderlich, da sich die Beleuchtungsverhältnisse bei Aufnahme in der Dämmerung sehr schnell veränderten, so dass im Rohmaterial keine Vergleichbarkeit gegeben war.

Wie in den vorangegangenen Studien wurde das Videomaterial so geschnitten, dass sich Sequenzen von 4 s Länge ergaben, und der Abstand des sich annähernden Zweirades bei Ausblenden des Videos 4, 6 oder 8 s betrug. Aus der Kombination aller Versuchsbedingungen ergaben sich insgesamt 108 verschiedene Sequenzen. Die Aufgabenstellung (Ankunft des Fahrzeuges an der Linie per Tastendruck anzeigen) blieb unverändert.



Abbildung 16:
Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für Dämmerung (Mai 2014, 19:25 Uhr, $N = 46$).



Abbildung 17:
Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für verschiedene Lichtverhältnisse (Mai 2014, 14:52 Uhr, N = 46).

5.1.3 Ablauf

Der Raum und der Versuchsaufbau entsprachen den vorangegangenen Versuchen. Nach einer kurzen Einführung erfolgten die weiteren Instruktionen per Rechner. Die Teilnehmer absolvierten wieder zuerst zwei Probedurchgänge, um sich mit der Aufgabe der TTA-Schätzung vertraut zu machen. Danach folgten die 108 Experimentaldurchgänge mit einer kurzen Pause nach 54 Videos. Im Anschluss an die Videoversuche wurde ein Fragebogen zu demografischen Variablen ausgefüllt.

5.1.4 Design

Die Untersuchung wurde mit einem fünffaktoriellen Mixed Design durchgeführt. Als unabhängige Variablen (UV) wurden das Alter der Teilnehmer (between Variable), die Maßnahme zur Sichtbarkeit der Radfahrer, der Zweiradtyp, die Lichtverhältnisse sowie die Geschwindigkeit (within Variablen) variiert. Es ergab sich ein unvollständiges Versuchsdesign (siehe Tabelle 17), da Geschwindigkeiten unter 25 km/h mit dem Moped nicht realisiert wurden. Ebenso wurde keine Bedingung Fahrrad mit Licht und mit Warnweste eingeführt, da die Wirkung der einzelnen Maßnahmen untersucht werden sollte. Bei einer Kombination wäre eine Zuordnung der Wirkung zu einer Maßnahme nicht mehr gewährleistet gewesen. Als abhängige Variable (AV) wurde die geschätzte TTA gemessen. Alle Durchgänge wurden den Teilnehmern randomisiert präsentiert.

Unabhängige Variable (UV):

- 1 Alter der Teilnehmer (30-45 Jahre, 65 Jahre und älter)
- 2 Geschwindigkeit (15, 20, 25, 30, 35 km/h)
- 3 Kombination Fahrzeug/Maßnahme (Fahrrad mit Licht & ohne Warnweste, Fahrrad ohne Licht & mit Warnweste, Fahrrad ohne Licht & ohne Warnweste)
- 4 Zweiradtyp (Moped (mit Licht), Fahrrad)
- 5 Lichtverhältnisse (Tageslicht / Dämmerung)

Abhängige Variable (AV): Time-to-Arrival (TTA) Schätzung

Tabelle 17:

Untersuchungsplan Maßnahmen und Lichtverhältnisse.

Speed \ Maßnahme	15		20		25		30		35		Anzahl
	T*	D*	T	D	T	D	T	D	T	D	
Licht / ohne Weste											10
ohne Licht / Weste											10
ohne Licht / ohne Weste											10
Moped											6
Gesamt											36

* T = Tageslicht, D = Dämmerung, die schwarzen Felder stehen für nichtrealisierte Faktorstufen

5.2 Ergebnisse

Auch bei diesem Experiment zeigte sich eine generelle Unterschätzung der TTA. In 851 von 4.968 Durchgängen (17,1%) wurde die TTA überschätzt (Deskriptive Statistik s. Anhang A4).

Für die Überprüfung der Auswirkungen der unterschiedlichen Maßnahmen unter verschiedenen Lichtverhältnissen wurden nur die Fahrradbedingungen miteinander verglichen (siehe Tabelle 18). In der Tabelle sind drei signifikante Haupteffekte für Geschwindigkeit, Lichtverhältnisse und Altersgruppe der Teilnehmer zu sehen sowie zwei signifikante Interaktionen. In der Folge wird auf alle Haupteffekte (Geschwindigkeit, Lichtverhältnisse, Maßnahme, Altersgruppe) und auf die zwei Interaktionen näher eingegangen.

Tabelle 18:

ANOVA Tabelle TTA-Schätzung für die Lichtverhältnisse, Maßnahme und Geschwindigkeiten von 15 bis 35 km/h mit Altersgruppenvergleich (signifikante Ergebnisse sind Fett dargestellt, $N = 46$).

	F	p	η^2_p
Geschwindigkeit	111,75	<,001	,72
Lichtverhältnisse	5,36	,025	,11
Maßnahme	1,10	,337	,02
Altersgruppe	15,67	<,001	,26
Geschwindigkeit x Lichtverhältnisse	4,01	,004	,08
Geschwindigkeit x Maßnahme	1,58	,130	,04
Geschwindigkeit x Altersgruppe	1,82	,128	,04
Lichtverhältnisse x Maßnahme	2,45	,092	,05
Lichtverhältnisse x Altersgruppe	2,46	,124	,05
Maßnahme x Altersgruppe	,78	,461	,02
Geschwindigkeit x Lichtverhältnisse x Maßnahme	2,65	,008	,06
Geschwindigkeit x Lichtverhältnisse x Altersgruppe	,99	,417	,02
Geschwindigkeit x Maßnahme x Altersgruppe	,34	,948	,01
Lichtverhältnisse x Maßnahme x Altersgruppe	,97	,385	,02
Geschw. x Lichtverhältnisse x Maßnahme x Altersgruppe	,75	,644	,02

Zur Illustration ist in Abbildung 18 nochmal der Vergleich des Anteils der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für die fünf Geschwindigkeiten bei Tageslicht und Dämmerung dargestellt. Wie in allen vorangegangenen Untersuchungen zeigte sich auch hier wieder ein signifikanter Einfluss der Geschwindigkeit, wobei sich alle Bedingungen signifikant voneinander unterschieden (alle $p < ,002$). Die Lichtverhältnisse hatten einen signifikanten Einfluss auf die TTA-Schätzung. Bei Dunkelheit kam es zu stärkeren Unterschätzungen der TTA als bei Tageslicht, allerdings nur bei geringen Geschwindigkeiten. Bei Geschwindigkeiten von 25 km/h und höher glichen sich die Schätzungen an (siehe Abbildung 18).

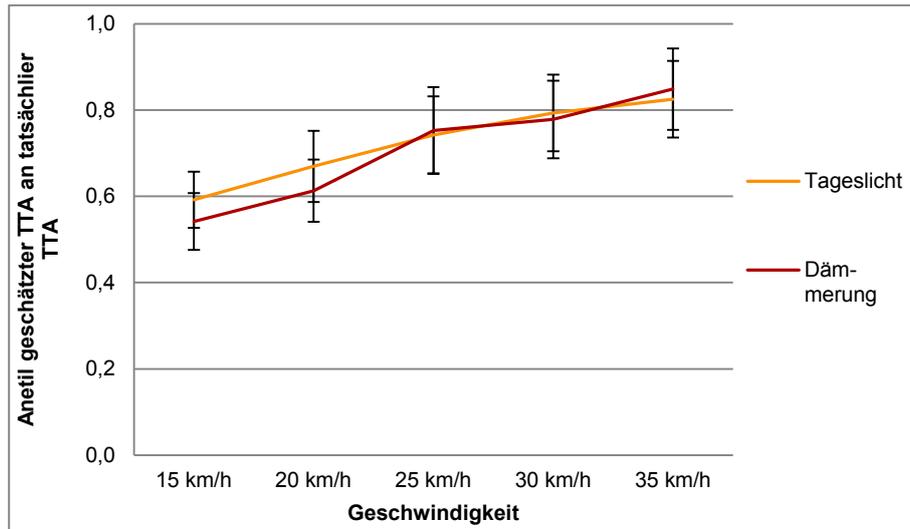


Abbildung 18:
Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für verschiedene Lichtverhältnisse (N = 46).

In Abbildung 19 wurde noch einmal separat der Vergleich der Maßnahmen und der Lichtverhältnisse sowie der Altersgruppen illustriert. Es ist zu erkennen, dass keine der gewählten Maßnahmen im Vergleich zur Kontrollbedingung eine signifikante Veränderung in der Einschätzung der TTA bewirkte. Deutlich zeigte sich allerdings ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen der Einschätzenden. Wie auch in den vorangegangenen Experimenten schätzten die älteren Teilnehmer die TTA signifikant geringer als die jüngeren Probanden. Zudem fand sich eine Dreifachinteraktion zwischen Lichtverhältnissen, gewählter Maßnahme und Geschwindigkeit, die allerdings keine sinnvolle Interpretation zulässt.

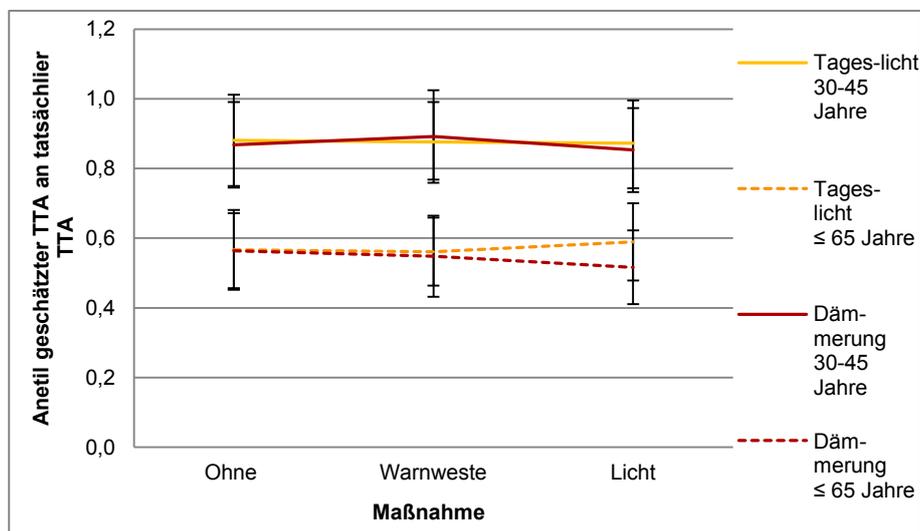


Abbildung 19:
Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für verschiedene Lichtverhältnisse, Altersgruppen und Maßnahmen (N = 46).

In diesem Fall wurde ebenso ein statistischer Vergleich zwischen Fahrrad (mit Licht) und Moped (mit Licht) unter den verschiedenen Lichtverhältnissen und für die zwei Altersgruppen der Teilnehmer gerechnet (siehe Tabelle 19). Hierbei zeigten sich vier

signifikante Haupteffekte für Geschwindigkeit, Lichtverhältnisse, Zweiradtyp und Altersgruppe. Diese werden im Anschluss genauer dargestellt.

Tabelle 19:

ANOVA Tabelle TTA-Schätzung für die Lichtverhältnisse, Zweiradtyp und Geschwindigkeiten von 15 bis 35 km/h mit Altersgruppenvergleich (N = 46).

	<i>F</i>	<i>P</i>	η^2_p
Geschwindigkeit	14,50	<,001	,25
Zweirad	60,47	<,001	,58
Lichtverhältnisse	8,30	,006	,16
Altersgruppe	17,40	<,001	,28
Geschwindigkeit x Lichtverhältnisse	1,33	,269	,03
Geschwindigkeit x Zweirad	3,01	,054	,06
Geschwindigkeit x Altersgruppe	2,66	,075	,06
Zweirad x Lichtverhältnisse	,63	,432	,01
Zweirad x Altersgruppe	3,06	,087	,07
Lichtverhältnisse x Altersgruppe	2,29	,137	,05
Geschwindigkeit x Zweirad x Lichtverhältnisse	1,05	,353	,02
Geschwindigkeit x Zweirad x Altersgruppe	,52	,598	,01
Geschwindigkeit x Lichtverhältnisse x Altersgruppe	,95	,392	,02
Zweirad x Lichtverhältnisse x Altersgruppe	1,55	,220	,03
Geschw. x Zweirad x Lichtverhältnisse x Altersgruppe	,70	,498	,02

Die Geschwindigkeit hatte wiederum einen signifikanten Einfluss auf die TTA-Schätzung. Hinsichtlich des Vergleichs der beiden Zweiräder (Moped mit Licht vs. Fahrrad mit Licht) zeigte sich eine signifikante Unterschätzung der TTA für das Moped (siehe Abbildung 20). Ferner wurde ein signifikanter Unterschied für die Lichtverhältnisse ($M_{Tag} = 0,72$, $SD_{Tag} = 0,33$; $M_{Däm} = 0,68$, $SD_{Däm} = 0,33$) als auch die beiden Altersgruppen ($M_{\geq 65} = 0,55$, $SD_{\geq 65} = 0,21$; $M_{30-45} = 0,90$, $SD_{30-45} = 0,35$) gefunden.

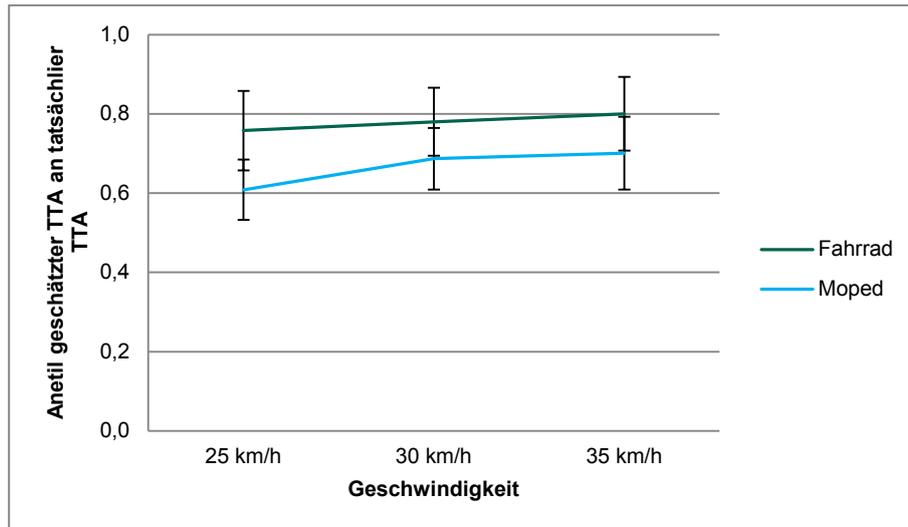


Abbildung 20:
Anteil der geschätzten TTA an der tatsächlichen TTA für verschiedene Zweiradtypen (N = 46).

5.3 Zusammenfassung

Bei dieser Untersuchung zur TTA-Schätzung standen die Lichtverhältnisse sowie die Maßnahmen zur Verbesserung der Sichtbarkeit von Radfahrern im Mittelpunkt. Bei Tageslicht wurden höhere TTAs geschätzt als in der Dämmerung. Dementsprechend wurde die Ankunft der Zweiräder bei anbrechender Dunkelheit als zeitiger eingeschätzt als bei Tageslicht. Die Schätzungen bei Tageslicht waren genauer als bei Dämmerung. Allerdings war dies nur für die geringeren Geschwindigkeiten der Fall, bei höheren Geschwindigkeiten verschwand dieser Unterschied. Die Maßnahmen zur Verbesserung der Sichtbarkeit hatten keinen Einfluss auf die TTA-Schätzung. Für die Warnweste und das Licht wurden keine Unterschiede in der TTA-Schätzung im Vergleich zur Kontrollbedingung gefunden. Auch in diesem Experiment konnte wieder der bereits bekannte Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen, als auch ein Einfluss der Geschwindigkeit, sowie des Mopeds im Vergleich zum Fahrrad gefunden werden.

6 Zusammenfassung und Diskussion

6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Der Fokus der berichteten Untersuchungsreihe lag auf der Geschwindigkeitsbewertung von einspurigen Fahrzeugen durch externe Beobachter. Vor allem die Frage, inwieweit die durch Elektrofahrräder erreichbaren höheren Geschwindigkeiten, sowie die Präsenz von Elektrofahrrädern an sich Auswirkungen auf das Wahrnehmen und Entscheiden anderer Verkehrsteilnehmer haben, stand dabei im Vordergrund. Entsprechend wurde in vier Experimenten geprüft, inwiefern Geschwindigkeit, Zweiradtyp sowie eine Reihe weiterer Faktoren Einfluss auf die Einschätzung der verbleibenden Zeit bis zum Eintreffen des Zweirades haben, und ob sich daraus auch Konsequenzen für das Abbiegeverhalten von Kraftfahrern ergeben.

Im ersten Experiment zeigte sich, dass von den Teilnehmern bei höheren Geschwindigkeiten des sich nähernden Fahrrads kleinere Zeitlücken gewählt wurden. Die Abbiegeentscheidungen wurden also tendenziell riskanter. Etwas unerwartet fand sich auch ein Unterschied bezüglich der Lückenwahl in Abhängigkeit vom Zweiradtyp. So wurde vor dem Fahrrad eine größere Zeitlücke gewählt als vor dem Pedelec 45. Dieser Befund war insofern überraschend, als das die beiden Zweiräder äußerlich kaum, und von der Position der Teilnehmer überhaupt nicht voneinander zu unterscheiden waren. Ebenfalls einen Einfluss auf die Größe der gewählten Lücken hatte das Streckenprofil. Befand sich der Zweiradfahrer in einem Anstieg, so wurden im Vergleich zur Anfahrt in einer Ebene kleinere Lücken akzeptiert. Währenddessen zeigten sich für den Blickwinkel und das Alter der Teilnehmer keine Effekte.

Der Einfluss der Geschwindigkeit auf die Lückenwahl konnte auch im zweiten Experiment gefunden werden. Zudem zeigte sich ein vergleichbarer Effekt auf die TTA-Schätzung. Das bedeutet, dass, im Vergleich zu niedrigen Geschwindigkeiten, bei höheren Geschwindigkeiten die TTA größer geschätzt und kleinere Lücken gewählt wurden. Auch der zuvor gefundene Einfluss des Zweiradtyps konnte sowohl für die Lückenwahl als auch für die TTA-Schätzung bestätigt werden. Die Beobachtung des Pedelec 45 resultierte in kleineren gewählten Lücken und den größeren TTA-Schätzungen im Vergleich zum Fahrrad. Gleichzeitig zeigte sich, dass beim Moped im Vergleich zu den anderen beiden Zweiradtypen deutlich größere Lücken gewählt und die TTA deutlich kleiner geschätzt wurde. Das Alter des Fahrradfahrers beeinflusste ebenfalls die TTA-Schätzung (nicht aber die Lückenwahl). Hier ergaben sich geringere TTA-Schätzungen beim älteren Fahrer. Das Alter der Teilnehmer hingegen hatte erneut keinen Effekt auf die Lückenwahl, sehr wohl jedoch auf die TTA-Schätzung. Die älteren Teilnehmer unterschätzten die TTA stärker als die jüngeren Teilnehmer.

Bei der dritten Untersuchung lag der Schwerpunkt auf den Auswirkungen der Trittfrequenz des Radfahrers. Wie vermutet akzeptierten die Teilnehmer bei einer geringeren Trittfrequenz kleinere Zeitlücken und schätzten die TTA größer ein als bei der höheren Trittfrequenz. Ferner wurde wieder ein bedeutsamer Effekt für die Geschwindigkeit ermittelt. Das Alter der Teilnehmer beeinflusste wie in den vorangegangenen Experimenten nur die TTA-Schätzung, nicht die Lückenwahl. Die älteren Probanden schätzten eine kleinere TTA als die jüngeren Teilnehmer.

Das vierte Experiment schließlich befasste sich mit dem Einfluss der Lichtverhältnisse und entsprechenden Maßnahmen zur besseren Sichtbarkeit von Radfahrern auf die TTA-Schätzung. Bei Dämmerung wurden die TTA der Zweiräder kleiner geschätzt als bei Tageslicht. Allerdings war dies nur für die geringeren Geschwindigkeiten der Fall, bei

höheren Geschwindigkeiten verschwand dieser Unterschied. Gleichzeitig hatte keine der Maßnahmen zur Sichtbarkeit (Warnweste oder Licht) einen Einfluss auf die TTA-Schätzung im Vergleich zu einer Kontrollbedingung. Auch in dem vierten Experiment wurde wieder der Einfluss für die Geschwindigkeit sowie den Zweiradtyp (Fahrrad – Moped) und der Altersgruppen der Teilnehmer gefunden.

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse zu den verschiedenen Einflussgrößen im Lichte anderer Studien diskutiert.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

Im Einklang mit Befunden von Studien mit herannahenden Pkw zeigte sich, dass höhere Geschwindigkeiten des Zweirades mit größeren TTA-Schätzungen (z.B. Petzoldt, 2014; Sidaway et al., 1996) und kleineren gewählten Lücken zum Abbiegen einhergingen (Alexander et al., 2002; Bottom & Ashworth, 1978). Es scheint, dass die höheren Geschwindigkeiten, die mit einem Elektrofahrrad erreicht werden können, durchaus eine Auswirkung auf die Geschwindigkeitswahrnehmung durch andere Verkehrsteilnehmer haben.

An dieser Stelle mag eingewandt werden, dass bei den dargestellten Untersuchungen durchgehend eine Unterschätzung der TTA festgestellt wurde. Das heißt, dass ein Fahrzeug früher an einem vordefinierten Punkt erwartet wurde, als es diesen tatsächlich erreichte, selbst bei höheren Geschwindigkeiten. Dies sollte entsprechend also zu tendenziell defensiverem und damit sichererem Fahrverhalten führen. Cavallo, Mestre und Berthelon (1997) verweisen darauf, dass dieser Befund einen impliziten „Sicherheitspuffer“ nahelegt, der in derartigen Situationen offenbar unbewusst in die Schätzung aufgenommen wird. Jedoch sei darauf verwiesen, dass eine im Mittel „sicherere“ Schätzung nicht verhindert, dass es in einer nicht unerheblichen Zahl von Einzelfällen auch zu Überschätzungen und entsprechend risikoreicherem Fahrverhalten kommen kann. Die Daten zu den TTA Schätzungen zeigen, dass es teilweise zu massiven Überschätzungen kam, und dass auch gewählte Lücken wiederholt deutlich kleiner als die zuvor definierte kritische Zeitlücke waren. Insofern muss davon ausgegangen werden, dass der Effekt der Zweiradgeschwindigkeit trotz der im Mittel „sicheren“ Schätzung durchaus für eine erhöhte Gefährdung der Elektrofahrradfahrer spricht.

Erschwerend kommt hinzu, dass die Teilnehmer, ungeachtet der Geschwindigkeit, das Elektrofahrrad als später ankommend wahrnahmen und vor diesem auch knapper abbogen als vor einem konventionellen Fahrrad. Betrachtet man diesen Unterschied vor dem Hintergrund des zuvor beschriebenen Befundes, sowie der Tatsache, dass Elektrofahrräder im Straßenverkehr tatsächlich schneller unterwegs sind als konventionelle Räder, so wird deutlich, dass sich daraus durchaus sicherheitsrelevante Probleme ergeben können.

Die Antwort auf die Frage, warum die Annäherung eines Elektrofahrrades auch ungeachtet seiner Geschwindigkeit mit tendenziell riskanterem Verhalten einhergeht ist dabei nicht unmittelbar ersichtlich, schließlich bestand optisch kein Unterschied zum konventionellen Fahrrad. Die Erklärung scheint vielmehr im Gesamtbild aus Fahrer und Fahrrad zu liegen. Augenscheinlich war es dem Elektrofahrradfahrer durch die Motorunterstützung möglich, identische Geschwindigkeiten mit geringerem körperlichem Aufwand zu realisieren. Er musste weniger treten um dieselbe Leistung zu erzielen wie mit einem normalen Fahrrad. Um diese These zu überprüfen wurde der Einfluss der Trittfrequenz auf TTA-Schätzung und Lückenwahl geprüft. Je schneller die Radfahrer in

die Pedale traten, desto kleiner wurde die TTA geschätzt und desto größer wurde die Lücke gewählt. Offensichtlich hat also die erhöhte Trittfrequenz die Wahrnehmung einer vermeintlich höheren Geschwindigkeit induziert. Es scheint, dass der Beobachter neben der tatsächlichen Annäherungsrate des Zweirades auch auf andere Merkmale, wie etwa die Trittfrequenz oder die vermeintliche Anstrengung allgemein, zur Einschätzung und Entscheidung zurückgreift.

Dieser Befund ist womöglich auch geeignet, den Effekt des Fahreralters auf die Bewertung seiner Annäherung zu erklären. Ursprünglich war davon ausgegangen worden, dass das sichtbar höhere Alter mit einer geringeren Geschwindigkeit assoziiert würde, und es entsprechend zu größeren TTA-Schätzungen käme. In verschiedenen Studien hatte sich gezeigt, dass z.B. das wahrgenommene Alter eines Autofahrers einen Einfluss auf die von ihm erwartete Geschwindigkeit hat (Davies & Patel, 2005; Joanisse et al., 2012). Die Ergebnisse zeigten jedoch einen teilweise gegenteiligen Befund. Erstaunlicherweise wurde der ältere Radfahrer im Vergleich zum jüngeren als früher ankommend wahrgenommen, während sich bei der Wahl der Lücke keine Unterschiede zwischen den beiden Fahrern zeigten. Allerdings ist anzumerken, dass das Erreichen speziell der höheren Geschwindigkeiten dem älteren Fahrer sichtbar mehr Mühe bereitete. Ausgehend von der Annahme, dass der vermeintliche körperliche Einsatz von Beobachtern als Indikator für die Bewertung der Geschwindigkeit genutzt wird, lässt sich vermuten, dass die offensichtliche Anstrengung des älteren Fahrers als höhere Geschwindigkeit (fehl)interpretiert wurde.

Neben den zentralen und sehr eindeutigen Befunden zu Geschwindigkeit und Zweiradtyp ergaben sich einige weitere interessante Ergebnisse. So wurde etwa ein Moped im Vergleich zu beiden Zweiradtypen als deutlich früher ankommend geschätzt, bzw. wurden vor ihm größere zeitliche Lücken gewählt. Eine denkbare Erklärung hierfür ist der sogenannte „size-arrival-effect“ bzw. Effekt der Fahrzeuggröße (DeLucia, 1999), der sowohl im Hinblick auf TTA-Schätzungen (Caird & Hancock, 1994; Horswill et al., 2005) als auch die Lückenwahl berichtet wurde (Bottom & Ashworth, 1978; Hancock et al., 1991). Von größerer Bedeutung scheinen allerdings die Implikationen dieses Befundes für die jeweilige Stellung von Fahrrad und Moped im Straßenverkehr zu sein. So muss auf Basis der Befunde davon ausgegangen werden, dass Radfahrer bei vergleichbaren Geschwindigkeiten deutlich größeren Gefahren durch querende motorisierte Verkehrsteilnehmer ausgesetzt sind als Mopedfahrer. Die Tatsache, dass offenbar nicht nur die Entscheidung der Teilnehmer (die ja auch von anderen Faktoren, wie etwa der unterstellten Beschleunigungsfähigkeit des Zweirades, beeinflusst werden kann), sondern auch die einfache Wahrnehmung der Annäherung zu Ungunsten des Fahrrades verschoben ist, erscheint durchaus problematisch.

Zusätzlich wurden verschiedene Maßnahmen zur Erhöhung der Sichtbarkeit hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die TTA-Schätzung getestet. Diese Maßnahmen (fluoreszierende Westen, Fahrradbeleuchtung) haben sich in früheren Untersuchungen durchaus positiv auf die Erkennbarkeit von Radfahrern ausgewirkt (z.B. Wood et al., 2012). Auch die Schweizer Beratungsstelle für Unfallverhütung empfiehlt, Elektrofahrräder speziell durch Licht zu kennzeichnen bzw. die Sichtbarkeit durch auffällige Kleidung der Fahrer zu erhöhen (bfu-Beratungsstelle für Unfallverhütung, 2012). Im Rahmen der Untersuchung konnten allerdings weder für den Einsatz einer Warnweste noch für die Fahrradbeleuchtung Auswirkungen auf die TTA-Schätzung festgestellt werden, weder bei Tageslicht noch bei Dunkelheit. Allerdings zeigte sich, dass die Lichtverhältnisse insbesondere bei niedrigen Geschwindigkeiten einen Einfluss auf die TTA-Schätzung ausüben. Bei Tageslicht wurden höhere TTAs geschätzt als in der Dämmerung.

Insgesamt ist zu bilanzieren, dass sich durch die höheren Geschwindigkeiten der Elektrofahrräder und die gleichzeitig sehr hohe Ähnlichkeit zu konventionellen Fahrrädern durchaus Probleme für die Verkehrssicherheit ergeben können. Diese Probleme werden durch das anscheinend entspanntere Aussehen der Elektrofahrradfahrer, vermittelt durch die geringere Trittfrequenz, noch verstärkt. Daher sind die bisher geäußerten Sicherheitsbedenken von Nutzern durchaus begründet (Jellinek et al., 2013). Leider lassen die Befunde vermuten, dass einfache Maßnahmen zur Erhöhung der Sichtbarkeit nicht ausreichend sind, dem Aspekt der erhöhten Geschwindigkeit von Elektrofahrrädern und den damit verbundenen Problemen hinsichtlich Geschwindigkeitsbewertung und Lückenwahl zu begegnen. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass andere Maßnahmen erfolgreicher bei diesem Unterfangen sind. Zielführend wäre hier vermutlich ein Ansatz, der darauf abzielt, dem Elektrofahrrad ein typisches, eindeutiges Erscheinungsbild zu geben, sei es über das Design des Fahrrads oder über das Beleuchtungsmuster. Letztlich deuten vor allem die Befunde zur Trittfrequenz darauf hin, dass Verkehrsteilnehmer vor allem aufgrund ihrer Vorerfahrungen mit konventionellen Fahrrädern agieren. Da sich bei sich annähernden Elektrofahrrädern keine unmittelbaren Merkmale abzeichnen, die auf die Andersartigkeit dieses Zweirades hinweisen, bleibt dem Verkehrsteilnehmer auch nichts anderes übrig, als sich auf bewährte Strategien und Verhaltensweisen zu verlassen. Nur wenn hinreichend viel Erfahrung mit klar verschieden aussehenden Elektrofahrrädern gesammelt werden kann, kann erwartet werden, dass Verkehrsteilnehmer diese auch als ein Verkehrsmittel distinkt von konventionellen Fahrrädern wahrnehmen, und ihr Verhalten entsprechend anpassen können.

Literatur

Alexander, J., Barham, P., & Black, I. (2002). Factors influencing the probability of an incident at a junction: results from an interactive driving simulator. *Accident Analysis and Prevention*, 34, S. 779–792.

Barch, A. M. (1958). Judgments of Speed on the Open Highway. *Journal of Applied Psychology*, 42, S. 362–366. doi:10.1037/h0040861

bfu-Beratungsstelle für Unfallverhütung. (2012). E-Bikes - Mit Sicherheit leichter ans Ziel, Bern.

bfu-Beratungsstelle für Unfallverhütung. (2014). SINUS-Report 2014: Sicherheitsniveau und Unfallgeschehen im Strassenverkehr 2013, Bern.

Blumenfeld, D., & Weiss, G. (1979). Effects of gap acceptance criteria on merging delay and capacity at an uncontrolled junction. *Traffic Engineering and Control*, 20, S. 16–20.

Bottom, C. G., & Ashworth, R. (1978). Factors Affecting the Variability of Driver Gap-Acceptance Behaviour. *Ergonomics*, 21, S. 721–734. doi:10.1080/00140137808931774

Caird, J. K., & Hancock, P. A. (1994). The perception of arrival time for different oncoming vehicles at an intersection. *Ecological Psychology*, 6, S. 83–109.

Candappa, N., Christoph, M., van Duivenvoorde, K., Vis, M., Thomas, P., Kirk, A., ... Amoros, E. (2012). Basic Fact Sheet “Cyclists”, Deliverable D3.9 of the EC FP7 project DaCoTA.

Cavallo, V., & Laurent, M. (1988). Visual information and skill level in time-to-collision estimation. *Perception*, 17, S. 623–632. doi:10.1068/p170623

Cavallo, V., Mestre, D., & Berthelon, C. (1997). Time-to-Collision Judgements: Visual and Spatio-temporal Factors. In *Traffic and Transport Psychology: Theory and Application* (S. 97–111).

Chaloupka-Risser, C., Aichleitner, S., Wolf-Eberl, S., Ausserer, K., & Konecny, K. (2011). FEM-EL-BIKE - Die Chancen des E-Fahrrades als umweltfreundliche Alternative im Alltag von Frauen, Wien: FACTUM Chaloupka & Risser OHG.

Cooper, D. F., & Storr, P. A. (1977). Traffic studies at T-junctions - The effect of speed on gap acceptance and conflict rate. *Traffic Engineering & Control*, 18, S. 110–112.

Davies, G. M., & Patel, D. (2005). The influence of car and driver stereotypes on attributions of vehicle speed, position on the road and culpability in a road accident scenario. *Legal and Criminological Psychology*, 10, S. 45–62. doi:10.1348/135532504X15394

DeLucia, P. R. (1999). Size-arrival effects: The potential roles of conflicts between monocular and binocular time-to-contact information, and of computer aliasing. *Perception & Psychophysics*, 61, S. 1168–1177.

- DeLucia, P. R., Kaiser, M. K., Bush, J. M., Meyer, L., & Sweet, B. (2003). Information integration in judgements of time to contact. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 56A, S. 1165–1189. doi:10.1080/02724980343000053
- Denton, G. G. G. (1966). A subjective scale of speed when driving a motor vehicle. *Ergonomics*, 9, S. 203–210. doi:10.1080/00140136608964371
- Evans, L. (1970). Speed Estimation from a Moving Automobile. *Ergonomics*, 13, S. 219–230.
- Gibbs, W. L. (1968). Driver gap acceptance at intersections. *Journal of Applied Psychology*, 52, S. 200–204.
- Hancock, P. A., Caird, J. K., & Shekhar, S. (1991). Factors influencing drivers' left turn decisions. In *Proceedings of the Human Factors Society 35th Annual Meeting*.
- Hancock, P. A., & Manser, M. P. (1997). Time-to-Contact: More Than Tau Alone. *Ecological Psychology*, 9, S. 265–297.
- Hoffmann, E. R., & Mortimer, R. G. (1994). Drivers' estimates of time to collision. *Accident Analysis Prevention*, 26, S. 511–520.
- Horswill, M. S., Helman, S., Ardiles, P., & Wann, J. P. (2005). Motorcycle accident risk could be inflated by Time to Arrival illusion. *Optometry and Vision Science*, 82, S. 740–746.
- Hurst, P. M., Perchonok, K., & Sequin, E. L. (1968). Vehicle kinematics and gap acceptance. *Journal of Applied Psychology*, 52, S. 321–324.
- Jellinek, R., Hildebrandt, B., Pfaffenbichler, P., & Lemmerer H. (2013). Verkehrssicherheit von E-Fahrrädern. Auswirkungen der Entwicklung des Marktes für E-Fahrräder auf Risiken, Konflikte und Unfälle auf Radinfrastrukturen (MERKUR). *Forschungsarbeiten des österreichischen Verkehrssicherheitsfonds, Band 19, Wien*.
- Joanisse, M., Gagnon, S., & Voloaca, M. (2012). Overly cautious and dangerous: An empirical evidence of the older driver stereotypes. *Accident Analysis and Prevention*, 45, S. 802–810. doi:10.1016/j.aap.2011.11.002
- Kolrep-Rometsch, H., Leitner, R., Platho, C., Richter, T., Schreiber, A., & Schreiber, M. (2012). *Abbiegeunfälle Pkw/Lkw und Fahrrad, Berlin: Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.*
- Kubitzki, J. (2013). *Nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmer und Pedelecfahrer, München: Allianz Deutschland AG*.
- Kuratorium für Verkehrssicherheit. (2011). *Auswertung der Befragung von E-Bike-Nutzern in Salzburg, Salzburg*.
- Kwan, I., & Mapstone, J. (2004). Visibility aids for pedestrians and cyclists: a systematic review of randomised controlled trials. *Accident Analysis and Prevention*, 36, S. 305–312. doi:10.1016/S0001-4575(03)00008-3

- Lobjois, R., Benguigui, N., & Cavallo, V. (2013). The effects of age and traffic density on street-crossing behavior. *Accident Analysis and Prevention*, 53C, S. 166–175. doi:10.1016/j.aap.2012.12.028
- Lobjois, R., & Cavallo, V. (2007). Age-related differences in street-crossing decisions: the effects of vehicle speed and time constraints on gap selection in an estimation task. *Accident Analysis and Prevention*, 39, S. 934–943. doi:10.1016/j.aap.2006.12.013
- Manser, M. P. (1999). The role of ecological validity in the ability to estimate time-to-contact. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 43, S. 1270–1274. doi:10.1177/154193129904302302
- Manser, M. P., & Hancock, P. A. (1996). Influence of Approach Angle on Estimates of Time-To-Contact. *Ecological Psychology*, 8, S. 71–99.
- McLeod, R. W., & Ross, H. E. (1983). Optic-flow and cognitive factors in time-to-collision estimates. *Perception*, 12, S. 417–423. doi:10.1068/p120417
- Milosevic, S., & Milic, J. (1990). Speed perception in road curves. *Journal of Safety Research*, 21, S. 19–23.
- Ortlepp, J. & Brandenstein, K. (2014). Sicher unterwegs mit dem Fahrrad, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Unfallforschung der Versicherer, Berlin.
- Oxley, J. a, Ihsen, E., Fildes, B. N., Charlton, J. L., & Day, R. H. (2005). Crossing roads safely: an experimental study of age differences in gap selection by pedestrians. *Accident Analysis and Prevention*, 37, S. 962–971. doi:10.1016/j.aap.2005.04.017
- Petzoldt, T. (2014). On the relationship between pedestrian gap acceptance and time to arrival estimates. *Accident Analysis and Prevention*, 72, S. 127–133. doi:10.1016/j.aap.2014.06.019
- Preißner, C. L., Kemming, H., Wittkowsky, D., Bülow, S., & Stark, A. (2013). Einstellungsorientierte Akzeptanzanalyse zur Elektromobilität im Fahrradverkehr, Dortmund: ILS – Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung gGmbH.
- Recarte, M. Á., Conchillo, Á., & Nunes, L. M. (2005). Estimation of arrival time in vehicle and video. *Psicothema*, 17, S. 112–117.
- Recarte, M. Á., & Nunes, L. M. (1996). Perception of speed in an automobile: Estimation and production. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2, S. 291–304. doi:10.1037//1076-898X.2.4.291
- Rose, G. (2012). E-bikes and urban transportation: emerging issues and unresolved questions. *Transportation*, 39, S. 81–96. doi:10.1007/s11116-011-9328-y
- Schiff, W., & Oldak, R. (1990). Accuracy of judging time to arrival: Effects of modality, trajectory, and gender. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(2), 303–316. doi:10.1037//0096-1523.16.2.303

- Schiff, W., Oldak, R., & Shah, V. (1992). Aging persons' estimates of vehicular motion. *Psychology and Aging*, 7, S. 518–525. doi:10.1037//0882-7974.7.4.518
- Schleinitz, K., Franke-Bartholdt, L., Petzoldt, T., Schwanitz, S., Kühn, M., & Gehlert, T. (2014). *Pedelec-Naturalistic Cycling Study*, Berlin: Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
- Schreiber, M., Ortlepp, J., & Butterwegge, P. (2013). *Turning-off accidents between motor vehicles and cyclists*, Berlin: Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
- Schreiber, M., Ortlepp, J., Butterwegge, P., & Gehlert, T. (in press). Designing safe intersections: Determinants of accidents involving cyclists and turning vehicles and strategies for their reduction. (Chapter 8). In R. Gerike & J. Parkin (Eds) *Cycling Futures: From Research Into Practice*. Farnham: Ashgate
- Seward, E., Ashmead, D. H., & Bodenheimer, B. (2007). Using virtual environments to assess time-to-contact judgments from pedestrian viewpoints. *ACM Transactions on Applied Perception*, 4, S. 1–19. doi:10.1145/1278387.1278392
- Short, J., & Caulfield, B. (2014). The safety challenge of increased cycling. *Transport Policy*, 33, S. 154–165. doi:10.1016/j.tranpol.2014.03.003
- Sidaway, B., Fairweather, M., Sekiya, H., & McNitt-Gray, J. (1996). Time-to-Collision Estimation in a Simulated Driving Task. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 38, S. 101–113. doi:10.1518/001872096778940813
- Te Velde, A. F., van der Kamp, J., Barela, J. a., & Savelsbergh, G. J. P. (2005). Visual timing and adaptive behavior in a road-crossing simulation study. *Accident Analysis and Prevention*, 37, S. 399–406. doi:10.1016/j.aap.2004.12.002
- Tresilian, J. R. (1995). Theory and Evaluative Reviews Perceptual and cognitive processes in time-to-contact estimation: Analysis of prediction-motion and relative judgment tasks. *Perception & Psychophysics*, 57, S. 231–245.
- Triggs, T. J., & Berenyi, J. S. (1982). Estimation of Automobile Speed under day and Night Conditions. *Human Factors*, 24, S. 111–114. doi:10.1177/001872088202400111
- Wood, J. M., Tyrrell, R. a, Marszalek, R., Lacherez, P., Carberry, T., & Chu, B. S. (2012). Using reflective clothing to enhance the conspicuity of bicyclists at night. *Accident Analysis and Prevention*, 45, S. 726–30. doi:10.1016/j.aap.2011.09.038
- Yan, X., Radwan, E., & Guo, D. (2007). Effects of major-road vehicle speed and driver age and gender on left-turn gap acceptance. *Accident Analysis and Prevention*, 39, S. 843–852. doi:10.1016/j.aap.2006.12.006
- Zweirad-Industrie-Verband. (2014). *Jahresbericht*, Bad Soden a. Ts.

Anhang

In den folgenden Tabellen sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Haupteffekte dargestellt. Ferner sind die kleinsten (Minimum = Min) und größten Werte (Maximum = Max) über alle Teilnehmer hinweg der jeweiligen Bedingungen z.B. für die Geschwindigkeit 15 km/h in den Tabellen aufgelistet.

Anhang A 1: Deskriptive Statistik Experiment 1

Tabelle A1.1:

Experiment 1: Deskriptive Statistik Lückenwahl in s für die Zweiradtypen, Blickwinkel, Profil mit Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h mit Altersgruppen der Teilnehmer in s ($N = 42$).

Bedingungen	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Geschwindigkeit				
15 km/h	7,9	2,5	3,3	20,4
20 km/h	6,8	1,9	2,7	17,6
25 km/h	6,2	1,6	3,0	13,7
Zweiradtyp				
Fahrrad	7,1	2,1	2,8	20,4
Pedelec 45	6,8	1,9	2,2	19,6
Profil				
Steigung	6,7	1,9	2,8	16,9
Ebene	7,2	2,1	2,2	20,4
Blickwinkel				
Frontal	6,9	1,8	2,7	18,3
Seitlich	7,0	2,2	2,2	20,4
Altersgruppe der Teilnehmer				
30-45 Jahre	6,7	1,5	2,8	14,2
≥ 65 Jahre	7,3	2,3	2,2	20,4

Anhang A 2: Deskriptive Statistik Experiment 2

Tabelle A2.1:

Experiment 2: Deskriptive Statistik Lückenwahl in s die beiden Fahrertypen für Fahrrad und Pedelec mit Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h mit Altersgruppen der Teilnehmer (N = 42).

Bedingungen	M	SD	Min	Max
Geschwindigkeit				
15 km/h	10,9	3,3	5,6	21,4
20 km/h	8,5	2,2	3,5	16,6
25 km/h	7,7	2,1	2,8	13,2
Zweiradtyp				
Fahrrad	9,2	2,4	3,5	20,7
Pedelec 45	8,8	2,6	2,8	21,4
Fahreralter				
Alter Fahrer	8,9	2,3	3,5	20,7
Junger Fahrer	9,1	2,6	2,8	21,4
Altersgruppe der Teilnehmer				
30-45 Jahre	8,8	2,4	3,8	20,7
≥ 65 Jahre	9,2	2,6	2,8	21,4

Tabelle A2.2:

Experiment 2: Deskriptive Statistik Lückenwahl in s für die drei Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 25 bis 35 km/h mit Vergleich der Altersgruppen der Teilnehmer (N = 42).

Bedingungen	M	SD	Min	Max
Geschwindigkeit				
25 km/h	6,0	1,2	2,8	13,2
30 km/h	6,7	1,6	3,0	10,7
35 km/h	8,1	2,0	2,8	8,9
Zweiradtyp				
Fahrrad	6,6	1,6	2,8	13,2
Pedelec 45	6,4	1,7	2,8	12,6
Moped	7,8	1,6	3,3	12,6
Altersgruppe der Teilnehmer				
30-45 Jahre	7,1	1,7	3,5	13,2
≥ 65 Jahre	6,8	1,4	2,8	12,6

Tabelle A2.3:

Experiment 2: Deskriptive Statistik TTA-Schätzung für die beiden Fahrertypen für Fahrrad und Pedelec mit Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h mit Altersgruppen der Teilnehmer (N = 44).

Bedingungen	M	SD	Min	Max
Geschwindigkeit				
15 km/h	0,53	0,27	0,05	1,57
20 km/h	0,61	0,33	0,04	2,59
25 km/h	0,67	0,35	0,04	3,28
Zweiradtyp				
Fahrrad	0,59	0,31	0,05	3,14
Pedelec 45	0,62	0,32	0,04	3,28
Fahreralter				
Alter Fahrer	0,58	0,29	0,04	3,28
Junger Fahrer	0,63	0,34	0,04	3,14
Altersgruppe der Teilnehmer				
30-45 Jahre	0,76	0,35	0,08	3,14
≥ 65 Jahre	0,45	0,17	0,04	3,28

Tabelle A2.4:

Experiment 2: Deskriptive Statistik TTA-Schätzung für die drei Zweiradtypen und Geschwindigkeiten von 25 bis 35 km/h mit Vergleich der Altersgruppen der Teilnehmer (N = 44).

Bedingungen	M	SD	Min	Max
Geschwindigkeit				
25 km/h	0,65	0,36	0,04	3,14
30 km/h	0,68	0,37	0,05	3,29
35 km/h	0,72	0,36	0,06	3,19
Zweiradtyp				
Fahrrad	0,72	0,37	0,08	3,14
Pedelec 45	0,73	0,38	0,04	3,19
Moped	0,62	0,35	0,04	3,29
Altersgruppe der Teilnehmer				
30-45 Jahre	0,86	0,41	0,08	3,19
≥ 65 Jahre	0,51	0,18	0,04	3,29

Anhang A 3: Deskriptive Statistik Experiment 3

Tabelle 3.1:

Experiment 3: Deskriptive Statistik Lückenwahl in s für die beiden Trittfrequenzen mit Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h mit Altersgruppen der Teilnehmer (N = 42).

Bedingungen	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Geschwindigkeit				
15 km/h	10,1	3,7	4,2	22,0
20 km/h	7,7	2,7	3,2	16,8
25 km/h	6,1	1,8	1,2	12,8
Trittfrequenz				
Niedrig (90 bpm)	8,4	2,5	1,2	22,0
Hoch (155 bpm)	7,6	2,8	2,8	21,9
Altersgruppe der Teilnehmer				
30-45 Jahre	7,9	2,5	3,2	22,0
≥ 65 Jahre	8,0	2,7	1,2	21,9

Tabelle A3.2:

Experiment 3: Deskriptive Statistik TTA-Schätzung für die beiden Trittfrequenzen mit Geschwindigkeiten von 15 bis 25 km/h mit Altersgruppen der Teilnehmer (N = 44).

Bedingungen	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Geschwindigkeit				
15 km/h	0,60	0,28	0,07	1,39
20 km/h	0,67	0,34	0,05	2,37
25 km/h	0,77	0,37	0,08	3,55
Trittfrequenz				
Niedrig (90 bpm)	0,72	0,34	0,05	3,55
Hoch (155 bpm)	0,64	0,31	0,07	3,00
Altersgruppe der Teilnehmer				
30-45 Jahre	0,86	0,35	0,10	3,55
≥ 65 Jahre	0,50	0,15	0,05	1,23

Anhang A 4: Deskriptive Statistik Experiment 4

Tabelle A4.1:

Experiment 4: Deskriptive Statistik TTA-Schätzung für die beiden Lichtverhältnisse, drei Maßnahmen mit Geschwindigkeiten von 15 bis 35 km/h mit Altersgruppen der Teilnehmer (N = 46).

Bedingungen	M	SD	Min	Max
Geschwindigkeit				
15 km/h	0,55	0,26	0,07	4,09
20 km/h	0,62	0,29	0,05	3,80
25 km/h	0,73	0,35	0,08	3,21
30 km/h	0,76	0,33	0,05	3,41
35 km/h	0,81	0,34	0,08	3,41
Lichtverhältnisse				
Dämmerung	0,69	0,31	0,05	4,09
Tageslicht	0,70	0,31	0,07	3,80
Maßnahme				
Ohne Licht/ ohne Weste	0,70	0,31	0,05	2,81
Weste ohne Licht	0,70	0,31	0,06	3,80
Licht ohne Weste	0,69	0,31	0,05	4,09
Altersgruppe der Teilnehmer				
30-45 Jahre	0,87	0,34	0,08	3,41
≥ 65 Jahre	0,56	0,20	0,05	4,09

Tabelle A4.2:

Experiment 4: Deskriptive Statistik TTA-Schätzung für die beiden Lichtverhältnisse und Zweiradtypen mit Geschwindigkeiten von 25 bis 35 km/h mit Vergleich der Altersgruppen der Teilnehmer (N = 46).

Bedingungen	M	SD	Min	Max
Geschwindigkeit				
25 km/h	0,66	0,34	0,10	3,21
30 km/h	0,71	0,30	0,11	2,74
35 km/h	0,73	0,35	0,10	2,99
Zweiradtyp				
Fahrrad	0,77	0,34	0,11	3,21
Moped	0,64	0,32	0,10	2,99
Lichtverhältnisse				
Dämmerung	0,68	0,33	0,10	2,99
Tageslicht	0,72	0,33	0,10	3,21
Altersgruppe der Teilnehmer				
30-45 Jahre	0,90	0,35	0,17	3,21
≥ 65 Jahre	0,55	0,21	0,10	2,88



Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.

Wilhelmstraße 43 / 43 G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 1002 Berlin

Tel. 030 / 20 20 - 50 00, Fax 030 / 20 20 - 60 00
www.gdv.de, www.udv.de