

**Das Straßenquerungsverhalten von Kindern:
Eine experimentelle Analyse von Einflussfaktoren und
Sicherheitsmaßnahmen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der
Philosophischen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt von
Luka-Franziska Bluhm

aus
Lübeck

Bonn, 2024

Gedruckt mit der Genehmigung der Philosophischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Zusammensetzung der Prüfungskommission:

Prof. Dr. Henning Gibbons

(Vorsitzender)

Prof. Dr. Dr. h.c. Rainer Banse

(Betreuer und Gutachter)

Prof. Dr. Prof. h.c. (MIREA) Wolfgang Schubert

(Gutachter)

Priv.-Doz. Dr. Michael Kavšek

(weiteres prüfungsberechtigtes Mitglied)

Tag der mündlichen Prüfung: 22. August 2024

Während der Anfertigung dieser Monografie wurden die unten aufgelisteten Artikel veröffentlicht. Kapitel dieser Dissertation, die Texte der Artikel beinhalten, sind in der rechten Spalte aufgeführt.

Nummer	Artikel	Kapitel
I	Bluhm, L.-F., Ackermann, C., Schubert, W. & Banse, R. (2023). Schätzung der Time To Arrival von Fahrzeugen bei Kindern. <i>Zeitschrift für Verkehrssicherheit</i> , 68(2), 96-98. https://doi.org/10.53184/ZVS2-2023-7	Zusammenfassung, Summary, 5, 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 8
II	Bluhm, L.-F., Eisele, D., Schubert, W. & Banse, R. (2023). Effects on a frontal brake light on (automated) vehicles on children's willingness to cross the road. <i>Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour</i> , 98, 269-279. https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.09.014	Zusammenfassung, Summary, 2.3.2, 7, 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 8

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	6
Danksagung.....	7
Zusammenfassung	8
Summary.....	10
1. Einführung	12
2. Theoretischer Hintergrund	14
2.1 Entwicklung von verkehrsrelevanten Kompetenzen.....	14
2.1.1 Sehen	16
2.1.2 Hören.....	19
2.1.3 Motorik.....	19
2.1.4 Aufmerksamkeit.....	20
2.1.5 Kognitive Funktionen.....	21
2.1.6 Exekutive Funktionen.....	23
2.2 Einflussfaktoren auf das Querungsverhalten von Kindern	24
2.2.1 Demografie und Persönlichkeit	25
2.2.2 Fahrzeug und Fahrzeugverhalten	28
2.2.3 Querungsumgebung.....	30
2.3 Verkehrssicherheitsmaßnahmen.....	33
2.3.1 Verkehrserziehung und -training (Education).....	34
2.3.2 Gestaltung des Verkehrsraums und der Fahrzeugtechnik (Engineering)	36
2.3.3 Maßnahmen des Gesetzgebers (Enforcement)	39
3. Forschungsfragen.....	40
4. Ethik und Teilnahmevoraussetzungen.....	41
5. Studie I.....	42
5.1 Ziel und Fragestellung.....	42
5.2 Methode.....	43

5.2.1	Proband:innen	43
5.2.2	Design	43
5.2.3	Material.....	44
5.2.4	Durchführung.....	45
5.3	Ergebnisse.....	46
5.3.1	TTA Schätzung.....	46
5.3.2	Lückenakzeptanz	49
5.4	Diskussion	55
5.4.1	Limitationen und Ausblick.....	58
6.	Studie II.....	60
6.1	Ziel und Fragestellung.....	60
6.2	Methode.....	61
6.2.1	Proband:innen	61
6.2.2	Design	61
6.2.3	Material.....	63
6.2.4	Durchführung.....	64
6.3	Ergebnisse.....	64
6.3.1	Kritische Querungsentscheidung	64
6.3.2	Initiierungszeit	70
6.3.3	Zeitlücke	72
6.3.4	Ausgelassene Querungsmöglichkeiten	73
6.4	Diskussion	74
6.4.1	Limitationen und Ausblick.....	79
7.	Studie III.....	81
7.1	Ziel und Fragestellung.....	81
7.2	Methode.....	82
7.2.1	Proband:innen	82
7.2.2	Design	82
7.2.3	Material.....	84

7.2.4	Durchführung.....	85
7.3	Ergebnisse.....	86
7.3.1	Analyse.....	86
7.3.2	Bremsdurchgänge.....	87
7.3.3	Nicht-Bremsdurchgänge.....	89
7.3.4	Subjektive Bewertung der FBL.....	91
7.4	Diskussion.....	91
7.4.1	Limitationen und Ausblick.....	94
8.	Allgemeine Diskussion und Fazit.....	96
	Literaturverzeichnis.....	103
	Anhang.....	118

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Screenshots der Videosequenzen	44
Abbildung 2 Geschätzte TTA getrennt nach der objektiven TTA und der Altersgruppe	47
Abbildung 3 Geschätzte TTA getrennt nach der objektiven TTA und der Geschwindigkeit ..	48
Abbildung 4 Geschätzte TTA getrennt nach objektiver TTA und Fahrzeugtyp.....	48
Abbildung 5 Querungsentscheidung in Abhängigkeit der Altersgruppe	50
Abbildung 6 Querungsentscheidung in Abhängigkeit der Geschwindigkeit.....	51
Abbildung 7 Risiko- und Vorsichtsentscheidungen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und der Altersgruppe.....	51
Abbildung 8 Querungsentscheidung in Abhängigkeit des Fahrzeugtyps	52
Abbildung 9 Fehl- und Risikoentscheidungen in Abhängigkeit des Fahrzeugtyps und der Altersgruppe	53
Abbildung 10 Reaktionszeit in Abhängigkeit des Fahrzeugtyps und der objektiven TTA.....	54
Abbildung 11 Perspektive des wartenden Kindes am Fahrbahnrand	63
Abbildung 12 Kritische Entscheidungen in Abhängigkeit der Altersgruppe	65
Abbildung 13 Kritische Querungsentscheidungen in Abhängigkeit der Querungsstelle	66
Abbildung 14 Kritische Entscheidungen in Abhängigkeit der Querungsstelle und der Altersgruppe	67
Abbildung 15 Kritische Entscheidung in Abhängigkeit der Rotphase	68
Abbildung 16 Kritische Entscheidung in Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens und der Altersgruppe	69
Abbildung 17 Kritische Entscheidung in Abhängigkeit der Sichtbedingung und Altersgruppe	70
Abbildung 18 Zeitlücke in Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens und der Altersgruppe ...	73
Abbildung 19 Ausgelassene Querungsmöglichkeiten in Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens und der Altersgruppe.....	74
Abbildung 20 Perspektive der Fußgänger:innen.....	84
Abbildung 21 Fahrzeugverhalten (oben) und Ende der Videosequenzen (unten).....	85
Abbildung 22 Querungsbereitschaft in Bremsdurchgängen in Abhängigkeit der Distanz und der Bedingung	87
Abbildung 23 Querungsbereitschaft in Bremsdurchgängen in Abhängigkeit des Bremszeitpunktes und der Bedingung	88
Abbildung 24 Querungsbereitschaft in Nicht-Bremsdurchgängen in Abhängigkeit der Distanz und der Bedingung	90
Abbildung 25 Subjektive Bewertungen der vorderen Bremsleuchte.....	91

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Mögliche Entscheidungen bei der Lückenakzeptanz.....	49
Tabelle 2 Deskriptive Werte der Initiierungszeit bei der Ampelanlage.....	71
Tabelle 3 Deskriptive Werte der Initiierungszeit bei der freien Querung.....	72
Tabelle 4 Deskriptive Werte der Querungsbereitschaft in den Bremsdurchgängen.....	89
Tabelle 5 Deskriptive Werte der Querungsbereitschaft in den Nicht-Bremsdurchgängen	90

Abkürzungsverzeichnis

AEB	Autonomous Emergency Braking
AV	Abhängige Variable
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DVR	Deutscher Verkehrssicherheitsrat
EB	Experimentalbedingung
FBL	Frontal Brake Light
KB	Kontrollbedingung
KIVI	Kooperative Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern im automatisierten Fahren
LKW	Lastkraftwagen
LSA	Lichtsignalanlage
PKW	Personenkraftwagen
RGB-Farbraum	Rot, Grün, Blau-Farbraum
ÖPNV	Öffentlicher Personen- und Nahverkehr
StVO	Straßenverkehrsordnung
TTA	Time to Arrival
TTC	Time to Collision
TU Chemnitz	Technische Universität Chemnitz
UDV	Unfallforscher der Versicherer
VRU	Vulnerable Road User

Danksagung

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Banse für die Möglichkeit der Anfertigung dieser Dissertation, für die großartige Betreuung durch seine hilfreiche und anerkennenswerte Unterstützung sowie der konstruktiven Kritik während der gesamten Bearbeitungszeit dieser Dissertation.

Gleichermaßen möchte ich mich ebenfalls bei Herrn Prof. Schubert für seine wertvolle und bereichernde Unterstützung und die hilfreichen Ratschläge danken.

Weiter möchte ich Dr. Claudia Ackermann danken, die mir seit meiner Bachelorarbeit als Mentorin zur Seite steht, mich stets unterstützt hat und mir wertvolle Ratschläge für meine Studien und das Promotionsvorhaben gab. Ich habe wirklich viel von dir gelernt, danke!

Danke auch an Torsten Gfesser und Dr. Matthias Beggiato für die Hilfestellung bei der Programmierung der Studien I und II.

Weiterhin danke ich Leif Ulrik Scholz für die Unterstützung bei der Erstellung der Videos der Studie II.

Gleichermaßen danke ich Daniel Eisele, der mich bei der Umsetzung der Studie III unterstützt hat.

An dieser Stelle möchte ich mich auch ganz herzlich bei den teilnehmenden Schulen, deren Schulleiter:innen und Lehrkräften bedanken, die sich trotz Corona-Pandemie dazu entschlossen, mich bei meinem Vorhaben zu unterstützen und ohne die diese Studien nicht hätten stattfinden können. Mein Dank geht ebenfalls an die Eltern und teilnehmenden Kinder.

Ein ganz besonderer Dank geht an Elena Rath und Janine Weigel, die mich während der gesamten Bearbeitungszeit unterstützten, indem sie mir wertvolle Denkanstöße für meine Dissertation gaben und mir vor allem mentalen Support leisteten.

Ich möchte weiterhin meiner Familie und allen Freunden danken, die mich immer unterstützen und auffangen und mir durch diverse Phasen dieser Promotion verhalfen. Insbesondere möchte ich meiner Omi danken.

Vor allem möchte ich meiner Ehefrau Nina danken, die mich überhaupt dazu ermutigt hat, diese Promotion anzugehen. Du bist immer für mich da, verhilfst mir zu neuer Motivation, wenn es gerade mal nicht so rund läuft, bringst mich auch auf andere Gedanken, wenn es nötig ist, und zeigst mir immer, wie stolz du auf mich bist. Danke! Ohne dich wäre diese Dissertation nicht so, wie sie jetzt ist.

Zusammenfassung

Kinder repräsentieren aufgrund ihrer Körpergröße, ihres Entwicklungsstandes und ihrer Erfahrung insbesondere den Teil der schwächeren Verkehrsteilnehmenden und stehen deshalb immer wieder vor großen Herausforderungen im Straßenverkehr. Hier sei insbesondere die Straßenquerung genannt, bei der Kinder nicht nur ihre eigenen Bewegungs- und Koordinationsfähigkeiten, sondern auch das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmenden sowie auch die Umgebung, in der sie sich bewegen, mit einbeziehen müssen. Dies erfordert zum einen hohe kognitive Fähigkeiten und zum anderen auch prädiktives Situationsverständnis, was sich allerdings erst allmählich im Laufe der Kindheit und Jugend entwickelt (Schlag et al., 2018). Aufgrund dessen widmet sich diese Dissertation der Frage, ab wann und unter welchen Bedingungen Kinder die Signale, die sie explizit aus der Umgebung und implizit vom Verhalten anderer Verkehrsteilnehmenden erhalten, verstehen und umsetzen können, um sicher eine Straße zu überqueren. Dazu soll analysiert werden, was das Querungsverhalten von Kindern beeinflusst, um letztlich Implikationen geben zu können, inwiefern die Sicherheit von Kindern beim Überqueren einer Straße erhöht werden kann. Dafür wurden drei Laborstudien durchgeführt.

In Studie I wurde die Entwicklung der Time to Arrival (TTA) und die Einflüsse auf diese sowie die Lückenakzeptanz untersucht. Dazu wurden Kinder von sechs bis 13 Jahren in vier Altersgruppen aufgeteilt und die Variablen Geschwindigkeit, Fahrzeugtyp und objektive TTA variiert. Die Ergebnisse zeigen, dass Kinder bis einschließlich 13 Jahren die TTA unterschätzten, die Schätzung jedoch mit zunehmendem Alter präziser wurde. Gleichzeitig trafen insbesondere acht- bis neunjährige Kinder auch häufiger riskante Entscheidungen. Die Geschwindigkeit und der Fahrzeugtyp beeinflussten ebenfalls die TTA Schätzung sowie auch die Lückenwahl. Somit ist anzunehmen, dass bis einschließlich 13 Jahren die Fähigkeit zur Integration von Geschwindigkeits- und Distanzinformationen noch nicht vollständig entwickelt ist, eine konservativere Schätzung jedoch nicht mit einer vorsichtigeren Querungsentscheidung einhergeht.

In Studie II wurden Umgebungsfaktoren als mögliche Einflüsse auf die Querungsentscheidung von Kindern untersucht. Hierzu nahmen ebenfalls Kinder in einem Alter von sechs bis 13 Jahren, aufgeteilt in vier Altersgruppen, teil und die Querungsstelle, Sichtbedingung und Ablenkung wurde variiert. Als Querungsstelle wurde eine freie Querung, eine Lichtsignalanlage (LSA) sowie ein Fußgängerüberweg gewählt und in Abhängigkeit derer die Verkehrsdichte, die Länge der Rotphase bzw. die Anhaltebereitschaft des annähernden Personenkraftwagens (PKW) analysiert. Die Ergebnisse offenbarten, dass bei einer freien Querung die meisten, wogegen beim Fußgängerüberweg die wenigsten kritischen Entscheidungen getroffen wurden. Allerdings waren diese Querungsentscheidungen auch altersabhängig. Zusätzlich erwies sich eine Sichteinschränkung als negativer Einflussfaktor

und auch das Vorhandensein einer Ablenkung beeinflusste die Querungsentscheidung. Zusammengefasst zeigt sich, dass Umgebungsfaktoren die Querungsentscheidung von Kindern beeinflussen können, was verdeutlicht, dass insbesondere an Stellen, an denen häufig Kinder queren, Querungsanlagen sorgfältig installiert und dabei Sichtbeziehungen eingehalten werden sollten.

Studie III untersuchte den Effekt einer vorderen Bremsleuchte (engl.: Frontal Brake Light – FBL), als mögliche fahrzeugtechnische Maßnahme zur Erhöhung der Verkehrssicherheit, auf die Querungsbereitschaft von Kindern. Dazu wurden eine Kontroll- (KB) und eine Experimentalbedingung (EB) mit sechs bis zwölfjährigen Kindern verglichen und der Bremszeitpunkt sowie die Distanz zum Fahrzeug variiert. Es zeigte sich, dass die FBL die Querungsbereitschaft insbesondere bei einem frühen Bremsbeginn beeinflusste. Sofern das Fahrzeug bremste (d.h. die FBL in der EB aktiviert wurde), war die Querungsbereitschaft in der EB signifikant höher als in der KB (d.h. wenn keine FBL vorhanden war). Wenn das Fahrzeug allerdings die Geschwindigkeit beibehielt, (d.h. die FBL wurde nicht aktiviert, wenn vorhanden) offenbarte sich der konträre Effekt. Allerdings berücksichtigten die Kinder nicht nur die Informationen ausgehend von der FBL bei ihrer Entscheidung, sondern beachteten insbesondere auch den Bremsbeginn und die Distanz zum Fahrzeug, sodass nicht von einer expliziten Handlungsaufforderung durch eine FBL ausgegangen werden kann. Die erzielten Ergebnisse sind ähnlich denen, die mit Erwachsenen erhoben wurden (Eisele & Petzoldt, 2024). Allerdings müssen in zukünftigen Studien mit komplexeren Situationen weitergehende Analysen durchgeführt werden, um generelle Aussagen über die Auswirkungen einer FBL treffen zu können.

Summary

Due to their height, development status and experience children represent especially the part of vulnerable road user, which is why they repeatedly face major challenges in road traffic. Crossing roads in particular is challenging in which children not only have to take into account not only their own movement and coordination skills, but also the behaviour of other road users and the environment in which they are moving. This requires a high level of cognitive ability and predictive situation awareness, which develop gradually during childhood and adolescence (Schlag et al., 2018). Therefore, this dissertation deals with the question, when and under what conditions children are able to understand and apply the signals they receive explicitly from the environment and implicitly from the behaviour of other road users in order to cross a road safely. The aim is to analyse what influences children's crossing behaviour. Conclusions will then be drawn as to how the road safety of children during crossing can be improved. Three laboratory studies were conducted for this purpose.

Study I investigated the development of the Time to Arrival (TTA) and its influencing factors. Gap acceptance was also analysed. The study involved children aged six to thirteen who were divided into four age groups. The variables velocity, vehicle type and objective TTA were varied. The results show that children up to the age of thirteen underestimated the TTA, but the estimation became more accurate with increased age. Moreover, especially eight- to nine-year-old children made risky decisions. The velocity and vehicle type also affected estimation of TTA and gap acceptance. Thus, it could be presumed that the ability to integrate speed and distance information is not yet fully developed by the age of thirteen. However, a more conservative estimation is not associated with a more cautious crossing decision.

Study II investigated environmental factors as potential influencing factors on children's crossing decision. For this purpose, children aged from six to thirteen, divided into four age groups, participated and the variables crossing location, visibility and distraction were varied. An unrestricted crossing, traffic lights and a zebra crossing were selected as crossing locations. Depending on the crossing location the traffic density, length of the red phase and the willingness of the approaching vehicle to stop were analysed. The results show that the most critical crossing decisions were made at an unrestricted crossing, whereas the fewest critical crossing decisions were made at the zebra crossing. However, these crossing decisions were age-dependant. Furthermore, restricted view and distraction had a negative effect on crossing decisions. In conclusion, environmental factors can affect children's crossing decision, which emphasises that crossing facilities should be carefully installed, especially in places where children frequently cross the road. Visibility should also not be restricted.

Study III investigated the effect of a frontal brake light (FBL), as a potential technical vehicle feature to increase road safety, on children's willingness to cross the road. A control and an experimental condition were compared, both with children aged six to twelve, and the

braking onset and the distance to the pedestrian were varied. The FBL affected children's willingness to cross the road. If the vehicle decelerated (i.e., the FBL was activated in the experimental condition), children's willingness to cross the road was significantly higher in the experimental condition than in the control condition (i.e., where no FBL was present). If the vehicle did not decelerate, (i.e., no FBL was activated, if present), the opposite effect occurred. However, children did not only rely on information gained by the FBL, but also considered the braking onset and the distance to the vehicle. Therefore, it is assumed that the FBL is not understood by children as a call to action. The obtained results are similar to those observed in adults (Eisele & Petzoldt, 2024). However, in future research more complex situations have to be analysed in order to obtain more general conclusions about the effect of an FBL.

1. Einführung

Im Straßenverkehr treffen viele verschiedene Verkehrsteilnehmende aufeinander, die alle das Bestreben haben, sicher an ihr Ziel zu gelangen. Dabei kann der Straßenverkehr insbesondere für schwächere Verkehrsteilnehmende (engl.: Vulnerable Road Users – VRU), wie bspw. Fußgänger:innen, Fahrradfahrende oder Kraftradfahrende herausfordernd sein (DGVP Verkehrspsychologie, 2017). Sie sind nicht durch eine Fahrerkabine geschützt und müssen zu jeder Zeit und insbesondere in Interaktionen, wie bspw. bei einer Straßenquerung, auf ihre Umgebung, andere Verkehrsteilnehmende und die Infrastruktur achten.

Kinder sind zusätzlich aufgrund ihrer geringeren Körpergröße, ihres Entwicklungsstandes sowie der mangelnden Erfahrung im Straßenverkehr gefährdet und repräsentieren insbesondere den Bereich der VRU. Sanken die Unfallzahlen mit Kindern unter 15 Jahren in den letzten Jahrzehnten stetig auf bis zu 22.272 verunglückte Kinder im Jahr 2021 in Deutschland (Statistisches Bundesamt, 2022), stiegen sie im Jahr 2022 um 16 % auf rund 25.800 Kinder im Vergleich zum durch die Pandemie geprägten Vorjahr wieder an (Statistisches Bundesamt, 2023). Zum Vor-Corona-Jahr 2019 nahm die Unfallrate dagegen um 8 % ab (Statistisches Bundesamt, 2023). So ist diese Zahl doch immer noch weit entfernt von der *Vision Zero*, die zum Ziel hat, keine Toten und Schwerverletzten mehr im Straßenverkehr zu beklagen (DVR, o.D.b). Mit 51 Kindern starben zudem zwei Kinder mehr als im Vorjahr (Statistisches Bundesamt, 2023). Es zeigte sich, dass Kinder insbesondere zu Zeiten des Schulwegs bzw. auf dessen Rückweg verunglückten; sei es als Mitfahrer:in im Auto, als Fahrradfahrer:in oder als Fußgänger:in (Statistisches Bundesamt, 2023). 2021 waren 21.3 % der verunglückten Kinder und sogar 38.8 % der getöteten Kinder als Fußgänger:innen unterwegs (Statistisches Bundesamt, 2022). Dabei kam es auch zu Fehlverhalten seitens der Kinder. Die häufigsten Fehler der Sechs- bis 14-Jährigen wurden bei der Straßenüberquerung gemacht (84.7 %). Es zeigte sich, dass davon mehr als die Hälfte der Kinder (53.2 %) bei der Straßenüberquerung nicht auf den Fahrzeugverkehr achtete und 31.4 % plötzlich hinter einem Sichthindernis hervortraten (Statistisches Bundesamt, 2022).

Diese Zahlen lassen zum einen erkennen, wie wichtig es ist, Verkehrssicherheitsmaßnahmen zu treffen, bspw. mithilfe von Assistenzsystemen wie dem autonomen Notbremsassistenten (engl.: Autonomous Emergency Braking – AEB) oder der Intelligent Speed Assistance (DGVP Verkehrspsychologie, 2017) und zum anderen das Verhalten von Kindern im Straßenverkehr weiter zu erforschen. Dabei müssen neue Erkenntnisse aus der Entwicklungspsychologie sowie das veränderte Mobilitätsverhalten von Kindern mitbetrachtet werden (Limbourg, 2010). So verzeichnet sich ein stetiger Rückzug aus dem Verkehrsraum, der u.a. durch eine Zunahme des Straßenverkehrs und der damit einhergehenden veränderten Wohnumgebung, aber auch durch einen vermehrten Medienkonsum der Kinder zu erklären ist (Funk, 2008). Kinder nutzen den Verkehrsraum

weniger zum Spielen oder Lernen (Limbourg, 2010). Dies führt zu einer entwicklungspsychologischen Veränderung bei Kindern.

Das Ziel dieser Dissertation ist es, zu untersuchen, wann und unter welchen Bedingungen Kinder die Signale, die sie explizit aus der Umgebung und implizit vom Verhalten anderer erhalten, verstehen und umsetzen können, um eine sichere Straßenquerung zu vollziehen. Im engeren Sinne wird das Querungsverhalten von Kindern sowie die Einflüsse auf eine Querungsentscheidung untersucht. Dazu wurden drei Laborstudien mit Kindern durchgeführt, die jeweils unterschiedliche Aspekte der Querungsentscheidung betrachteten. In Studie I lag der Fokus auf der Entwicklung der Time To Arrival (TTA), der Schätzung des Ankunftszeitpunktes eines Verkehrsmittels an einem bestimmten Ort (Tresilian, 1995), sowie der Lückenakzeptanz. Studie II untersuchte den Einfluss von Umgebungsbedingungen auf das Querungsverhalten von Kindern, um Hinweise zu liefern, inwiefern bspw. unterschiedliche Querungsstellen (z.B. Fußgängerüberweg vs. freie Querung) oder Sichteinschränkungen durch parkende Fahrzeuge die Querungsentscheidung von Kindern beeinflussen können. In der letzten Studie wurde die Querungsbereitschaft von Kindern unter Hinzunahme einer vorderen Bremsleuchte untersucht, um mögliche Auswirkungen dieser zu analysieren. Mit Hilfe der durchgeführten Studien soll ein Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit von Kindern geleistet werden, indem entwicklungs- sowie verkehrspsychologische Aspekte betrachtet und hinterfragt werden.

Die Dissertation ist folgendermaßen aufgebaut: Kapitel 2 betrachtet zunächst den aktuellen Stand der Literatur zur Entwicklung von verkehrsrelevanten Kompetenzen und geht anschließend auf mögliche Einflussfaktoren auf das Querungsverhalten von Kindern ein. Weiterhin werden mögliche Verkehrssicherheitsmaßnahmen betrachtet. Darauf folgend geht Kapitel 3 auf die in dieser Dissertation zugrundeliegenden Forschungsfragen sowie Kapitel 4 auf die ethischen Gutachten und Voraussetzungen zur Teilnahme eines Kindes an einer Studie ein. Kapitel 5 erläutert die Studie I, Studie II wird in Kapitel 6 betrachtet. Das nachfolgende Kapitel 7 beschreibt die Studie III und es folgt in Kapitel 8 eine integrative Diskussion der zuvor präsentierten Ergebnisse sowie möglicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit von Kindern.

2. Theoretischer Hintergrund

Für Kinder repräsentiert der Straßenverkehr nicht nur einen Raum zum Fortbewegen von Punkt A nach Punkt B, vielmehr benutzen Kinder diesen auch zum Spielen, zum Kommunizieren oder zum Sport treiben (Limbourg, 2010). Mit Eintritt ins Schulalter nehmen Kinder schließlich auch vermehrt am Straßenverkehr teil. Dabei interagieren sie tagtäglich mit unterschiedlichen Verkehrsteilnehmenden, wobei jeder Verkehrsteilnehmende die Intentionen und das Verhalten anderer über Kommunikation mit in die Interaktion einbeziehen muss (Björklund & Åberg, 2005). Sie befinden sich somit in einem ständigen Wahrnehmungsprozess sowie der daraus folgenden Handlungsausführungen (Hölzel, 2008). Dabei darf jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass Kinder über weniger Erfahrung verfügen und die Entwicklung der sozialen und kognitiven Fähigkeiten, die zu einer sicheren Teilnahme am Straßenverkehr beitragen, bis in die Adoleszenz andauern (Schlag et al., 2018). Daher sind Kinder besonders schutzbedürftig.

Das folgende Kapitel geht zunächst auf die Entwicklung von verkehrsrelevanten Kompetenzen von Kindern ein, um im anschließenden Kapitel die Literatur zum Querungsverhalten und dessen Einflussfaktoren näher zu betrachten. Das nachfolgende Kapitel beleuchtet mögliche Verkehrssicherheitsmaßnahmen, die sich zum einen auf die Verkehrserziehung von Kindern, zum anderen aber auch auf die baulichen und technischen Gestaltungsmöglichkeiten des Straßenverkehrs sowie auf die Maßnahmen des Gesetzgebers beziehen.

2.1 Entwicklung von verkehrsrelevanten Kompetenzen

Zur sicheren Teilnahme am Straßenverkehr ist eine Vielzahl von Kompetenzen notwendig, die sich im Laufe der Kindheit bis hin zur Adoleszenz entwickeln. Häufig sind Kinder dann Risiken ausgesetzt, wenn ihre kognitiven, physischen sowie ihre sensorischen Fähigkeiten überstiegen werden (Schieber & Thompson, 1996). Es ist daher hervorzuheben, dass nicht nur die Entwicklung einer Kompetenz zur erfolgreichen Handlungsausführung ausreicht, sondern dabei eine Vielzahl von Kompetenzen ineinandergreifen und zusammenwirken (Kröling et al., 2021). Eine Kompetenz beschreibt dabei „das Zusammenspiel von Fähigkeiten, Fertigkeiten, Wissen und anderen z.B. Persönlichkeitsmerkmalen und deren flexiblen Einsatz zur Problembewältigung in verschiedenen (Verkehrs-)Situationen“ (Kröling et al., 2021, S.7). Wichtig ist jedoch die Unterscheidung von Kompetenz und Performanz, da eine entwickelte Kompetenz nicht zwingend in jeglichen Situationen auch angewendet werden muss. Während die Kompetenz das Fundament darstellt, wird mit der Performanz die gezeigte Leistung in einer Situation beschrieben (Kröling et al., 2021). Die Performanz wird dabei von weiteren Faktoren, z.B. der Erfahrung, der Motivation, dem aktuellen Befinden oder Ablenkung, beeinflusst, sodass

gezeigte fehlerhafte Verhaltensweisen nicht zwingend auf fehlende Kompetenzen zurückzuführen sind, wie bspw. eine unachtsame Straßenüberquerung (Kröling et al., 2021). Die Entwicklung entsprechender Kompetenzen ist jedoch eine notwendige Bedingung für ein sicheres Verkehrsverhalten und soll daher näher betrachtet werden.

In der Literatur wird die Kindesentwicklung entweder als kontinuierlicher oder als diskontinuierlicher Prozess angesehen. Der kontinuierliche Prozess beschreibt dabei, dass Veränderungen nach und nach in kleinen Schritten auftreten, während bei der diskontinuierlichen Entwicklung davon ausgegangen wird, dass die Veränderungen eher sprunghaft in größeren Schritten auftreten (Pauen et al., 2005). Eine der einflussreichsten entwicklungspsychologischen Theorien, die von einer diskontinuierlichen Entwicklung ausgeht, ist die kognitive Theorie Jean Piagets. Gleichwohl laufen zentrale Aspekte seiner Theorie, die Assimilations- und Akkommodationsprozesse, kontinuierlich ab (Lohaus & Vierhaus, 2015). Nach Piaget werden neue Erfahrungen mit Hilfe von bereits bestehenden Schemata assimiliert, d.h. in diese Schemata integriert. Treten hierbei jedoch Widersprüche auf oder passen die neuen Erfahrungen nicht zu einem Schema, erfolgt eine Akkommodation, d.h. eine Anpassung dieses Schemas, wodurch es gleichermaßen zu einem Entwicklungsfortschritt kommt und somit wieder ein Gleichgewicht hergestellt wird (Lohaus & Vierhaus, 2015). Dass Piaget dennoch von einem diskontinuierlichen Entwicklungsverlauf ausging, zeigte sich, indem er vier Entwicklungsstufen postulierte, bei denen er der Auffassung war, dass sich wesentliche Denkmuster verändern (Lohaus & Vierhaus, 2015). Ein entscheidender Aspekt ist hierbei, dass die Stufen zwar in unterschiedlicher Geschwindigkeit durchlebt, jedoch nicht übersprungen werden können, da spätere Entwicklungsstufen auf früheren Entwicklungsstufen aufbauen (Ginsburg & Opper, 1998).

Die erste Entwicklungsstufe, die sensomotorische Intelligenz, verläuft etwa von null bis zwei Jahren und kennzeichnet sich durch „die Fähigkeit des Kindes, sich mit Hilfe von Bewegungen bzw. sensorischen Handlungen [...] an seine Umwelt anzupassen“ (Burghardt, 2014, S. 25). In dieser Stufe erlernt ein Kind ebenfalls das Konstrukt der Objektpermanenz, d.h. das Wissen über die Weiterexistenz eines Objektes auch ohne bestehenden Sinneskontakt (Kavšek, 2019, S. 8). In der zweiten Stufe, dem präoperativen Denken, welches im Alter von etwa zwei bis sieben Jahren stattfindet, ist das Kind in der Lage, sprachlich und symbolisch zu agieren, dennoch beziehen sich Kinder in dieser Stufe weiterhin noch stark auf die eigene Wahrnehmung und Handlungen (Burghardt, 2014). Kennzeichnend für diese Phase ist bspw. der Egozentrismus des Denkens, der besagt, dass es Kindern Schwierigkeiten bereitet, Perspektiven anderer einzunehmen (Lohaus & Vierhaus, 2015). Aus diesem Grund ist es z.B. für Kindergartenkinder nicht nachvollziehbar, dass ein Autofahrer sie gegebenenfalls nicht sieht, wenn das Kind zwischen zwei parkenden Fahrzeugen steht, wenn das Kind doch das Auto sieht (Schieber & Thompson, 1996). Zusätzlich betrachten Kinder in

dieser Phase häufig nur eine Dimension, d.h. es besteht eine Fokussierung auf eine Perspektive, eine Konstitution oder Ähnliches (Lohaus & Vierhaus, 2015). Dies äußert sich bspw. im Straßenverkehr, wenn ein Kind vielmehr auf die Farbe eines Fahrzeugs achtet als auf die Geschwindigkeit dieses Fahrzeugs (Schieber & Thompson, 1996). Kennzeichnend ist ebenfalls das auf den momentanen Zustand ausgerichtete und wenig prozessorientierte Denken eines Kindes, welches in der dritten Stufe, der konkret-operativen Logik, in der sich Kinder etwa vom siebten bis zum zwölften Lebensjahr befinden, zunehmend entwickelt wird (Burghardt, 2014; Lohaus & Vierhaus, 2015). In dieser Stufe wird ebenfalls das Denken flexibler, Kinder verstehen, dass Denkhandlungen reversibel sind und mehrere Dimensionen können nun parallel beachtet werden (Büttner, 2019). Zudem entwickelt sich die Fähigkeit der Perspektivenübernahme weiter, auch wenn diese noch nicht auf globalere Perspektiven bezogen werden kann (Lohaus & Vierhaus, 2015). In der letzten Stufe, der formal-operativen Intelligenz, welche ab ca. zwölf Jahren beginnt, wird die „Fähigkeit zur Wissenschaftlichkeit“ erlernt (Burghardt, 2014, S. 27), d.h. es erfolgt ein abstraktes und logisches Denken, das in der vorhergehenden Phase noch nicht vorhanden war (Burghardt, 2014; Lohaus & Vierhaus, 2015).

Zwar gibt es auch Kritik an Piagets Theorie, u.a. dass sie die Individualität von Kindern nicht genug betrachte, die Stufen zu schwammig und umfassend seien (Feldman, 2004) und sie die Kompetenzen von Kindern vermutlich unterschätze (Lohaus & Vierhaus, 2015), jedoch prägte er maßgeblich die Forschung in der Entwicklungspsychologie, sodass neuere Ansätze oftmals auf Piagets Theorie aufbauen (Lohaus & Vierhaus, 2015).

Die folgenden Unterkapitel gehen auf die Entwicklung essenzieller Kompetenzen zur sicheren Teilnahme am Straßenverkehr ein. Diese sind in die Funktionsgruppen Sehen, Hören, Motorik, Aufmerksamkeit, kognitive und exekutive Funktionen unterteilt.

2.1.1 Sehen

Zu einer der wichtigsten Sinne im Straßenverkehr zählt die visuelle Wahrnehmung. Über diese werden hauptsächlich Objekte, die Umgebung oder auch Gefahren wahrgenommen. Dabei entwickelt sich die visuelle Wahrnehmung sowie deren Informationsverarbeitung erst allmählich, sodass Kinder andere, womöglich falsche Entscheidungen aufgrund einer nicht korrekten Interpretation der verschiedenen Informationen treffen können (Gerlach et al., 2014). Zu den bedeutendsten visuellen Wahrnehmungskompetenzen zählen neben der Sehschärfe, dem Kontrast- oder Peripheriesehen auch die Bewegungs- und Farbwahrnehmung, die visuelle Suche oder auch die Distanz- und Geschwindigkeitsschätzung (Kröling et al., 2021).

Die Sehschärfe ist zwar bereits im ersten Lebensjahr ähnlich derer Erwachsener, die Integration in einen Gesamtkontext benötigt jedoch bei Kindern bis zu drei Jahren länger

(Michaelis, 2018). Die dafür notwendige Akkommodation, die Scharfstellung der Augen abhängig der Entfernung eines Objektes, entwickelt sich bereits im Alter von acht bis neun Wochen zu ähnlichen Messwerten derer Erwachsener (Kavšek, 2019). Das Peripheriesehen ist dagegen erst mit etwa sieben Jahren so weit entwickelt, dass es für den Straßenverkehr ausreichend erscheint (Schwebel et al., 2012), wogegen Walter et al. (2013) berichteten, dass dieses mit sechs bis sieben Jahren erst zu 70 % ausgebildet sei. Eine zentrale Qualität der visuellen Wahrnehmung stellt die Unterscheidung verschiedener Helligkeitsstufen dar, ohne welche eine Kontrast- und Formwahrnehmung nicht möglich ist (Krombholz, 1999). Diese ist bereits innerhalb der ersten Lebensmonate entwickelt (Krombholz, 1999). Bei der Kontrastempfindlichkeit offenbart sich jedoch, dass sich diese vergleichsweise spät, je nach der Literatur zwischen dem achten und 19. Lebensjahr entwickelt (Leat et al., 2009). Unterschiedliche Farbhelligkeiten und -sättigungen können fünf- bis sechsjährige Kinder gut differenzieren (Krombholz, 1999). Die Formwahrnehmung entwickelt sich dagegen später als die Farbwahrnehmung und hält auch bis ins zwölfte Lebensjahr an (Limbourg, 1995).

Über die Eigenbewegung sowie Bewegung anderer Objekte können Informationen zu Entfernungen, Positionen und Formen gewonnen werden (Kavšek, 2019). Es zeigt sich, dass bereits ab dreieinhalb bis vier Monaten die Bewegungsparallaxe zur relativen Distanzbestimmung genutzt werden kann (Kavšek, 2019). Zur stereoskopischen Entfernungs- und Objektwahrnehmung wird die binokulare Disparität, d.h. eine geringfügige Abweichung der Bilder durch eine verschiedene Positionierung beider Augen, genutzt, welche bereits ab dem zweiten Monat entsteht (Kavšek, 2019). Kinder können jedoch im Vergleich zu Erwachsenen verschiedene Tiefeninformationen schlechter miteinander integrieren, wozu sie erst mit etwa zwölf Jahren in der Lage sind (Nardini et al., 2010). Eng verbunden mit der Tiefenwahrnehmung ist die Größenkonstanz. Diese beschreibt, dass Objekte unabhängig von ihrer Entfernung nahezu konstant wahrgenommen werden (Kavšek, 2019; Uhr, 2015). Bei der Entwicklung der Größenkonstanz herrschen vor allem zwei Theorien vor. Nach der *perceptual learning theory* nehmen jüngere Kinder entfernte Objekte bei einer Distanzüberschreitung von 15 m ungenau wahr, da sie weniger sensitiv gegenüber monokularen Signalen sind, die Informationen über die Objektgröße liefern. Demnach lernen Kinder allmählich, die Entfernung und Größe anhand solcher Signale wahrzunehmen und sind mit etwa zehn Jahren in der Lage, die Größe weiter entfernter Objekte genau zu bestimmen (Granrud, 2009). Nach der metakognitiven Theorie werden entfernte Objekte von jüngeren und älteren Kindern sowie von Erwachsenen falsch wahrgenommen, indem sie kleiner wahrgenommen werden als sie tatsächlich sind. Jedoch können ältere Kinder und Erwachsene die Wahrnehmung mit kognitiven Urteilen ergänzen, welche auf dem Wissen über den Effekt von Distanz auf die wahrgenommene Größe beruht (Granrud, 2009; Kavšek & Granrud, 2012). Demnach seien vor allem die kognitiven Fähigkeiten für die Größenkonstanz und nicht die Fähigkeiten der

Wahrnehmung verantwortlich (Granrud, 2009). Laut Kavšek und Granrud (2012) sind Kinder zwischen sieben und elf Jahren in der Lage, Größenkonstanz aufgrund des Wissens über die Auswirkungen der Distanz auf die Objektgröße genau einzuschätzen. Sperandio (2021) kommt zu dem Schluss, dass Größenkonstanz bereits in der frühen Kindheit vorhanden ist und kein umfangreiches visuelles Training benötigt.

Die Tiefenwahrnehmung sowie die Größenkonstanz beeinflussen dabei immens die Entfernungs- und Geschwindigkeitsschätzung (Schmied, 2018), wobei sich die Entfernungseinschätzung früher entwickelt als die Geschwindigkeitseinschätzung (Limbourg, 2010; Uhr, 2015), da die Geschwindigkeitsschätzung u.a. von der Entfernung beeinflusst wird (Limbourg, 2010). Unter sechs Jahre alte Kinder können die Entfernung eines Fahrzeugs kaum einschätzen, wodurch auch die Geschwindigkeitsschätzung beeinträchtigt ist (Vollrath & Krems, 2011). Die Integration von Entfernungs- und Geschwindigkeitsinformationen erfordert höhere kognitive Fähigkeiten, welche erst mit etwa elf Jahren erreicht werden (Matsuda, 2001). Es zeigt sich daher, dass sich Kinder primär auf Distanzinformationen bei einer Straßenquerung verlassen und weniger auf die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs achten (Connelly et al., 1998; Morrongiello et al., 2016). Neben kognitiven Voraussetzungen, die für die Integration verschiedener Informationen nötig sind (Trifunović et al., 2017), fehlen jüngeren Kindern ebenfalls die notwendigen Erfahrungen im Straßenverkehr für eine angemessene Geschwindigkeitsschätzung (Limbourg, 2010). So bestehen auch mit 14 Jahren noch Schwierigkeiten, die Geschwindigkeiten von annähernden Fahrzeugen adäquat einzuschätzen (van der Meer et al., 2020).

Die Fähigkeit zur Entfernungs- und Geschwindigkeitsschätzung ist dabei für die Schätzung der Time to Arrival (TTA) von zentraler Bedeutung. Diese beschreibt die Zeit, die verbleibt, bis ein Fahrzeug einen bestimmten Ort oder eine Person erreicht (Tresilian, 1995) und wird in der Literatur oft gleichgesetzt zur sogenannten Time to Collision (TTC) (Schleinitz et al., 2015; Tresilian, 1995). Die Antizipation des Ankunftszeitpunktes des sich nähernden Fahrzeuges (d.h. Schätzung der TTA) ist u.a. für eine sichere Straßenquerung notwendig (Schleinitz et al., 2015; Schwebel et al., 2012), da sie entscheidend ist, ob eine bestimmte Lücke akzeptiert wird oder nicht, die sogenannte Lückenakzeptanz oder Lückenannahme (Kröling et al., 2021). Die Untersuchung der TTA mit Kindern ist bislang eher wenig erforscht. In der Studie von Hoffmann et al. (1980), in der fünf bis zehnjährige Kinder sowie junge Erwachsene von 18 bis 25 Jahren teilnahmen, zeigten die Ergebnisse, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den Einschätzungen der Kinder und der Erwachsenen gab, wobei alle Gruppen die TTA unterschätzten, die Kinder jedoch in einem höheren Ausmaß. Die Autoren schlussfolgerten, dass Kinder das Erwachsenenlevel ab etwa zwölf Jahren erreichen, wobei keine Kinder in diesem Alter an der Studie teilnahmen. Neben der TTA Schätzung ist auch die Fähigkeit zur visuellen Suche für eine sichere Teilnahme am

Straßenverkehr entscheidend (Whitebread & Neilson, 2000). Die Fähigkeiten zur effektiven visuellen Suche sind bei Kindern ab etwa sieben bis acht Jahren vorhanden, entwickeln sich jedoch noch weiter (Whitebread & Neilson, 2000), was für sichere Querungsentscheidungen von hoher Bedeutung ist (Barton & Morrongiello, 2011).

Zusätzlich zu den visuellen Fähigkeiten sind allerdings weitere Kompetenzen für eine sichere Verkehrsteilnahme essenziell. Diese werden in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

2.1.2 Hören

Neben der visuellen Wahrnehmung zählt die auditive Wahrnehmung zu den wichtigsten Sinneskanälen im Straßenverkehr. Mittels der Unterscheidung von Lautstärken und Tonhöhen können Objekte lokalisiert und differenziert werden. Dies ist vor allem bei der Straßenquerung sowie zur Einordnung von (Gefahren-)Signalen entscheidend (Kröling et al., 2021). Während die allgemeine Hörfähigkeit bereits bei Kindern im Alter von sechs Monaten überwiegend vorhanden ist, verfeinert sich diese jedoch noch bis zu einem Alter von sechs Jahren (Pieper, 1990). Allerdings ist die Hörschwelle sowie die Wahrnehmung von bestimmten Frequenzen noch nicht vollständig ausgebildet und Kinder in diesem Alter haben noch Probleme, Fahrzeuge nur anhand akustischer Informationen zu identifizieren (Barton et al., 2013). Selbst im Alter von acht bis neun Jahren ist noch nicht das Niveau Erwachsener erreicht (Barton et al., 2013). Kinder haben Probleme, Geräusche richtig zu lokalisieren. Dies gelingt ihnen von hinten oder vorne nur ungefähr in einem Winkel von 30° (Richter, 2014). Die Geräuschlokalisierung verbessert sich ebenfalls im Alter von acht bis neun Jahren (Barton et al., 2013), scheint jedoch selbst bei elfjährigen Kindern noch nicht vollends entwickelt zu sein (Gerlach et al., 2014).

Die physiologischen Voraussetzungen sind zwar bei Kindern bereits relativ früh vorhanden (Kröling et al., 2021), aufgrund anderer Informationsverarbeitungsprozesse sowie der mangelnden Fähigkeit der Integration von Sinneseindrücken, die die Wahrnehmung des Gesehenen und Gehörten beeinflussen, können Kinder komplexe Situationen im Straßenverkehr nicht vollumfänglich und adäquat erfassen, was jedoch für eine sichere Teilnahme am Straßenverkehr unabdingbar ist (Gerlach et al., 2014; Limbourg, 1995). Es sind dafür weitere Lern- und Erfahrungsprozesse nötig (Kröling et al., 2021).

2.1.3 Motorik

Kinder sind auch wegen ihrer geringeren Körpergröße im Straßenverkehr gefährdet, z.B. bei Sichthindernissen wie parkende Fahrzeuge am Straßenrand (Gründl, 2015; Michaelis, 2018). Sie werden schlechter von Fahrzeugführenden gesehen und haben durch die geringere Körpergröße ebenfalls ein eingeschränktes Blickfeld (Gründl, 2015). Mit der

fortschreitenden Automobilentwicklung geht auch der Trend zu immer größeren Fahrzeugen einher. Während die für den deutschen Markt produzierten Automobile in den 1960er Jahren noch eine durchschnittliche Höhe von 1,35 m aufwiesen, sind sie 2019 bereits 1,55 m hoch (Christ, 2020). Somit sind Kinder zunehmend später hinter Fahrzeugen sichtbar, da sie erst mit etwa zwölf bis 12,5 Jahren eine durchschnittliche Körpergröße von 1,55 m erreichen (Neuhauser et al., 2013).

Die Entwicklung von Fähigkeiten hinsichtlich des Bewegungsverhaltens scheint individuell sehr verschieden zu sein (Uhr, 2015). Während anfänglich Bewegungsabfolgen isoliert gelernt werden, folgen die Koordination dieser isolierten Bewegungen und anschließend werden die Bewegungen in längere Bewegungsabläufe überführt (Lohaus & Vierhaus, 2015). Kinder weisen dazu einen hohen Bewegungsdrang auf (Limbourg, 2001), welcher ab einem Alter von elf bis 15 Jahren aufgrund der individuellen Einstellung zur Bewegung wieder abnehmen kann (Uhr, 2015). Kinder laufen, gehen oder hüpfen auf Gehwegen und Straßen und können daher plötzlich auf die Fahrbahn geraten (Limbourg, 1997b; Limbourg, 2001), was für Autofahrer schwierig einzuschätzen ist (Vollrath & Krems, 2011). Bis zum Alter von acht Jahren haben sie Probleme, begonnene Handlungen abubrechen (Limbourg, 2001). Ebenfalls zeigt das veränderte Freizeitverhalten von Kindern, d.h. weniger verbrachte Zeit im Freien und mehr Zeit vor dem Computer, dass dies zu einer Verschlechterung der psychomotorischen Leistungsfähigkeit von Kindern führt, was sich auch auf den Straßenverkehr auswirkt (Limbourg, 1997b; Limbourg, 2010).

Neben der Wichtigkeit der motorischen Fähigkeit wird deutlich, dass diese zudem eng mit der Wahrnehmung und der Kognition verbunden ist (Uhr, 2015). Nicht nur das reine Können, sondern auch die korrekte Einschätzung der Bewegung sowie Kenntnisse über Regeln sind für eine erfolgreiche Bewegungsausführung nötig (Uhr, 2015; Walter et al., 2013). Dabei neigen Kinder dazu, sich zu überschätzen, insbesondere bei Aktivitäten, die leicht oberhalb ihrer Fertigkeiten liegen (Uhr, 2015). Ebenfalls lassen sich Kinder leichter ablenken, wodurch ihr Verhalten beeinflusst wird (Limbourg, 1997b). Sind die notwendigen Kompetenzen vorhanden, bedeutet dies nicht, dass sie diese anwenden, da ihre Aufmerksamkeit leicht vom Relevanten abgelenkt werden kann (Gründl, 2015). Der Aspekt der Aufmerksamkeit wird daher im folgenden Abschnitt näher erläutert.

2.1.4 Aufmerksamkeit

Neben der Entwicklung der notwendigen Kompetenzen spielt die Aufmerksamkeit eine entscheidende Rolle bei einer sicheren Teilnahme am Straßenverkehr (Kröling et al., 2021; Limbourg, 1997b). Diese beeinflusst nicht nur die Wahrnehmung, sondern auch die Informationsverarbeitung und die daraus resultierenden Handlungen (Schlag et al., 2018). So ist es erforderlich, dass die Aufmerksamkeit auf ein relevantes Ziel fokussiert wird und

irrelevante Reize ausgeblendet werden (Gründl, 2015). Jedoch sind Kinder äußerst ablenkbar (Kröling et al., 2021; Tapiro et al., 2020) und richten ihre Aufmerksamkeit nicht unbedingt auf objektiv wichtige Informationen, sondern auf Informationen, die momentan interessant für sie sind (Kröling et al., 2021). Die Aufmerksamkeit ist bis zu einem Alter von vier Jahren äußerst *bottom-up* gesteuert, d.h. durch interessante äußere Reize, und erst mit etwa acht Jahren können sich Kinder auch über einen längeren Zeitraum auf relevante (Verkehrs-)Reize konzentrieren (Vollrath & Krems, 2011). Selbst ältere Kinder sind noch leicht ablenkbar, sodass sie sich nicht immer verkehrssicher verhalten.

Die Entwicklung der Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit ist erst ab einem Alter von 14 Jahren ausreichend entwickelt, dass eine sichere Teilnahme am Straßenverkehr möglich ist (Limbourg, 2001; Vollrath & Krems, 2011). Die Konzentration umfasst dabei die Aspekte *Komplexität des Reizes*, *geforderte Reaktion* und *Geübtheitsgrad* (Limbourg, 2010, S. 111). Aufgrund der Anforderungen des Straßenverkehrs und der mangelnden Erfahrung können jüngere Kinder daher kürzer die Konzentration aufrechterhalten (Limbourg, 2010). Die Fähigkeit der geteilten Aufmerksamkeit bildet sich parallel dazu aus, sodass mehrere Reize wahrgenommen werden können, aber nicht von relevanten Verkehrsreizen ablenken (Vollrath & Krems, 2011). Diese Fähigkeiten sind u.a. zur sicheren Straßenüberquerung wichtig. Tapiro et al. (2020) zeigten in ihrer Studie, dass mit der Höhe der visuellen Stimulation die Wahrscheinlichkeit steigt, dass Kinder abgelenkt werden und mehr Zeit zum Queren benötigen. Zudem variiert ihr Fokus bei höherer Ablenkbarkeit mehr. Weiterhin überqueren Kinder, die abgelenkt werden, die Straße risikoreicher (Demetre et al., 1992; Dunbar et al., 2001), z.B. auch während der Nutzung eines Mobiltelefons (Stavrinou et al., 2009), und benötigen länger, eine geeignete Querungsstelle auszuwählen (Tabibi & Pfeffer, 2003; Tabibi & Pfeffer, 2007).

2.1.5 Kognitive Funktionen

Das Verständnis der wahrgenommenen Informationen setzt vielfältige kognitive Prozesse voraus, welche sich erst nach und nach entwickeln. Wie in Kapitel 2.1 erläutert, befinden sich Kinder nach Piaget im Alter von zwei bis sieben Jahren in der Stufe des präoperativen Denkens. Das durch Egozentrismus gekennzeichnete Denken geht mit der Schwierigkeit einher, sich in die Perspektive anderer hineinzuversetzen (Lohaus & Vierhaus, 2015). Diese Fähigkeit ist jedoch notwendig, um das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmenden zu verstehen (Limbourg, 2010). In der dritten Stufe, der konkret-operativen Logik, die etwa vom siebten bis zum zwölften Lebensjahr verläuft, entwickelt sich die Fähigkeit der Perspektivenübernahme weiter (Lohaus & Vierhaus, 2015). Auch nach Selman (1984) entwickelt sich diese in verschiedenen Stufen. Zunächst können Kinder sich auf eine Perspektive konzentrieren, ehe sie verstehen, dass auch andere Personen sich in

deren Perspektive hineinversetzen können (Limbourg, 2010). Es folgt eine wechselseitige Perspektivenübernahme bis hin zu einer gesellschaftlich-symbolischen Perspektivenübernahme, die etwa im Alter von zwölf bis 15 Jahre auftritt, in der Perspektiven von Gruppen übernommen werden können, wie bspw. die Einsicht, dass in der Dunkelheit dunkel gekleidete Menschen nicht gut wahrgenommen werden (Limbourg, 2010, S. 110). Zugehörig zur Perspektivenübernahme sind auch mentale Modelle, um das Verhalten anderer antizipieren zu können (Kröling et al., 2021). Es werden Erwartungen und Vorstellungen miteinander in Beziehung gesetzt. Das Bewusstsein, dass man nicht zwingend von einem regelkonformen Verhalten anderer ausgehen kann, entwickelt sich somit auch erst allmählich (Foot et al., 2006), was sich auch darin zeigt, dass fünf- und sechsjährige Kinder zum Großteil nicht auf den Gegenverkehr schauen, bevor sie queren (Zeedyk et al., 2002).

Eng verbunden mit der Fähigkeit zur Perspektivenübernahme ist das Gefahrenbewusstsein, welches von Horswill und McKenna (2004, S. 156) als ein Situationsbewusstsein für potentiell gefährliche Situationen im Straßenverkehr bezeichnet wird. Das Gefahrenbewusstsein entwickelt sich dabei graduell. Limbourg (1997a) identifiziert hier drei Stufen. Die erste Stufe ist die des akuten Gefahrenbewusstseins. Die Kinder sind in der Lage, gefährliche Situationen zu erkennen, allerdings erst dann, wenn sie bereits in der gefährlichen Situation sind, z.B. beim Fahrradfahren auf einem steilen Berghang. Die zweite Stufe beschreibt das antizipatorische, vorausschauende Gefahrenbewusstsein, in der Kinder lernen, gefährliche Situationen vorherzusehen. Die letzte Stufe ist das Präventionsbewusstsein. In dieser Stufe können Kinder bewusst Gefahren vermeiden, indem sie präventive Verhaltensmaßnahmen anwenden, wie z.B. die Wahl eines längeren Weges, um die Straße sicher zu überqueren, welches sich erst ab einem Alter von etwa neun bis zehn Jahren entwickelt (Limbourg, 1997c). So zeigt auch eine Studie von Ampofo-Boateng und Thomson (1991), dass jüngere Kinder gefährliche Querungssituationen nicht gut identifizieren können und deren Urteil lediglich auf dem Vorhandensein eines Fahrzeugs basiert, nicht aber auf Verdeckungen oder komplexen Kreuzungen. Neunjährige zeigen hier bereits ein besseres Verständnis, elfjährige Kinder schätzen die Situationen gut ein.

Eng verknüpft mit dem Gefahrenbewusstsein ist das Verkehrsverständnis. Das erfordert zum einen Verkehrswissen, d.h. „die Fähigkeit zur Reproduktion von Begriffen, Regeln, Verkehrszeichen usw. aus der Welt des Verkehrs“ (Limbourg, 1995, S. 51), und zum anderen die Fähigkeit zur Abstraktion (Schützhofer et al., 2023). Solange diese noch nicht entwickelt ist, ist ein hinreichendes Regelverständnis nicht vorhanden (Schützhofer et al., 2023). Es ist daher wichtig, dass Verkehrswissen nicht mit Verkehrsverständnis gleichgesetzt wird (Schützhofer et al., 2023, S. 88). So verfügen Kindergartenkinder bereits über gutes Faktenwissen, wie bspw. der Bedeutung von Ampelfarben, die Bedeutung und das Verständnis hinter diesem Faktenwissen ist den Kindern allerdings noch nicht klar

(Schützhofer et al., 2023). Mit zunehmendem Alter steigt auch das Verkehrsverständnis an, was jedoch nicht mit einer stabilen Anwendung des Wissens einhergeht (Limbourg, 1995; Schützhofer et al., 2023). Hierzu besteht weiterer Forschungsbedarf.

Regelverständnis bedeutet weiterhin ein Verständnis von expliziten und impliziten Zeichen. Neben formalen und expliziten Zeichen, wie bspw. Verkehrszeichen oder Lichtzeichen, existieren eine Reihe von impliziten Zeichen, die zur Kommunikation und Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden beitragen, wie z.B. Blickkontakt oder das Bremsen eines Fahrzeugs vor einer Überquerung (Bluhm, 2018). Kinder müssen mit der Zeit lernen, diese impliziten Zeichen zu verstehen und zu kommunizieren, wofür u.a. Erfahrung entscheidend ist (Lee et al., 1984). Jüngere Kinder können daher Gesten und Zeichen noch nicht richtig deuten, was zu gefährlichen Situationen führen kann (Limbourg, 2001). Zudem sind sechsjährige Kinder noch nicht fähig, die Wechselbeziehung einer Kommunikation zu verstehen (Briem & Bengtsson, 2000). Es ist noch unklar, wann Kinder ein Verständnis für die implizite, meist nonverbale Kommunikation aufbauen (Kröling et al., 2021).

2.1.6 Exekutive Funktionen

Exekutive Funktionen sind ein Konstrukt bestehend aus mehreren mentalen Fähigkeiten, die an einem zielgerichteten Verhalten beteiligt sind, wie u.a. Planung, Selbstregulation oder Inhibitionskontrolle, welche aus dem präfrontalen Bereichen des Frontallappens reguliert werden (Goldstein et al., 2014). Sie ermöglichen es, mehrere Aspekte gleichzeitig zu berücksichtigen und stehen damit im Zusammenhang mit Multitaskingfähigkeiten (Kröling et al., 2021), welche für den Straßenverkehr von hoher Bedeutung sind. Eine höhere kognitive Leistungsfähigkeit steht somit im Zusammenhang mit häufigerem Schauen auf das Verkehrsgeschehen sowie einer sichereren Überquerung (Barton & Morrongiello, 2011). Es müssen bspw. bei einer Querung der beidseitige Verkehr sowie weitere Verkehrsteilnehmende und die Umgebung, in der gequert wird, beachtet, Unwichtiges ausgeblendet und die eigene Handlung geplant werden. So ist auch die Fähigkeit der Inhibition, d.h. das Unterdrücken von dominanten, automatischen Reaktionen (Uhr, 2015), immens wichtig für die Straßenverkehrsteilnahme (Dommes & Cavallo, 2011). Die Fähigkeit zur Inhibition führt auch zu stetigen Verbesserungen weiterer kognitiver Leistung, wie bspw. der selektiven Aufmerksamkeit (Uhr, 2015). Sie ist jedoch in emotionalen Situationen schwieriger beizubehalten, nicht nur bei jüngeren Kindern (Uhr, 2015).

Daneben ist auch die Planungsfähigkeit eine wichtige Komponente eines zielgerichteten Verhaltens (Uhr, 2015). „Sie beinhaltet die Fähigkeit, eine Handlung im Voraus zu entwerfen und die Aufgabe in einer organisierten, strategischen und effizienten Art und Weise anzugehen“ (Uhr, 2015, S. 21). Bis zum Alter von neun Jahren ist es für Kinder schwierig, eine sichere Querungsstelle auszumachen. Sie wählen eher die direkteste Route

anstelle der sichersten (Schieber & Thompson, 1996). Diese Fähigkeit sowie generell die exekutiven Funktionen entwickeln sich bei guten Entwicklungs- und Lernbedingungen bis in die Adoleszenz stetig weiter (Buchholz, 2018).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine Reihe von Faktoren eine Rolle spielen, wann Kinder sicher eine Straße überqueren können. Neben der Erfahrung sind vor allem kognitive Fähigkeiten sowie die Fähigkeiten der Aufmerksamkeit von hoher Bedeutung (Barton & Morrongiello, 2011). Die Entwicklung der einzelnen Fähigkeiten, aber insbesondere auch das Einbeziehen kognitiver Fähigkeiten sowie das Zusammenspiel dieser Fähigkeiten sind für ein sicheres Verkehrsverhalten notwendig (Schützhofer et al., 2017). Dies erfordert weitergehende Forschung, um für eine höhere Verkehrssicherheit von Kindern sorgen zu können.

2.2 Einflussfaktoren auf das Querungsverhalten von Kindern

Um im Straßenverkehr ans Ziel zu gelangen, sind oftmals Straßenquerungen nötig. Insbesondere diese können jedoch zu potenziell gefährlichen Situationen führen, da sie viele verschiedene Kompetenzen erfordern, welche sich, wie im vorherigen Kapitel 2.1 sowie dessen Unterkapitel erläutert, jedoch teilweise erst in der Adoleszenz voll entwickeln. Krause (2018) beschreibt dabei die folgenden fünf Teilschritte für eine Straßenquerung an ungesicherten Querungsstellen:

1. Entscheidung zur Straßenquerung
2. Herantreten an den Fahrbahnrand
3. Verkehrsüberblick verschaffen
4. Entscheidung zum Überqueren
5. Überqueren der Straße

Jeder dieser Teilschritte erfordert unterschiedliche Kompetenzen, welche alle für eine sichere Querung zusammenwirken müssen. So ist es nicht nur erforderlich, dass ein herannahendes Fahrzeug gesehen und die richtige Lücke zum Queren antizipiert wird, sondern es müssen auch das Regelverständnis bei einer bestimmten Querungsstelle sowie die nötige Impulskontrolle, z.B. beim Bedürfnis, den Bus zu erreichen, vorhanden sein (Walter et al., 2013). Es bestehen daher verschiedene Anforderungen für das sichere Queren einer Straße (Schützhofer et al., 2023). So sind z.B. für den Teilschritt 1, der *Entscheidung zur Straßenquerung*, die kognitiven Fähigkeiten der Handlungsplanung, der Aufmerksamkeit oder des räumlichen Verständnisses gefragt, wogegen bei Teilschritt 3, *Verkehrsüberblick verschaffen*, insbesondere die Wahrnehmungsgeschwindigkeit, die Aufmerksamkeit, die Gefahrenwahrnehmung und das Verkehrswissen als kognitive Fähigkeiten sowie die visuelle und auditive Wahrnehmung als sensorische Fähigkeiten benötigt werden (Schützhofer et al., 2023). Kommt es zu einer Querungsentscheidung (Teilschritt 4) wird zumeist auch die Absicht

der Querung kommuniziert, oftmals durch Schauen in die Richtung des herannahenden Fahrzeugs (Rasouli et al., 2017). Dies erfordert ebenfalls die Fähigkeit zum Perspektivenwechsel. Eine Auflistung aller Anforderungen ist bei Schützhofer et al. (2023) zu finden.

Die Straßenquerung und zunächst auch die Entscheidung zur Überquerung wird dabei von vielfältigen Faktoren beeinflusst. Zum einen spielen das Alter und das Geschlecht eine Rolle (Ezzati Amini et al., 2019; Rasouli & Tsotsos, 2020), zum anderen sind aber auch Umgebungsfaktoren, wie z.B. die Straßencharakteristik oder der Verkehrsfluss (Ezzati Amini et al., 2019; Rasouli et al., 2017; Rasouli & Tsotsos, 2020), und Faktoren des Fahrzeugs, bspw. Geschwindigkeit, Dynamiken oder Größe (Dey et al., 2019; Ezzati Amini et al., 2019; Nuñez Velasco et al., 2021), entscheidend für die Straßenquerung.

Die folgenden Unterkapitel beschreiben einige Einflussfaktoren auf das Querungsverhalten von Kindern, zusammengefasst in die Kategorien *Demografie und Persönlichkeit*, *Fahrzeug und Fahrzeugverhalten* und *Querungsumgebung*.

2.2.1 Demografie und Persönlichkeit

Im Zuge bisherigerer Forschungen zu demografischen Einflussfaktoren auf das Querungsverhalten zeigten sich altersspezifische, geschlechtsspezifische und persönlichkeitsbezogene Faktoren als kennzeichnend, welche nachfolgend näher erläutert werden.

Alter

Aufgrund des unterschiedlichen Erfahrungslevels sowie der kognitiven Fähigkeiten, wie in Kapitel 2.1 beschrieben, ist das Alter ein maßgeblicher Einflussfaktor auf das Querungsverhalten bei Kindern (Ezzati Amini et al., 2019). So weisen jüngere Kinder ein riskanteres Verkehrsverhalten als ältere Kinder oder Erwachsene auf (Barton & Schwebel, 2007; Connelly et al., 1998; O'Neal et al., 2018; Plumert et al., 2004; Simpson et al., 2003; Stafford et al., 2019; van der Meer et al., 2020; Wang et al., 2018). In einer Studie von Barton und Schwebel (2007) zeigten fünf- bis sechsjährige Kinder das gefährlichste Verhalten im Vergleich zu sieben- bis achtjährigen Kindern und Erwachsenen. Sie akzeptierten häufiger riskantere Lücken, was zu mehr Kollisionen führte. Auch die älteren Kinder hatten noch Schwierigkeiten bei der Antizipation von sicheren Querungslücken, was den Erwachsenen aufgrund der benötigten kognitiven komplexen Fähigkeiten am besten gelang. Auch O'Neal et al. (2018) konnten belegen, dass jüngere Kinder unter zwölf Jahren häufiger kleinere Lücken akzeptierten, sie daher weniger verbleibende Zeit hatten, bis das Fahrzeug ihre Position erreichte und daher mehr Kollisionen resultierten.

Auch die Initiierungszeit, d.h. der Zeitpunkt des Beginns der Querung, verbesserte sich stetig mit dem Alter. Das Erwachseneniveau wurde jedoch erst mit etwa 14 Jahren erreicht. Die geringere verbleibende Zeit sowie die spätere Initiierungszeit bei jüngeren Kindern konnte auch in weiteren Studien gefunden werden (Plumert et al., 2004; Tapiro et al., 2020). Ein Aspekt, warum riskantere Querungsentscheidungen resultieren, ist, dass sich mehr auf Distanzinformationen als auf Geschwindigkeitsinformationen verlassen wird (Connelly et al., 1998). Jedoch verlassen sich nicht nur Kinder auf Distanzinformationen, sondern auch Erwachsene (Beggiato et al., 2017; Oxley et al., 2005; Simpson et al., 2003). Hoffmann et al. (1980) zeigten, dass alle Altersgruppen, einschließlich Erwachsener, die TTA von herannahenden Fahrzeugen unterschätzen, diese Unterschätzung jedoch mit steigendem Alter sinkt. Eine Unterschätzung der TTA im Erwachsenenalter zeigten ebenfalls Dommes und Cavallo (2011). Nichtsdestotrotz treffen Erwachsene sicherere Querungsentscheidungen (Simpson et al., 2003; Stafford et al., 2019) und berücksichtigen die verfügbare Zeitlücke (Dommes et al., 2014). Stafford et al. (2019) argumentieren, dass das unsichere Verhalten von Kindern in Querungssituationen durch ein Fehlen einer effektiven Strategie herrührt, die es erlaubt, die Eigenbewegung mit dem herannahenden Fahrzeug zu koordinieren.

Ein weiterer Aspekt zeigt sich in der Fähigkeit, die Umgebung aus Sicht eines Verkehrsteilnehmenden wahrzunehmen. Während Drei- bis Vierjährige nur ein vages Verständnis über die Gefährlichkeit im Straßenverkehr verfügen, ist dieses bei Sechsjährigen bereits vermehrt vorhanden, jedoch ist eine Wechselseitigkeit in der Kommunikation nicht bekannt, sodass sie sich bspw. an einem Fußgängerüberweg selten umsehen (Briem & Bengtsson, 2000). Jüngere Kinder zeigen geringe Fähigkeiten, Gefahren und somit auch gefährliche Überquerungsstellen zu identifizieren (Ampofo-Boateng & Thomson, 1991; Rosenbloom et al., 2008; Tabibi & Pfeffer, 2003; Tabibi & Pfeffer, 2007). Erst mit etwa zehn bis elf Jahren zeigen sich hier gute Fähigkeit ähnlich Erwachsener (Ampofo-Boateng & Thomson, 1991; Tabibi & Pfeffer, 2007). Ebenfalls verändert sich der Fokus mit dem Alter. Während jüngere Kinder mehr eine persönliche Perspektive einnehmen und dabei auf spezifische Eigenschaften, z.B. Fahrzeugattribute, achten, erlangen ältere Kinder bereits eine globalere Perspektive, indem sie Situation und Aktivität miteinander integrieren (Underwood et al., 2007). Kinder sind zudem weniger als Erwachsene in der Lage, den Fokus auch bei ablenkenden Reizen beizubehalten (Tabibi & Pfeffer, 2003; Tapiro et al., 2020) und auch die Fähigkeit, die Intentionen von Fahrern vorherzusehen, verbessert sich allmählich im Alter zwischen sieben und elf Jahren (Foot et al., 2006). Auch Oron-Gilad et al. (2011) konnten zeigen, dass Erwachsene ein größeres Gefahrenbewusstsein besitzen.

Geschlecht

Neben dem Alter scheint ebenfalls das Geschlecht das Querungsverhalten von Kindern zu beeinflussen. Einige Studien belegen, dass Mädchen sich sicherer verhalten und Jungen eher ein riskanteres Querungsverhalten zeigen (Barton & Schwebel, 2007; van der Meer et al., 2020). Diese Geschlechtsunterschiede fanden sich bei Connelly et al. (1998) lediglich bei acht- bis neunjährigen Jungen, die bei Geschwindigkeiten über 50 km/h weniger sicherere Lücken annahmen, sowie bei elf- bis zwölfjährigen Mädchen, die bei Geschwindigkeiten zwischen 51 und 60 km/h häufiger sichere Lücken akzeptierten. Hoffmann et al. (1980) zeigten, dass die Mädchen und Frauen in ihrer Studie die TTA mehr unterschätzten als die Jungen und Männer, sodass sie argumentierten, dass Frauen konservativer in ihren Entscheidungen sind und größere Zeitlücken benötigen.

Jedoch offenbaren sich auch eine Reihe von Studien, in denen keinerlei Geschlechtsunterschiede hinsichtlich kognitiver Reife (Briem & Bengtsson, 2000), der Wahrnehmung von Sicherheit und Gefahr (Ampofo-Boateng & Thomson, 1991; Tabibi & Pfeffer, 2003) oder des Querungsverhaltens (O'Neal et al., 2018; Wang et al., 2020) vorliegen. Jungen sind jedoch häufiger in Unfälle involviert als Mädchen (Cloutier et al., 2020; Koppen-Brauns, 2002), dieses könnte jedoch eher durch Temperaments- und Persönlichkeitsfaktoren, wie das Risikoverhalten, begründet sein (Cloutier et al., 2020). Underwood et al. (2007) fanden zudem heraus, dass Jungen vermehrt auf physische Umgebungsfaktoren achten, wogegen Mädchen ihre Aufmerksamkeit eher auf die Präsenz und Aktivität anderer Verkehrsteilnehmenden legen, was die höhere Unfallquote von Jungen erklären könnte.

Persönlichkeitsmerkmale

Wie bei Cloutier et al. (2020) beschrieben, könnte eine höhere Unfallhäufigkeit und damit das riskantere Verhalten von Jungen auch durch Persönlichkeitsmerkmale zustande kommen. So zeigen einige Studien, dass gewisse Persönlichkeitsmerkmale Einfluss auf das Querungsverhalten von Kindern haben. Eine geringere Inhibitionskontrolle führt zu riskanterem Fußgängerverhalten (Barton & Schwebel, 2007). Kinder mit einer höheren Inhibitionskontrolle agieren vorsichtiger an Fußgängerüberwegen, indem sie warten und am Bordstein vor der Überquerung stehen bleiben (Briem & Bengtsson, 2000). Weiterhin sind Kinder mit geringer Inhibitionskontrolle anfälliger für den Einfluss von elterlicher Beaufsichtigung, indem sie bei höherer Beaufsichtigung vorsichtiger agieren als ohne, wogegen der Einfluss bei Kindern mit höherer Inhibitionskontrolle weniger ist (Barton & Schwebel, 2007).

Ferner zeigt sich ein Einfluss der Aggressivität. Kinder mit einer, laut der Eltern, höheren Aggressionsrate zeigen ebenfalls ein riskanteres Verhalten, indem sie kleine Lücken wählen, weniger an Kreuzungen anhalten und warten, bevor sie queren (Plumert et al., 2007).

Auch das Neugierverhalten, gemessen durch Extravaganz, die Freude am Extremen, und Regellosigkeit, die Freude an Grenzüberschreitungen, beeinflussen das Querungsverhalten, indem bei jeweiliger höherer Ausprägung mehr Risikoentscheidungen getroffen werden (van der Meer et al., 2020). Wang et al. (2020) konnten zeigen, dass Kinder in einem Alter zwischen zehn und 13 Jahren mit einem geringeren Wert in Sensation Seeking häufiger sichere Querungsmöglichkeiten ausließen und längere Initiierungszeiten aufwiesen. *Sensation Seeking* beschreibt dabei das Bedürfnis nach neuen und vielfältigen Eindrücken (Häcker, 2021). Die Autoren argumentierten, dass ein hoher Wert in Sensation Seeking zu effizienteren Querungen führt, das Risiko jedoch nicht erhöht. Dies war allerdings nur in Umgebungen der Fall, in denen Fahrzeuge langsam und mit großem Abstand fahren. Zudem bemerkten sie, dass die Altersspanne hinsichtlich der kognitiven Entwicklung beachtet werden muss. Limbourg (2010) beschreibt in ihrem Bericht noch weitere Persönlichkeitsfaktoren, die einen Einfluss auf die Querungsbereitschaft haben, wie z.B. Hyperaktivität, Risikobereitschaft und Extraversion.

2.2.2 Fahrzeug und Fahrzeugverhalten

Neben der eigenen Persönlichkeit beeinflusst das herannahende Fahrzeug sowie dessen Verhalten das Querungsverhalten. Im Folgenden werden insbesondere die Fahrzeuggröße, das Fahrzeugverhalten, welches die Geschwindigkeit sowie Geschwindigkeitsänderungen einschließt, und die Richtung, aus der das Fahrzeug kommt, näher betrachtet.

Fahrzeuggröße

Dass die Fahrzeuggröße im Laufe der Jahre kontinuierlich ansteigt (Christ, 2020) hat nicht nur Einfluss auf die in Kapitel 2.1.3 beschriebene Problematik hinsichtlich der Sichtbehinderung für Kinder, sondern beeinflusst das Querungsverhalten von VRU im Allgemeinen. So zeigt sich, dass nicht nur optische TTC Informationen zur Wahrnehmung von Kollisionen ausreichen (DeLucia, 1999), sondern auch Tiefenreize, die die relative Größe eines Objektes bestimmen, Einfluss auf TTC bzw. TTA Schätzungen haben (DeLucia, 2013). Dies beschreibt den sogenannten *size-arrival effect*, der besagt, dass größere Fahrzeuge als näher und somit früher ankommend wahrgenommen werden als kleinere Fahrzeuge (DeLucia, 2013). Eine mögliche Erklärung ist, dass größere Objekte potentiell als gefährlicher wahrgenommen werden als kleinere Objekte (DeLucia, 1999). Auch Petzoldt et al. (2017) fanden Evidenz für den *size-arrival effect* für TTA Schätzungen sowie für Querungsentscheidungen. Sie beschreiben, dass die wahrgenommene Bedrohung mit der Fahrzeuggröße korreliert, was einen Einfluss auf die TTA Schätzung hat. Beggiato et al. (2017) konnten den *size-arrival effect* dagegen nur in Zusammenhang mit der TTA Schätzung

finden, sodass bei größeren Fahrzeugen ein größerer Sicherheitszuschlag angenommen werden kann. Jedoch fanden sie diesen Effekt nicht bei der Lückenakzeptanz, woraus sie schlussfolgerten, dass hier weitere Faktoren, wie bspw. Persönlichkeitsfaktoren, eine Rolle spielen. Eine Studie von van der Meer et al. (2020) untersuchte u.a. den Einfluss der Fahrzeuggröße auf die Querungsbereitschaft von Kindern. Auch sie konnten bereits bei Kindern den size-arrival effect finden. Ab einem Alter von neun Jahren scheint das Vorwissen eine Rolle zu spielen, sodass bei größeren Fahrzeugen, in diesem Fall ein Lastkraftwagen (LKW), häufiger ausgelassene Querungsmöglichkeiten und weniger Risikoentscheidungen resultierten. Hinsichtlich Fehlentscheidungen, d.h. Entscheidungen, die zu einer Kollision geführt hätten, gab es keinerlei Unterschiede. Somit ist anzunehmen, dass bereits ab dem Kindesalter, sofern Erfahrung und Vorwissen erlangt wurden, der size-arrival effect bei Querungsentscheidungen auftritt, wenngleich dieses weiterer Forschung bedarf.

Fahrzeugverhalten (Geschwindigkeit und Dynamiken)

Da selbst Erwachsene vermehrt auf Distanzinformationen als auf Geschwindigkeitsinformationen achten (Beggiato et al., 2017; Oxley et al., 2005; Simpson et al., 2003), ist anzunehmen, dass die Geschwindigkeit des Fahrzeugs einen Einfluss auf die Güte des Querungsverhaltens besitzt. So zeigt sich auch bei Erwachsenen, dass bei höherer Geschwindigkeit des Fahrzeugs die TTA zum einen größer geschätzt und zum anderen kleinere Lücken akzeptiert werden (Beggiato et al., 2017). Dies konnten auch Connelly et al. (1998) bei Kindern unter zehn Jahren feststellen, da sichere Querungsentscheidungen bei Geschwindigkeiten über 55 km/h stetig abnahmen und ab 60 km/h häufig in sehr gefährlichen Querungsentscheidungen resultierten. Lediglich elf- bis zwölfjährige Kinder waren bei diesen Geschwindigkeiten noch vermehrt in der Lage, auch sichere Querungsentscheidungen zu treffen. Dagegen zeigten van der Meer et al. (2020), dass bei 30 km/h die größte Querungsbereitschaft im Vergleich zu höheren Geschwindigkeiten bis zu 60 km/h gezeigt wurde. Dies sagt jedoch nichts über die Sicherheit einer Querung aus, da bei dieser Geschwindigkeit auch die meisten Fehl- und Risikoentscheidungen getroffen wurden. Die Geschwindigkeit des Fahrzeugs scheint jedoch erst ab neun Jahren die sicheren, befürwortenden Querungsentscheidungen zu beeinflussen (van der Meer et al., 2020). Gleichzeitig resultierten bei höheren Geschwindigkeiten mehr ausgelassene Querungsmöglichkeiten als bei 30 km/h, was ein ineffizienteres Querungsverhalten widerspiegelt (van der Meer et al., 2020). Es zeigt sich, dass die Geschwindigkeitswahl von Fahrzeugführenden mit dem Querungsverhalten von VRU korreliert und diese sich gegenseitig beeinflussen (Šucha, 2014).

Allerdings beeinflusst nicht nur die Geschwindigkeit des Fahrzeugs, sondern auch das Fahrverhalten die Querungsentscheidungen von Fußgänger:innen. Sofern ein Fahrzeug seine

Geschwindigkeit beibehält, verringert dies die Querungsbereitschaft je näher das Fahrzeug kommt (Dey et al., 2019). Sofern ein Fahrzeug allerdings abbremst, fällt die Querungsbereitschaft zunächst bis zu einer gewissen Distanz ab, in der nicht eindeutig ist, ob das Fahrzeug anhält oder nicht, ehe die Querungsbereitschaft bei nahen Distanzen wieder zunimmt, in denen Fußgänger:innen überzeugt sind, dass das Fahrzeug anhält und es sicher zum Queren ist (Dey et al., 2019). Dey et al. (2019) argumentieren, dass das Fahrverhalten implizit die Intention des Fahrzeugs bzw. des/der Fahrzeugführenden kommuniziert. Dass Abbremsungen als implizites Kommunikationssignal geeignet sind, zeigen auch weitere Studien (Ackermann et al., 2018; Ackermann et al., 2019; Madigan et al., 2023), wenngleich diese Studien mit Erwachsenen durchgeführt wurden und weitere Erkenntnisse mit Kindern nötig sind.

Fahrzeugrichtung

Ein Faktor, der bisher wenig untersucht wurde, aber dennoch Einfluss auf die Querungsentscheidung von Kindern hat, ist die Richtung, aus der das Fahrzeug kommt. Die Studie von van der Meer et al. (2020) zeigt, dass bei von rechts kommenden Fahrzeugen mehr Fehl- und Risikoentscheidungen resultieren als bei von links kommenden Fahrzeugen. Das Querungsverhalten verbessert sich links schneller als rechts, denn bereits sieben- bis achtjährige Kinder zeigten links signifikant weniger Fehlentscheidungen als rechts. Selbst ältere Kinder bis zu einem Alter von 14 Jahren zeigten rechts noch vermehrt Schwierigkeiten. Die Autoren schlussfolgerten, dass von rechts kommende Fahrzeuge eine höhere kognitive Herausforderung zu sein scheinen, da eine zweite Fahrbahn zur Risikoabschätzung, welche im Verhältnis zur eigenen Gehgeschwindigkeit gesetzt werden muss, hinzugezogen werden muss. Dies zeigt sich auch, da Kinder bei von rechts kommenden Fahrzeugen mehr Zeit für die Entscheidung benötigten als bei von links kommenden Fahrzeugen (van der Meer et al., 2020).

2.2.3 Querungsumgebung

Querungsstelle

In der Literatur wird deutlich, dass auch die Querungsstelle einen Einfluss auf das Querungsverhalten von Erwachsenen und Kindern hat. So ist bei einer freien Querung die Interaktion zwischen VRU und den Fahrzeugführenden bedeutsam, insbesondere in einem kritischen, zweideutigen Bereich, in welchem manche VRU überqueren, während andere warten. Dieser Bereich variiert jedoch je nach bereits genannten Einflussfaktoren (s. z.B. Bartels & Liers, 2014; Rasouli & Tsotsos, 2020). Es zeigt sich weiterhin, dass hier gewisse Risiken beiderseits eingegangen werden. Zum einen kreuzen viele VRU nicht auf dem kürzesten, sondern auf dem schnellsten Weg (Bartels & Liers, 2014; Gerlach et al., 2014).

Zum anderen wird Kindern, aber auch erwachsenen Fußgänger:innen oftmals trotz Bevorrechtigung nicht der Vorrang von Fahrzeugführenden gewährt (Gerlach et al., 2014; Limbourg, 1997b; Seipel, 2013). Dieser Aspekt spielt insbesondere auch bei Fußgängerüberwegen eine Rolle. Obwohl nach §26 Absatz 1 der StVO (2013) Fußgänger:innen Vorrang zu gewähren ist und Fahrzeugführende mit mäßiger Geschwindigkeit an den Fußgängerüberweg heranfahren und, wenn nötig, anhalten müssen, halten eine Vielzahl von Fahrzeugführenden nicht an Fußgängerüberwegen an, obwohl ein:e Fußgänger:in wartet (ACE Auto Club Europa e.V., 2013). Dass Fahrzeugführende nicht abbremsen oder anhalten und Fußgänger:innen nicht den gesetzlichen Vorrang gewähren, wird auch in weiteren Studien dargelegt (Limbourg, 2001; Šucha et al., 2017; Várhelyi, 1998). Das hohe Gefahrenpotential ist hierbei, dass Kinder an Fußgängerüberwegen ein Sicherheitsgefühl vermittelt wird (Michaelis, 2018; Oron-Gilad et al., 2011), wodurch sie die Straße häufig ohne Blickabsicherung (Briem & Bengtsson, 2000; Schwebel et al., 2018) oder Anhalten am Fahrbahnrand überqueren (Schwebel et al., 2018; Ortlepp, 2022) und die Anwesenheit eines Fußgängerüberweges auch zu einer höheren Querungswahrscheinlichkeit führt (Oron-Gilad et al., 2011). Auch bei Erwachsenen führt die Präsenz eines Fußgängerüberweges zu schnelleren Querungen als ohne einen Fußgängerüberweg (Madigan et al., 2023). Diese beidseitigen Fehlverhaltensweisen können dabei sowohl zu riskanten Situationen als auch zu Unfällen führen. Deshalb steht die Sicherheit von Fußgängerüberwegen oftmals auch bei Gegnern und Befürwortern zur Debatte (Ortlepp, 2013).

Laut einer Untersuchung im Auftrag der Unfallforscher der Versicherer (UDV) sind Fußgängerüberwege auf freier Strecke, sofern sie korrekt gestaltet sind, geeigneter als an Anschlussknoten, an denen Lichtsignalanlagen (LSA) vorzuziehen sind, wobei ebenfalls Mittelinseln Unfälle vorbeugen können (Ortlepp, 2022). Bei LSA erweist sich jedoch die Rotphase als entscheidender Sicherheitsfaktor. So steigt die Anzahl an Rotlichtmissachtungen bei längeren Wartezeiten an, insbesondere wenn sich diese in der Nähe von ÖPNV- (Öffentlicher Personen- und Nahverkehr) Haltestellen befinden, wogegen diese bei kurzer Anforderungsdauer gut angenommen werden (Gerlach et al., 2014). Rotlichtmissachtungen führen dabei zu höheren Querungsgeschwindigkeiten (Bartels & Liers, 2014) und sind häufig Gründe für Unfälle an LSA (Ortlepp, 2022). Insbesondere sollte die Wartezeit bei Kindern nicht zu lang ausfallen, da diese über weniger Geduld verfügen (Limbourg, 2001). Dieser Aspekt sowie das generelle Verhalten von Kindern an LSA wurden bislang jedoch nicht hinreichend betrachtet, weswegen sie weiterer Forschung bedürfen.

Umgebungsfaktoren

Neben der Querungsstelle spielen weitere Umgebungsfaktoren eine Rolle bei der Querungsentscheidung. Insbesondere bei freien Querungsstellen beeinflusst die Verkehrsdichte die Querungsentscheidung (Šucha et al., 2017). Eine höhere Verkehrsdichte führt dazu, dass kürzere Zeitlücken genutzt werden, was demnach zu riskanteren Querungen führen kann (Barton & Morrongiello, 2011; Ezzati Amini et al., 2019; Gerlach et al., 2014). Dies kann an der längeren Wartezeit liegen (Gerlach et al., 2014), sodass eher kleinere Lücken akzeptiert werden, als bei wenig Verkehr, wenn abgewartet wird, bis das Fahrzeug passiert hat. Jedoch belegen ebenfalls Studien, dass eher riskantere Entscheidungen bei weniger dichtem Verkehr erfolgen. Dies wird mit dem größeren Einfluss der Distanz als der Geschwindigkeit auf die Querungsentscheidung begründet (Morrongiello et al., 2015; Wang et al., 2020).

Ein weiterer Faktor ist die Sicht bzw. Sichteinschränkung, welche oftmals durch parkende Fahrzeuge oder aber durch die Straßenführung, wie bspw. Kurven, entsteht. Sofern Sichtverhältnisse nicht gegeben sind, sind VRU einer höheren Gefährdung ausgesetzt (Seipel, 2013). So ist es nicht verwunderlich, dass laut eines Forschungsprojektes der UDV zum Unfallgeschehen im Zusammenhang mit Parken fast ein Fünftel aller Unfälle mit VRU in diesem Zusammenhang stehen (Schreiber, 2020). Diese Art der Sichteinschränkungen stellt insbesondere für Kinder ein hohes Gefahrenpotential dar, da es für sie schwieriger ist, die Verkehrssituation zu überblicken, da die Sicht auf annähernde Fahrzeuge eingeschränkt wird (Gerlach et al., 2014; Schwebel et al., 2012). Insbesondere jüngere Kinder machen eine gefährliche Querungsstelle lediglich von der Sichtbarkeit von annähernden Fahrzeugen aus, dabei beachten sie jedoch nicht die Unübersichtlichkeit einer Querungsstelle oder Sichthindernisse (Ampofo-Boateng & Thomson, 1991). Auch Oron-Gilad et al. (2011) belegen, dass Sieben- bis Neunjährige Sichteinschränkungen signifikant weniger hinsichtlich ihrer Querungsentscheidung erwähnten als ältere Kinder oder Erwachsene. Obwohl ohne Sichteinschränkung die Querungswahrscheinlichkeit höher war als mit Sichteinschränkung, trafen Kinder ihre Entscheidung für oder gegen eine Querung schneller bei Sichteinschränkung, was bei Erwachsenen nicht der Fall war (Oron-Gilad et al., 2011). Dies könnte auch für ein unsicheres Überquerungsverhalten bei Sichteinschränkung bei Kindern sprechen (Gerlach et al., 2014).

Ein weiterer Aspekt sind äußere Reize, die auf Kinder im Moment der Querungsentscheidung einwirken. Dies bezieht sich zum einen auf äußerliche, ablenkende Stimuli (z.B. Kinder auf einem Spielplatz oder Tiere) und zum anderen auf weitere Kinder oder Personen, mit denen die Kinder interagieren. So zeigt sich, dass Regelkenntnis nicht bedeutet, dass diese Regel konstant befolgt wird, da Kinder leicht ablenkbar sind (Gründl, 2015), sodass Kinder durch Ablenkungsreize verleitet werden, ihre bewährten Wege zu

verlassen oder die Straße ohne Absicherung betreten (Limbourg, 1995). Tapiro et al. (2020) fanden heraus, dass eine hohe visuelle Beanspruchung zwar nicht generell zu einer schlechteren Überquerungsleistung führte, was die Autoren damit begründeten, dass sich Kinder eventuell über die höhere Beanspruchung bewusst waren und deshalb ihr Verhalten anpassten. Jedoch führte dies zu einer höheren Blickdispersion, d.h. sie waren weniger in der Lage, ihren Fokus beizubehalten. Zudem ließen sie häufiger sichere Querungsmöglichkeiten aus.

Hinsichtlich der Präsenz weiterer Fußgänger:innen zeigt sich, dass dies die Querungsentscheidung beeinflusst (Rasouli & Tsotsos, 2020; Šucha et al., 2017). Fußgänger:innen sind in Gruppen weniger vorsichtig und aufmerksam und akzeptieren kleinere Lücken (Rasouli & Tsotsos, 2020). Dieser Einfluss wird auch bei Kindern beobachtet. So führt die Anwesenheit von Gleichaltrigen zu Ablenkung, einem Stören der Aufmerksamkeit (Schlag & Richter, 2018) und zu riskanterem Verkehrsverhalten (Limbourg, 1995), was auch bei Jugendlichen zutrifft (Schützhofer et al., 2017). Zudem werden die motorischen Kompetenzen, vor allem die Gehgeschwindigkeit und der Bewegungsdrang, durch Gruppen beeinflusst (Kröling et al., 2021). Eine Beeinflussung der Gehgeschwindigkeit durch Gruppen beschreiben ebenfalls Schlag und Richter (2018). So berichten bspw. auch Bartels und Liers (2014), dass die Überquerung an LSA als Gruppe, hier bei Erwachsenen, langsamer ist als alleine.

2.3 Verkehrssicherheitsmaßnahmen

Um die Unfallhäufigkeiten zu reduzieren und somit allmählich der *Vision Zero* (DVR, o.D.b) nahe zu kommen, werden verschiedene Verkehrssicherheitsmaßnahmen angewendet, welche auf verschiedene Weise das Ziel verfolgen, die Verkehrssicherheit, insbesondere auch von Kindern, zu erhöhen. Ein weitverbreiteter Ansatz ist dabei, an der Verkehrserziehung von Kindern anzusetzen. Diese sollte früh, ab etwa einem Alter von fünf Jahren, erfolgen und den jeweiligen Entwicklungsstand sowie die Lern- und Anpassungsfähigkeiten berücksichtigen (Gründl, 2015). Jedoch ist zu beachten, dass Kinder nicht beliebig benötigte Fähigkeiten erlernen können und daher auch weitere Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit erforderlich sind (Gerlach et al., 2014), was beinhaltet, dass insbesondere die Umwelt an die Bedürfnisse und Fähigkeiten von Kindern angepasst wird (Richter, 2014). Im Bereich der Verkehrssicherheitsmaßnahmen wird daher gerne von den drei „E“ gesprochen: *Education*, *Engineering* und *Enforcement* (Gründl, 2015). *Education* umfasst dabei Maßnahmen, die an der Erziehung ansetzen und auf Training, sowohl für Kinder, Jugendliche als auch für Erwachsene, oder Kommunikation, z.B. Plakatwerbung, beruhen (Gründl, 2015). *Engineering* beinhaltet Maßnahmen der Infrastruktur (z.B. geeignete LSA) und/oder des Fahrzeugs (z.B. Notbremsassistent), welche die Verkehrssicherheit erhöhen, wogegen der Bereich des

Enforcements die Maßnahmen des Gesetzgebers (z.B. Geschwindigkeitsbeschränkungen oder Gurtpflicht) inklusive der Überwachung der Einhaltung dieser Gesetze beschreibt (Gründl, 2015). Zum Teil werden diese Bereiche noch um *Economy*, das Anreizschaffen für defensives Verkehrsverhalten (Richter, 2014), wie z.B. Versicherungsprämien, die auf das Fahrverhalten beruhen, sowie *Emergency*, dem Rettungswesen (bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung, 2018), erweitert.

Im Folgenden wird auf die drei großen Maßnahmenbereiche *Education*, *Engineering* und *Enforcement* detaillierter eingegangen.

2.3.1 Verkehrserziehung und -training (Education)

Verkehrserziehung und -training kann sowohl bei den Kindern selbst als auch bei den Eltern und anderen Verkehrsteilnehmenden ansetzen, wobei hier oftmals Kinder im Fokus stehen. Dabei kann dies an das Verkehrswissen, an Verkehrsfertigkeiten (z.B. Fahrradfahren) und an Einstellungen bezogen auf den Straßenverkehr (z.B. Regeleinhalten, Verpflichtungen, faires Verhalten) ansetzen (Chaloupka et al., 2011, zitiert in Gründl, 2015). Aus der Literatur zeigt sich, dass Trainings bereits ab einem Alter von fünf Jahren geeignet sind, wenngleich in diesem Alter noch keine konstante Anwendung des Trainierten aufgrund von Ablenkbarkeit erfolgen kann (Gründl, 2015). Dabei ist es jedoch erforderlich, dass das Training kompetenzorientiert und nicht defizitorientiert verläuft (Carle & Metzen, 2018) und somit den Entwicklungsstand des Kindes (Barton & Schwebel, 2007; Carle & Metzen, 2018; Schieber & Thompson, 1996) sowie dessen Erfahrung berücksichtigt (Lee et al., 1984). In einer Studie von Thomson et al. (2005) konnte gezeigt werden, dass trainierte Kinder effektiver Querungen vollziehen und sie ihre benötigte Querungszeit besser einschätzen können. Werden Kinder durch Erwachsene angeleitet und findet dies noch im Zusammenhang mit einer Diskussion unter Gleichaltrigen statt, kann dies ebenfalls das kindliche Fußgängerverhalten verbessern (Tolmie et al., 2005). Da jüngere Kinder unzureichend in der Lage sind, gefährliche Querungssituationen zu erkennen, ist es erforderlich, dass sie dahingehend trainiert werden, welche Situationen zu vermeiden sind (Ampofo-Boateng & Thomson, 1991). Durch Training kann zudem der Fokus von kontextuellen Informationen aus der Verkehrsumwelt, wie bspw. Verkehrsschildern, hin zu mehr intentionalen Informationen durch das Fahrverhalten (z.B. Abbremsen als Zeichen der Vorrangsgewährung) verschoben werden (Foot et al., 2006). Durch das Training verbesserte sich ebenfalls die Identifizierung von sicheren Querungsmöglichkeiten sowie deren Begründung (Foot et al., 2006).

Neben dem Training sind jedoch auch die Art sowie die Dauer des Trainings für den Erfolg entscheidend. Miller et al. (2004) konnten zeigen, dass ein Unterrichtspaket, bestehend aus den Elementen *erzählen*, *zeigen*, *fragen* und *selber ausführen*, zu einer Verbesserung des Verkehrsverhaltens führte, diese Leistung jedoch wieder nachließ, als das Training

wegfiel. Generell scheinen Verhaltenstrainings im realen Straßenverkehr, bestenfalls an alltagsnahen Orten, am wirksamsten, da insbesondere jüngere Kinder noch nicht zwingend die Transferleistung auf andere Situationen erbringen können. Bücher, Spiele oder Filme erweisen sich dagegen als weniger erfolgsversprechend (Gründl, 2015). Jedoch gibt es mittlerweile vermehrt simulationsbasierte Ansätze für ein Verkehrssicherheitstraining, da diese ermöglichen, Verkehrsverhalten in sicheren und kontrollierten Kontexten zu erlernen, um diese auf andere Situationen zu übertragen, sodass eine richtige Einbettung des Trainings auch computergestützt ermöglicht (Tolmie et al., 2005). Lernmöglichkeiten durch alternative Trainingsmethoden werden auch in weiteren Untersuchungen gezeigt, z.B. via *Virtual* oder *Augmented Reality* (Bakar et al., 2011), via Tablet zur Vermittlung von Verkehrswissen (Trifunović et al., 2018) oder mittels Video oder interaktiven Computerspielen, wobei dieses weitergehende Forschung bedarf (Schwebel et al., 2012).

Der Aufbau des Trainings ist neben der Art des Trainings ebenfalls entscheidend. So sollte nicht nur das korrekte Verhalten vermittelt, sondern auch das Bewusstsein für das Verhalten und die Impulskontrolle trainiert werden (Uhr et al., 2017). Das Training sollte dabei möglichst individuell und autonomiefördernd sein (Carle & Metzen, 2018). Hier stellt sich letztlich die Frage, wer für die Durchführung der Verkehrserziehung und das Training geeignet ist. Eine Literaturreview ergab, dass schulbasiertes Training zwar Potential besitzt, sofern es gut umgesetzt ist, dieses jedoch nicht die effizienteste oder effektivste Strategie zum Trainieren der Kinder darstellt (Schwebel et al., 2012). Kinder lernen am effektivsten von Bezugspersonen, sei es explizit oder implizit durch Verhaltensweisen (Uhr et al., 2017). Diese Art des sozialen Lernens kann jedoch auch nachteilig sein, wenn unsichere Verhaltensweisen nachgeahmt werden (Gründl, 2015). Das Lernen von den Eltern kann jedoch bereits bei Fünfjährigen gut und nachhaltig sein (Thomson, 1997). Allerdings erweist sich, dass insbesondere der physische Kontakt von Kind und Elternteil und nicht nur das Begleiten für ein sicheres Verhalten notwendig sind (Morrongiello & Barton, 2009; Soole et al., 2011). Eltern neigen zudem dazu, die Fähigkeiten ihres Kindes zu überschätzen (Gründl, 2015; Morrongiello & Corbett, 2015; Soole et al., 2011), wodurch das Kind ungewollt höheren Risiken ausgesetzt sein kann (Morrongiello & Corbett, 2015). Daher ist es erforderlich, dass den Eltern das nötige Wissen um die Fähigkeiten ihres Kindes vermittelt wird, sodass eine realistischere Einschätzung erfolgt (Morrongiello & Corbett, 2015). Dieses Wissen kann durch Elternabende, Kurse oder auch Beratungen übermittelt werden (Uhr et al., 2017). Zudem gibt es eine Vielzahl von Informationsbroschüren oder Verkehrssicherheitsprogrammen, bspw. das vom Deutschen Verkehrssicherheitsrat (DVR) ins Leben gerufene „Kind und Verkehr“ (DVR, o.D.a), welches sich an Erwachsene, Eltern oder Betreuende zur Aufklärung kindlicher Verhaltensweisen wendet sowie zur Motivationsförderung, um Kinder gezielt an den Straßenverkehr heranzuführen.

Doch nicht nur die Eltern und weitere Bezugspersonen müssen mit den Fähigkeiten der Kinder vertraut werden, sondern auch andere, außenstehende Verkehrsteilnehmende, damit die Verkehrssicherheit erhöht werden kann. Dies betrifft vor allem Fahrzeugführende, aber auch Stadtplanende oder Lehrpersonen (Limbourg, 2001). Mittels geeigneter kommunikativer Mittel, wie bspw. Kommunikationskampagnen oder Aktionen, muss zum einen für die Problematiken und Verhaltensweisen von Kindern im Straßenverkehr sensibilisiert werden (Limbourg, 2001; Uhr et al., 2017) und zum anderen die Motivation gefördert werden, Gefahren zu verringern oder gar zu vermeiden, indem z.B. die Vorrangsgewährung an Fußgängerüberwegen beachtet wird oder zugelassene Geschwindigkeiten eingehalten werden (Uhr et al., 2017). Generell sollte das Verständnis der Bedürfnisse und Motive von VRU erhöht werden, um die allgemeine Verkehrssicherheit zu erhöhen (Šucha et al., 2017).

Aus der Literatur zeigt sich, dass die Verkehrserziehung zwar einen guten Ansatzpunkt zur Erhöhung der Verkehrssicherheit darstellt, jedoch muss in erster Linie durch bauliche, technische und gesetzliche Maßnahmen die Verkehrssicherheit erhöht werden, indem sich der Straßenverkehr mehr dem Menschen anpasst und weniger der Mensch an den Straßenverkehr (Gründl, 2015).

2.3.2 Gestaltung des Verkehrsraums und der Fahrzeugtechnik (Engineering)

In den Maßnahmenbereich des *Engineerings* fallen jegliche bauliche und technische Gestaltungsaspekte von Straßen oder Verkehrsknotenpunkten sowie auch Bereiche der Fahrzeugtechnik, insbesondere Fahrerassistenzsysteme (Gründl, 2015). Mit Hilfe baulicher Maßnahmen der Infrastruktur ist es möglich, langanhaltende Effekte für alle Verkehrsteilnehmende zu erzielen, sofern diese richtig umgesetzt sind. Eine Möglichkeit stellen hier Baumaßnahmen dar, die die Geschwindigkeit natürlich reduzieren und die Bremsbereitschaft erhöhen, z.B. durch Fahrbahnschwellen oder enge Fahrbahnen (Limbourg, 1995; Šucha et al., 2017). Insbesondere vor Fußgängerüberwegen können diese für eine Geschwindigkeitsreduktion sorgen (Várhelyi, 1998). Damit Fußgängerüberwege für eine erhöhte Verkehrssicherheit sorgen, müssen diese jedoch sinnvoll geplant und gestaltet sein. Dies beinhaltet eine gute Erkennbarkeit des Fußgängerüberwegs, eine gute Sichtbeziehung auf den Fußgängerüberweg sowie auf die Wartefläche, die Einhaltung der Geschwindigkeit, eine zusätzliche Beleuchtung sowie, wo es möglich ist, barrierefreie Mittelinseln (Ortlepp, 2009). Die Einhaltung von Sichtbeziehungen ist insbesondere für Kinder unvermeidbar, was oft durch parkende Fahrzeuge eingeschränkt wird. Daher sollte das Parken am Fahrbahnrand in Kreuzungsbereichen oder auf Geh- und Radwegen vermieden werden (Gerlach et al., 2014; Limbourg, 2010) bzw. könnte der Mindestabstand zu Knotenpunkten abhängig der Geschwindigkeit variieren, z.B. mindestens 10 m bis 20 m vor Kreuzungen (Schreiber, 2020).

Ebenfalls könnte das Längsparken mit Überquerungslücken durch vorgezogene Seitenräume kombiniert werden (Limbourg, 2010).

Auch bei LSA ist zu beachten, dass diese kinderfreundlich gestaltet werden, indem die Rotphase nicht zu lang ist (Gerlach et al., 2014, Limbourg, 2010) während die Grünphase ausreichend Zeit zum Überqueren bietet (Kröling et al., 2021; Limbourg, 2001; Limbourg, 2010). Weiterhin argumentiert Limbourg (2010), dass der abbiegende Verkehr nicht gleichzeitig mit dem Fußverkehr Grün haben sollte und eine Mittelinsel bei LSA für Kinder eine Schwierigkeit darstellt, weshalb die Straße möglichst ohne Unterbrechung überquert werden können sollte. Generell sollten mehr Querungsstellen mit markierten oder signalisierten Überquerungsanlagen ausgestattet werden (Dommes et al., 2014), die an die jeweiligen Erforderlichkeiten der Umgebung angepasst sind (Gerlach et al., 2014).

Infrastrukturelle Maßnahmen fördern gewünschte Verhaltensweisen, ohne dass dies einer polizeilichen Kontrolle bedarf, und sind beständig. Jedoch sind sie häufig kostenintensiv und lediglich an dem spezifischen Ort wirksam (Gründl, 2015). Dagegen sind fahrzeugtechnische Maßnahmen ortsunabhängig, wenngleich sie nur beim entsprechend ausgestatteten Fahrzeug wirken (Gründl, 2015). Jedoch können sie für eine Reduktion von Unfällen sorgen, z.B. durch AEB zur Vermeidung von Kollisionen mit plötzlich hinter parkenden Fahrzeugen hervortretenden Fußgänger:innen (Schreiber, 2020). Deshalb ist die Weiterentwicklung und Förderung von Fahrerassistenzsystemen, die zur Erhöhung der Verkehrssicherheit beitragen, und auch des automatisierten Fahrens im Verkehrssicherheitsprogramm der Bundesregierung 2021 bis 2030 zentral verankert (BMVI, 2021). Auch das Europäische Parlament fordert in seinem Bericht zu zukünftigen Forschungen der Verkehrssicherheitsarbeit, dass Fahrerassistenzsysteme, wie übersteuerbare Spurhalte- und Geschwindigkeitsassistenten, verpflichtend eingebaut werden müssen sowie, dass Fahrzeuge die Verzögerung über fahrzeugeigene Lichtsignale anzeigen (Koch, 2018).

Letzterer Aspekt spricht den Maßnahmenbereich der Verbesserung der Kommunikation zwischen Fahrzeugführenden und VRU an, der insbesondere das Übersehen sowie Fehlinterpretationen von Intentionen entgegenwirken möchte (DGVP Verkehrspsychologie, 2017). Dazu bietet die vordere Bremsleuchte (engl.: FBL) eine Möglichkeit, die Kommunikation sowohl zwischen motorisierten Verkehrsteilnehmenden als auch zwischen automatisierten Fahrzeugen und VRU zu vereinfachen. Dieses externe *Human-Machine Interface* (eHMI) macht dabei exakt dasselbe, was die Bremslichter am Heck eines Fahrzeugs auch tun: Sie zeigen die Bremsung des Fahrzeugs an (Schubert & Kirschbaum, 2018), d.h. sie leuchten gleichzeitig mit den hinteren Bremslichtern auf, sobald das Fahrzeug gebremst wird und sind deaktiviert, wenn das Fahrzeug nicht mehr gebremst wird. Dies entspricht ebenfalls den von Tabone et al. (2021) empfohlenen Ansatz, dass eHMIs

lediglich die implizite Kommunikation, wie wahrnehmbare Unterschiede in der Fahrzeuggeschwindigkeit, unterstützen. Wenngleich eHMIs oftmals in Zusammenhang mit automatisierten oder autonomen Fahrzeugen untersucht werden (z.B. Dey et al., 2020; Eisele & Petzoldt, 2022), sind einige eHMIs, wie die FBL, nicht auf automatisierte Fahrzeuge begrenzt und können somit ebenfalls einen Beitrag zur Verbesserung der Kommunikation zwischen motorisierten Verkehrsteilnehmenden und VRU und somit zur Verkehrssicherheit leisten.

Bereits in den 1920er Jahren gab es erste Überlegungen hinsichtlich einer FBL (Douglass, 1924; Pirkey, 1925). Später in den 1970er Jahren führten Post und Mortimer (1971) eine Studie zur Nützlichkeit einer FBL durch, indem sie für einen Monat private Fahrzeuge mit einer FBL ausstatteten. Anschließend wurden die Teilnehmenden nach ihrer Erfahrung und Meinung zur FBL gefragt. Ebenfalls wurde eine Kontrollgruppe, die nicht mit der FBL ausgestattet war, zum Konzept befragt. Beide Gruppen bewerteten die FBL als positiv und nützlich, insbesondere in Situationen mit schlechten Sichtbedingungen. Dennoch folgten die nächsten bekannten Studien erst wieder in den 2010er Jahren. Petzoldt et al. (2018) untersuchten die Detektion einer Abbremsung mit und ohne einer grünen FBL. Es zeigte sich, dass die FBL die Detektion von Abbremsungen vereinfachte und zudem zu konservativeren Reaktionen bei einem Ausbleiben der FBL führte. Auch Monzel et al. (2021) untersuchten die Wirkungen einer grünen FBL, jedoch als längsschnittlichen Feldversuch auf dem luftseitigen Teil des Flughafens Berlin-Tegel. Dabei wurden für 3,5 Monate etwa 100 Fahrzeuge mit einer FBL ausgestattet und die Teilnehmenden wurden nach ihrer Erfahrung gefragt. Durch die FBL stieg die wahrgenommene Sicherheit an und Teilnehmende äußerten sich positiv gegenüber der FBL, sodass angenommen wird, dass die FBL zur Erhöhung der Verkehrssicherheit sowie zur Verbesserung der Kommunikation zwischen VRU und Fahrzeugführenden beitragen kann. Zur Analyse, ob die FBL jedoch auch das Verhalten von Fußgänger:innen beeinflusst, führten Eisele und Petzoldt (2024) eine Simulationsstudie durch, bei der Teilnehmende ihre Bereitschaft zum Überqueren der Straße in Abhängigkeit verschiedener Distanzen zum annähernden Fahrzeug, welches entweder mit oder ohne einer FBL ausgestattet war, angeben sollten. Die Ergebnisse zeigen, dass, sofern das Fahrzeug bremste, die aktivierte FBL zu einer höheren Querungsbereitschaft im Vergleich zu Fahrzeugen ohne FBL führte. Sofern das Fahrzeug jedoch nicht bremste, war die Querungsbereitschaft bei inaktiver FBL geringer als bei Fahrzeugen ohne eine FBL.

Allen diesen Studien zur FBL ist jedoch gemeinsam, dass lediglich Erwachsene partizipierten und es deshalb unklar ist, wie Kinder auf eine FBL reagieren oder ob diese gar negative Auswirkungen hervorrufen würde. Deshalb ist diesbezüglich weitergehende Forschung nötig.

2.3.3 Maßnahmen des Gesetzgebers (Enforcement)

Eine weitere, erfolgreiche Maßnahme zur Erhöhung der Verkehrssicherheit sind Gesetzgebungen und Verordnungen sowie die Überwachung und Kontrolle derer Einhaltung. Nachweislich zeigen diese Maßnahmen große Wirkungen, wie bspw. die Pflicht Kinder im Fahrzeug mittels Kindersitz zu sichern, wenngleich dieser Schutz eher passiver Natur ist (Gründl, 2015). Diese Art von Maßnahmen beinhalten jedoch meist in irgendeiner Weise Einschränkungen für die Bevölkerung hinsichtlich Freiheit, Spaß und Komfort, sodass deren Akzeptanz auch aufgrund der Sanktionierung bei Verstößen oftmals trotz nachweislicher Wirkung begrenzt ist (Gründl, 2015). So wird u.a. seit längerem eine Reduzierung der Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h auf 30 km/h innerorts bzw. in Gegenden mit hoher Fußgängeraktivität empfohlen, was als eine wirksame unfallreduzierende Maßnahme gilt (Dommes et al., 2014; Gründl, 2015; Limbourg, 1995). Dennoch findet diese Forderung in der Bevölkerung wenig Anklang. So ist zur Erhöhung der Verkehrssicherheit von Kindern jedoch eine Verhaltensanpassung aller Verkehrsteilnehmenden notwendig, welche zum Teil erst durch die Überwachung und Sanktionierung, z.B. Bußgelder bei Geschwindigkeitsüberschreitungen oder Parken im Halte- und Parkverbot, gelingt (Gründl, 2015). Jedoch können auch Gesetzgebungen und Rechtsprechungen, die lediglich indirekte Auswirkungen auf den Straßenverkehr haben, zur Unfallprävention beitragen. So kann das im Jahr 2002 angehobene Alter der Haftungsgrenze von Kindern von sieben auf zehn Jahre im Zusammenhang mit Unfällen mit Kraftfahrzeugen, Schienen- oder Schwebbahnen nach BGB, § 828, Abs. 2 (2002) zu einem rücksichtsvolleren Umgang von Fahrzeugführenden mit Kindern führen (Limbourg, 2010). Für Entscheidungen politischer Maßnahmen ist es jedoch essenziell, dass die Politik mit Fachleuten und auch Wissenschaftlern kooperiert, um daten- und faktengestützt Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit zu treffen (Cloutier et al., 2020).

3. Forschungsfragen

Das folgende Kapitel fasst die übergreifenden Forschungsfragen dieser Dissertation zusammen. Das generelle Ziel dieser Dissertation war es, basierend auf der in Kapitel 2 beschriebenen theoretischen Grundlage Einflussfaktoren auf das Querungsverhalten von Kindern zu untersuchen und daraus Implikationen für die Erhöhung der Verkehrssicherheit von Kindern abzuleiten. Es sollte daher untersucht werden, wann und unter welchen Bedingungen Kinder die Signale, die sie explizit aus der Umgebung und implizit vom Verhalten anderer erhalten, verstehen und umsetzen können, um eine sichere Straßenquerung zu vollziehen. Aus diesem Grund wurde das Querungsverhalten von Kindern sowie die Einflüsse auf eine Querungsentscheidung untersucht. Dazu wurden folgende Fragestellungen analysiert:

- Was beeinflusst die Querungsentscheidung von Kindern?
- Ab welchem Alter werden bestimmte Einflussfaktoren vernachlässigt oder verstärkt einbezogen?
- Welche Kriterien sicheren Verhaltens wenden Kinder in welchem Alter an, um zu einer sicheren Querungsentscheidung zu gelangen?
- Wann ist ein Verständnis von relevanten Merkmalen einer sicheren Querung zu erwarten?
- Kann eine vordere Bremsleuchte als mögliche fahrzeugtechnische Maßnahme die Verkehrssicherheit von Kindern erhöhen?

Dafür wurden drei explorative Laborstudien mit Kindern durchgeführt, die jeweils unterschiedliche Aspekte und Einflussfaktoren auf das Querungsverhalten von Kindern betrachten. Da die Antizipation des Ankunftszeitpunktes für eine sichere Straßenquerung relevant ist (Schleinitz et al., 2015) und somit die Lückenakzeptanz zu beeinflussen scheint, wurde in der ersten Studie zunächst die Entwicklung der TTA Schätzung und der Lückenakzeptanz sowie mögliche Einflussfaktoren der Fahrzeuggeschwindigkeit und Fahrzeuggröße auf diese untersucht. Wie in Kapitel 2.2.3 erläutert, können jedoch auch Umgebungsbedingungen, wie unterschiedliche Querungsstellen oder Sichteinschränkungen, auf das Querungsverhalten von Kindern einwirken. Dieses wurde in der zweiten Studie fokussiert. Um zudem Aussagen über mögliche fahrzeugtechnische Maßnahmen zur Sicherheitserhöhung von Kindern treffen zu können, wurde in der dritten Studie die Querungsbereitschaft von Kindern in Zusammenhang mit einer FBL untersucht und deren Potential zur Erhöhung der Verkehrssicherheit diskutiert.

4. Ethik und Teilnahmevoraussetzungen

Alle folgenden Studien und verwendeten Materialien wurden durch die Ethikkommission des Instituts für Psychologie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn auf ethische Einhaltung geprüft und genehmigt. Erforderliche Genehmigungen zur Durchführung der Studien an den Schulen wurden eingeholt. Als Voraussetzung zur Teilnahme an einer Studie galten jeweils eine schriftliche Einverständniserklärung und Einwilligungserklärung zum Datenschutz eines Erziehungsberechtigten sowie das mündliche Einverständnis des teilnehmenden Kindes.

5. Studie I

Die Schätzung des Ankunftszeitpunktes gilt als wichtiges Kriterium, um sicher eine Straße zu überqueren (Schleinitz et al., 2015). Dabei entwickelt sich die Fähigkeit zur Schätzung der TTA erst allmählich und ist im Zusammenhang mit Kindern bislang wenig erforscht. Die Ergebnisse von Hoffmann et al. (1980) zeigen, dass Kinder sowie auch Erwachsene die TTA unterschätzen, jedoch Kinder in einem höheren Ausmaß, sodass die Autoren schlussfolgerten, dass Kinder das Erwachseneniveau mit etwa zwölf Jahren erreichen. Jedoch nahmen neben jungen Erwachsenen lediglich Kinder bis zu einem Alter von zehn Jahren an der Studie teil. Connelly et al. (1998) untersuchten die Lückenakzeptanz, deren Ergebnisse zeigen, dass vor allem jüngere Kinder unter zehn Jahren unsichere Querungsentscheidungen trafen und diese Entscheidung vornehmlich auf der Distanzinformation beruhte. Riskantere Querungsentscheidungen bei jüngeren Kindern wurden ebenfalls in weiteren Studien belegt (O'Neal et al., 2018; Schwebel et al., 2018; van der Meer et al., 2020). Die Studie von van der Meer et al. (2020) zeigte zudem, dass Kinder bei einer gefahrenen Geschwindigkeit von 30 km/h die Straße häufiger überquerten als bei höheren Geschwindigkeiten, sogleich die Häufigkeit nichts über die Güte einer Querung aussagt. Weiterhin scheint die Fahrzeuggröße die Geschwindigkeitswahrnehmung sowie die Lückenwahl zu beeinflussen, da größere Fahrzeuge als schneller fahrend eingeschätzt werden als kleinere (Richter, 2014).

5.1 Ziel und Fragestellung

Auf Basis der bisherigen Forschung und aufgrund der wenig vorhandenen empirischen Untersuchungen zu der TTA bei Kindern, war das Ziel dieser Studie, zu untersuchen, wie Kinder die TTA einschätzen und welche Faktoren diese sowie die Lückenakzeptanz beeinflussen. Die Schätzung der TTA und die Lückenakzeptanz wurden dabei in zwei verschiedenen, nacheinander folgenden Aufgaben untersucht. Es wurde die Geschwindigkeit variiert, die entweder 20 km/h oder 30 km/h entsprach. Diese Geschwindigkeiten wurden ausgewählt, da zum einen noch keine Geschwindigkeiten unterhalb von 30 km/h im Zusammenhang mit Kindern untersucht wurden und es sich zum anderen bei dieser Studie um einen Parkplatzkontext handelt, bei dem höhere Geschwindigkeiten als 30 km/h als unrealistisch erschienen. Weiterhin wurde der Fahrzeugtyp, LKW und PKW, und somit die Fahrzeuggröße variiert. Der Fahrzeugtyp wurde bislang nicht in Zusammenhang mit der TTA Schätzung von Kindern untersucht und bedarf auch hinsichtlich der Lückenakzeptanz weiterer Betrachtung. Weiterhin wurde die objektive TTA variiert. Da eine Veränderung je nach Entwicklungsstand des Kindes zu erwarten ist, wurden verschiedene Altersgruppen von sechs bis 13 Jahren untersucht.

5.2 Methode

5.2.1 Proband:innen

An dieser Studie nahmen insgesamt 91 Kinder im Alter zwischen sechs und 13 Jahren teil, von denen 46 Mädchen und 45 Jungen waren ($M = 9.64$ Jahre, $SD = 2.05$). Die Kinder waren Schüler:innen an einer Grund- und an einer Gesamtschule. Zur Untersuchung der Veränderungen im Entwicklungsverlauf wurden die Kinder in vier Altersgruppen eingeteilt: Altersgruppe 1 umfasste 23 Kinder im Alter von sechs bis sieben Jahren (12 Mädchen, $M = 6.91$ Jahre, $SD = 0.29$), Altersgruppe 2 enthielt 21 Kinder von acht bis neun Jahren (10 Mädchen, $M = 8.76$ Jahre, $SD = 0.44$), in Altersgruppe 3 waren 23 zehn bis elf Jahre alte Kinder vertreten (14 Mädchen, $M = 10.48$ Jahre, $SD = 0.51$) und Altersgruppe 4 umfasste 24 Kinder von zwölf bis 13 Jahren (10 Mädchen, $M = 12.21$ Jahre, $SD = 0.41$). Insgesamt trugen 13.2 % der Kinder zur Korrektur der Sehfähigkeit eine Brille. Fast die Hälfte der Kinder (46.2 %) gaben an, dass in ihrer Wohngegend ein geringes Verkehrsaufkommen herrscht, wogegen 13.2 % äußerten, dass das Verkehrsaufkommen in ihrer Wohngegend hoch ist. Den Weg zur Schule bestreiten 39.6 % der Kinder zu Fuß, 9.9 % mit dem Fahrrad, 18.7 % mit dem ÖPNV und 18.7 % werden mit dem PKW zur Schule gefahren. Hier ist ersichtlich, dass der ÖPNV insbesondere von älteren Kindern genutzt wird (0 % der Altersgruppe 1, 4.8 % der Altersgruppe 2, 47.8 % der Altersgruppe 3 und 58.3 % der Altersgruppe 4), wogegen jüngere Kinder vorrangig zu Fuß unterwegs sind (56.5 % der Altersgruppe 1, 61.9% der Altersgruppe 2, 17.4 % der Altersgruppe 3 und 25.0 % der Altersgruppe 4). Dies erscheint insofern schlüssig, da Grundschulkindern häufig eine wohnortnahe Schule im direkten Einzugsgebiet besuchen. Für den Weg zur Gesamtschule müssen die Kinder hingegen weitere Strecken zurücklegen (Statista, 2022). Gleichermäßen zeigt sich auch, dass jüngere Kinder eher in Begleitung mit Freunden (34.8 % der Altersgruppe 1, 38.1 % der Altersgruppe 2) oder mit Erwachsenen (52.2 % der Altersgruppe 1, 23.8 % der Altersgruppe 2) zur Schule gehen und ältere Kinder vorwiegend allein (50.0 % der Altersgruppe 4) und nur noch selten in Begleitung Erwachsener sind (4.2 % der Altersgruppe 4). Die bisherigen negativen Erfahrungen im Straßenverkehr halten sich über alle Altersgruppen hinweg relativ niedrig (14.3 %). Die Erfahrungen mit Videospiele sind über alle Altersgruppen sehr gemischt. So gaben insgesamt 31.9 % an, keine Erfahrung zu besitzen, wogegen 13.2 % berichteten, über viel Erfahrung zu haben.

5.2.2 Design

In dieser experimentellen Studie wurden den Kindern kurze Videosequenzen aus der Sicht von Fußgänger:innen präsentiert, in denen ein von links kommendes Fahrzeug konstant eine Strecke entlangfährt. Dabei wurde nach der *Prediction Motion Task* (z.B. Tresilian, 1995) verfahren: Das Video wurde für drei Sekunden eingeblendet und anschließend ausgeblendet.

Es wurde ein 4x2x2x3-mixed Design angewendet. Dabei wurde zum einen als Zwischensubjektfaktor die Altersgruppe, wie in Kapitel 5.2.1 beschrieben, variiert. Zum anderen wurden als Innersubjektfaktoren folgende Bedingungen systematisch variiert: Der Fahrzeugtyp (LKW vs. kleiner PKW), die Geschwindigkeit (20 km/h vs. 30 km/h) und die objektive TTA gemessen vom Zeitpunkt des Ausblendens des Videos. Diese wurde jedoch nach Aufgabe variiert. Für die Aufgabe der TTA Schätzung wurde die objektive TTA auf 2 s, 3 s oder 4 s festgesetzt, d.h. das Fahrzeug benötigte nach Ausblenden des Videos noch eben diese Zeit, um die Markierung zu erreichen, die den Übergang eines Fußgängers über die Straße darstellte. Diese Variable wurde integriert, um die Schätzungen der TTA und die Ausblendzeitpunkte des Videos zu variieren. Für die Aufgabe zur Lückenakzeptanz variierte die objektive TTA zwischen 4 s, 5.5 s und 7 s. Dies ergab sich aus der Zeit, die Kinder für die Straßenquerung durchschnittlich benötigten, welche sich aus einer durchschnittlich angenommenen Gehgeschwindigkeit von Kindern (hier 1,39 m/s² (Bartels & Liers, 2014)) sowie der Streckenbreite ergab. Daraus resultierte, dass bei einer TTA von 4 s eine Straßenquerung nicht gefahrlos möglich gewesen wäre, bei 5.5 s wäre die Straßenquerung zwar möglich, jedoch riskant gewesen und bei 7 s wäre eine Querung sicher und ohne Eile möglich gewesen. Somit ergaben sich pro Aufgabe zwölf Durchgänge. Die Schätzung der TTA und die Lückenakzeptanz fungierten hierbei jeweils als abhängige Variablen (AV). Screenshots der Videosequenzen sind in Abbildung 1 zu sehen.

Abbildung 1

Screenshots der Videosequenzen



Anmerkung. Links mit einem kleinen PKW, rechts mit einem LKW.

5.2.3 Material

Die verwendeten Videos wurden 2016 im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projektes KIVI (Kooperative Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern im automatisierten Fahren), welches durch die Professur

Allgemeine und Arbeitspsychologie I der Technischen Universität Chemnitz (TU Chemnitz) durchgeführt wurde, aufgezeichnet und für diese Studie bereitgestellt. Die Videos wurden an einem Nachmittag auf einem Parkplatz der TU Chemnitz mit einer GoPro Hero 4 mit einer Full HD Auflösung von 1920x1080 Pixeln und einer Bildrate von 120 fps aufgenommen. Während der Aufnahmen wurde sichergestellt, dass sich keine weiteren bewegenden Objekte im Bild befanden sowie bei windstillem Wetter gefilmt wurde. Die Fahrzeuge fahren jeweils mit einer konstanten Geschwindigkeit von 20 km/h. Im Nachhinein wurde mittels Adobe Premiere Pro (Adobe Inc., 2020) zum einen die Geschwindigkeit für die Videos mit 30 km/h angepasst und zum anderen die Auflösung auf 1280x720 Pixel und die Bildrate auf 50 fps reduziert, um sie für die Studie nutzen zu können. Zur Gewährleistung der ganzheitlichen Kontrolle des Experiments mit randomisierter Videopräsentation, aufgabenspezifischen Instruktionen sowie zur Messung der AV wurde die Simulation mittels jsPsych 6.1.0 (Leeuw, 2015) programmiert. Die Simulation wurde den Proband:innen auf einem 27“ Quad HD Monitor präsentiert, die Eingabe der Proband:innen erfolgte mittels einer Tastatur.

5.2.4 Durchführung

Die Versuchsdurchführung fand jeweils in einem separaten Raum innerhalb der Schule unter Einhaltung der dort vorherrschenden Hygieneschutzmaßnahmen statt. Alle Kinder kamen einzeln in den Raum und wurden begrüßt. Zu Beginn wurden die Kinder kurz zu ihren demografischen Daten sowie zu verkehrsrelevanten Daten (z.B. Verkehrsaufkommen in ihrer Wohngegend und Verkehrsmittel des Schulwegs) und ihrer Erfahrung mit Videospielen befragt. Da es sich bei dieser Studie um eine Videosimulationsstudie handelt, wurde die Erfahrung mit Videospielen abgefragt, um deren mögliche Einflüsse auf die hier abgefragten Parameter zu analysieren. Danach wurde den Kindern zunächst eine von insgesamt zwei Aufgaben erläutert. Die Aufgaben fanden nacheinander in randomisierter Reihenfolge statt. Dabei bestand die Aufgabe *TTA Schätzung* darin, dass die Kinder einen Tastendruck ausführen sollten, sobald sie das Fahrzeug an der markierten Position schätzten. Bei der Aufgabe *Lückenakzeptanz* sollten die Kinder durch einen Tastendruck angeben, ob sie zum Zeitpunkt der Ausblendung des Videos die Straße sicher und ohne Eile überqueren könnten oder nicht. Dabei konnten sie entweder eine Taste für *ja* oder eine Taste für *nein* drücken. Es wurde sich für dieses Vorgehen, bei dem für beide Entscheidungen je eine Taste gedrückt werden muss, entschieden, da kein Tastendruck mit keiner Entscheidung einhergeht und so nicht hinreichend auf eine Entscheidung gegen eine Querung hinweist. Zu der entsprechenden Aufgabe wurde jeweils ein Beispiel präsentiert, bei welchem das Video nicht vollständig ausgeblendet wurde und so das Fahrzeug noch zu sehen war, damit sich die Kinder einen Eindruck verschaffen konnten. Anschließend führten die Kinder zwei Probedurchgänge durch. Daraufhin folgten die Versuchsdurchgänge in randomisierter

Reihenfolge. Nach Beendigung einer Aufgabe folgte die jeweils andere Aufgabe mit demselben Ablauf. Instruktionen wurden jeweils zur Standardisierung über alle Altersgruppen hinweg mündlich vorgetragen, jedoch wurden diese ebenfalls in Kurzformat und mit Bildern versehen auf dem Bildschirm präsentiert. Insgesamt dauerte der Versuch ungefähr zehn Minuten pro Kind. Die Kinder konnten sich als Dankeschön eine Süßigkeit aussuchen.

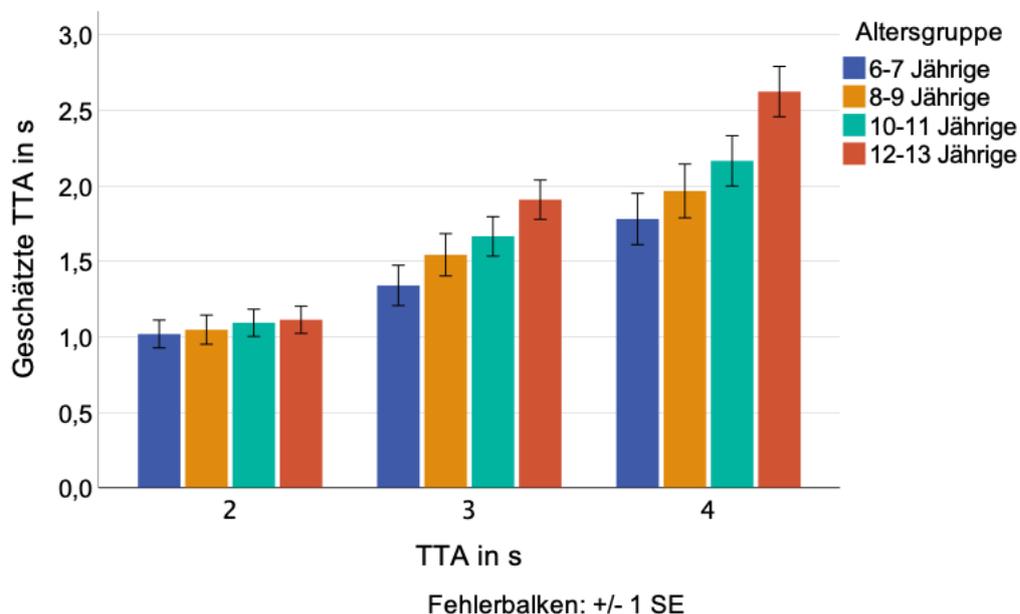
5.3 Ergebnisse

5.3.1 TTA Schätzung

Drei Proband:innen mussten von der Auswertung ausgeschlossen werden, da sie die Taste drückten, bevor das Video ausgeblendet wurde. Es wurde eine mixed ANOVA mit Messwiederholung berechnet. Mauchly's Test ergab, dass die Voraussetzung auf Sphärizität für *objektive TTA* verletzt war, weswegen hier die Huynh-Feldt korrigierten F-Statistiken, da ϵ größer als .75 war (Field, 2017), berichtet werden. Levenes Test auf Gleichheit der Varianzen, basierend auf Median, war gegeben. Die Altersgruppe fungierte als Zwischensubjektfaktor und die Geschwindigkeit, der Fahrzeugtyp sowie die objektive TTA als Innersubjektfaktoren. Es zeigten sich signifikante Haupteffekte für die Altersgruppe, $F(3, 84) = 2.97$, $p = .037$, $\eta_p^2 = .10$, für die Geschwindigkeit, $F(1, 84) = 28.53$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .25$, für den Fahrzeugtyp, $F(1,84) = 19.52$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .19$, und für die objektive TTA, $F(1.81, 152.20) = 272.30$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .76$. Die Auswertung der TTA zeigt, dass diese über alle Altersgruppen hinweg unterschätzt wurde, d.h. die Schätzungen waren konservativ. Allerdings wurden die Schätzungen mit zunehmendem Alter exakter. Der Tukey-HSD Post-Hoc Test zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Sechs- bis Siebenjährigen und den Zwölf- bis 13-Jährigen, $p = .026$, $M_{diff} = -.50$, 95%-CI [-0.96, -.04]. Zudem wurde zwischen der objektiven TTA und der Altersgruppe ein Interaktionseffekt deutlich, $F(5.15, 144.22) = 6.58$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .19$, der aussagt, dass die präzisere Schätzung bei älteren Kindern erst bei größerer objektiver TTA auftrat (s. Abbildung 2).

Abbildung 2

Geschätzte TTA getrennt nach der objektiven TTA und der Altersgruppe

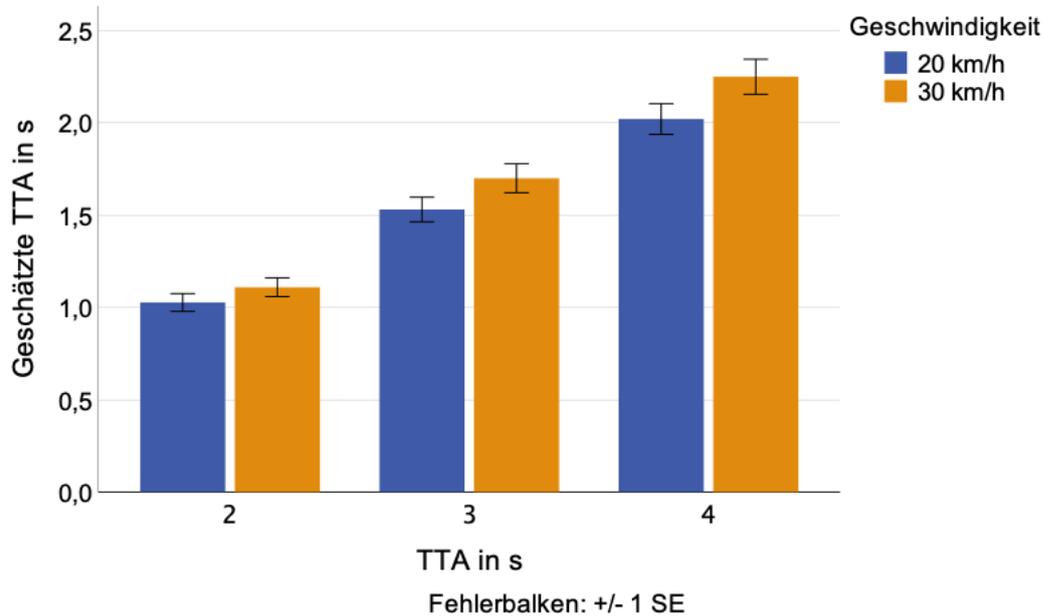


Anmerkung. Fehlerbalken repräsentieren den Standardfehler.

Hinsichtlich der Geschwindigkeit zeigte sich, dass bei 30 km/h die Schätzungen der TTA größer waren als bei 20 km/h, d.h. die Fahrzeuge, die mit 20 km/h fahren, wurden als früher ankommend geschätzt als Fahrzeuge, die mit 30 km/h fahren (s. Abbildung 3). Außerdem bewirkte ebenfalls der Fahrzeugtyp einen signifikanten Unterschied. Die TTA Schätzungen bei Durchgängen mit dem LKW waren kürzer als bei den Durchgängen mit dem kleinen PKW. Dies bedeutet, dass der LKW als früher ankommend als der kleine PKW eingeschätzt wurde, was demnach auf einen höheren Sicherheitszuschlag beim LKW hindeutet (s. Abbildung 4). Es wurden keine Geschlechtsunterschiede gefunden.

Abbildung 3

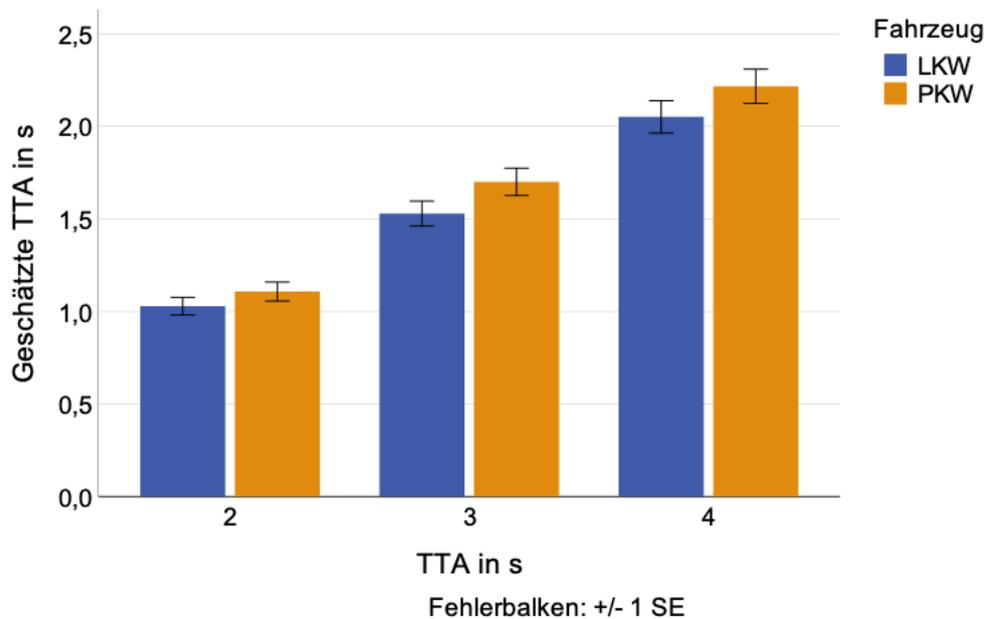
Geschätzte TTA getrennt nach der objektiven TTA und der Geschwindigkeit



Anmerkung. Fehlerbalken repräsentieren den Standardfehler.

Abbildung 4

Geschätzte TTA getrennt nach objektiver TTA und Fahrzeugtyp



Anmerkung. Fehlerbalken repräsentieren den Standardfehler.

5.3.2 Lückenakzeptanz

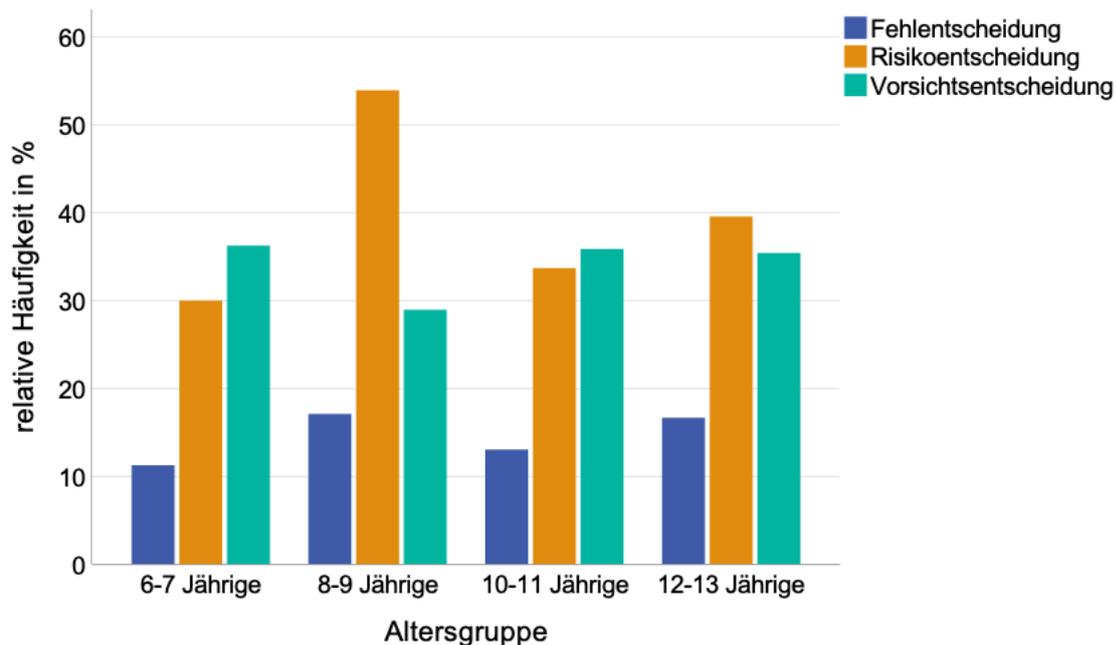
Bei dieser Aufgabe mussten fünf Proband:innen aufgrund zu frühen Tastendrucks von der Auswertung ausgeschlossen werden. Für die Auswertung wurden die Querungsentscheidungen der Proband:innen abhängig der objektiven TTA in drei verschiedene Arten unterteilt, die von van der Meer et al. (2020) adaptiert wurden: Fehlentscheidung, Risikoentscheidung und Vorsichtsentscheidung. Eine Fehlentscheidung liegt dabei vor, wenn sich für eine Querung entschieden wurde, die zu einer Kollision geführt hätte, d.h. in dieser Studie bei einer objektiven TTA von 4 s. Eine Risikoentscheidung liegt vor, wenn sich für eine Querung entschieden wurde, bei der die Zeit zwar gerade noch ausreicht, um die Straße zu queren, jedoch riskant wäre, d.h. hier bei einer objektiven TTA von 5.5 s. Eine Vorsichtsentscheidung liegt dagegen vor, wenn sich gegen eine Querung entschieden wurde, obwohl genügend Zeit für eine Querung vorhanden gewesen wäre, d.h. in dieser Studie bei einer objektiven TTA von 7 s (s. Tabelle 1).

Tabelle 1

Mögliche Entscheidungen bei der Lückenakzeptanz

Objektive TTA	Querungsentscheidung	
	dagegen	dafür
4 s	korrekt	Fehlentscheidung
5.5 s	korrekt	Risikoentscheidung
7 s	Vorsichtsentscheidung	korrekt

Mittels Chi²-Tests wurden die Einflüsse des Fahrzeugtyps, der Geschwindigkeit sowie der Altersgruppe untersucht. So zeigten sich signifikante Unterschiede bei Risikoentscheidungen zwischen den Altersgruppen, $\chi^2(3) = 10.70$, $p < .05$, $V = 0.18$, nicht aber bei Fehl- und Vorsichtsentscheidungen, $\chi^2(3) = 1.68$, $p > .05$, $V = 0.07$ bzw. $\chi^2(3) = 1.32$, $p > .05$, $V = 0.06$. Insbesondere acht- bis neunjährige Kinder trafen vermehrt Risikoentscheidungen. Jedoch zeigte sich ebenfalls, dass auch noch zwölf- bis 13-jährige Kinder vermehrt Fehl- und Risikoentscheidungen trafen (s. Abbildung 5).

Abbildung 5*Querungsentscheidung in Abhängigkeit der Altersgruppe*

Ein Vergleich der Geschwindigkeiten zeigt, dass bei 30 km/h generell mehr korrekte Befürwortungen getroffen wurden, $\chi^2(1) = 14.63$, $p < .05$, $V = 0.21$, d.h. weniger Vorsichtsentscheidungen, jedoch auch mehr Risikoentscheidungen, $\chi^2(1) = 13.83$, $p < .05$, $V = 0.20$, als bei 20 km/h (s. Abbildung 6). Bei Hinzunahme der Altersgruppen zeigte sich, dass sich hinsichtlich der Geschwindigkeiten bis zu einem Alter von elf Jahren signifikante Unterschiede bei den Risiko- und Vorsichtsentscheidungen ergaben ($p < .05$) (s. Abbildung 7). Fehlentscheidungen unterschieden sich hierbei nicht signifikant.

Abbildung 6

Querungsentscheidung in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

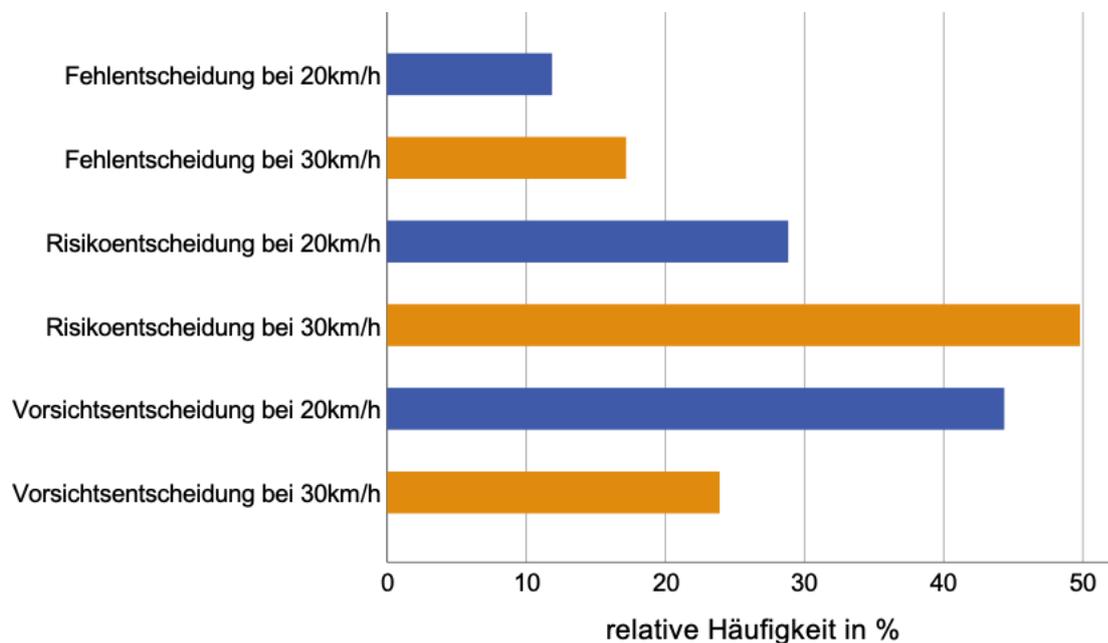
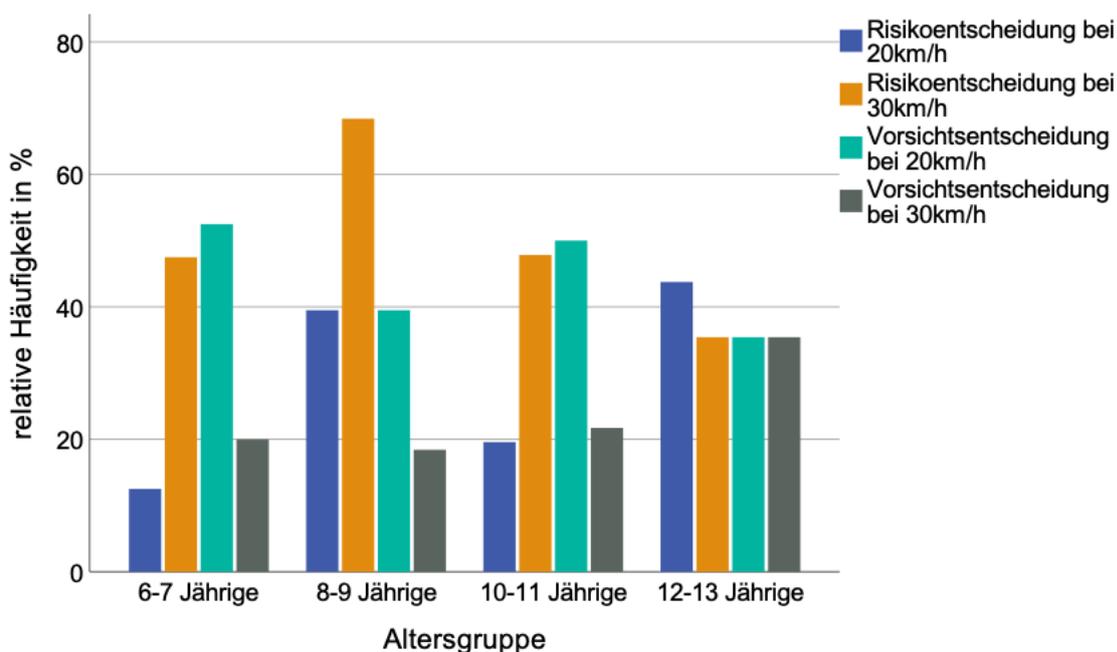


Abbildung 7

Risiko- und Vorsichtsentscheidungen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und der Altersgruppe



Weiterhin konnte ein Einfluss des Fahrzeugtyps auf die Querungsentscheidung festgestellt werden. Näherte sich ein LKW, wurden signifikant weniger Fehl- und

Risikoentscheidungen getroffen als bei der Annäherung eines kleinen PKW, $\chi^2(1) = 7.97$, $p < .05$, $V = 0.15$ bzw. $\chi^2(1) = 7.29$, $p < .05$, $V = 0.15$. Vorsichtsentscheidungen unterschieden sich jedoch nicht signifikant (s. Abbildung 8). Betrachtet man die Risikoentscheidungen differenziert nach den Altersgruppen, so zeigte sich, dass ab einem Alter von zehn Jahren signifikant weniger Risikoentscheidungen bei einem LKW als bei einem kleinen PKW getroffen wurden ($p < .05$). Fehlentscheidungen trafen Kinder ab zwölf Jahren signifikant weniger bei einem LKW als bei einem kleinen PKW ($p < .05$) (s. Abbildung 9).

Abbildung 8

Querungsentscheidung in Abhängigkeit des Fahrzeugtyps

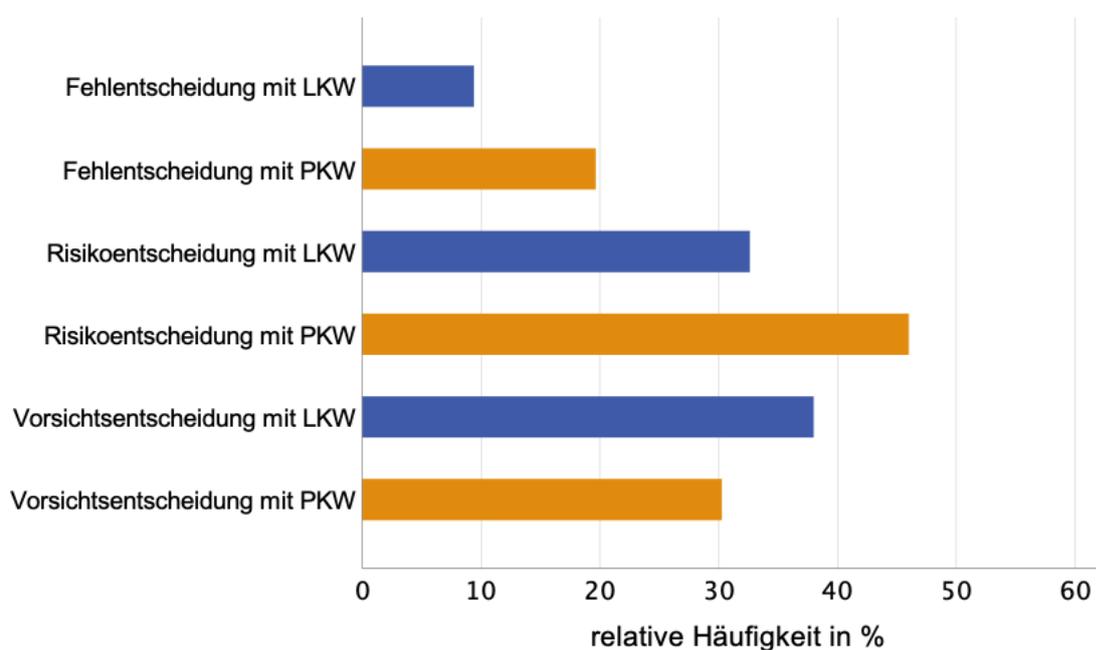
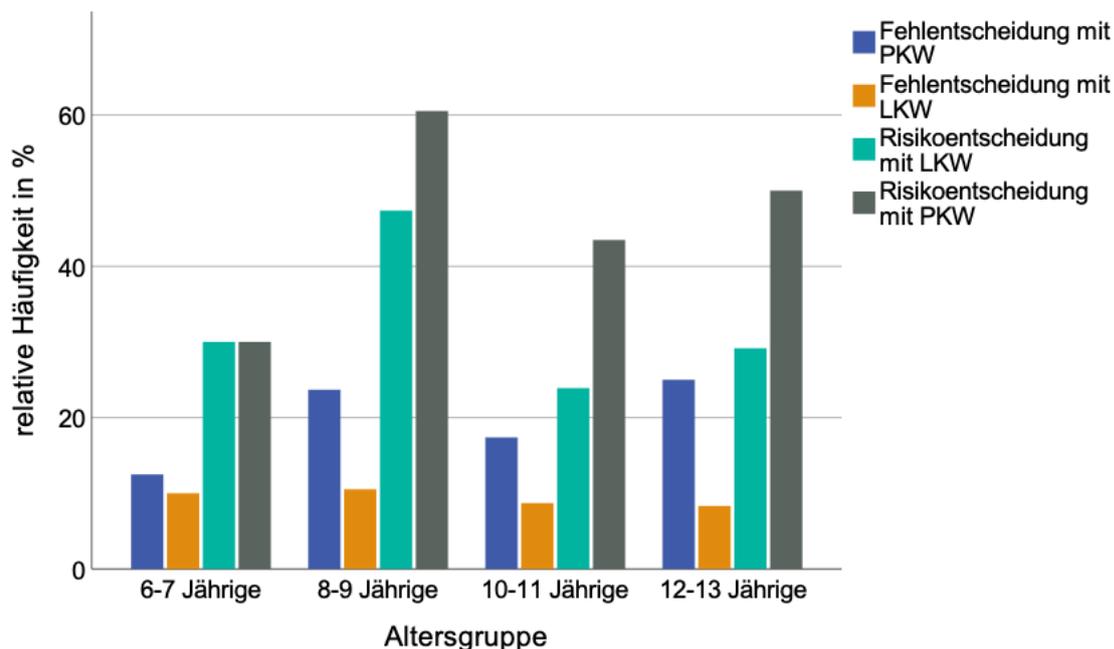


Abbildung 9

Fehl- und Risikoentscheidungen in Abhängigkeit des Fahrzeugtyps und der Altersgruppe



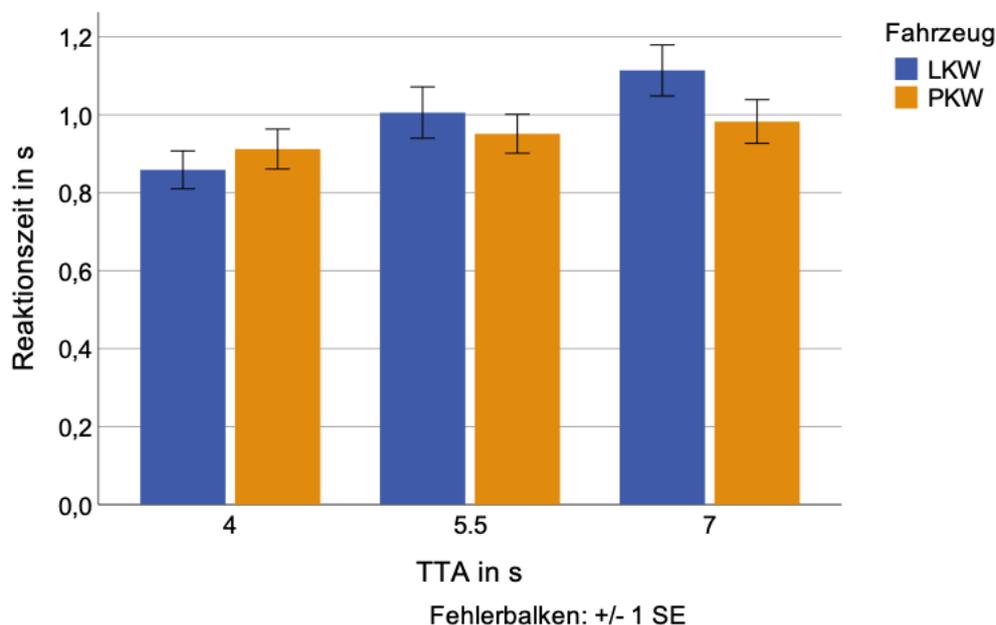
Insgesamt zeigten sich keine geschlechtsspezifischen Unterschiede. Betrachtet man das Verkehrsaufkommen in der Wohngegend, zeigten sich hier signifikante Unterschiede bei den Risikoentscheidungen, $\chi^2(2) = 7.94$, $p < .05$, $V = 0.15$, nicht aber bei den Fehl- und Vorsichtsentscheidungen. Proband:innen, die angaben, in einer Wohngegend mit hohem Verkehrsaufkommen zu wohnen, trafen signifikant mehr Risikoentscheidungen. Die Bestreitung des Schulwegs, d.h. ob Proband:innen bspw. alleine oder in Begleitung sowie zu Fuß oder mit dem ÖPNV unterwegs sind, hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Querungsentscheidung. Auch unterschied sich die Querungsentscheidung nicht signifikant in Abhängigkeit von negativen Erfahrungen im Straßenverkehr oder der Erfahrung mit Videospiele.

Zur Analyse der Reaktionszeiten bei der Lückenakzeptanz wurde eine mixed ANOVA mit Messwiederholung berechnet. Mauchly's Test ergab, dass die Voraussetzung auf Sphärizität für *objektive TTA* verletzt war, weswegen hier die Huynh-Feldt korrigierten F-Statistiken, da ϵ größer als .75 war (Field, 2017), berichtet werden. Levenes Test auf Gleichheit der Varianzen war gegeben. Es ergaben sich signifikante Haupteffekte für die Geschwindigkeit, $F(1, 77) = 6.59$, $p = .012$, $\eta_p^2 = .08$, und für die objektive TTA, $F(1.96, 150.92) = 9.89$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .11$, nicht jedoch für den Fahrzeugtyp oder die Altersgruppe. Hierbei war es unabhängig, ob die getätigte Entscheidung korrekt war oder nicht. Sofern das Fahrzeug 20 km/h fuhr, kamen die Kinder schneller zu einer Entscheidung als bei 30 km/h. Zudem offenbarte sich ein Interaktionseffekt zwischen dem Fahrzeugtyp und

der objektiven TTA, $F(2, 154) = 3,42$, $p = .035$, $\eta_p^2 = .04$, wenn auch nur mit geringer Effektstärke (s. Abbildung 10). Betrachtet man den Bonferroni-korrigierten Post-hoc Test, zeigt sich, dass bei einer objektiven TTA von 7 s ein signifikanter Unterschied zwischen LKW und PKW vorliegt, $p = .011$, $M_{\text{diff}} = 0.13$, 95%-CI[0.03, 0.23]. Somit wurde bei einer langen TTA bei einem LKW langsamer eine Entscheidung getroffen als bei einem kleinen PKW. Ebenfalls unterschieden sich die Reaktionszeiten signifikant zwischen der objektiven TTA von 4 s und 5.5 s, $p = .048$, $M_{\text{diff}} = -0.15$, 95%-CI[-0.29, -0.00], sowie zwischen 4 s und 7 s, $p < .001$, $M_{\text{diff}} = -0.26$, 95%-CI[-0.37, -0.14], dies jedoch lediglich bei einem LKW und nicht bei einem kleinen PKW. Das heißt, dass die Kinder bei Durchgängen mit einem LKW bei einer objektiven TTA von 4 s die schnellsten und bei 7 s die langsamsten Entscheidungen trafen, wogegen sich die Reaktionszeiten bei Durchgängen mit einem PKW nicht signifikant unterschieden. Somit ist der Haupteffekt der objektiven TTA hier nicht zu interpretieren. Es wurden keine geschlechtsspezifischen Unterschiede gefunden.

Abbildung 10

Reaktionszeit in Abhängigkeit des Fahrzeugtyps und der objektiven TTA



Anmerkung. Fehlerbalken repräsentieren einen Standardfehler.

Weiterhin wurden die Reaktionszeiten aller ablehnenden und aller befürwortenden Entscheidungen miteinander verglichen. Hier zeigten sich jedoch keine signifikanten Unterschiede. Beim Vergleich der Reaktionszeiten der korrekten und der inkorrekten Antworten (vgl. Tabelle 1) zeigte sich jedoch ein signifikanter Unterschied zwischen den korrekt gegebenen und den nicht korrekten Antworten, d.h. Fehl-, Risiko- oder

Vorsichtsentscheidungen, $F(1, 81) = 13.14$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .14$. Bei korrekten Antworten war die Reaktionszeit signifikant schneller ($M = 0.98$ s, $SD = 0.05$) als bei Antworten, die zu Fehl-, Risiko- oder Vorsichtsentscheidungen führten ($M = 1.19$ s, $SD = 0.08$). Obwohl die Reaktionszeiten deskriptiv mit steigendem Alter stetig abnahmen, unterschieden diese sich nicht signifikant. Ferner offenbarten sich auch keine weiteren Einflüsse.

Zusätzlich wurde analysiert, ob es einen Zusammenhang zwischen der Genauigkeit der TTA Schätzungen (Aufgabe TTA Schätzung) und der Anzahl an korrekten Angaben der Lückenakzeptanz (Aufgabe Lückenakzeptanz) gibt. Dieses konnte nicht bestätigt werden, $r = 0.07$.

5.4 Diskussion

In dieser Studie wurde die Entwicklung der TTA Schätzung sowie die Einflüsse auf diese und die Lückenakzeptanz bei Kindern verschiedener Altersgruppen untersucht. Dazu wurden zwei Aufgaben durchgeführt und jeweils die Geschwindigkeit, der Fahrzeugtyp, die objektive TTA und die Altersgruppe variiert. Bezugnehmend auf die TTA Schätzung zeigen die Ergebnisse, dass die Schätzung der TTA mit zunehmendem Alter besser, die TTA in allen Altersgruppen jedoch unterschätzt wurde. Somit ist eine konservative Schätzung erkennbar, jedoch darf diese nicht mit einer sicheren Querungsentscheidung gleichgestellt werden, da hierfür weitere Faktoren, wie u.a. die Lückenakzeptanz, mit hinzugezogen werden müssen. Bei der Analyse des Zusammenhangs zwischen der Genauigkeit der TTA Schätzung und der Anzahl korrekter Angaben bei der Lückenakzeptanz konnte keine Korrelation gefunden werden, sodass die Fähigkeit zur TTA Schätzung demnach alleine nichts über die Güte der Lückenwahl und somit über die Sicherheit einer Querung aussagt. Es scheint, dass vielmehr Distanzinformationen in die Entscheidung mit einbezogen werden. Eine Beobachtung, die sich mit der Literatur deckt (Morrongiello et al., 2016). In dieser Studie nahmen ausschließlich Kinder teil. Ein Vergleich mit der Literatur zu Schätzungen der TTA von Erwachsenen (Beggiato et al., 2017; Petzoldt, 2014) zeigt jedoch, dass Kinder bis einschließlich 13 Jahren anscheinend noch nicht das Niveau Erwachsener hinsichtlich der Schätzung der TTA erreicht haben. Somit scheint entgegen den Aussagen von Hoffmann et al. (1980) die Fähigkeit, die Informationen aus Distanz und Geschwindigkeit eines Fahrzeugs zu integrieren, mit 13 Jahren noch nicht vollständig entwickelt zu sein. Insbesondere lässt der Interaktionseffekt zwischen Altersgruppe und objektiver TTA darauf schließen, dass die Integration von Geschwindigkeits- und Distanzinformationen Zeit benötigt, sodass ältere Kinder erst bei größeren objektiven TTA bessere Schätzungen abgeben können und diese Zeit bei einer kleinen TTA nicht ausreichend ist.

Neben der Altersgruppe und der objektiven TTA erwies sich auch die Geschwindigkeit des Fahrzeugs als Einflussgröße. Fuhr das Fahrzeug mit 20 km/h wurde es unabhängig von

der Altersgruppe als schneller ankommend wahrgenommen als bei 30 km/h. Dies unterstützt die Ergebnisse von Connelly et al. (1998) und O'Neal et al. (2018), die besagen, dass Kinder vermehrt Distanzinformationen in ihre Schätzung mit einbeziehen. Ein bisher nicht untersuchter Faktor in der Untersuchung von TTA Schätzungen bei Kindern war die Variation des Fahrzeugtyps. So resultierte, dass die TTA Schätzungen beim LKW geringer waren als bei einem kleinen PKW, was bedeutet, dass der LKW als schneller ankommend wahrgenommen wurde. Dies lässt darauf schließen, dass der *size-arrival effect* bereits im Kindesalter auftritt. Dieser besagt, dass größere Fahrzeuge als näher und somit früher ankommend wahrgenommen werden als kleinere Fahrzeuge (DeLucia, 2013), was dadurch entstehen kann, dass größere Objekte als potentiell gefährlicher wahrgenommen werden als kleinere Objekte (DeLucia, 1999). Dieser Effekt tritt ebenfalls im Erwachsenenalter auf (z.B. Beggiano et al., 2017; DeLucia, 2013; Petzoldt et al., 2017).

Hinsichtlich zur Aufgabe der Lückenakzeptanz zeigte sich, dass die Altersgruppe einen Einfluss auf die Risikoentscheidung, nicht aber auf Fehl- und Vorsichtsentscheidungen hatte. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von van der Meer et al. (2020). So trafen insbesondere acht- bis neunjährige Kinder vermehrt Risikoentscheidungen. Jedoch sind auch bei älteren Kindern noch vermehrt Fehl- und Risikoentscheidungen vorgekommen, sodass nicht von einer qualitativ besseren Querung mit zunehmendem Alter ausgegangen werden kann. Die Geschwindigkeit des Fahrzeugs beeinflusste ebenfalls die Lückenakzeptanz. So hatten die Kinder, mit Ausnahme bei der kleinen Lücke (d.h. bei einer TTA von 4 s), eine höhere Bereitschaft bei 30 km/h über die Straße zu gehen als bei 20 km/h. Somit resultierten zwar weniger Vorsichtsentscheidungen, jedoch mehr Risikoentscheidungen. Die höheren Befürwortungen sagen jedoch nichts über die Sicherheit einer Querung aus. Dies lässt ebenfalls darauf schließen, dass Kinder vermehrt auf Distanzinformationen und weniger auf die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs bei ihren Querungsentscheidungen achten (Connelly et al., 1998). Bei Betrachtung der Reaktionszeiten zeigte sich, dass auch bei 20 km/h schnellere Entscheidungen als bei 30 km/h getroffen wurden, unabhängig von der Richtigkeit der Entscheidung. Dies unterstreicht abermals die Bedeutsamkeit der Distanz für die Querungsentscheidungen, sodass Kinder bei örtlich näheren Fahrzeugen, d.h. hier bei 20 km/h, schneller reagieren als bei vermeintlich weiter entfernten Fahrzeugen, hier 30 km/h, auch wenn diese zeitlich gesehen dieselbe Distanz aufweisen. Auch Morrongiello et al. (2016) fanden heraus, dass bei zunehmender Distanz zum herannahenden Fahrzeug auch die Reaktionszeit zunimmt, was einen bekannten Effekt aus der Kognitionspsychologie darstellt (van der Meer et al., 2020). Beim Einbeziehen der Altersgruppen wird jedoch deutlich, dass die signifikanten Unterschiede bei den Risiko- und Vorsichtsentscheidungen hinsichtlich der Geschwindigkeit des Fahrzeugs bei Kindern bis zu einem Alter von elf Jahren bestehen. Dies deutet darauf hin, dass Kinder ab zwölf Jahren die Geschwindigkeit besser in ihre

Entscheidung mit einfließen lassen können, sofern sie genügend Zeit zur Verfügung haben, was bei einer kurzen TTA nicht der Fall ist. Dass auch ältere Kinder erst bei größerer objektiver TTA zu besseren Schätzungen als jüngere Kinder in der Lage waren, vgl. Aufgabe der TTA Schätzung, unterstützt diesen Aspekt.

Des Weiteren erwies sich der Fahrzeugtyp als Einflussfaktor auf die Lückenakzeptanz. Die Kinder trafen signifikant weniger Fehl- und Risikoentscheidungen bei einem LKW als bei einem kleinen PKW. Demnach verhielten sie sich gegenüber einem LKW vorsichtiger als gegenüber einem kleinen PKW. Dies spricht für den Aspekt, dass kleinere Objekte die Illusion aufwerfen, dass sie weniger wahrscheinlich zu einer Kollision führen als größere (DeLucia, 1999), und somit der *size-arrival effect* unterstützt wird. Allerdings waren Fehlentscheidungen bei LKW erst bei Kindern ab zwölf Jahren signifikant weniger vorhanden und Risikoentscheidungen fielen bei Kindern ab zehn Jahren seltener. Dies spricht für den Einfluss des Vorwissens, dass von einem LKW ein vermeintlich größeres Gefährdungspotential ausgeht als von einem kleinen PKW. Da das Vorwissen bei jüngeren Kindern allerdings noch nicht so ausgeprägt ist, tritt dieser Effekt erst bei älteren Kindern auf (van der Meer et al., 2020). Dies unterstreicht, dass Erfahrung einen Einfluss auf das Verhalten im Straßenverkehr besitzt (Kröling et al., 2021). Dass bei einem LKW langsamere Entscheidungen getroffen wurden als bei einem kleinen PKW, sofern die Distanz groß war, d.h. bei einer objektiven TTA von 7 s, lässt vermuten, dass aufgrund der vermeintlich größeren Gefahr ausgehend vom größeren Fahrzeug die Entscheidungsabwägung für oder gegen eine Querung mehr Zeit benötigt, wogegen bei einem kleinen Abstand die Entscheidung bei einem LKW recht schnell fällt. Auch dieser Aspekt, längere Reaktionszeit bei größerer TTA, unterstreicht nochmals die zunehmende Reaktionszeit bei zunehmender Distanz (Morrongiello et al., 2016). Weiterhin fand sich ein signifikanter Unterschied der Reaktionszeit zwischen korrekten und nicht korrekten Entscheidungen, d.h. Fehl-, Risiko- und Vorsichtsentscheidungen. Somit wurden korrekte Entscheidungen schneller getroffen als nicht korrekte. Dies könnte mit Entscheidungsunsicherheiten und dem Aufmerksamkeitsniveau zusammenhängen. Novikov et al. (2017) zeigten in ihrer Studie mit einer auditiven Diskriminationsaufgabe, dass schnellere Reaktionszeiten mit einer geringeren Unsicherheit sowie höheren Aufmerksamkeit und langsamere Reaktionszeiten mit einer höheren Unsicherheit und geringeren Aufmerksamkeit zusammenhängen. Somit wäre es denkbar, dass bei richtigen Antworten auch eine höhere Sicherheit über die Entscheidung vorlag, wogegen bei nicht korrekten Antworten eine größere Unsicherheit gegeben war. Aufgrund der Komplexität dieser Aufgabe müsste dies jedoch in nachfolgenden Studien weiter untersucht werden, insbesondere in Zusammenhang mit Kindern und komplexen Querungsentscheidungen.

Neben diesen Befunden wurde das Verkehrsaufkommen in der Wohngegend als signifikanter Faktor auf die Lückenakzeptanz gefunden. Kinder aus Wohngegenden mit

hohem Verkehrsaufkommen trafen mehr Risikoentscheidungen. Dies deckt sich mit Befunden aus der Literatur (Barton & Morrongiello, 2011; Ezzati Amini et al., 2019). Demnach neigen Kinder bei höherem Verkehrsaufkommen dazu, kleinere Fahrzeugabstände zu akzeptieren und zeigen somit riskantere Verhaltensweisen. Wie auch bei O'Neal et al. (2018) und Wang et al. (2020) wurden in dieser Studie keinerlei geschlechtsspezifischen Unterschiede gefunden.

5.4.1 Limitationen und Ausblick

Zur Untersuchung der Fragestellungen wurde in dieser Studie eine Videosimulation genutzt, welche eine exakte Manipulation der Parameter sowie eine hohe Kontrollierbarkeit der Versuchsbedingungen zuließ. Somit waren die Kinder zu keiner Zeit Gefahren im realen Straßenverkehr ausgesetzt. Nichtsdestotrotz sind einige Limitationen im Vergleich zu einer Feldstudie nicht auszuschließen. Die unterschiedlichen Sichtfelder von Kindern abhängig ihrer tatsächlichen Größe, die im Realverkehr vorherrschenden Umgebungsbedingungen sowie das Vorhandensein einer natürlichen Umgebung, d.h. weitere Verkehrsteilnehmende, andere sich bewegende Objekte oder auch Akustik, könnten eine Änderung in der TTA Schätzung und der Lückenakzeptanz bewirken. Zudem wurden die Videos im Original mit 20 km/h aufgezeichnet und im Nachhinein für die Versuchsbedingungen mit 30 km/h angepasst. Dies könnte zu einem gewissen künstlichen Effekt geführt haben. Das verwendete *Prediction Motion Task* Paradigma ruft ebenfalls durch die Ausblendung des Videos ein künstlich erzeugtes Konstrukt hervor, welches jedoch insbesondere für die zeitliche Schätzung der TTA als notwendig erachtet wird. Zudem wurde in den Videosequenzen eine Parkplatzsituation gezeigt, sodass die Ergebnisse, insbesondere der Lückenakzeptanz, nicht bedenkenlos auf alle weiteren Infrastrukturen, wie z.B. Kurvenverläufe, Neigungen oder belebte Straßen, verallgemeinerbar sind. Nichtsdestotrotz liefern diese Ergebnisse wertvolle Hinweise, welche in zukünftigen Studien weiter konkretisiert werden müssen.

Die Studie offenbarte, dass die TTA Schätzung und die Lückenakzeptanz von mehreren Faktoren, wie der Geschwindigkeit, dem Fahrzeugtyp oder dem Alter, beeinflusst wird. Dieses sollte in zukünftigen Studien weiter erforscht werden. So wäre es bspw. von Interesse, wie die TTA bei von rechts kommenden Fahrzeugen eingeschätzt wird, da Kindern Querungsentscheidungen laut der Studie von van der Meer et al. (2020) bei von rechts kommenden Fahrzeugen schwerer fällt als bei von links kommenden Fahrzeugen. Zusätzlich sollten in zukünftigen Studien zur Untersuchung der TTA Schätzung weitere Altersgruppen, wie Jugendliche oder Erwachsene, mit einbezogen werden, um konkretere Aussagen über die Entwicklung der Fähigkeit zur Geschwindigkeits- und Distanzinformationsintegration zu erhalten. Hinsichtlich der Lückenakzeptanz sollten in zukünftigen Studien weitere Einflussfaktoren betrachtet werden. Da laut der Literatur Umgebungsfaktoren, wie bspw.

Sichteinschränkungen durch Kurven oder parkende Fahrzeuge (Gerlach et al., 2014; Schwebel et al., 2012) oder Ablenkungen (Limbourg, 1995), einen Einfluss auf das Querungsverhalten besitzen, sollten diese hinsichtlich der Lückenakzeptanz bei Kindern näher untersucht werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse dieser Studie tragen zum Verständnis bei, was Kinder in welchem Alter kognitiv leisten können und welche Faktoren sie maßgeblich bei ihrer Querungsentscheidung mit einbeziehen, um sie alters- und fähigkeitsgerecht zu fördern und für die Gefahren im Straßenverkehr zu sensibilisieren. Weiterhin ist es von hoher Bedeutung, anderen Verkehrsteilnehmenden die altersgemäßen Fähigkeiten eines Kindes zu verdeutlichen, um einer Überschätzung der kognitiven Fähigkeiten von Kindern entgegenzuwirken und so gefährliche Verkehrssituationen mit Kindern zu verringern.

6. Studie II

Neben der Demografie der Fußgänger:innen sowie der Eigenschaften und Verhaltensweisen des Fahrzeugs, wie die Geschwindigkeit oder der Fahrzeugtyp, welche in der vorherigen Studie untersucht wurden, gilt auch die Querungsumgebung als maßgeblicher Einflussfaktor auf das Querungsverhalten. Insbesondere die Querungsstelle kann unterschiedliche Verhaltensweisen hervorrufen, z.B. durch eine Sicherheitsvermittlung an Fußgängerüberwegen (Michaelis, 2018; Oron-Gilad et al., 2011), durch lange Rotphasen an LSA (Gerlach et al., 2014) oder durch eine hohe Verkehrsdichte bei Querungsstellen ohne Querungshilfen (Barton & Morrongiello, 2011; Ezzati Amini et al., 2019; Gerlach et al., 2014). Eine systematische, experimentelle Analyse des Querungsverhaltens von Kindern an verschiedenen Querungsstellen ist jedoch bisher nicht bekannt. Weiterhin stellen Sichteinschränkungen wie parkende Fahrzeuge am Fahrbahnrand oder Kurven ein Risiko für Kinder dar, zum einen wegen der schlechteren Übersicht der Verkehrssituation (Schwebel et al., 2012) und zum anderen, weil jüngere Kinder die Gefährlichkeit einer Querungssituation lediglich von der Sichtbarkeit annähernder Fahrzeuge, nicht aber von der Unübersichtlichkeit durch Sichthindernisse ausmachen (Ampofo-Boateng & Thomson, 1991). Zudem achten jüngere Kinder vermehrt auf irrelevante Reize (Tolmie et al., 2005; Barton & Morrongiello, 2011), sodass bei höherer Reizüberflutung auch mehr ausgelassene Querungsmöglichkeiten resultieren können (Tapiro et al., 2020).

6.1 Ziel und Fragestellung

Auf Basis bisheriger Forschung zum Querungsverhalten von Kindern wurde diese Simulationsstudie konzipiert, um der Frage nachzugehen, welche Umgebungsbedingungen Einfluss auf die Querungsentscheidungen von Kindern nehmen. Daher hat die Studie das Ziel, zu untersuchen, inwiefern verschiedene Querungssituationen die Entscheidung der Kinder beeinflussen und in welchem Alter welche Faktoren besonders relevant sind. Aufgrund des mangelnden experimentellen Vergleichs verschiedener Querungsstellen auf die Querungsentscheidung von Kindern ist dieser Faktor von besonderem Interesse, sodass dieser in drei Stufen variiert wurde (LSA, Fußgängerüberweg und freie Querung). Außerdem wurde die Sichteinschränkung durch An- und Abwesenheit von parkenden Fahrzeugen am Straßenrand sowie die An- und Abwesenheit einer Ablenkung variiert. Aufgrund einer erwarteten Veränderung im Entwicklungsverlauf wurden, wie bereits in Studie I, verschiedene Altersgruppen von sechs bis 13 Jahren untersucht.

6.2 Methode

6.2.1 Proband:innen

An dieser Studie nahmen insgesamt 92 Kinder teil, wovon 48 Kinder weiblich und 44 Kinder männlich waren. Die Altersspanne erstreckte sich von sechs bis 13 Jahren ($M = 9.70$ Jahre, $SD = 2.17$). Die Kinder waren Schüler:innen einer Grund- sowie einer Gesamtschule. Um die Veränderungen im Entwicklungsverlauf untersuchen zu können, wurden die Kinder in vier Altersgruppen unterteilt: Altersgruppe 1 umfasste die Sechs- bis Siebenjährigen ($n = 21$, 12 weiblich, $M = 6.86$ Jahre, $SD = 0.36$), Altersgruppe 2 beinhaltete acht- und neunjährige Kinder ($n = 28$, 15 weiblich, $M = 8.71$ Jahre, $SD = 0.46$), Altersgruppe 3 bildeten die Zehn- bis Elfjährigen ($n = 21$, 11 weiblich, $M = 10.76$ Jahre, $SD = 0.44$) und Altersgruppe 4 die zwölf- bis 13-jährigen Kinder ($n = 22$, 10 weiblich, $M = 12.64$ Jahre, $SD = 0.49$).

6.2.2 Design

In dieser Studie wurden den Proband:innen kurze Videosequenzen aus der Sicht eines wartenden Kindes präsentiert, in denen eine Einbahnstraße zu sehen war, auf welcher PKW mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h fahren. In dieser Einbahnstraße war entweder eine LSA, ein Fußgängerüberweg oder keine Querungshilfe (im Folgenden als *freie Querung* bezeichnet) installiert (s. Abbildung 11). Es wurde ein 4x3x2x2x2-mixed Design angewendet. Als Zwischenfaktor fungierte die Altersgruppe. Die Querungsstelle der Einbahnstraße (LSA, Fußgängerüberweg, freie Querung) bildete einen Innersubjektfaktor. Weiterhin wurde die Sicht in zwei Stufen variiert: freie Sicht vs. eingeschränkte Sicht. Bei der eingeschränkten Sicht waren parkende PKW auf einem Parkstreifen zu sehen, der sich auf der Seite des wartenden Kindes befand. Zusätzlich wurde das Vorhandensein einer Ablenkung (keine Ablenkung vs. Ablenkung vorhanden) in Form von sporttreibenden Jugendlichen auf der gegenüberliegenden Seite variiert. Um eine sinnvolle und realitätsnahe Abbildung, aber zugleich auch die Vergleichbarkeit zwischen den drei verschiedenen Querungsstellen gewährleisten zu können, wurde der letzte Innersubjektfaktor *Verkehr* mit je zwei Stufen an die jeweilige Querungsstelle angepasst. Bei der freien Querung wurde das Verkehrsaufkommen (mäßig vs. hoch), beim Fußgängerüberweg die Anhaltebereitschaft des ersten PKW vor dem Fußgängerüberweg (erster PKW hält an vs. hält nicht an) und bei der LSA die Länge der Rotphase für die Fußgänger:innen (10 s vs. 25 s) variiert. Somit ergaben sich 24 Videosequenzen pro Proband:in. Es wurden folgende AV erhoben:

1. Kritische Querungsentscheidung: Eine kritische Querungsentscheidung wurde in Abhängigkeit der Querungsstelle definiert. Bei einer freien Querung wurde eine Querungsentscheidung als kritisch betrachtet, wenn die TTC + 1 s kleiner oder gleich groß ist (Wang et al., 2020) wie die theoretische Querungszeit des Kindes (bei einer durchschnittlich angenommenen Gehgeschwindigkeit von 1.39 m/s (Bartels & Liers,

2014)). Bei der LSA wurde eine Querungsentscheidung als kritisch bezeichnet, wenn das Kind die Querungsentscheidung bei einem noch roten Lichtsignal für Fußgänger:innen traf. Beim Fußgängerüberweg wurde eine Querungsentscheidung als kritisch erachtet, wenn das Kind die Querungsentscheidung tätigte, obwohl der PKW nicht zum Halten kam und noch über 7 km/h fuhr (d.h. über Schrittgeschwindigkeit (*OLG Karlsruhe, Beschluss, 08. Januar 2018; Brandenburgisches Oberlandesgericht, Beschluss, 23. Mai 2005*)). Es wurde sich dafür entschieden, nicht nur Querungsentscheidungen als sicher anzusehen, bei denen der PKW vollständig zum Halten kam, denn gemäß § 26 der Straßenverkehrsordnung (StVO, 2013) müssen Fahrzeuge zu Fuß Gehenden, die den Fußgängerüberweg nutzen wollen, das Überqueren der Fahrbahn ermöglichen, indem sie mit mäßiger Geschwindigkeit an den Fußgängerüberweg heranfahren und, wenn es notwendig ist, anhalten (StVO, 2013, § 26, Abs.1, S. 2). Somit ist es nicht notwendigerweise der Fall, dass Fahrzeuge vollständig zum Stehen kommen. So beschreibt auch Várhelyi (1998) eine „ideale Interaktion“, bei der der/die Fahrer:in abbremst, wenn ein:e Fußgänger:in wartet und das Fahrzeug nahe zum Stillstand kommt (S. 741). Ebenfalls war die Querung beim Fußgängerüberweg kritisch, wenn die $TTC + 1$ s kleiner oder gleich groß war wie die theoretische Querungszeit des Kindes.

2. Initiierungszeit (nur bei freier Querung und LSA erhoben): Die Initiierungszeit wurde für die Querungsstellen freie Querung und LSA erhoben. Bei einer freien Querung wurde die Initiierungszeit als die Zeit festgelegt, die verging, bis das Kind die Querungsentscheidung angab, nachdem das Fahrzeugheck die Querungsstelle des Fußgängers überschritt (Lobjois et al., 2013). Bei der LSA wurde die Initiierungszeit als die Zeit definiert, die verging, bis das Kind die Querungsentscheidung angab, nachdem das Lichtsignal der Ampel für Fußgänger:innen auf Grün schaltete. Aufgrund der multiplen Möglichkeiten einer sicheren Querung bei Fußgängerüberwegen (s. Punkt 1: Kritische Querungsentscheidung) wurde die Initiierungszeit nicht beim Fußgängerüberweg erhoben.
3. Zeitlücke (nur bei freier Querung erhoben): Die Zeitlücke wird nur für die freie Querung erhoben und definiert sich als zeitlicher Abstand von Angabe der Querungsentscheidung bis zum Erreichen des nächsten Fahrzeugs an der Querungsstelle des Kindes.
4. Ausgelassene Querungsmöglichkeiten (nur bei freier Querung erhoben): Ausgelassene Querungsmöglichkeiten wurden ebenfalls nur für freie Querungen erhoben und sind definiert als die Anzahl der Möglichkeiten, in denen das Kind keine Querungsentscheidung traf, obwohl mindestens 1.5-Mal die Zeit zur Verfügung stand

(Wang et al., 2020), die das Kind bei einer durchschnittlich angenommenen Gehgeschwindigkeit zur sicheren Überquerung der Straße benötigt hätte.

Abbildung 11

Perspektive des wartenden Kindes am Fahrbahnrand



Anmerkung. Oben: Freie Querung ohne Ablenkung und Sichteinschränkung; Mitte: Fußgängerüberweg mit Ablenkung, ohne Sichteinschränkung; unten: LSA mit Sichteinschränkung, ohne Ablenkung.

6.2.3 Material

Die Videosequenzen wurden mittels der Software Blender (Blender Foundation, 2021) in einer Auflösung von 3840*1080 Pixeln und einer Bildrate von 30 fps erstellt. Diese Auflösung wurde gewählt, damit die Kinder zum einen Sicht auf den herannahenden Verkehr hatten und zum anderen auch die Überquerungsstelle im Blick haben konnten (s. Abbildung 11). Die Videos wurden mit Ausnahme der Variation der unabhängigen Variablen konstant gehalten. Die Perspektive war die eines Kindes mit einer Körpergröße von 1,35 m, was etwa die Durchschnittsgröße eines neunjährigen Kindes entspricht (Neuhauser et al., 2013). Zur Gewährleistung der ganzheitlichen Kontrolle des Experiments mit randomisierter Videopräsentation, aufgabenspezifischer Instruktion sowie Messung der AVs wurde die Simulation mittels jsPsych 6.1.0 (Leeuw, 2015) programmiert. Die Simulation wurde den Proband:innen auf einem 27“ Quad HD Monitor präsentiert, die Eingabe der Proband:innen erfolgte mittels einer Tastatur.

6.2.4 Durchführung

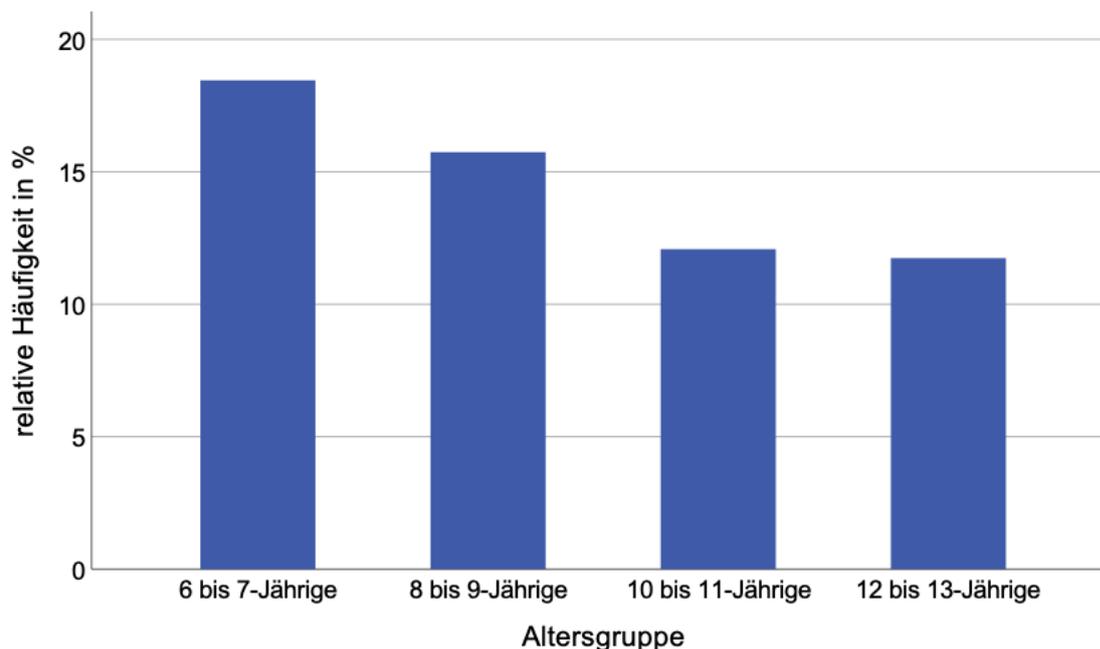
Die Versuchsdurchführung fand jeweils in einem separaten Raum innerhalb der Schule unter Einhaltung der dort vorherrschenden Hygieneschutzmaßnahmen statt. Die Kinder kamen einzeln nacheinander in den Raum und wurden begrüßt. Zu Beginn wurden die Kinder kurz zu ihren demografischen Daten befragt. Anschließend wurde ihnen die Szenerie mit den drei verschiedenen Querungsstellen (freie Querung, LSA und Fußgängerüberweg) sowie die Aufgabe erläutert. Die Aufgabe bestand darin, dass sie mittels eines Tastendrucks angeben sollten, wann sie die Straße sicher und ohne Eile überqueren können. Anschließend folgte zu jeder Querungsstelle ein Probedurchgang; somit insgesamt drei Durchgänge. Bei Bedarf konnten die Probedurchgänge wiederholt werden, ansonsten begann anschließend der Versuch mit 24 Durchgängen in randomisierter Reihenfolge. Instruktionen wurden jeweils zur Standardisierung über alle Altersgruppen hinweg mündlich vorgetragen, jedoch wurden diese ebenfalls in Kurzformat und mit Bildern versehen auf dem Bildschirm präsentiert. Insgesamt dauerte der Versuch ungefähr zehn Minuten pro Kind. Die Kinder konnten sich als Dankeschön einen Sticker aussuchen.

6.3 Ergebnisse

Es mussten aufgrund des Überspringens eines Videos zwei Proband:innen von der Analyse ausgeschlossen werden. Ein Download des Datensets ist unter <https://osf.io/wc2xd/> möglich.

6.3.1 Kritische Querungsentscheidung

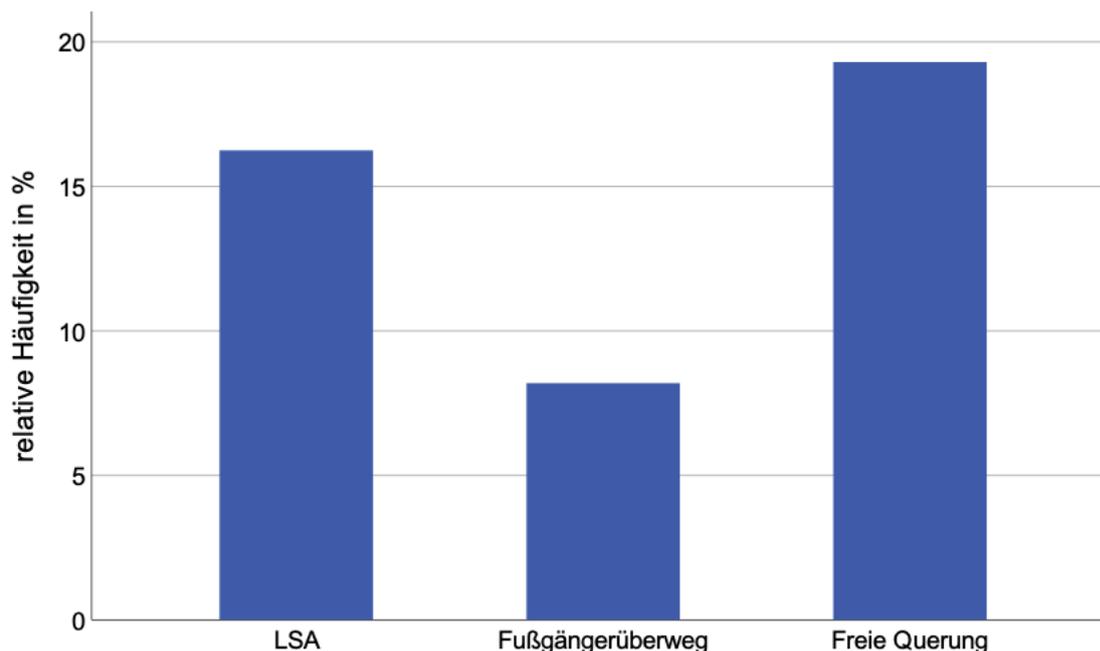
Insgesamt waren 82.04 % der getroffenen Entscheidungen sicher, 14.58 % kritisch und in 3.38 % der Fälle wurde keine Entscheidung getroffen. Bei Betrachtung der Altersgruppen zeigt sich, dass die Anzahl der kritischen Entscheidungen mit dem Alter signifikant abnahm, $\chi^2(3) = 13.96$, $p < .05$, $V = 0.08$ (s. Abbildung 12), wobei die signifikanten Unterschiede zwischen der Altersgruppe 1 und 3 sowie 1 und 4 sowie zwischen der Altersgruppe 2 und 3 sowie 2 und 4 ($p < .05$) bestanden, sodass ab einem Alter von zehn Jahren signifikant weniger kritische Entscheidungen getroffen wurden.

Abbildung 12*Kritische Entscheidungen in Abhängigkeit der Altersgruppe*

Ein Vergleich der verschiedenen Querungsstellen untereinander zeigt, dass beim Fußgängerüberweg die wenigsten kritischen Entscheidungen getroffen wurden, gefolgt von Entscheidungen an der LSA und schließlich der freien Querung, bei der die meisten kritischen Entscheidungen getroffen wurden (s. Abbildung 13). Bei der Berechnung des Chi²-Tests zeigte sich, dass dieser Unterschied signifikant war, $\chi^2(2) = 48.11$, $p < .05$, $V = 0.15$. Bei genauerer Betrachtung wurde deutlich, dass der signifikante Unterschied zwischen der freien Querung und dem Fußgängerüberweg, $\chi^2(1) = 48.59$, $p < .05$, $V = 0.19$, sowie zwischen dem Fußgängerüberweg und der LSA, $\chi^2(1) = 21.78$, $p < .05$, $V = 0.12$, nicht aber zwischen der freien Querung und der LSA, $\chi^2(1) = 6.13$, $p > .05$, $V = 0.07$, bestand.

Abbildung 13

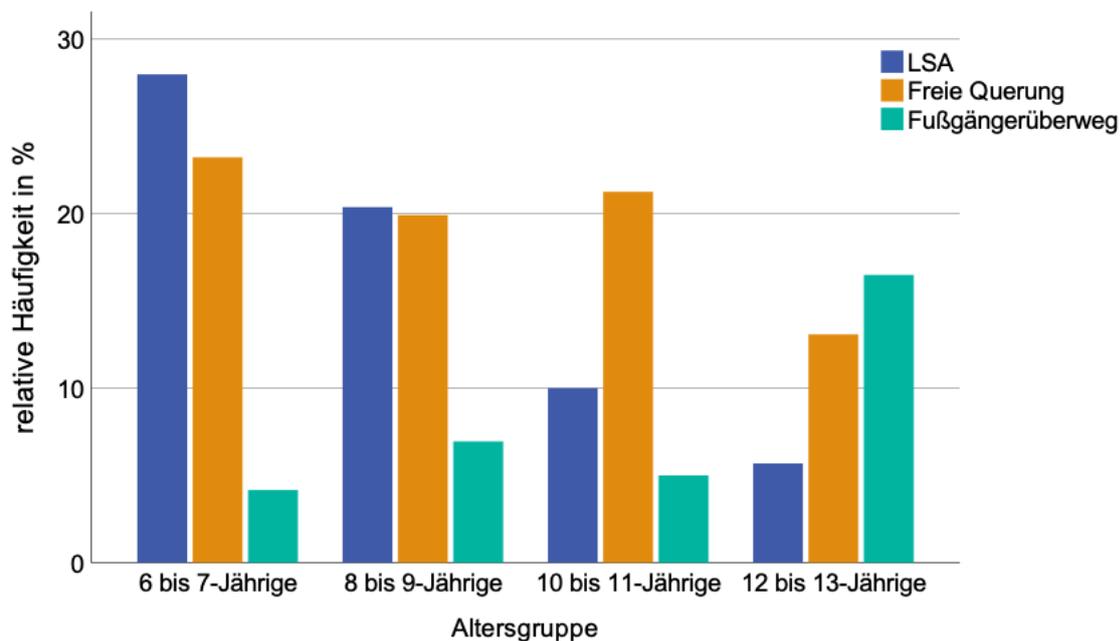
Kritische Querungsentscheidungen in Abhängigkeit der Querungsstelle



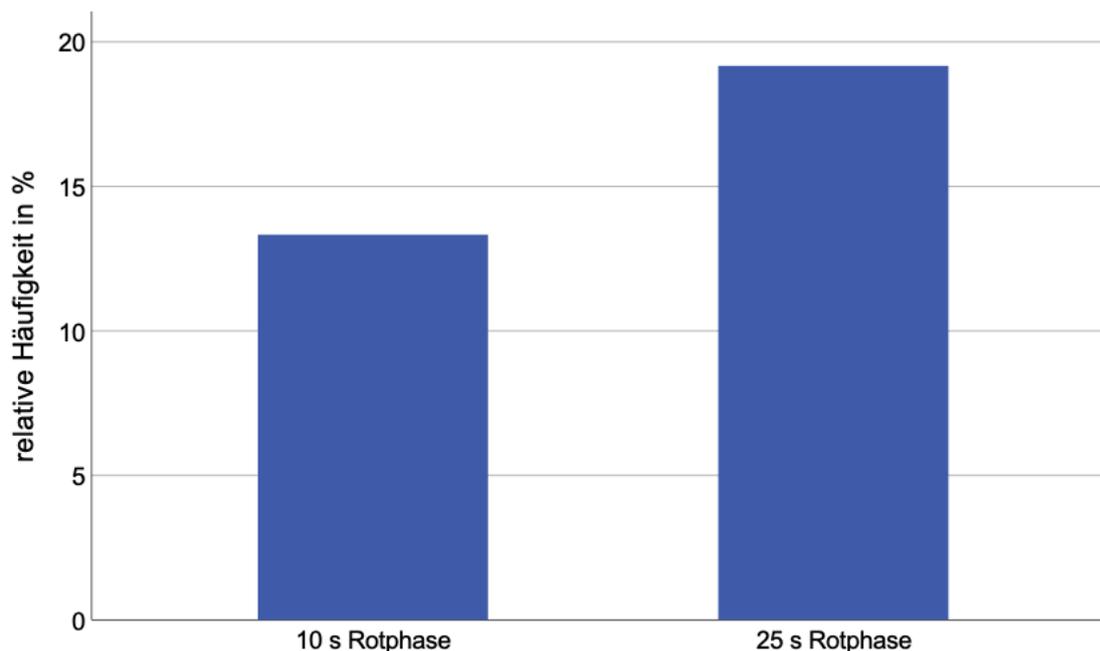
Bezieht man die Altersgruppen in die Analyse der Querungsstellen mit ein, ist in Abbildung 14 ersichtlich, dass sie sich hinsichtlich kritischer Entscheidungen signifikant unterscheiden, $\chi^2(6) = 51.82$, $p < .05$, $V = 0.29$. Es fanden sich signifikante Unterschiede hinsichtlich kritischen Querungsentscheidungen bei der LSA, $\chi^2(3) = 38.70$, $p < .05$, $V = 0.23$, sowie beim Fußgängerüberweg, $\chi^2(3) = 22.29$, $p < .05$, $V = 0.18$, nicht aber bei der freien Querung, $\chi^2(3) = 6.83$, $p > .05$, $V = 0.10$. Während jüngere Kinder (Sechs- bis Neunjährige) bei der LSA häufiger kritische Entscheidungen als ältere Kinder fällten ($p < .05$), trafen zwölf- bis 13-jährige Kinder signifikant vermehrt kritische Entscheidungen bei Fußgängerüberwegen als jüngere Kinder ($p < .05$). Obwohl bei der freien Querung kein signifikanter Haupteffekt hinsichtlich der Altersgruppe vorlag, trafen die jüngsten Kinder die meisten kritischsten Entscheidungen, während die ältesten Kinder die wenigsten kritischsten Entscheidungen kundtaten, sodass diese beiden Altersgruppen sich signifikant unterschieden ($p < .05$).

Abbildung 14

Kritische Entscheidungen in Abhängigkeit der Querungsstelle und der Altersgruppe



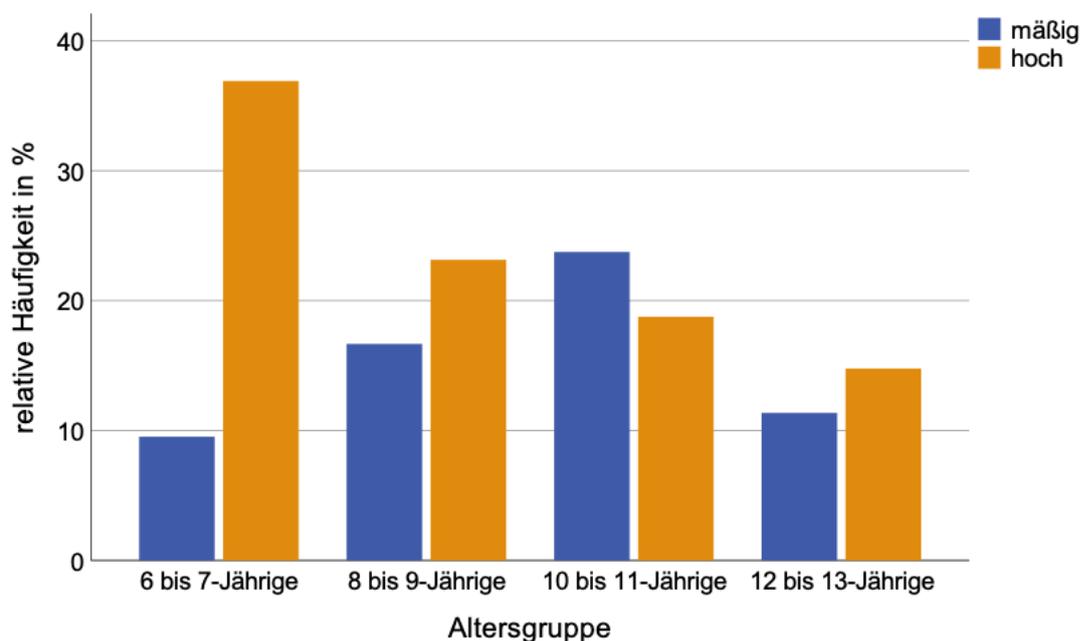
Bei Betrachtung der LSA zeigte sich, dass bei längerer Rotphase (25 s) signifikant mehr kritische Entscheidungen getroffen wurden als bei der kürzeren Rotphase (10 s), $\chi^2(1) = 4.50$, $p < .05$, $V = 0.08$ (s. Abbildung 15). Dieser Unterschied trat unabhängig vom Alter auf. Ebenfalls zeigte sich, dass in 23.68 % der Fälle, in denen eine sichere Entscheidung getroffen wurde, die Kinder warteten bis der PKW vollständig anhielt, wogegen 76.32 % ihre Querungsentscheidung angaben, sobald das Lichtsignal auf Grün schaltete. Hinsichtlich der Sichtbedingungen und Ablenkung bei LSA zeigten sich keine signifikanten Unterschiede ($p > .05$).

Abbildung 15*Kritische Entscheidung in Abhängigkeit der Rotphase*

Beim Fußgängerüberweg wurden keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit der Anhaltebereitschaft der PKW (erster vs. zweiter PKW hält an), der Sichtbedingung oder der Ablenkung gefunden ($p > .05$). Es zeigte sich, dass 52.77 % der Kinder, die eine sichere Querungsentscheidung trafen, warteten bis der PKW vollständig vor dem Fußgängerüberweg anhielt, wogegen 47.23 % bereits eine Querungsentscheidung kundtaten, wenn der PKW noch langsam ausrollte (d.h. Geschwindigkeit ≤ 7 km/h) oder noch sehr weit entfernt war (d.h. die TTA größer als $TTC + 1$ s war). Bei der freien Querung zeigte sich, dass signifikant mehr kritische Entscheidungen bei einem hohen Verkehrsaufkommen getroffen wurden als bei einem mäßigen Verkehrsaufkommen, $\chi^2(1) = 8.53$, $p < .05$, $V = 0.11$. Auch in Abhängigkeit des Alters wurde dieser Effekt gefunden, $\chi^2(3) = 9.48$, $p < .05$, $V = 0.27$. So hatten vor allem jüngere Kinder bei einem hohen Verkehrsaufkommen Schwierigkeiten, sichere Querungsentscheidungen zu treffen, wogegen bei mäßigem Verkehrsaufkommen die jüngsten und ältesten Kinder die wenigsten kritischsten Entscheidungen trafen (s. Abbildung 16).

Abbildung 16

Kritische Entscheidung in Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens und der Altersgruppe

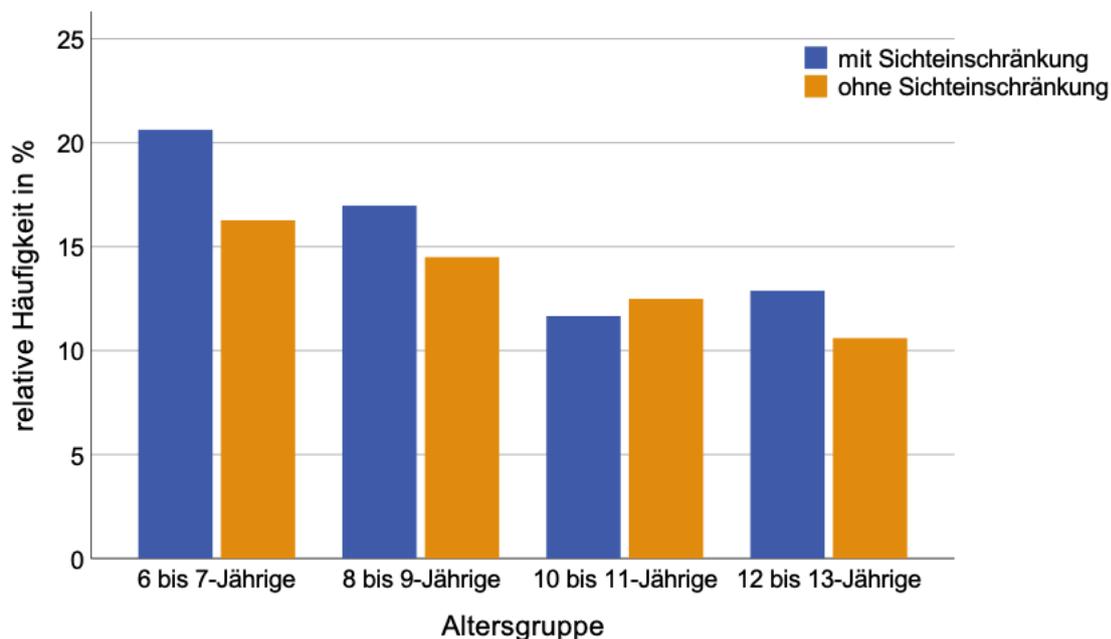


Hinsichtlich der Sichtbedingungen zeigten sich signifikante Unterschiede bei der freien Querung, $\chi^2(1) = 3.96$, $p < .05$, $V = 0.08$. Bei Sichtbehinderung (d.h. parkende PKW auf dem Parkstreifen) wurden signifikant häufiger kritische Querungsentscheidungen getroffen als ohne Sichteinschränkung. Hinsichtlich der Ablenkung fanden sich keine signifikanten Unterschiede.

Unabhängig von der Querungsstelle, jedoch in Abhängigkeit des Alters ergaben sich signifikante Unterschiede bei einer vorhandenen Sichteinschränkung, $\chi^2(3) = 10.46$, $p < .05$, $V = 0.10$, und einer vorhandenen Ablenkung, $\chi^2(3) = 8.66$, $p < .05$, $V = 0.09$. Jüngere Kinder (Sechs- bis Neunjährige) trafen zum einen bei eingeschränkter Sicht signifikant mehr kritische Querungsentscheidungen als ältere Kinder (s. Abbildung 17), und zum anderen trafen sechs- bis siebenjährige Kinder auch bei vorhandener Ablenkung signifikant mehr kritische Entscheidungen ($p < .05$). Sofern keine Sichteinschränkung oder Ablenkung vorhanden war, unterschieden sich die Altersgruppen nicht signifikant.

Abbildung 17

Kritische Entscheidung in Abhängigkeit der Sichtbedingung und Altersgruppe



Beim Geschlechtsvergleich zeigte sich, dass Jungen signifikant mehr kritische Querungsentscheidungen an Fußgängerüberwegen trafen als Mädchen, $\chi^2(1) = 9.75$, $p < .05$, $V = 0.12$. Das wird abermals verdeutlicht, dass 60.22 % der Mädchen, die sichere Entscheidungen trafen, warteten bis der PKW vollständig anhielt, wogegen dies lediglich 43.43 % der Jungen taten. An LSA oder bei freien Querungen unterschieden sie sich dagegen nicht signifikant. Ebenfalls gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern hinsichtlich der Sichtbedingung und der Ablenkung.

6.3.2 Initiierungszeit

Die Initiierungszeit wurde getrennt nach der Querungsstelle LSA und der freien Querung berechnet. Bei der Querung an einer LSA wurden Querungsentscheidungen, die vor dem Erscheinen des grünen Lichtsignals getroffen wurden, für diese Analyse ausgeschlossen, da sie zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt hätten. Zur Analyse der Initiierungszeit bei LSA wurde eine mixed ANOVA mit den Innersubjektfaktoren *Länge der Rotphase*, *Sichteinschränkung* und *Vorhandensein einer Ablenkung* sowie mit dem Zwischensubjektfaktor *Altersgruppe* berechnet. Es lag eine homogene Gleichverteilung der Varianzen basierend auf den Median vor. Es resultierten signifikante Haupteffekte der Rotphase, $F(1, 58) = 14.26$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .20$, der Sichteinschränkung, $F(1, 58) = 4.30$, $p = .043$, $\eta_p^2 = .07$, sowie des Vorhandenseins einer Ablenkung, $F(1, 58) = 6.14$, $p < .016$, $\eta_p^2 = .10$. Ein Haupteffekt der Altersgruppe sowie Interaktionseffekte lagen nicht vor. Bei einer kürzeren Rotphase (10 s) wurde länger gewartet, bis eine Querungsentscheidung getroffen

wurde als bei einer längeren Rotphase (25 s). Ebenfalls war bei eingeschränkter Sicht die Initiierungszeit länger als bei freier Sicht. Der gegenteilige Effekt war beim Vorhandensein einer Ablenkung der Fall. Sofern diese vorhanden war, gaben die Kinder schneller eine Querungsentscheidung bekannt als ohne Ablenkung. Die deskriptiven Werte sind in Tabelle 2 einzusehen. Zudem gab es einen leichten signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern, $F(1, 54) = 4.31$, $p = .043$, $\eta_p^2 = .07$. Mädchen entschieden sich später zu einer Querung als Jungen ($M_M = 3.09$ s, $SD_M = 0.25$, $M_J = 2.29$ s, $SD_J = 0.29$), unabhängig weiterer Faktoren.

Tabelle 2

Deskriptive Werte der Initiierungszeit bei der Ampelanlage

Rotphase				Sichteinschränkung				Ablenkung			
kurz (10 s)		lang (25 s)		mit		ohne		mit		ohne	
M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
2.93	0.20	2.53	0.20	2.82	0.20	2.64	0.20	2.62	0.19	2.84	0.20

Anmerkung. Abgebildet sind die Mittelwerte und Standardabweichungen in s der Initiierungszeit bei der Ampelanlage unterteilt nach Rotphase, Sichteinschränkung und Vorhandensein einer Ablenkung.

Zur Analyse der Initiierungszeit bei der freien Querung wurde ebenfalls eine mixed ANOVA mit den Innersubjektfaktoren *Verkehrsaufkommen*, *Sichteinschränkung* und *Vorhandensein einer Ablenkung* sowie mit dem Zwischensubjektfaktor *Altersgruppe* berechnet. Es wurden die Fälle mit einbezogen, bei denen eine Querungsentscheidung getroffen wurde. Die Voraussetzung der Homogenität der Varianzen war gegeben. Es zeigten sich jedoch weder signifikante Haupt- noch Interaktionseffekte. Zudem gab es keine geschlechtsspezifischen Unterschiede. Die deskriptiven Werte sind in Tabelle 3 zu sehen.

Tabelle 3*Deskriptive Werte der Initiierungszeit bei der freien Querung*

Verkehrsaufkommen				Sichteinschränkung				Ablenkung			
mäßig		hoch		mit		ohne		mit		ohne	
M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
0.56	0.04	0.57	0.05	0.55	0.05	0.58	0.05	0.54	0.05	0.59	0.05

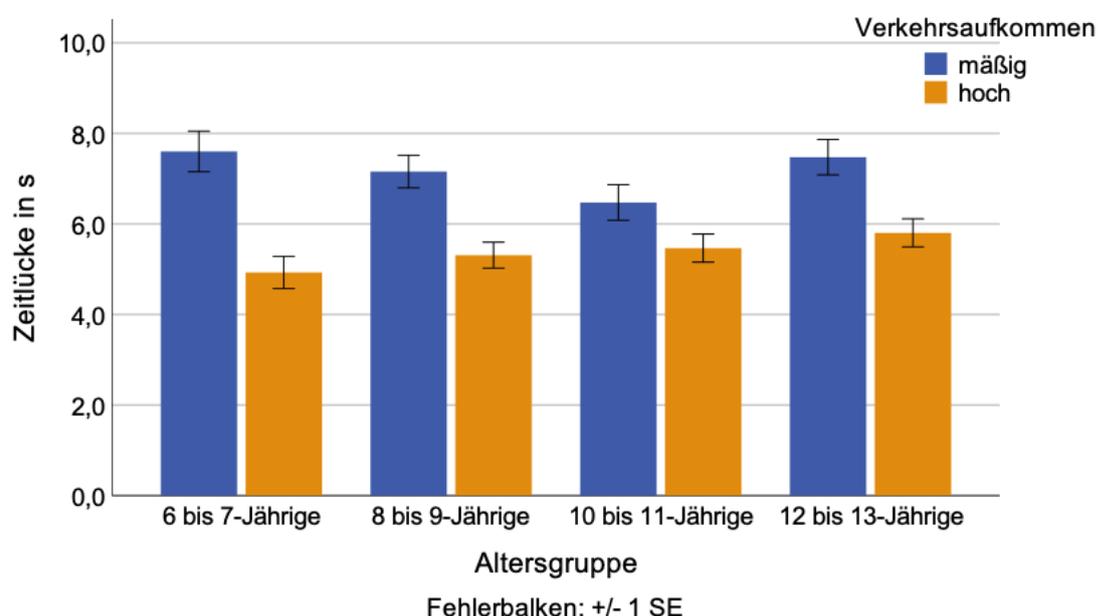
Anmerkung. Abgebildet sind die Mittelwerte und Standardabweichungen in s der Initiierungszeit bei der freien Querung unterteilt nach Verkehrsaufkommen, Sichteinschränkung und Vorhandensein einer Ablenkung.

6.3.3 Zeitlücke

Die Zeitlücke wurde für Querungen analysiert, in denen bei einer freien Querung eine Querungsentscheidung getroffen wurde. Dazu wurde ebenfalls eine mixed ANOVA mit den Innersubjektfaktoren *Verkehrsaufkommen*, *Sichtbedingung* und *Vorhandensein einer Ablenkung* sowie mit dem Zwischensubjektfaktor *Altersgruppe* berechnet. Die Voraussetzung der Varianzhomogenität, basierend auf dem Median, lag vor. Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt für die Variable *Verkehrsaufkommen*, $F(1, 63) = 88.05$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .58$, mit einem starken Effekt. Bei einem mäßigen Verkehrsaufkommen war die Zeitlücke zum nächsten PKW in der Simulation per Definition größer, was sich auch in den Ergebnissen widerspiegelt. Zusätzlich wurde ein leicht signifikanter Interaktionseffekt zwischen dem Verkehrsaufkommen und der Altersgruppe gefunden, $F(3, 63) = 2.87$, $p = .043$, $\eta_p^2 = .12$. Während bei einem mäßigen Verkehrsaufkommen die jüngste Altersgruppe ähnlich der ältesten Altersgruppe die größten durchschnittlichen Zeitlücken aufwies, ließ sie bei einem hohen Verkehrsaufkommen die geringste Zeitlücke (s. Abbildung 18). Die zwölf- bis 13-jährigen Kinder ließen auch hier die größte Zeitlücke. Die Sichtbedingung und Ablenkung bewirkten keine signifikanten Unterschiede. Zudem zeigte sich noch ein Vierfach-Interaktionseffekt zwischen Verkehrsaufkommen, Sichteinschränkung, Ablenkung und der Altersgruppe, $F(3, 63) = 4.24$, $p = .009$, $\eta_p^2 = .17$. Es fanden sich keine geschlechtsspezifischen Unterschiede.

Abbildung 18

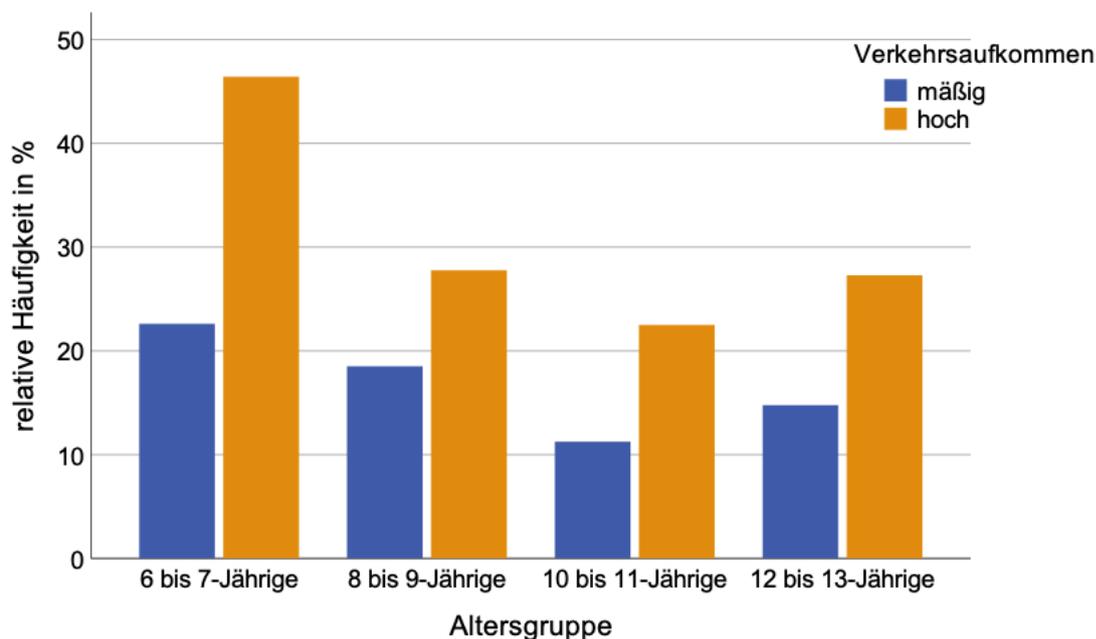
Zeitlücke in Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens und der Altersgruppe

**6.3.4 Ausgelassene Querungsmöglichkeiten**

Die ausgelassenen Querungsmöglichkeiten wurden lediglich im Fall einer freien Querung analysiert. Insgesamt wurden in 12.64 % aller Fälle eine Querungsmöglichkeit ausgelassen, in 11.25 % aller Fälle wurden mindestens zwei Querungsmöglichkeiten ausgelassen. Im Folgenden wurden die gesamten ausgelassenen Querungsmöglichkeiten mit in die Analyse einbezogen. Das Verkehrsaufkommen beeinflusste die Anzahl ausgelassener Querungsmöglichkeiten. So wurden bei einem hohen Verkehrsaufkommen signifikant häufiger Querungsmöglichkeiten ausgelassen als bei einem mäßigen Verkehrsaufkommen, $\chi^2(1) = 19.10$, $p < .05$, $V = 0.16$. Der Chi²-Test zeigt ebenfalls, dass sich ausgelassene Querungsmöglichkeiten in Abhängigkeit vom Alter signifikant unterschieden, $\chi^2(3) = 15.64$, $p < .05$, $V = 0.15$. Sechs- bis Siebenjährige ließen signifikant häufiger Querungsmöglichkeiten aus als ältere Kinder ab acht Jahren ($p < .05$). Dieses zeigte sich jedoch lediglich bei einem hohen Verkehrsaufkommen, $\chi^2(3) = 13.18$, $p < .05$, $V = 0.19$. Bei einem mäßigen Verkehrsaufkommen fanden sich die signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Altersgruppen nicht ($p > .05$) (s. Abbildung 19). Zudem resultierten bei Sichteinschränkung signifikant mehr ausgelassene Querungsmöglichkeiten als ohne Sichteinschränkung, $\chi^2(1) = 5.16$, $p < .05$, $V = 0.08$, dieses jedoch unabhängig von der Altersgruppe. Das Vorhandensein einer Ablenkung hatte dagegen keinen signifikanten Einfluss.

Abbildung 19

Ausgelassene Querungsmöglichkeiten in Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens und der Altersgruppe



Das Geschlecht beeinflusste die Anzahl der ausgelassenen Querungsmöglichkeiten signifikant, $\chi^2(1) = 12.61$, $p < .05$, $V = 0.13$. Während Mädchen in 29.17 % der Fälle mindestens eine Querungsmöglichkeit ausließen, waren es bei Jungen nur 17.86 %. Zudem ließen Mädchen häufiger mindestens zwei Querungsmöglichkeiten aus (15.63 %), während Jungen dies nur in 7.61 % der Fälle taten. Allerdings hatten die Höhe des Verkehrsaufkommens, die Sichtbarkeit und das Vorhandensein einer Ablenkung keinen Einfluss ($p > .05$).

6.4 Diskussion

In dieser Studie wurde untersucht, welche Umgebungsbedingungen Einfluss auf die Querungsentscheidungen von Kindern haben. Dafür wurde die Querungsstelle, die Sichtbedingungen, Vorhandensein einer Ablenkung und die Altersgruppe variiert. Weiterhin wurde in Abhängigkeit der Querungsstelle das Verkehrsaufkommen (bei einer freien Querung), die Länge der Rotphase (bei einer LSA) oder die Anhaltebereitschaft der Fahrzeuge (bei einem Fußgängerüberweg) differiert. Es wurden die Anzahl kritischer Entscheidungen, die Initiierungszeit (bei LSA und freier Querung), die Zeitlücke (bei freier Querung) sowie die Anzahl ausgelassener Querungsmöglichkeiten (bei freier Querung) analysiert. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass kindliches Querungsverhalten nicht binär zwischen riskant und sicher unterschieden werden kann, sondern ein komplexes

Zusammenspiel verschiedener Faktoren widerspiegelt, die letztlich Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit haben. Zum Großteil (82.04 %) trafen die Kinder sichere Entscheidungen; eine Anzahl, die sich ähnlich auch in der Literatur wiederfindet (Simpson et al., 2003; Wang et al., 2018; Wang et al., 2020). Hinsichtlich der kritischen Querungsentscheidungen zeigte sich, dass Kinder unter zehn Jahren signifikant häufiger kritische Querungsentscheidungen trafen als ältere Kinder. Dieses Ergebnis deckt sich mit der Literatur (Connelly et al., 1998; O'Neal et al., 2018; Simpson et al., 2003; van der Meer et al., 2020), wenngleich diese Studien lediglich die freie Querung berücksichtigten. Bei bloßer Betrachtung der freien Querungsstelle in der vorliegenden Studie fanden sich auch hier signifikante Unterschiede zwischen den Sechs- bis Siebenjährigen und den Zwölf- bis 13-Jährigen. Bei dieser Querungsstelle wurden auch generell die meisten kritischen Entscheidungen getroffen, während beim Fußgängerüberweg die wenigsten kritischen Entscheidungen gefällt wurden. Zudem zeigte sich bei der freien Querung das Verkehrsaufkommen als Einflussfaktor, indem bei hohem Verkehrsaufkommen häufiger kritische Entscheidungen getroffen wurden als bei einem mäßigen Verkehrsaufkommen. Dies deckt sich mit den Befunden von Barton und Morrongiello (2011) und Ezzati Amini et al. (2019). Das könnte mit der längeren Wartezeit verbunden sein (Gerlach et al., 2014), bis sich eine Querungsmöglichkeit ergibt, sodass riskantere Lücken akzeptiert werden. Das zeigt sich insbesondere dadurch, dass bei den jüngeren Kindern ein hohes Verkehrsaufkommen häufiger zu kritischen Querungsentscheidungen, allerdings auch zu häufiger ausgelassenen Querungsmöglichkeiten führte, was darauf hindeutet, dass die Fähigkeit der adäquaten Lückeneinschätzung in diesem Alter noch nicht vollständig gegeben ist. Dies spiegelt sich auch in der Zeitlücke wider, da die jüngsten Kinder die geringste Zeitlücke bei hohem Verkehrsaufkommen aufwiesen, während die ältesten Kinder die größte Zeitlücke ließen. Von der höheren Zeitlücke bei älteren Kindern wird auch in der Literatur berichtet (O'Neal et al., 2018; Plumert et al., 2004; Tapiro et al., 2020) Allerdings wurde in diesen Studien auch eine spätere Initiierungszeit bei jüngeren Kindern gefunden, was in dieser Studie keine signifikanten Unterschiede ergab. Die Sichtbedingung hatte bei einer freien Querung ebenfalls Einfluss auf die Querungsentscheidungen. So resultierten bei Sichteinschränkung zum einen häufiger kritische Entscheidungen und zum anderen mehr ausgelassene Querungsmöglichkeiten als bei freier Sicht. Dies ist insofern nachvollziehbar, weil es für Kinder bei eingeschränkter Sicht schwieriger ist, sich einen Überblick über die Verkehrslage zu verschaffen (Gerlach et al., 2014; Schwebel et al., 2012), sodass zum einen mehr Zeit benötigt wird, bis eine Querungsentscheidung getroffen wird und diese Entscheidung aufgrund der Unübersichtlichkeit dann zum anderen riskant ausfallen kann. Auch Oron-Gilad et al. (2011) berichteten, dass Kinder ohne Sichteinschränkung wahrscheinlicher eine Straße überqueren als mit Sichteinschränkung.

Unabhängig von der Querungsstelle zeigte sich, dass jüngere Kinder, d.h. Sechs- bis Neunjährige, bei eingeschränkter Sicht signifikant häufiger kritische Querungsentscheidungen trafen als ältere Kinder. Dies unterstreicht ebenfalls die Gefahr ausgehend von Sichteinschränkungen und zeigt, dass jüngere Kinder eine gefährliche Querungsstelle lediglich von der Sichtbarkeit sich nähernder Fahrzeuge und nicht von der Unübersichtlichkeit einer Querungsstelle ausmachen (Ampofo-Boateng & Thomson, 1991). Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass es unbedingt erforderlich ist, Sichtbeziehungen einzuhalten und somit Parkstreifen in Kreuzungsbereichen vermieden werden sollten (Gerlach et al., 2014; Limbourg, 2010) oder so angepasst werden müssen, dass die Sichtbeziehungen gegeben sind, z.B. durch Anpassung des Mindestabstandes an Knotenpunkten (Schreiber, 2020) oder durch das Hinzufügen von Überquerungslücken mittels vorgezogener Seitenräume (Limbourg, 2010).

Die Präsenz einer Ablenkung hatte bei einer freien Querung keine signifikanten Auswirkungen, jedoch unabhängig der Querungsstelle. Sechs- bis siebenjährige Kinder trafen bei einer vorhandenen Ablenkung signifikant mehr kritische Entscheidungen als ältere Kinder. Dies bestätigen die in der Literatur berichteten Ergebnisse, dass jüngere Kinder vermehrt auf irrelevante Reize achten (Tolmie et al., 2005; Barton & Morrongiello, 2011). Jedoch konnte nicht bestätigt werden, dass bei Ablenkung auch mehr ausgelassene Querungsmöglichkeiten resultieren (Tapiro et al., 2020). Allerdings handelte es sich bei der in dieser Studie genutzten Ablenkung auch um eine einfache, gleichbleibende Ablenkung, nämlich sporttreibende Jugendliche auf der gegenüberliegenden Straßenseite, sodass es sein könnte, dass die Kinder diese bereits nach wenigen Durchgängen kannten und nicht weiter auf diese achteten, sodass der Einfluss nicht so entscheidend war. In zukünftigen Studien müssten, um den Einfluss von Ablenkung aus der Umgebung näher zu untersuchen, mehr Variationen der Ablenkung eingebracht werden.

Die LSA stellte sich als zweitkritischste Querungsstelle heraus, wobei diese sich insbesondere vom Fußgängerüberweg signifikant unterschied. Vor allem die jüngeren Kinder, d.h. Sechs- bis Neunjährige, trafen riskantere Querungsentscheidungen bei der LSA, indem eine Querungsentscheidung trotz vorherrschender Rotphase kundgetan wurde. Dies könnte mit der Diskrepanz zwischen Verkehrswissen und Verkehrsverständnis sowie der sicheren Anwendung des Verkehrswissens einhergehen (Schützhofer et al., 2023). Obwohl das Faktenwissen, nicht bei Rot über eine LSA zu gehen, bereits vorhanden ist, sind jüngere Kinder noch nicht in der Lage, diese Verkehrsregel sicher anzuwenden bzw. fehlt ihnen das Verständnis, dass man auch Warten muss, obwohl ein Fahrzeug gegebenenfalls noch weiter entfernt ist. Damit verbunden könnte ebenfalls das noch nicht vorhandene präventive Gefahrenbewusstsein sein, welches sich erst ab einem Alter von etwa neun bis zehn Jahren entwickelt (Limbourg, 1997c). Dafür sind allerdings weitere Studien nötig, die gezielter auf das

vorhandene Verkehrswissen und das gezeigte Verkehrsverhalten eingehen. Hinsichtlich der Länge der Rotphase wurde deutlich, dass eine längere Wartezeit zu mehr Rotlichtverstößen führte, unabhängig vom Alter. Dies stimmt mit der Literatur überein (Gerlach et al., 2014) und könnte mit der steigenden Ungeduld von Kindern einhergehen (Limbourg, 2001). Jedoch waren die Rotphasen mit 10 s und 25 s in dieser Studie noch relativ kurz im Vergleich zu teilweise im Realverkehr vorzufindenden Rotphasen, was verdeutlicht, dass die Länge der Rotphase ein entscheidendes Kriterium für die Sicherheit einer Querung an LSA darstellt und diese möglichst kurzgehalten werden sollte. Eine Kombination von fußgängerfreundlichen Ampelschaltungen und zusätzlicher Countdown-Anzeige der Rotphase könnte gegebenenfalls zusätzlich zur Reduktion der Rotlichtmissachtungen bei Kindern beitragen. Die Wirksamkeit sogenannter Countdown-Ampeln bei Fußgänger:innen konnte auch bereits nachgewiesen werden (Hackenfort et al., 2022), müsste jedoch gezielter im Zusammenhang mit Kindern erforscht werden. Die Ungeduld der Kinder zum Überqueren zeigt sich auch in dieser Studie, dass ein Großteil der Kinder nicht wartete, bis das Fahrzeug vollständig zum Halten kam, sondern bereits beim Aufleuchten des grünen Lichtsignals ihre Querungsentscheidung kundtat. Dies spiegelt sich auch in der Initiierungszeit wider. Bei der kürzeren Rotphase initiierten die Kinder ihre Querungsentscheidung später, d.h. sie warteten vermehrt ab, bis das Fahrzeug ausrollte oder zum Stehen kam, während sie es bei der längeren Rotphase eiliger hatten, die Straße zu überqueren. Während das Vorhandensein einer Ablenkung oder die Sichtbedingung hinsichtlich der kritischen Querungsentscheidungen bei einer LSA keinen Einfluss hatten, beeinflussten sie jedoch die Initiierungszeit. So entschieden sich Kinder bei Ablenkung schneller zu queren als ohne eine Ablenkung, wogegen sie bei Sichteinschränkung länger zögerten. Dies könnte zum einen damit zu tun haben, dass Kinder bei einer Ablenkung weniger auf den Verkehr und somit weniger auf das Fahrzeugverhalten achteten und lediglich das grüne Lichtsignal berücksichtigen. Zum anderen könnten die Kinder bei Sichteinschränkung mehr Zeit zur Überblicksgewinnung benötigt haben.

Bei Fußgängerüberwegen wurde im Vergleich zur LSA ein gegenteiliger Effekt gefunden. Hier trafen die ältesten Kinder, d.h. zwölf- bis 13-jährige Kinder, am häufigsten kritische Entscheidungen. Dies könnte mit einem vom Fußgängerüberweg ausgehenden vermittelten Sicherheitsgefühl einhergehen (Michaelis, 2018; Oron-Gilad et al., 2011), dass Fahrzeuge Vorrang gewähren müssen, sodass gequert wurde, obwohl dies nicht sicher möglich war. Wang et al. (2018) fanden ebenfalls in ihrer Beobachtungsstudie heraus, dass ältere Kinder manchmal riskantere Verhaltensweisen auf Fußgängerüberwegen zeigten, was sie damit argumentierten, dass sie effiziente Überquerungen, die auch riskant sein können, suchten oder auch ihre eigenen Fähigkeiten überschätzten. Obwohl mehr als die Hälfte der Kinder wartete, bis das Fahrzeug vollständig anhielt und kein signifikanter Einfluss hinsichtlich

der Anhaltebereitschaft oder weiterer Faktoren gefunden wurde, unterstreicht dies dennoch die Bedeutsamkeit, dass Fahrzeugführende, wie es in § 26 Absatz 1 der StVO (2013) vorgeschrieben ist, Fußgänger:innen den Vorrang zum Überqueren gewähren.

Bezugnehmend auf Geschlechtsunterschiede zeigte sich, dass Jungen signifikant häufiger kritische Entscheidung bei Fußgängerüberwegen trafen. Während Mädchen bevorzugt warteten, bis das Fahrzeug vollständig anhielt, entschieden sich Jungen bereits früher zu einer Querung. Zudem wiesen Mädchen eine spätere Initiierungszeit bei LSA auf, sodass sie länger abwarteten, um zu schauen, ob das Fahrzeug auch tatsächlich anhält. Weiterhin ließen Mädchen häufiger Querungsmöglichkeiten aus als Jungen. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass Jungen ein risikoreicheres Verhalten zeigen als Mädchen, wenngleich dies nicht über alle Parameter der Fall war. Insofern kann nicht von einem generellen risikoreicheren Verhalten von Jungen ausgegangen werden kann, aber es zeigte sich, dass bestimmte Variablen das risikoreichere Verhalten von Jungen befürworten, wogegen sie in anderen Fällen ähnlich reagieren wie Mädchen. Diese Ergebnisse unterstreichen die Befunde der Literatur, dass Jungen ein riskanteres Querungsverhalten aufweisen (Barton & Schwebel, 2007; van der Meer et al., 2020), andere Studien können dies jedoch nicht nachweisen (O'Neal et al., 2018; Wang et al., 2020). Dies lässt vermuten, dass Jungen zwar die Neigung zum riskanteren Verhalten besitzen, es jedoch abhängig von den Situationseinflüssen ist, ob sie in der jeweiligen Situation auch gezeigt wird. Wie von Cloutier et al. (2020) angenommen, könnten allerdings auch vielmehr Persönlichkeitsfaktoren anstelle des Geschlechts die Ursache von riskanterem Querungsverhalten sein. Eine weitere Erklärung ist, dass Jungen, wie bei Underwood et al. (2007) beschrieben, vermehrt auf physische Umgebungsfaktoren achten, wogegen Mädchen eher ihre Aufmerksamkeit auf die Aktivität und Präsenz anderer Verkehrsteilnehmenden legen. Dies ist insofern nachvollziehbar, da Mädchen länger warteten, bis sie die Querungsentscheidung an der LSA tätigten und bis das Fahrzeug vor dem Fußgängerüberweg tatsächlich anhielt und somit das Fahrzeugverhalten mit in ihre Entscheidungen einfließen ließen, wogegen Jungen in diesen Situationen überwiegend auf die Umgebung achteten. Dieses müsste jedoch in weiteren Studien näher untersucht werden.

Diese Studie verdeutlicht die Einflussfaktoren der Umgebung auf das Querungsverhalten und das komplexe Zusammenspiel dieser verschiedenen Faktoren. Insbesondere der Vergleich der verschiedenen Querungsstellen zeigt, dass nicht pauschal Aussagen über die generelle (Un-)Sicherheit einer Querungsstelle getroffen werden können, sondern dass mehrere Faktoren die Sicherheit an der jeweiligen Querungsstelle beeinflussen, u.a. das Alter der VRU und Sichteinschränkungen. Nichtsdestotrotz unterstreichen die Ergebnisse die Wichtigkeit der angemessenen Installation solcher Querungsanlagen (Gerlach et al., 2014; Ortlepp, 2009) sowie der Vermittlung eines adäquaten Verkehrsverständnisses,

welches nicht mit Verkehrswissen gleichzustellen ist und sich erst allmählich entwickelt (Schützhofer et al., 2023).

6.4.1 Limitationen und Ausblick

Zur Untersuchung der Fragestellung wurde eine Videosimulation genutzt, welche neben einer exakten Manipulation der Parameter auch eine hohe Kontrollierbarkeit der Versuchsbedingungen ermöglichte. Zudem waren mit Hilfe dieses Ansatzes die Kinder zu keiner Zeit Gefahren im realen Straßenverkehr ausgesetzt. Im Vergleich zu einer Feldstudie sind nichtsdestotrotz einige Limitationen möglich. In dieser Studie war die Perspektive eines 1,35 m großen Kindes stets gleichbleibend und passte sich nicht der tatsächlichen, individuellen Größe der Kinder an. Somit ist es denkbar, dass sich insbesondere die Einflüsse der Sichtbedingungen abhängig von der tatsächlichen Körpergröße verändern, d.h. kleinere Kinder mehr und größere Kinder weniger Probleme bei Sichteinschränkung aufweisen. Weiterhin wurden lediglich wenige Einflüsse der Ablenkung deutlich, was der Eintönigkeit der Ablenkungsart geschuldet sein könnte, sodass die Kinder diese bereits kannten und in folgenden Durchgängen weniger auf diese geachtet haben könnten. Daher wäre hier eine größere Variation in der Ablenkungsart notwendig, um diesbezüglich konkretere Aussagen treffen zu können. Zudem wurden die Abstände der Fahrzeuge in Abhängigkeit der jeweiligen Untersuchungsbedingung konstant gehalten, was zu einem künstlichen Eindruck geführt haben könnte, sodass Kinder diese Distanzen unter Umständen bereits antizipieren konnten. Diese Vorgehensweise war jedoch für die Erhebung der erforderlichen Variablen notwendig. Aufgrund der Neuartigkeit der Analyse der Querungsentscheidungen an Fußgängerüberwegen und LSA wurden eigene für sinnvoll erachtete Definitionen für kritische Querungsentscheidungen an den jeweiligen Querungsstellen herangezogen, sodass diese eine belastbare Analyse und einen Vergleich untereinander erlaubten. Jedoch müssen in zukünftigen Studien weitere Untersuchungen hinsichtlich dieser Querungsstellen erfolgen und dabei die zugrundeliegenden Definitionen für eine kritische Querung berücksichtigt werden.

Diese Studie untermauert, dass Umgebungsfaktoren einen Einfluss auf die Querungsentscheidung haben, und liefert neue Kenntnisse hinsichtlich der Einflüsse verschiedener Querungsstellen auf Querungsentscheidungen von Kindern. Dieses sollte in zukünftigen Studien weitergehend untersucht werden, indem bspw. Möglichkeiten des Virtual Reality genutzt werden, die sich aufgrund des immersiven Charakters für Studien zum Querungsverhalten eignen. Zum einen veranschaulichen die Ergebnisse dieser Studie, dass Regelkenntnis nicht gleich Regelverständnis oder auch -anwendung bedeutet. Diese Zusammenhänge, insbesondere bei verschiedenen Querungsstellen, bedürfen weitergehender Forschung. Zum anderen handelte ich mich bei dieser Studie um eine relativ simple Umgebung, indem eine Einbahnstraße ohne weitere VRU betrachtet wurde. Allerdings

können auch weitere VRU, insbesondere Gleichaltrige (Limbourg, 1995; Schlag & Richter, 2018), das Querungsverhalten von Kindern beeinflussen, was weiterer Forschung bedarf. Die Komplexität der Umgebung, z.B. durch eine mehrspurige Straße, Kurvenverläufe oder Hügellandschaften, sollte ebenfalls in zukünftigen Studien mehr an Betrachtung finden, um diesbezüglich konkretere Aussagen treffen zu können.

7. Studie III

Nicht nur das Verständnis des Querungsverhaltens von Kindern liefert einen wichtigen Betrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit von Kindern, sondern auch Maßnahmen zur Verbesserung der Kommunikation zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmenden können dazu beitragen. So wird im Zuge der Diskussion von automatisierten Fahrzeugen auch vermehrt an eHMLs geforscht, die eine Möglichkeit bieten, explizit an die Umgebung und die betreffenden Verkehrsteilnehmenden zu kommunizieren (Dey et al., 2019; Eisele & Petzoldt, 2022). Allerdings sind einige eHMLs nicht nur für automatisierte Fahrzeuge geeignet, sondern können auch die Kommunikation anderer, nicht automatisierter Fahrzeuge unterstützen. Dies ist mit der vorderen Bremsleuchte (FBL), wie in Kapitel 2.3.2 beschrieben, möglich, welche bereits mit Erwachsenen untersucht wird und auch positive Effekte erwirken konnte. So erleichtert sie u.a. das Erkennen von Abbremsungen, führt zu konservativerem Verhalten bei einem Ausbleiben der FBL (Petzoldt et al., 2018) und wird von Experimentalteilnehmenden auch überwiegend positiv wahrgenommen (Eisele & Petzoldt, 2024; Monzel et al., 2021; Post & Mortimer, 1971), sodass Monzel et al. (2021) argumentierten, dass eine FBL die Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmenden verbessern und zur Vermeidung von Unfällen beitragen kann. Allerdings nahmen jeweils nur Erwachsene an den Untersuchungen teil, sodass unklar ist, wie Kinder auf eine FBL reagieren würden, ob diese positive und/oder negative Effekte hervorrufen würde und ob oder inwiefern sie die Sicherheit erhöhen könnte.

Diese Studie wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung als Teil des CADJapanGermany: HF Projektes unterstützt (Förderungsnummer: 16ES1035).

7.1 Ziel und Fragestellung

Aufgrund der bislang fehlenden Forschung zur Untersuchung der Einflüsse einer FBL auf Kinder und derer möglichen unterschiedlichen Auswirkungen auf Erwachsene und Kinder wurde diese Studie konzipiert und hatte zum Ziel, die Einflüsse einer FBL auf die Querungsbereitschaft von Kindern zu untersuchen. Dafür sollte den Fragen nachgegangen werden, ob eine FBL einen Einfluss auf die Querungsbereitschaft von Kindern aufweist und ob andere Faktoren, die die Querungsbereitschaft beeinflussen, z.B. Bremszeitpunkt und Distanz zum Fahrzeug (Dey et al., 2019; Ezzati Amini et al., 2019; Nuñez Velasco et al., 2021), in der Anwesenheit einer FBL dennoch eine Rolle spielen. Weiterhin sollte ergründet werden, ob die Auswirkungen ähnlich derer Erwachsener sind und wie eine FBL von Kindern wahrgenommen und bewertet wird. Zur Beantwortung dieser Fragen wurde eine Simulationsstudie umgesetzt, in der die Präsenz einer FBL, der Bremszeitpunkt und die Distanz zum zu Fuß Gehenden variiert und die Querungsbereitschaft erhoben wurde. Es wurden Situationen, in denen das Fahrzeug bremste, und somit die FBL aktiviert war, sofern

diese vorhanden war, und Situationen, in denen das Fahrzeug nicht bremste, und somit die FBL nicht aktiviert war, sofern sie vorhanden war, integriert.

7.2 Methode

7.2.1 Proband:innen

Insgesamt nahmen 46 Kinder an dieser Studie teil, davon 20 Mädchen und 26 Jungen, wovon 24 Kinder eine Grundschule und 22 Kinder eine Gesamtschule besuchen. Das Alter variierte von sechs bis zwölf Jahre ($M = 9.9$ Jahre, $SD = 2.1$). Die Kinder wurden mittels einer Blockrandomisierung einer Experimentalbedingung (EB) oder einer Kontrollbedingung (KB) zugeteilt, sodass in jeder Bedingung 23 Kinder waren, die hinsichtlich des Alters ausbalanciert waren ($M_{EB} = 9.8$ Jahre, $SD_{EB} = 2.1$, $M_{KB} = 9.9$ Jahre, $SD_{KB} = 1.9$).

7.2.2 Design

Zur Untersuchung des Einflusses einer FBL auf die Querungsbereitschaft von Kindern und um mögliche Vergleiche zwischen Kindern und Erwachsenen ziehen zu können, wurde die Studie von Eisele und Petzoldt (2024) repliziert, jedoch an die Fähigkeiten von Kindern angepasst. Eisele und Petzoldt (2024) führten eine Online-Studie durch, in der die Proband:innen kurze Videosequenzen aus der am Bordstein wartenden Fußgänger:innen Perspektive sahen, in denen sich ein Fahrzeug in einer Einbahnstraße näherte (s. Abbildung 20). Dabei wurden zwei Bedingungen etabliert, eine Experimental- und eine Kontrollbedingung. In der Experimentalbedingung (EB) waren die Fahrzeuge mit einer FBL ausgestattet, wogegen die Fahrzeuge in der Kontrollbedingung (KB) keine FBL besaßen. Als ein Innersubjektfaktor wurde das Fahrzeugverhalten variiert, d.h. ob das Fahrzeug bremste oder nicht. Zudem wurde der Bremsbeginn variiert. In den Durchgängen, in denen das Fahrzeug bremste, begann die Bremsung entweder bei einer Distanz von 55 m oder 32 m zum zu Fuß Gehenden und das Fahrzeug kam kurz vor der Position der Fußgänger:innen zum Stillstand. Bei den Durchgängen ohne Bremsungen gab es keinen Bremsbeginn und wurde daher mit 0 m codiert. Die unterschiedlichen Bremszeitpunkte wurden aufgrund Interessen sowie zur Reduktion der Vorhersagbarkeit des Fahrzeugverhaltens integriert. Zusätzlich wurde die Annäherungsgeschwindigkeit in der Studie von Eisele und Petzoldt (2024) variiert; die Fahrzeuge näherten sich entweder mit 50 km/h oder 30 km/h. Die Videos wurden zu unterschiedlichen Distanzpunkten ausgeblendet: 45 m, 30 m, 15 m, 5 m oder 1.5 m. Das bewährte sich bereits in vorherigen Studien (Dey et al., 2019). Das resultierte in einem 2 (Bedingung) x 2 (Geschwindigkeit) x 5 (Distanz zum Fahrzeug) x 3 (Bremszeitpunkt)-mixed Design. Da jedoch das Fahrzeug bei einer Distanz von 45 m bei einem Bremsbeginn von 32 m noch nicht bremste, war diese Stimuluskombination identisch zu der, wenn das Fahrzeug bei 45 m nicht bremste (bei beiden Geschwindigkeiten). Diese unnötige Doppelung

wurde vermieden, sodass letztlich 28 mögliche Kombinationen resultierten, die je zweimal gezeigt wurden, sodass jede:r Proband:in 56 Videos sah.

Damit diese Studie für Kinder geeignet ist, wurde sie angepasst. Es wurde berücksichtigt, dass die Fähigkeit, Aufmerksamkeit über eine längere Zeit aufrecht zu erhalten, bei jüngeren Kindern noch nicht vollständig entwickelt ist (Kröling et al., 2021) sowie, dass die Studie während des Unterrichts durchgeführt wurde und somit die Zeit so kurz wie möglich gehalten werden sollte. Um die Durchführungsdauer pro Kind zu verkürzen, wurde jedes Video nur einmal gezeigt und es wurden lediglich Videos genutzt, deren Fahrzeuge eine Annäherungsgeschwindigkeit von 30 km/h aufwiesen. Diese Geschwindigkeit wurde gewählt, da eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 30 km/h in Deutschland oft an Stellen Anwendung findet, an denen Kinder queren, bspw. vor Kindergärten und Schulen (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO), 2023). Die zwei verschiedenen Bremszeitpunkte wurden beibehalten, zum einen aus theoretischem Interesse und zum anderen, um das Verhalten des Fahrzeugs bzw. der/des Fahrenden weniger vorhersagbar zu gestalten. Somit resultierten 14 Videos (2 (Bedingung) x 5 (Distanz zum Fahrzeug) x 3 (Bremszeitpunkt)-mixed Design, ohne die Kombination von 45 m Distanz und 32 m Bremszeitpunkt), die in einer randomisierten Reihenfolge präsentiert wurden. In der Studie von Eisele und Petzoldt (2024) sollten die Proband:innen nach jedem Video auf einer 10-Punkt-Likert Skala ihre Querungsbereitschaft von 1 (sehr gering) bis 10 (sehr hoch), zum Zeitpunkt als das Video endete, angeben. Für diese Studie wurde das Antwortformat angepasst, indem ein zweistufiges Antwortformat angewendet wurde, welches für jüngere Kinder geeigneter ist (Fritzsche, 2012). Zunächst wurden die Kinder gefragt, ob sie die Straße zu diesem Zeitpunkt vor dem Fahrzeug überqueren würden. Sie konnten zwischen *eher ja*, *ich weiß es nicht* oder *eher nein* wählen. Die *eher ja*- und *eher nein*-Antwort wurde zudem mit einem grünen bzw. roten Ampelmännchen untermalt. Sofern die Kinder *eher ja* wählten, wurden sie in einem zweiten Schritt gefragt, ob sie die Straße *sicher* oder *wahrscheinlich* vor dem Fahrzeug überqueren würden. Im Fall, dass sie *eher nein* angaben, wurden sie weiter gefragt, ob sie die Straße *wahrscheinlich nicht* oder *sicher nicht* vor dem Fahrzeug überqueren würden. Gaben sie stattdessen *ich weiß es nicht* an, folgte keine zweite Frage. Somit konnten die Antworten in eine Fünf-Punkte-Likert Skala überführt werden. Zusätzlich wurden Kinder der EB nach dem Versuch zu ihrem subjektiven Empfinden hinsichtlich der FBL gefragt. Sie gaben ihre Bewertung zu folgenden Aussagen mittels einer Fünf-Punkte-Likert Skala an: *Die vordere Bremsleuchte gefällt mir*, *die vordere Bremsleuchte ist eine gute Idee*, *die vordere Bremsleuchte gibt mir Sicherheit*, *die vordere Bremsleuchte sollte an allen Fahrzeugen vorhanden sein* und *die vordere Bremsleuchte ist schwierig zu verstehen*.

Abbildung 20

Perspektive der Fußgänger:innen



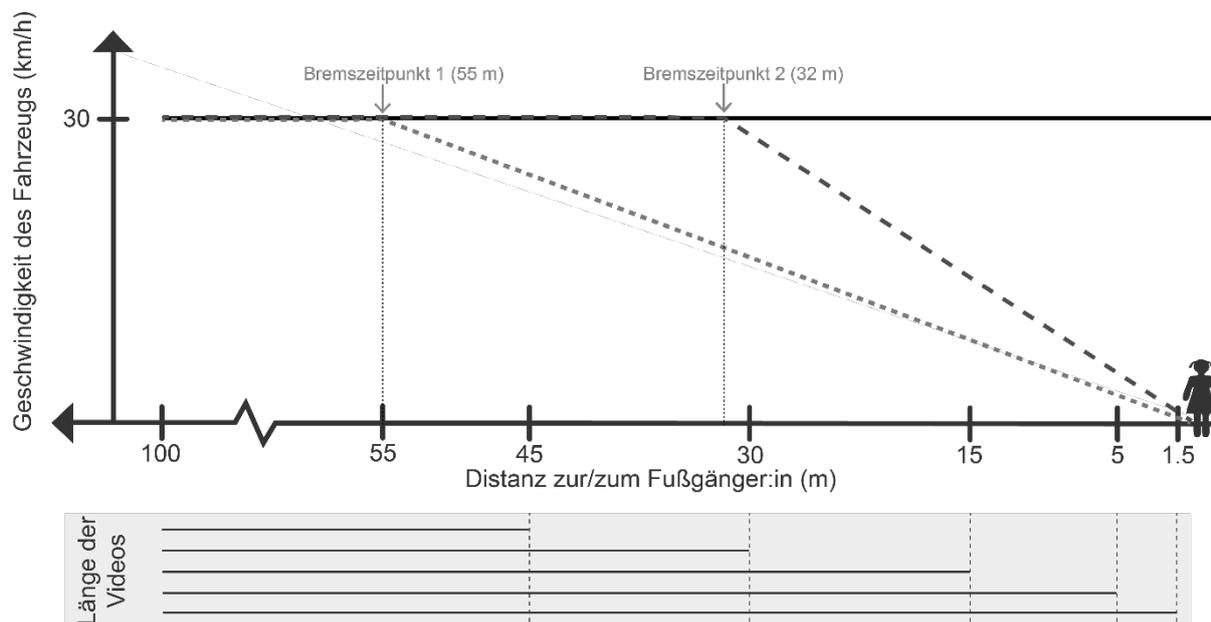
Anmerkung. Links: Bremsendes Fahrzeug mit FBL, rechts: Bremsendes Fahrzeug ohne FBL.

7.2.3 Material

Zur Durchführung dieser Studie wurde dasselbe Material wie in der Studie von Eisele und Petzoldt (2024) genutzt mit Ausnahme der Videos mit 50 km/h Annäherungsgeschwindigkeit. Die Videos wurden mit der VICOM Editor Software (TÜV | DEKRA arge tp21 GbR, 2021) aus der Perspektive einer/eines am Bordstein wartenden Fußgänger:in hergestellt. Zu Beginn jedes Videos näherte sich das Fahrzeug und bremste entweder zu einem der zwei Bremszeitpunkte ab oder behielt seine Geschwindigkeit bei. Im Fall, dass das Fahrzeug abbremste, kam es kurz vor der/dem Fußgänger:in zum Stillstand, jedoch wurde der Eindruck gewahrt, dass vor dem Fahrzeug gequert werden kann. Somit resultierten folgende Bremsverzögerungen: 0.6 m/s^2 beim Bremsbeginn von 55 m und 1.1 m/s^2 beim Bremsbeginn von 32 m (s. Abbildung 21). Die FBL in der EB, welche als ein Lichtstreifen am Kühlergrill umgesetzt wurde, wurde mittels der Videobearbeitungssoftware DaVinci Resolve (Blackmagicdesign, 2021) in der Farbe Magenta (RGB 225, 0, 225) hinzugefügt. Diese Farbe wurde von Eisele und Petzoldt (2024) gewählt, da sie bisher nicht im Straßenverkehr in Deutschland genutzt wird, somit nicht mit anderen Farbbedeutungen konkurriert, und zudem gut (peripher) sichtbar ist (Werner, 2018). Zudem erscheint dieses einfache Design auch für Kinder geeignet zu sein, da es keinen Text enthält (Tabone et al., 2021), welcher insbesondere für jüngere Kinder Schwierigkeiten bereiten könnte. Innerhalb des Experiments, welches mit Labvanced (Scicoverly GmbH, 2021), einer Plattform zum Erstellen und Durchführen von Experimenten, programmiert und präsentiert wurde, war kein Audio zu hören. Die Videos wurden auf einem 27" Quad HD Monitor präsentiert und wiesen eine Auflösung von 2048 x 1152 px bei einer Bildrate von 24 fps auf.

Abbildung 21

Fahrzeugverhalten (oben) und Ende der Videosequenzen (unten)

**7.2.4 Durchführung**

Die Studie wurde in einem Raum innerhalb der Grund- bzw. Gemeinschaftsschule durchgeführt. Alle Kinder kamen einzeln nacheinander in den Raum und wurden begrüßt. Anschließend wurde ihnen das Ziel und die Durchführung der Studie erläutert. Da es in der KB jedoch keine FBL gab, wurde allen Kindern zu Beginn erzählt, dass das Ziel der Studie die Untersuchung der Querungsbereitschaft von Kindern sei, jedoch ohne Erwähnung der FBL. Nach dem mündlichen Einverständnis zur Teilnahme an der Studie wurden die Kinder mittels eines Screenshots in die Situation eingeführt. Sie sollten sich vorstellen, dass sie sich als Fußgänger:in auf dem Schulweg befinden und an einer Einbahnstraße warten, um die Straße zu überqueren, sie jedoch nicht in Eile waren. Anschließend wurde ihnen abhängig der zugeteilten Bedingung ein Beispielvideo eines bremsenden Fahrzeugs gezeigt, d.h. die Kinder in der EB sahen ein Fahrzeug mit FBL, wogegen Kinder in der KB ein Fahrzeug ohne FBL sahen. Die Kinder in der EB wurden danach über die Funktionsweise der FBL aufgeklärt, indem ihnen erklärt wurde, dass die FBL genauso wie die hinteren Bremsleuchten funktioniert. Dazu wurde ihnen Bilder des Experimentalfahrzeuges von der Vorder- und Rückseite gezeigt. So zeigte ein Paar Bilder das bremsende Fahrzeug von vorne und hinten mit aktivierten vorderen und hinteren Bremsleuchten. Das andere Paar Bilder zeigte ein nicht bremsendes Fahrzeug und somit mit deaktivierten vorderen und hinteren Bremsleuchten. Danach wurde ihnen ihre Aufgabe sowie das zugehörige zweistufige Antwortformat erläutert. Es folgten zwei Übungsdurchgänge, welche bei Bedarf wiederholt werden konnten, bevor das Experiment mit

14 Durchgängen startete. Anschließend sollten Kinder in der EB ihre Zustimmung zu kurzen Aussagen über die FBL (z.B. *die FBL ist eine gute Idee* oder *die FBL ist schwierig zu verstehen*) mittels einer Fünf-Punkt-Likert Skala angeben. Weiterhin gaben sie noch kurz demografische Daten an und wurden über die zwei Bedingungen sowie den vollständigen Sinn und Zweck der Studie aufgeklärt. Kindern in der KB wurde nach Erläuterung der Szenerie sofort die Aufgabe und das Antwortformat erklärt. Auch hier folgten zwei Übungsdurchgänge und anschließend die Experimentaldurchgänge. Folgend gaben sie demografischen Daten an und wurden ebenfalls anschließend über den vollständigen Sinn und Zweck sowie über das Vorhandensein der zwei Bedingungen aufgeklärt, sodass ihnen die Funktionsweise der FBL erläutert wurde. Insgesamt dauerte das Experiment ungefähr zehn Minuten pro Kind. Die Kinder konnten sich danach einen Sticker aussuchen.

7.3 Ergebnisse

7.3.1 Analyse

Eine getrennte Analyse der Brems- und Nicht-Bremsdurchgänge wurde durchgeführt. Es wurden keine Proband:innen von der Analyse ausgeschlossen. Zwar fanden sich nach Analyse der Boxplots Ausreißer bei den Distanzen 1.5 m, 5 m und 15 m bei den Nicht-Bremsdurchgängen, indem sie ihre Querungsbereitschaft überraschend hoch angaben. Jedoch wurden diese in der Analyse belassen, um eine Unterschätzung von möglicherweise gefährlichen Querungsentscheidungen entgegenzuwirken. Bei den Bremsdurchgängen fanden sich keine Ausreißer.

Für die Analyse der Brems- und Nicht-Bremsdurchgänge wurde je eine mixed ANOVA mit Messwiederholung mit JASP Team (2022) berechnet. Die Bedingungszugehörigkeit fungierte dabei als Zwischensubjektfaktor. Der Bremsbeginn (bei den Bremsbedingungen) und die Distanz zum Fußgänger am Ende des Videos waren Innersubjektfaktoren. Die Bereitschaft zum Überqueren fungierte als abhängige Variable. Da bei einem Bremsbeginn bei 32 m noch nicht bei 45 m gebremst wurde, wurde dieser Durchgange nicht bei den Bremsdurchgängen, allerdings bei den Nicht-Bremsdurchgängen betrachtet. Aufgrund der Tatsache, dass das Alter der Kinder eine weite Spanne von sechs bis zwölf Jahren umfasst und somit verschiedene Entwicklungsstadien abdeckt, wurde das Alter als Kovariate hinzugefügt. Allerdings erklärte das Alter keine Varianz in der Bereitschaft zu queren, weswegen das Alter nachfolgend nicht näher betrachtet wird.

Es zeigte sich, dass in einigen Fällen Mauchly's Test auf Sphärizität verletzt wurde. In diesen Fällen wurden die Huynh-Feldt korrigierten F-Statistiken berichtet, da ϵ größer als .75 war (Field, 2017). Levene's Test der Homogenität der Varianzen offenbarte ebenfalls signifikante Unterschiede in den Varianzen der abhängigen Variablen zwischen der EB und KB in drei Messwiederholungen. Aufgrund der Robustheit der ANOVA bei kleinen Verstößen

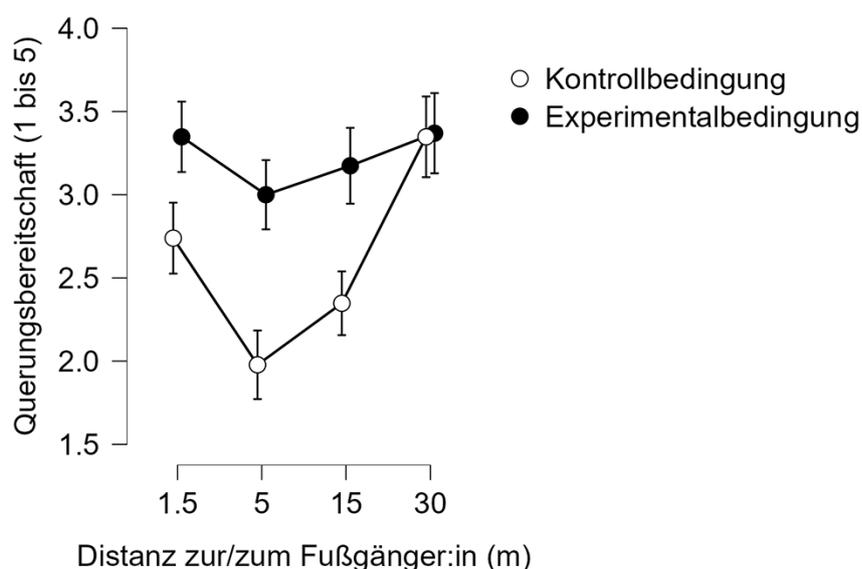
seiner Voraussetzungen in genügend großen ($n > 10$) und gleichgroßen Stichproben wurde dies nicht als Problem bei der Berechnung der ANOVA angenommen (Bortz, 2005). Unter <https://osf.io/3nk2p/> ist ein Download des Datensets möglich.

7.3.2 Bremsdurchgänge

Die Berechnung der ANOVA ergab signifikante Haupteffekte des Bremsbeginns, $F(1, 44) = 30.53$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .41$, der Distanz zum Fußgänger, $F(2.43, 106.70) = 6.52$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .13$, und der Bedingung, $F(1, 44) = 6.51$, $p = .014$, $\eta_p^2 = .13$. Bei einem frühen Bremsbeginn, d.h. bei 55 m, war die Querungsbereitschaft mit einer großen Effektstärke signifikant höher ausgeprägt als beim späten Bremsbeginn (32 m). Ebenfalls fiel die Querungsbereitschaft bei einer vergleichsweise weiten Distanz (30 m) höher als bei niedrigeren Distanzen aus, wobei diese bei der kleinsten Distanz (1.5 m) wieder anstieg. Zudem beeinflusste die Bedingung die Querungsbereitschaft signifikant. Proband:innen in der EB hatten eine signifikant höhere Querungsbereitschaft als Proband:innen in der KB. Wie in Abbildung 22 zu sehen, war der Unterschied in der Querungsbereitschaft zwischen den zwei Bedingungen bei den mittleren Distanzen (5 m und 15 m) höher als bei der vergleichsweise hohen (30 m) und niedrigen (1.5 m) Distanz. Die Berechnung einfacher Haupteffekte zeigte auch, dass lediglich die Unterschiede in den mittleren Distanzen zwischen den Bedingungen signifikant waren ($p = .002$ bzw. $p = .016$), die anderen jedoch nicht.

Abbildung 22

Querungsbereitschaft in Bremsdurchgängen in Abhängigkeit der Distanz und der Bedingung



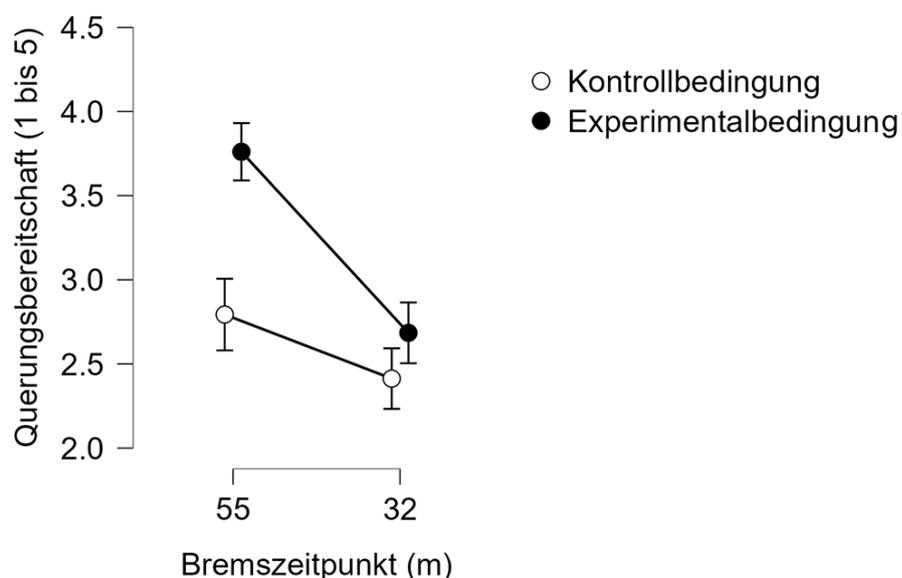
Anmerkung. Fehlerbalken repräsentieren den Standardfehler.

Zusätzlich fand sich ein Interaktionseffekt zwischen Bremsbeginn und Bedingung, $F(1, 44) = 6.96$, $p = .011$, $\eta_p^2 = .14$. Dies offenbart, dass die Unterschiede zwischen den Bedingungen vom Bremsbeginn des Fahrzeugs beeinflusst werden. So war der Effekt der FBL auf die Querungsbereitschaft zum frühen Bremsbeginn höher als zum späten Bremsbeginn. In Abbildung 23 ist ersichtlich, dass sich die Querungsbereitschaft zwischen den Bedingungen beim späten Bremsbeginn nicht wesentlich unterscheidet, wogegen sie beim frühen Bremsbeginn eine deutlich erkennbare Differenz aufweist.

Es wurden keine Unterschiede hinsichtlich des Geschlechts gefunden. In Tabelle 4 sind die deskriptiven Werte der Querungsbereitschaft, aufgeteilt nach Bremsbeginn, Distanz und Bedingung, zu sehen. Die Querungsbereitschaft der Kinder schien unabhängig der Bedingung relativ gering zu sein.

Abbildung 23

Querungsbereitschaft in Bremsdurchgängen in Abhängigkeit des Bremszeitpunktes und der Bedingung



Anmerkung. Fehlerbalken repräsentieren den Standardfehler.

Tabelle 4*Deskriptive Werte der Querungsbereitschaft in den Bremsdurchgängen*

Distanz	32 m				55 m			
	EB		KB		EB		KB	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
1.5 m	2.9	1.6	2.4	1.6	3.8	1.3	3.0	1.8
5 m	2.4	1.3	2.0	1.5	3.6	1.3	2.0	1.5
15 m	2.5	1.2	2.0	1.3	3.8	1.4	2.7	1.8
30 m	2.9	1.5	3.2	1.3	3.8	1.4	3.5	1.5

Anmerkung. Querungsbereitschaft in Bremsdurchgängen zu verschiedenen Distanzen, unterteilt nach Bremsbeginn und Bedingung. EB = Experimentalbedingung, KB = Kontrollbedingung.

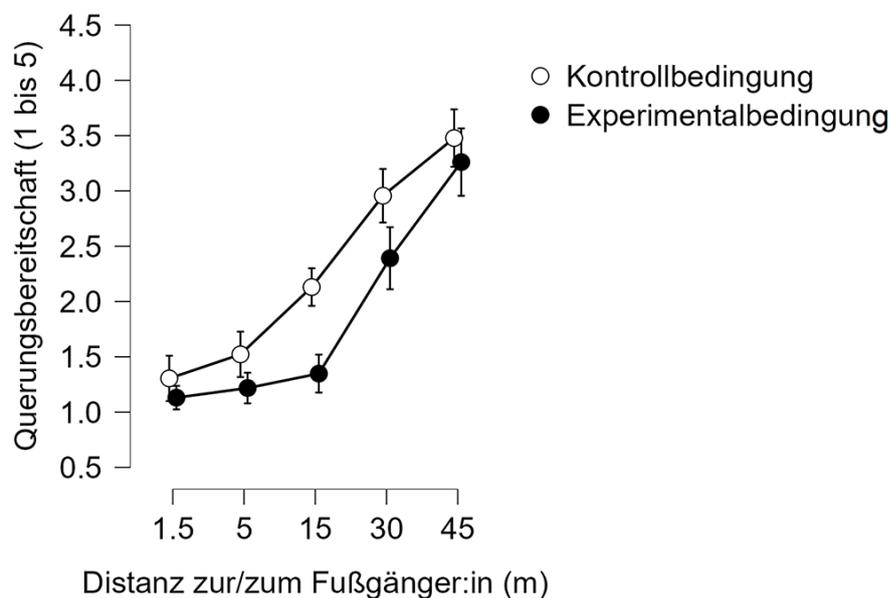
7.3.3 Nicht-Bremsdurchgänge

Die Analyse der ANOVA ergab signifikante Haupteffekte der Distanz zum Fußgänger, $F(3.10, 136.49) = 35.89$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .45$, und der Bedingung, $F(1, 44) = 4.65$, $p < .037$, $\eta_p^2 = .10$. Es wurde kein Interaktionseffekt gefunden. Die Distanz beeinflusste die Querungsbereitschaft signifikant mit einer großen Effektstärke. Je größer die Distanz war, desto höher fiel die Querungsbereitschaft aus. Bonferroni-korrigierte Post-Hoc Tests offenbarten signifikante Unterschiede zwischen 45 m, 30 m und 15 m (alle $p < .001$ mit Ausnahme des Unterschiedes zwischen 45 m und 30 m, hier $p = .016$). Die Unterschiede zwischen 15 m, 5 m und 1.5 m waren dagegen nicht signifikant.

Auch hier fanden sich signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen, dieses Mal jedoch in konträrer Wirkrichtung. Die Querungsbereitschaft war in der KB höher ausgeprägt als in der EB, in der die FBL in den Nicht-Bremsdurchgängen nicht aktiviert wurde (s. Abbildung 24). Die Berechnung der einfachen Haupteffekte ergab allerdings, dass lediglich die Unterschiede zwischen den Bedingungen bei einer Distanz von 15 m signifikant waren ($p = .014$).

Abbildung 24

Querungsbereitschaft in Nicht-Bremsdurchgängen in Abhängigkeit der Distanz und der Bedingung



Anmerkung. Fehlerbalken repräsentieren den Standardfehler.

Es wurden keine Geschlechtsunterschiede festgestellt. In Tabelle 5 sind die deskriptiven Werte der Querungsbereitschaft, aufgeteilt nach Bremsbeginn, Distanz und Bedingung, zu sehen. Die Querungsbereitschaft der Kinder war über alle Bedingungen relativ gering, wenn das Fahrzeug nicht bremste.

Tabelle 5

Deskriptive Werte der Querungsbereitschaft in den Nicht-Bremsdurchgängen

Distanz	EB		KB	
	M	SD	M	SD
1.5 m	1.1	0.5	1.3	0.8
5 m	1.2	0.7	1.5	1.0
15 m	1.3	0.7	2.1	1.3
30 m	2.4	1.4	3.0	1.6
45 m	3.3	1.5	3.5	1.3

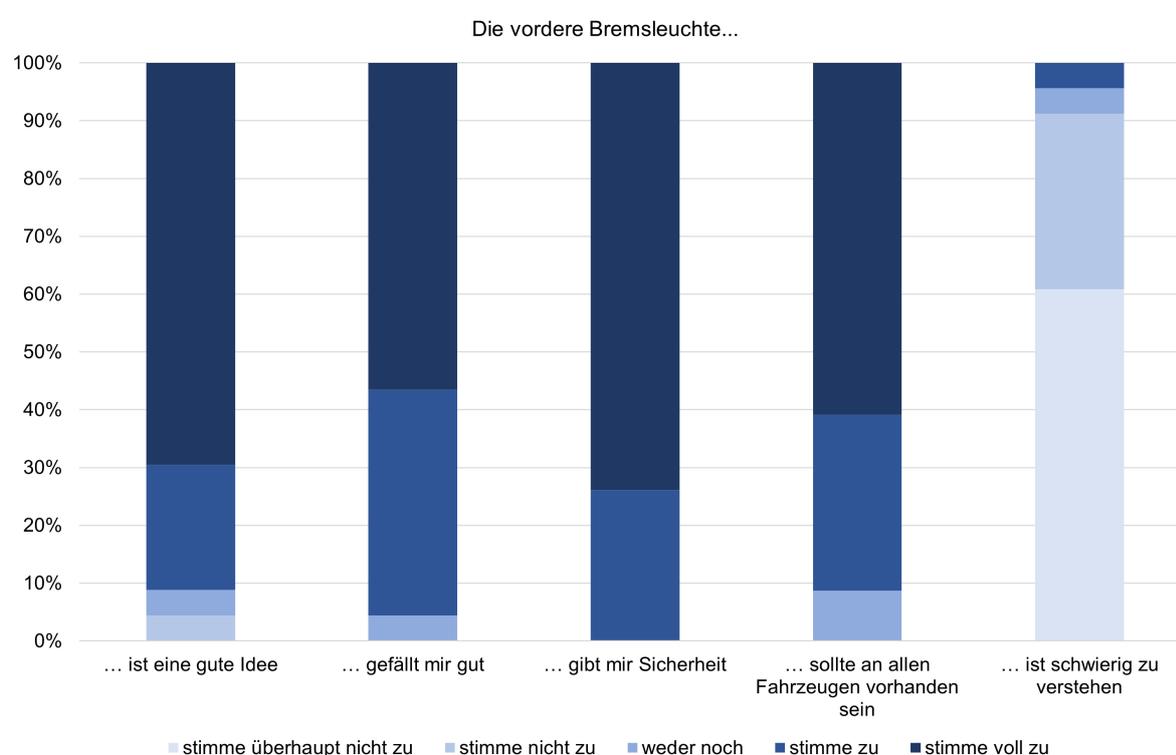
Anmerkung. Querungsbereitschaft in Nicht-Bremsdurchgängen zu verschiedenen Distanzen, unterteilt nach Bedingung. EB = Experimentalbedingung, KB = Kontrollbedingung.

7.3.4 Subjektive Bewertung der FBL

Kinder in der EB wurden nach Beendigung des Experiments zu ihrer subjektiven Einschätzung der FBL befragt (s. Abbildung 25). Insgesamt gefiel ihnen die FBL gut und sie könnten sich vorstellen, dass die FBL ihnen Sicherheit bietet. Die meisten Kinder gaben zudem an, dass die FBL eine gute Idee ist und sie an jedem Fahrzeug vorhanden sein sollte. Für die meisten Kinder der EB war die FBL nicht schwierig zu verstehen, lediglich ein Kind gab an, dass die FBL schwierig zu verstehen war.

Abbildung 25

Subjektive Bewertungen der vorderen Bremsleuchte



Anmerkungen. Relative Häufigkeiten sind in Prozent (%) angegeben.

7.4 Diskussion

In dieser Studie wurde der Effekt einer FBL, des Bremszeitpunkt sowie der Distanz zum Fahrzeug auf die Querungsbereitschaft von Kindern untersucht. Die Ergebnisse legen dar, dass eine FBL die Querungsbereitschaft von Kindern beeinflusst. So war diese vor bremsenden Fahrzeugen, die mit einer FBL ausgestattet waren, höher als vor Fahrzeugen, die nicht mit einer FBL ausgestattet waren. Kinder in der KB, die nicht über das Konzept der FBL Bescheid wussten und somit auch nur Fahrzeuge ohne FBL sahen, gaben eine geringere Querungsbereitschaft vor bremsenden Fahrzeugen an. Erstaunlicherweise war die Effektgröße der Bedingung (d.h. Präsenz/Abwesenheit einer FBL) bei bremsenden

Fahrzeugen ähnlich derer Erwachsener aus der Studie von Eisele und Petzoldt (2024). Das bedeutet, dass die FBL in dieser Hinsicht einen ähnlichen Einfluss auf Erwachsene und Kinder aufweist. Allerdings sind diese Unterschiede zwischen der Querungsbereitschaft lediglich bei mittleren Distanzen (5 m und 15 m) signifikant, nicht jedoch bei vergleichsweise weiten (30 m) und nahen Distanzen (1.5 m, d.h. das Fahrzeug bremste und war nahe am Stillstand). Obwohl letzteres sich zwar deskriptiv unterschied, d.h. in der KB eine geringere Querungsbereitschaft gezeigt wurde, unterschied diese sich nicht signifikant. Dies impliziert, dass die FBL insbesondere in mittleren Distanzen die Querungsbereitschaft beeinflussen kann, in denen aufgrund von mehrdeutigen Situationen die größte Unsicherheit hinsichtlich einer sicheren Querung vorliegen (Dey et al., 2019). Bei weiter Distanz (30 m) gab es keine Unterschiede zwischen den zwei Bedingungen; die Querungsbereitschaft war in beiden Bedingungen ähnlich hoch, was sich in der Erwachsenenstichprobe von Eisele und Petzoldt (2024) so nicht wiederfindet. Hier wurde zu jedem Distanzpunkt ein signifikanter Unterschied gefunden. Das könnte mit der Tatsache verbunden sein, dass Kinder bei Querungsentscheidungen generell mehr Aufmerksamkeit auf Distanzinformationen (Connelly et al., 1998; Wang et al., 2020) und weniger auf die erhaltene Information durch die FBL legen als Erwachsene. Hinsichtlich der nahen Distanz (1.5 m) gab es ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen, was suggeriert, dass mehr Aufmerksamkeit auf die Fahrzeugdynamiken gelegt wurde, was ebenfalls im Kontrast zu den Ergebnissen mit Erwachsenen von Eisele und Petzoldt (2024) steht. Bei dieser Distanz kam das Fahrzeug beinahe zum Stillstand, sodass auch ohne die FBL offensichtlich war, dass das Fahrzeug bremst. Dies unterstreicht abermals die bevorzugte Betrachtung von Distanzinformationen von Kindern, wenn sie Querungsentscheidungen tätigen (Connelly et al., 1998; Wang et al., 2020). Insgesamt war die Querungsbereitschaft von Kindern bei der weitesten Distanz am höchsten, nahm mit der zunehmenden Nähe des Fahrzeugs ab und stieg bei der nächsten Distanz wieder an, was mit der Literatur übereinstimmt (Dey et al., 2019; Ezzati Amini et al., 2019).

Weiterhin war die Querungsbereitschaft vom Bremszeitpunkt beeinflusst. Beim frühen Bremsbeginn war die Bereitschaft zum Queren höher als beim späten Bremsbeginn. Ebenfalls interagierte der Bremszeitpunkt mit dem Vorhandensein einer FBL. Beim frühen Bremsbeginn führte eine FBL zu einer gesteigerten Querungsbereitschaft, wogegen kein Unterschied bei einem späten Bremsbeginn vorhanden war. Im Fall des späten Bremsbeginns könnte Skepsis über die tatsächliche Anhaltebereitschaft des Fahrzeugs vorliegen. Dies zeigt sich ebenfalls, da die generelle Querungsbereitschaft bei spätem Bremsbeginn gering war im Vergleich zum frühen Bremsbeginn, bei welchem die Querungsbereitschaft unabhängig des Vorhandenseins einer FBL höher war. Diese Interaktion zwischen Bremsbeginn und Vorhandensein einer FBL wurde nicht bei Erwachsenen beobachtet (Eisele & Petzoldt, 2024). Erwachsene berücksichtigen möglicherweise eher die Informationen, die sie durch eine FBL erhalten, als

Kinder dies tun. Weiterhin unterstreichen die Ergebnisse die Einflussnahme von Fahrzeugdynamiken in Querungssituationen (Dey et al., 2019; Eisele & Petzoldt, 2024; Ezzati Amini et al., 2019). Diese Ergebnisse legen nahe, dass Kinder eine Aktivierung der FBL nicht als Handlungsaufforderung verstehen, sondern diese lediglich als zusätzliche Informationsquelle verwenden. Außerdem unterstreichen sie, dass Kinder weiterhin Bewegungsdynamiken, wie Distanz und Bremsverzögerung, in ihre Querungsentscheidung mit einfließen lassen und dies in einem ähnlichen Ausmaß wie Erwachsene. In Übereinstimmung mit der bisherigen Forschung unterstützen diese Ergebnisse die Annahme, dass eHMI lediglich eine Statusveränderung und keine Handlungsaufforderung anzeigen sollen (Tabone et al., 2021).

Insgesamt war die Bereitschaft zum Queren vor einem bremsenden Fahrzeug auffallend gering, sodass sich die teilnehmenden Kinder eher konservativ verhielten. Die Varianz der Querungsbereitschaft in den Bremsbedingungen war bei Teilnehmenden, die mit einer FBL interagierten, kleiner als bei Teilnehmenden, die nicht mit einer FBL interagierten, mit Ausnahme des späten Bremsbeginns bei 30 m. Dies bestätigt die von Eisele und Petzoldt (2024) gemachte Beobachtung, dass die FBL nicht nur die Querungsbereitschaft beeinflusst, sondern auch zu homogeneren Verhaltensweisen führen kann. Dies kann die Verkehrssicherheit erhöhen, indem unsichere Verhaltensweisen von Kindern durch konsistentere Verhaltensweisen reduziert werden (Connelly et al., 1998) und indem das Verhalten von Kindern für Fahrende vorhersagbarer wird.

Bemerkenswert ist, dass nicht nur die direkte Interaktion mit der FBL, d.h. eine aktivierte FBL, wenn das Fahrzeug bremst, sondern auch die indirekte Interaktion, d.h. eine inaktive FBL, wenn das Fahrzeug nicht bremst, die Querungsbereitschaft von Kindern beeinflusste. In den Durchgängen, in denen das Fahrzeug nicht bremste, war die Querungsbereitschaft der Kinder signifikant geringer, die über das Konzept der FBL Bescheid wussten, im Vergleich zu den Kindern, die kein Bewusstsein über die FBL hatten. Daher kann das Wissen über eine FBL und deren ausbleibende Aktivierung zu einer konservativeren Querungsentscheidung führen. Dies wurde ebenfalls bei Erwachsenen gefunden (Eisele & Petzoldt, 2024; Petzoldt et al., 2018). Der Effekt taucht bei der uneindeutigen Distanz von 15 m auf. Weiterhin sinkt die Bereitschaft, vor nicht bremsenden Fahrzeugen zu queren, je näher das Fahrzeug kam. Dies auch unabhängig des Vorhandenseins einer FBL, was mit der Literatur übereinstimmt (Nuñez Velasco et al., 2021). Nichtsdestotrotz war die Querungsbereitschaft gegenüber nicht bremsenden Fahrzeugen generell relativ gering. Dies könnte damit zu tun haben, dass Kinder lernen, dass sie hinter einem annähernden Fahrzeug queren sollen, insbesondere auf einer Einbahnstraße mit nur einem annähernden Fahrzeug. Interessanterweise wurden keine Alterseffekte gefunden, obwohl die Altersspanne der

teilnehmenden Kinder eine große Spanne der Kindheit und der verschiedenen Entwicklungsphasen umfasst (Lohaus & Vierhaus, 2015).

Die subjektiven Bewertungen zeigen, dass die FBL von den Kindern positiv bewertet wurde, was mit Studien, durchgeführt mit Erwachsenen, im Einklang steht (Eisele & Petzoldt, 2024; Monzel et al., 2021; Petzoldt et al., 2018). Die meisten Kinder gaben an, dass die FBL eine gute Idee ist, diese ihnen gefällt und sie Sicherheit vermitteln kann. Weiterhin würden die meisten eine Ausstattung von allen Fahrzeugen mit einer FBL begrüßen. Das Konzept der FBL war ebenfalls für die meisten Kinder nicht schwierig zu verstehen, wenngleich ein Kind angab, dass die FBL schwierig zu verstehen war. Nichtsdestotrotz muss berücksichtigt werden, dass die Kinder im Vorfeld über die FBL informiert wurden und das Wissen über die Funktion einer FBL das Verständnis und die Bewertung der Kinder beeinflussen haben könnte. Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse, dass Kinder gerne mit einer FBL im Straßenverkehr interagieren würden, die zudem auch verständlich und geeignet für Kinder erscheint. Allerdings müssen weitere Auswirkungen in weitergehenden Untersuchungen erforscht werden.

7.4.1 Limitationen und Ausblick

Diese Studie wurde als Simulationsstudie aufgebaut, um eine exakte Manipulation der Parameter und der Kontrollierbarkeit der Experimentalbedingungen zu ermöglichen. Zudem waren die Kinder so zu keiner Zeit einer Gefahr im realen Straßenverkehr ausgesetzt. Nichtsdestotrotz sind einige Limitationen aufgrund der genutzten Methode nicht auszuschließen. Die Betrachtungsperspektive war immer dieselbe und war nicht der tatsächlichen Größe des Kindes angepasst. Betrachtet man die Altersspanne der Teilnehmenden, dürfte sich die eigentliche Augenhöhe beträchtlich unterscheiden. Weiterhin gab es in den Videos keine Akustik, was einen Einfluss auf die Querungsbereitschaft haben könnte. Allerdings war die Kontrollierbarkeit der Parameter für die Untersuchung der Forschungsfragen unabdingbar, weswegen die genutzte Methode für dieses Zweck als praktikabel erschien.

Weiterhin wurde ein relativ einfaches Szenario mit einer Einbahnstraße und lediglich einem sich annäherndem Fahrzeug genutzt, sodass die Kinder nur mit einem Fahrzeug interagieren mussten. Aufgrund dessen könnte deren konservative Querungsbereitschaft auf der Annahme beruhen, dass sie wussten, dass sie sicher hinter dem Fahrzeug queren könnten. Dies erscheint als eine angemessene Querungsstrategie, die von Eltern oder Lehrenden gelehrt wird. Die dargestellte Umgebung repräsentiert ebenfalls nicht die Komplexität des Realverkehrs, in der Kinder mit vielen weiteren Verkehrsteilnehmenden interagieren müssen oder mit ablenkenden Reizen konfrontiert werden, was die

Querungsentscheidung von Kindern beeinflusst (Dunbar et al., 2001; Tapiro et al., 2020). Dieses weite Spektrum von möglichen Faktoren wurde in diesem Experiment nicht betrachtet.

In Zukunft sollten daher mögliche positive und negative Effekte einer FBL auf die Querungsbereitschaft von Kindern in komplexeren Szenarien untersucht werden. Die maßgebliche Frage ist hier, wann und unter welchen Bedingungen eine FBL nützlich sein kann und unter welchen Bedingungen könnte eine FBL zu Missverständnissen und möglichen negativen Auswirkungen führen. Dafür ist eine Betrachtung von mehreren Verkehrsteilnehmenden, eine komplexere Umgebung und eine Variation von Fahrzeugcharakteristiken notwendig. Zusätzlich sollten die Auswirkungen einer FBL im Mischverkehr, d.h. manche Fahrzeuge sind mit einer FBL ausgestattet, während andere Fahrzeuge es nicht sind, in zukünftigen Studien mit betrachtet werden. Da die Teilnehmenden dieser Studie in der EB über die Funktionsweise einer FBL unterrichtet wurden, sollten weiterführende Studien potenzielle Effekte einer FBL beleuchten, wenn die Teilnehmenden das Konzept einer FBL nicht kennen. Ein weiterer Forschungspunkt stellt das Design der FBL dar, da dies in dieser Studie nicht fokussiert wurde, es allerdings verschiedene Möglichkeiten eines Designs einer FBL gibt, die weiter betrachtet werden sollten, bspw. ein grünes Licht (z.B. Monzel et al., 2021; Petzoldt et al., 2018). Diese Studie hatte u.a. zum Ziel, Effekte einer FBL auf die Querungsbereitschaft von Kindern mit derer Erwachsener zu vergleichen. Obwohl in dieser Studie mittels einer explorativen Analyse keine Alterseffekte von Kindern gefunden wurden, sollten diese Ergebnisse mit Vorsicht interpretiert werden, da es wahrscheinlich ist, dass Unterschiede zwischen Kindern verschiedener Altersstufen existieren, wenn auch außerhalb der hier untersuchten Altersspanne. Allerdings war eine detailliertere Analyse dieses Aspektes nicht Untersuchungsgegenstand, sodass dies in zukünftigen Studien weiterer Betrachtung bedarf. Es sollten zusätzlich weitere Altersgruppen, z.B. Jugendliche oder ältere Erwachsene, aufgrund ihrer unterschiedlichen Entwicklungs- und Erfahrungsstufen mit einbezogen werden.

8. Allgemeine Diskussion und Fazit

Diese Dissertation adressierte im Wesentlichen zwei Hauptpunkte. Zum einen sollten Einflussfaktoren auf das Querungsverhalten von Kindern untersucht werden und zum anderen sollten mögliche Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit von Kindern analysiert werden. Aufgrund deren war das Ziel der Dissertation zu untersuchen, wann und unter welchen Bedingungen Kinder die Signale, die sie explizit aus der Umgebung und implizit vom Verhalten anderer erhalten, verstehen und umsetzen können, um eine sichere Straßenquerung zu vollziehen. Daher wurden das Querungsverhalten von Kindern sowie die Einflüsse auf eine Querungsentscheidung untersucht. Es wurden drei Studien durchgeführt, deren Ergebnisse aus einer integrativen Perspektive diskutiert werden.

In Studie I wurde die Entwicklung der TTA Schätzung sowie die Einflüsse auf diese und die Lückenakzeptanz bei Kindern verschiedener Altersgruppen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die TTA Schätzung mit zunehmendem Alter präziser wird, wenngleich sie bis einschließlich 13 Jahren unterschätzt wird. Auch zeigt ein Vergleich mit der Literatur zu Schätzungen der TTA bei Erwachsenen (Beggiato et al., 2017; Petzoldt, 2014), dass Kinder bis einschließlich 13 Jahren noch nicht das Niveau Erwachsener erreicht haben und die Fähigkeit zur Integration von Geschwindigkeits- und Distanzinformationen sich auch in diesem Alter noch weiter entwickelt. Dafür werden hauptsächlich Distanzinformationen in die Einschätzung mit einbezogen, was auch in der Literatur wiederzufinden ist (Connelly et al., 1998; Morrongiello et al., 2016; O'Neal et al., 2018). Das wird zudem von dem Ergebnis unterstützt, dass die Geschwindigkeit des Fahrzeugs die subjektive Einschätzung der TTA der Kinder beeinflusste, indem langsamere Fahrzeuge bei gleicher objektiver TTA als früher ankommend wahrgenommen werden als schnellere Fahrzeuge. Weiterhin zeigte sich, dass der *size-arrival effect* bereits im Kindesalter auftritt und die TTA Schätzung beeinflusst. Ein LKW wurde als früher ankommend wahrgenommen als ein PKW.

Dass eine konservative Schätzung der TTA allerdings nicht mit einer sicheren Querung gleichgesetzt werden darf, zeigen die Ergebnisse der Lückenakzeptanz, welche nach Fehl-, Risiko- und Vorsichtsentscheidungen unterschieden wurden. Insbesondere acht- bis neunjährige Kinder trafen vermehrt Risikoentscheidungen, allerdings waren auch bei den älteren Kindern noch vermehrt Fehl- und Risikoentscheidungen vorzufinden, weshalb nicht von einer qualitativ besseren Querung mit zunehmendem Alter ausgegangen werden darf. Auch die Ergebnisse der Lückenakzeptanz unterstreichen, dass Kinder vermehrt auf Distanzinformationen achten, da bei 30 km/h zwar weniger Vorsichtsentscheidungen resultierten (d.h. mehr korrekte Befürwortungen zur Querung), jedoch auch mehr Risikoentscheidungen. Diese Unterschiede bestanden bis zu einem Alter von elf Jahren, sodass anzunehmen ist, dass Kinder ab zwölf Jahren bei genügend zur Verfügung stehender Zeit die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs besser in ihre Entscheidung mit einfließen lassen

können. Ebenfalls finden sich auch hier Einflüsse des Fahrzeugtyps, welche den *size-arrival effect* unterstützen. Jedoch zeigt sich, dass hierbei vermutlich Vorwissen eine Rolle spielt, da dieser Effekt erst bei älteren Kindern gefunden wurde. Diese Ergebnisse der TTA Schätzung und Lückenakzeptanz belegen, dass es eine altersspezifische Entwicklung gibt und die Geschwindigkeit sowie auch der Fahrzeugtyp sowohl die TTA Schätzung als auch die Lückenakzeptanz beeinflussen, da Kinder vermehrt auf Distanzinformationen achten und der *size-arrival effect* bereits im Kindesalter auftritt.

Studie II untersuchte Umgebungsbedingungen, welche einen Einfluss auf die Querungsentscheidung von Kindern haben könnten und analysierte diese im Zusammenhang der Anzahl kritischer Entscheidungen, des Initiierungszeitpunktes, der Zeitlücke sowie der ausgelassenen Querungsmöglichkeiten. Die Ergebnisse zeigen, dass Kinder durchaus in der Lage sind, sichere Entscheidungen zu treffen, diese jedoch nicht stetig hinweg über alle Bedingungen gezeigt werden. Auch in dieser Studie zeigen sich altersspezifische Einflüsse, die zusammen mit Umgebungsfaktoren die Querungsentscheidung beeinflussen. So trafen jüngere Kinder bis einschließlich zehn Jahren häufiger kritische Entscheidungen als ältere Kinder. Bei einer freien Querung wurden insbesondere bei einem hohen Verkehrsaufkommen häufiger kritische Entscheidungen gezeigt. Jüngere Kinder hatten hierbei vermehrt Probleme, da sie bei hohem Verkehrsaufkommen nicht nur häufiger kritische Entscheidungen trafen, sondern auch vermehrt sichere Querungsmöglichkeiten ausließen und eine geringe Zeitlücke ließen. Dies unterstützt ebenfalls das Ergebnis der vorherigen Studie, dass Kinder in diesem Alter noch nicht zuverlässig eine adäquate Lückeneinschätzung vornehmen können. Die Querungsentscheidung wird abermals erschwert, wenn eine Sichteinschränkung besteht. Dann trafen jüngere Kinder vermehrt kritische Entscheidungen im Vergleich zu älteren Kindern, was die Kritikalität von Sichteinschränkung in Form von parkenden Fahrzeugen widerspiegelt (Gerlach et al., 2014). Außerdem beeinflusste die Anwesenheit einer Ablenkung unabhängig der Querungsstelle die jüngsten Kinder, indem häufiger kritische Entscheidungen resultierten, was sich auch in der Literatur wiederfindet (Tolmie et al., 2005; Barton & Morrongiello, 2011).

Weiterhin trafen jüngere Kinder vermehrt bei einer LSA kritische Entscheidungen, was auf eine Diskrepanz zwischen Verkehrswissen und Verkehrsverständnis bzw. der sicheren Anwendung des Wissens (Schützhofer et al., 2023) und auf das noch fehlende präventive Gefahrenbewusstsein hindeutet (Limbourg, 1997c). Die Länge der Rotphase beeinflusste ebenfalls die Häufigkeit kritischer Entscheidungen, indem bei längerer Rotphase mehr kritische Entscheidungen folgten, unabhängig vom Alter. Dies könnte auf die Ungeduld von Kindern zurückzuführen sein, was sich ebenfalls dadurch zeigt, dass bei längerer Rotphase schneller eine Querungsentscheidung getroffen wurde und dass der Großteil der Kinder nicht bis zum vollständigen Stoppen des Fahrzeugs wartete, bis sie ihre Querungsentscheidung

kundtaten. Ältere Kinder ab zwölf Jahren trafen hingegen vermehrt kritische Entscheidungen bei einem Fußgängerüberweg, was durch ein vermitteltes Sicherheitsgefühl (Michaelis, 2018; Oron-Gilad et al., 2011) und ein erhöhtes Risikoverhalten der älteren Kinder erklärt werden kann (Wang et al., 2018). Beim Fußgängerüberweg wurden jedoch die wenigsten kritischsten Entscheidungen getroffen. Zusätzlich wurden in dieser Studie geschlechtsspezifische Unterschiede gefunden. Jungen zeigten häufiger kritische Querungsentscheidungen an Fußgängerüberwegen, warteten kürzer bei einer LSA bis sie ihre Querungsentscheidung trafen und ließen weniger Querungsmöglichkeiten aus als Mädchen. Dies deutet auf ein riskanteres Verkehrsverhalten von Jungen hin, wenngleich dieses nicht in jeder Situation gezeigt wurde. Diese Ergebnisse der Studie verdeutlichen den Einfluss ausgehend von Umgebungsfaktoren auf die Querungsentscheidung von Kindern sowie das komplexe Zusammenspiel dieser Faktoren, welches unterstreicht, dass eine Querungsstelle nicht pauschal als „sicher“ oder „unsicher“ deklariert werden kann.

Studie III analysierte die Effekte einer FBL auf die Querungsbereitschaft von Kindern im Zusammenhang mit dem Bremszeitpunkt sowie der Distanz zum Fahrzeug. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine FBL die Querungsbereitschaft von Kindern beeinflusst, indem sie zu einer höheren Bereitschaft führt, vor einem bremsenden Fahrzeug zu queren, als wenn keine FBL am Fahrzeug vorhanden ist. Dieser Effekt wurde ähnlich in einer Studie durchgeführt mit Erwachsenen gefunden (Eisele & Petzoldt, 2024), sodass davon ausgegangen werden kann, dass eine FBL ähnliche Auswirkungen auf Kinder sowie Erwachsene aufweist. Insbesondere im mittleren Distanzbereich, in denen eine Unsicherheit hinsichtlich einer Querung vorliegt, kann eine FBL die Querungsentscheidung beeinflussen. Wie bereits in Studie I berichtet, achten Kinder vermehrt auf Distanzinformationen in ihren Querungsentscheidungen, was zeigt, dass die Kinder sich nicht nur auf die Informationen vermittelnd durch die FBL verließen, sondern weiterhin die Distanz in ihre Entscheidung mit einfließen ließen. Diese Ergebnisse decken sich ebenfalls mit der Literatur (Dey et al., 2019; Ezzati Amini et al., 2019).

Weiterhin beeinflusste der Bremszeitpunkt die Querungsbereitschaft der Kinder, indem beim frühen Bremsbeginn die Querungsbereitschaft höher war als beim späten. Die Interaktion mit dem Vorhandensein einer FBL unterstreicht abermals die Wichtigkeit von Fahrzeugdynamiken in Querungssituationen und deutet darauf hin, dass Kinder die Aktivierung einer FBL nicht als eine Handlungsaufforderung verstehen, sondern lediglich als zusätzliche Information betrachten. Auch wenn diese Interaktion bei der Erwachsenenstichprobe von Eisele und Petzoldt (2024) nicht gefunden wurde, und somit Erwachsene die Information, welche sie durch die FBL erhalten, mehr in ihre Entscheidung als Kinder mit einfließen lassen, scheint die FBL auf Kinder ähnliche Auswirkungen zu haben wie auf Erwachsene. Dies zeigt auch, dass die indirekte Interaktion mit der FBL, d.h. eine

inaktive FBL, wenn das Fahrzeug nicht gebremst wird, die Querungsbereitschaft von Kindern ähnlich derer Erwachsener beeinflusste (Eisele & Petzoldt, 2024), allerdings in einer konträren Wirkrichtung zur aktiven FBL. Das bedeutet, dass die Querungsbereitschaft der Kinder, die mit einer FBL interagierten, signifikant geringer war als die der Kinder, die nicht mit einer FBL interagierten. Eine generelle geringe Bereitschaft vor einem (bremsenden) Fahrzeug die Straße zu queren, spricht für ein konservatives Verhalten und dass Kindern beigebracht wird, erst nach einem Fahrzeug die Straße zu überqueren.

Insgesamt wurde die FBL von Kindern, die mit dieser konfrontiert wurden, positiv wahrgenommen, sodass davon ausgegangen werden kann, dass Kinder gerne mit einer FBL interagieren würden. Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass eHMI die Kommunikation mit VRU unterstützen können, diese jedoch vielmehr eine Statusveränderung als eine Handlungsaufforderung übermitteln sollen (Tabone et al., 2021). Zudem müssen diese einfach und verständlich für Kinder sein, was mit der FBL gegeben zu sein scheint.

Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse dieser Dissertation, dass das Querungsverhalten von Kindern altersabhängig ist sowie von weiteren Faktoren beeinflusst wird. Ebenfalls entwickeln sich gewisse Kompetenzen, die für eine sichere Straßenquerung wichtig sind, erst allmählich. So zeigen sich bspw. Unterschiede zwischen jüngeren und älteren Kindern bei der TTA Schätzung sowie auch der Fähigkeit, Ablenkungen auszublenden. Bezüglich des Maßnahmenbereiches *Verkehrserziehung und Verkehrstraining* verdeutlicht diese Dissertation, dass Kinder alters- und fähigkeitsgerecht gefördert und für Gefahren im Straßenverkehr sensibilisiert werden müssen. Kinder durchlaufen verschiedene Entwicklungsstufen, sodass sie bestimmte Fähigkeiten erst ab einem gewissen Alter erlernen. So zeigt Studie I, dass die TTA Schätzung mit 13 Jahren noch nicht das Niveau Erwachsener erreicht, diese jedoch bereits besser wird. Das heißt allerdings, dass Kinder mit 13 Jahren immer noch Schwierigkeiten haben, die Geschwindigkeits- und Distanzinformation miteinander zu integrieren. Somit kann von jüngeren Kindern keine adäquate Geschwindigkeitseinschätzung zur sicheren Lückenwahl erwartet werden, wenngleich diese Fähigkeiten stetig, unter Aufsicht, trainiert werden sollten.

In diesem Zusammenhang ist es ebenfalls wichtig, dass Kinder Erfahrungen im realen Straßenverkehr machen, damit sie lernen, worauf sie achten sollen, welche Gefahren wo zu erwarten sind und wie man diese umgehen kann. Dieses sollte jedoch auch abhängig ihres Alters bzw. des vorhandenen Gefahrenbewusstseins erfolgen, wie bereits von Ampofo-Boateng und Thomson (1991) dargelegt. Dieses ist ebenfalls erforderlich, um ein Verkehrsverständnis aufzubauen (Schützhofer et al., 2023). Wie in Studie II sowie von Schützhofer et al. (2023) beschrieben, genügt vorhandenes Verkehrswissen nicht hinreichend aus, damit es auch verstanden und konsequent umgesetzt wird. Daher müssen Kinder auch im Realverkehr die Erfahrung machen, warum gewisse Verkehrsregeln wichtig einzuhalten

sind. Hier sei bspw. das Warten an einer LSA genannt. Da Kinder noch ein unzureichendes Vermögen über Geschwindigkeitseinschätzung besitzen und Sichteinschränkungen teilweise nicht genügend mit in ihre Entscheidung mit einbeziehen, ist es zwingend erforderlich, dass sie auch bei Rot an einer LSA warten, obwohl ein Fahrzeug gegebenenfalls noch weiter entfernt ist, da dieses mit hoher Geschwindigkeit fahren könnte oder andere Gefahren hinter Sichteinschränkungen vorhanden sein könnten. Gleichmaßen ist dieses Training auch für ältere Kinder erforderlich, die bereits über das präventive Gefahrenbewusstsein verfügen, indem ihnen ihre vorhandenen Fähigkeiten verdeutlicht werden, sodass eine Überschätzung der eigenen Fähigkeiten (Wang et al., 2018) und somit ein damit verbundenes riskanteres Querungsverhalten verringert wird (s. Studie II, Kapitel 6.4). Nichtsdestotrotz ist von hoher Bedeutung, dass bei der Verkehrserziehung nicht nur bei den Kindern selbst, sondern auch bei den Eltern, Bezugspersonen und anderen Verkehrsteilnehmenden angesetzt wird. Das beinhaltet die Vermittlung der altersgemäßen Fähigkeiten des Kindes, um eine Überschätzung der kognitiven Fähigkeiten von Kindern entgegenzuwirken und so gefährliche Verkehrssituationen mit Kindern zu verringern.

Die Studienergebnisse dieser Dissertation verdeutlichen zudem, dass insbesondere auch Maßnahmen durch die Gestaltung des Verkehrsraumes die Verkehrssicherheit von Kindern entscheidend erhöhen können. Dies betrifft vor allem die unmittelbare Querungsumgebung. Da an freien Querungen am häufigsten kritische Entscheidungen getroffen werden (s. Studie II, Kapitel 6.4), sollten in Umgebungen, in denen häufig Kinder die Straße queren, vermehrt Querungsstellen mit markierten oder signalisierten Überquerungsanlagen ausgestattet werden (Dommes et al., 2014). Diese müssen jedoch an die jeweilige Umgebung angepasst werden (Gerlach et al., 2014) und angemessen gestaltet sein (Ortlepp, 2009; Ortlepp, 2022). Das bedeutet auch, dass die Rotphase an LSA für Kinder nicht zu lang sein darf, da sonst häufiger kritische Entscheidungen entstehen (s. Studie II, Kapitel 6.4), was vermutlich aufgrund der Ungeduld der Kinder zurückzuführen ist (Limbourg, 2001). Durch eine kurze Anforderungsdauer an LSA, die Möglichkeit der Betätigung des Anforderungstasters durch Kinder, d.h. auf einer kindergerechten Höhe, sowie eine ausreichende Grünphase könnte das riskantere Verhalten verringert werden.

Gleichmaßen ist es erforderlich, dass Sichtbeziehungen eingehalten werden (Ortlepp, 2009), was in Studie II bestätigt werden konnte. Die bislang geltenden Mindestabstände parkender Fahrzeuge vor Fußgängerüberwegen oder LSA sind oftmals nicht ausreichend, um nötige Sichtbeziehungen einzuhalten (Schreiber, 2020), sodass kritische Querungsentscheidungen resultieren können (s. Studie II, Kapitel 6.4). Daher ist es empfehlenswert, dass auf Parken in Kreuzungsbereichen verzichtet wird (Gerlach et al., 2014; Limbourg, 2010) oder, wie von Schreiber (2020) empfohlen, dass der Mindestabstand zu Knotenpunkten abhängig der erlaubten Geschwindigkeit variiert wird. An freien

Querungsstellen stellen parkende Fahrzeuge insbesondere eine Sichteinschränkung und somit Gefährdung dar, welche durch die Verringerung von Parkstreifen am Fahrbahnrand an typischen Querungsstellen (Gerlach et al., 2014; Limbourg, 2010) oder durch die Kombination von Längsparken mit Überquerungslücken durch vorgezogene Seitenräume (Limbourg, 2010) reduziert werden könnte.

Ein weiterer Aspekt zur Erhöhung der Verkehrssicherheit von Kindern im Maßnahmenbereich des *Engineerings* stellt die Fahrzeugtechnik dar. Hier offenbarten die Ergebnisse der Studie III, dass eine FBL ähnliche Auswirkungen auf Kinder wie auf Erwachsene aufweist und sie die Querungsbereitschaft sowohl vor bremsenden als auch vor konstant fahrenden Fahrzeugen beeinflussen kann. Die ersten Ergebnisse mit Kindern deuten darauf hin, dass die Kinder eine Aktivierung einer FBL nicht als Handlungsaufforderung verstehen sowie, dass die FBL zu einem homogeneren Verhalten der Kinder führt. Ebenfalls wird die durch die FBL vermittelte Information (d.h. Fahrzeug brems bei Aktivierung, Fahrzeug brems nicht bei Inaktivität der FBL) lediglich in Ergänzung zu weiteren Informationen, wie dem Bremszeitpunkt und der Distanz zum Fahrzeug, in die Entscheidung mit einbezogen, welche maßgeblich für die Querungsentscheidung sind. Diese Ergebnisse legen nahe, dass eine FBL zur Erhöhung der Verkehrssicherheit beitragen kann, wenngleich diesbezüglich noch weitere Forschung notwendig ist (wie in Kapitel 7.4.1 erläutert), um verlässliche Aussagen tätigen zu können. Generell erweisen sich fahrzeugtechnische Systeme als vielversprechend, um zur Verkehrssicherheit beizutragen, sodass deren Weiterentwicklung und Erforschung von großer Bedeutung ist (s. bspw. das Verkehrssicherheitsprogramm des BMVI, 2021).

Auch hinsichtlich der möglichen Maßnahmen durch den Gesetzgeber verdeutlichen die Ergebnisse zum einen die Notwendigkeit der Einhaltung und Überprüfung der Gesetzgebungen und Verordnungen und zum anderen unterstützen sie die Forderung der Erweiterung der Tempo-30-Zonen als unfallreduzierende Maßnahme (Limbourg, 1995). Interessanterweise konnte in Studie I festgestellt werden, dass eine konservative TTA Schätzung nichts über eine sichere Lückenwahl aussagt, sondern mehr Hinweise darauf gibt, inwiefern Geschwindigkeit und Distanz in ein gemeinsames Konzept integriert werden können. Für die Lückenakzeptanz der Kinder sind allerdings vielmehr die Distanzinformationen von Bedeutung (Connelly et al., 1998; O'Neal et al., 2018), was in dieser Dissertation in Studie I und III belegt werden konnte. Auf Grundlage dieser Ergebnisse ist es besonders relevant, dass zum einen Geschwindigkeitsbegrenzungen von Fahrzeugführenden eingehalten werden und zum anderen diese an Orten, an denen Kinder häufiger queren, möglichst auf 30 km/h festgelegt werden. Weiterhin ist es erforderlich, dass sich Verkehrsteilnehmende an die Gesetzgebungen und Verordnungen halten, wie z.B. Geschwindigkeitsbegrenzungen und Vorrangsgewährung bei Fußgängerüberwegen. Dies

erfordert zum einen die Kontrolle der Einhaltung und zum anderen setzt dies an Maßnahmen des Verkehrstrainings, siehe den Maßnahmenbereich *Education*, an, indem Verkehrsteilnehmende auf die Fähigkeiten und Fertigkeiten von Kindern aufmerksam gemacht und so für deren Sicherheit sensibilisiert werden. Dies verdeutlicht die Zusammenhänge der verschiedenen Maßnahmenbereiche, die alle für sich, aber insbesondere in Kombination für eine Erhöhung der Verkehrssicherheit von Kindern sorgen können. Dafür ist allerdings eine enge Zusammenarbeit zwischen Politik, Wirtschaft und der Wissenschaft notwendig, um dem Ziel der *Vision Zero* (DVR, o.D.b) immer näher zu kommen.

Literaturverzeichnis

- ACE Auto Club Europa e.V. (2013). *Halten. Sehen. Sichergehen*. ACE Auto Club Europa e.V.
- Ackermann, C., Beggiato, M., Bluhm, L.-F. & Krems, J. F. (2018, 13. Juni). Vehicle movement and its potential as implicit communication signal for pedestrians and automated vehicles. In *Proceedings of the 6th Humanist Conference* (S. 1–7). Humanist Publications.
- Ackermann, C., Beggiato, M., Bluhm, L.-F., Löw, A. & Krems, J. F. (2019). Deceleration parameters and their applicability as informal communication signal between pedestrians and automated vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 62, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.03.006>
- Adobe Inc. (2020). *Adobe Premiere Pro* (Version 14.0) [Computer software]. Adobe Inc.
- Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO) (2023). https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_26012001_S3236420014.htm
- Ampofo-Boateng, K. & Thomson, J. A. (1991). Children's perception of safety and danger on the road. *British Journal of Psychology*, 82(4), 487–505. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1991.tb02415.x>
- Bakar, N. A. A., Zulkifli, A. N. & Mohamed, N. F. F. (2011). The use of multimedia, Augmented Reality (AR) and Virtual Environment (VE) in enhancing children's understanding of road safety. In *IEEE Conference on Open Systems (ICOS2011)* (S. 149–154). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICOS.2011.6079288>
- Bartels, B. & Liers, H. (2014). *Bewegungsverhalten von Fußgängern im Straßenverkehr - Teil 2* (FAT-Schriftenreihe Nr. 268). Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.
- Barton, B. K., Lew, R., Kovesdi, C., Cottrell, N. D. & Ulrich, T. (2013). Developmental differences in auditory detection and localization of approaching vehicles. *Accident, Analysis & Prevention*, 53, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.040>
- Barton, B. K. & Morrongiello, B. A. (2011). Examining the impact of traffic environment and executive functioning on children's pedestrian behaviors. *Developmental Psychology*, 47(1), 182–191. <https://doi.org/10.1037/a0021308>
- Barton, B. K. & Schwebel, D. C. (2007). The roles of age, gender, inhibitory control, and parental supervision in children's pedestrian safety. *Journal of pediatric psychology*, 32(5), 517–526. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsm014>
- Beggiato, M., Witzlack, C. & Krems, J. F. (2017). Gap Acceptance and Time-To-Arrival Estimates as Basis for Informal Communication between Pedestrians and Vehicles. In I. Politis (Hrsg.), *ACM Digital Library, Proceedings of the 9th International*

- Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (S. 50–57). ACM. <https://doi.org/10.1145/3122986.3122995>
- bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung. (2018). *Sicherheitsniveau auf Schweizer Straßen 2018* (bfu-Sicherheitsbarometer). Beratungsstelle für Unfallverhütung.
- Björklund, G. M. & Åberg, L. (2005). Driver behaviour in intersections: Formal and informal traffic rules. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(3), 239–253. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2005.04.006>
- Blackmagicdesign. (2021). *DaVinci Resolve* (Version 18) [Computer software]. Blackmagicdesign. <https://www.blackmagicdesign.com/de/products/davinciresolve>
- Blender Foundation. (2021). *Blender* (Version 3.0.0) [Computer software]. <https://www.blender.org/>
- Bluhm, L.-F. (2018). *Fahrzeugbewegungen als implizites Kommunikationsmittel zwischen Fußgängern und Fahrzeugen mit Implikationen für das automatisierte Fahren* [Masterarbeit]. Technische Universität Chemnitz, Chemnitz.
- BMVI. (Juni 2021). *Verkehrssicherheitsprogramm der Bundesregierung 2021 bis 2030*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI).
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (6. Auflage). Springer-Lehrbuch. Springer Medizin Verlag.
- Brandenburgisches Oberlandesgericht, Beschluss, 1 Ss (Owi) 86 B/05, juris (Brandenburgisches Oberlandesgericht 23. Mai 2005).
- Briem, V. & Bengtsson, H. (2000). Cognition and character traits as determinants of young children's behaviour in traffic situations. *International Journal of Behavioral Development*, 24(4), 492–505. <https://doi.org/10.1080/016502500750038044>
- Buchholz, K. (2018). *Grundlagen der kindlichen Verkehrspädagogik* (Unfallforschung kompakt Nr. 79). Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
- BGB, § 828, Abs. 2 (2002). https://www.gesetze-im-internet.de/bgb/_828.html
- Burghardt, D. (2014). *Homo spatialis: Eine pädagogische Anthropologie des Raums. Räume in der Pädagogik*. Beltz Verlag.
- Büttner, G. (2019). Kognitive Entwicklung und Förderung im Grundschulalter. In B. Kracke & P. Noack (Hrsg.), *Springer Reference Psychologie. Handbuch Entwicklungs- und Erziehungspsychologie* (1. Aufl. 2019, 119-145). Springer Berlin Heidelberg.
- Carle, U. & Metzen, H. (2018). *Ganzheitliche Verkehrserziehung für Kinder und Jugendliche: Teil 2: Anforderungen für den Elementarbereich* (Forschungsbericht Nr. 57). Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
- Chaloupka, C., Risser, R. & Zuzan, W.-D. (2011). *Verkehrspsychologie: Grundlagen und Anwendungen* (1. Aufl.). Facultas.wuv.

- Christ, J. (15. Februar 2020). Datenanalyse: Autos werden nicht erst seit dem SUV-Boom größer. *RedaktionsNetzwerk Deutschland*.
<https://www.rnd.de/wirtschaft/datenanalyse-autos-werden-nicht-erst-seit-dem-suv-boom-grosser-6GTM66RRNJEC7EYHR3FQS7Y24Y.html>
- Cloutier, M.-S., Beaulieu, E., Fridman, L., Macpherson, A. K., Hagel, B. E., Howard, A. W., Churchill, T., Fuselli, P., Macarthur, C. & Rothman, L. (2020). State-of-the-art review: preventing child and youth pedestrian motor vehicle collisions: critical issues and future directions. *Inj Prev*, 0, 1–8. <https://doi.org/10.1136/injuryprev-2020-043829>
- Connelly, M. L., Conaglen, H. M., Parsonson, B. S. & Isler, R. B. (1998). Child Pedestrians' Crossing Gap Thresholds. *Accident, Analysis & Prevention*, 30(4), 443–453.
[https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(97\)00109-7](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(97)00109-7)
- 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(6), 1168–1177.
- DeLucia, P. R. (2013). Effects of Size on Collision Perception and Implications for Perceptual Theory and Transportation Safety. *Current Directions in Psychological Science*, 22(3), 199–204. <https://doi.org/10.1177/0963721412471679>
- Demetre, J. D., Lee, D. N., Pitcairn, T. K., Grieve, R., Thomson, J. A. & Ampofo-Boateng, K. (1992). Errors in young children's decisions about traffic gaps: Experiments with roadside simulations. *British Journal of Developmental Psychology*, 83, 189–202.
<https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1992.tb02434.x>
- Dey, D., Habibovic, A., Löcken, A., Wintersberger, P., Pfleging, B., Riener, A., Martens, M. & Terken, J. (2020). Taming the eHMI jungle: A classification taxonomy to guide, compare, and assess the design principles of automated vehicles' external human-machine interfaces. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 7, 100174. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100174>
- Dey, D., Martens, M., Eggen, B. & Terken, J. (2019). Pedestrian road-crossing willingness as a function of vehicle automation, external appearance, and driving behaviour. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 65, 191–205.
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.07.027>
- DGVP Verkehrspsychologie. (2017, 22. November). *Nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmer / Vulnerable Road User (VRU)*. <https://www.dgvp-verkehrspsychologie.de/unsere-arbeitsbereiche/strasse/fahrzeug-und-verkehrsraum/nichtmotorisierte-verkehrsteilnehmer-vulnerable-road-user-vru/>
- Dommes, A. & Cavallo, V. (2011). The role of perceptual, cognitive, and motor abilities in street-crossing decisions of young and older pedestrians. *Ophthalmic & physiological*

- optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 31(3), 292–301. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2011.00835.x>
- Dommes, A., Cavallo, V., Dubuisson, J.-B., Tournier, I. & Vienne, F. (2014). Crossing a two-way street: comparison of young and old pedestrians. *Journal of Safety Research*, 50, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2014.03.008>
- Douglass, S. F. (1924). Motor vehicle signal(Patent No. 1,519,980). Washington, D.C.
- Dunbar, G., Hill, R. & Lewis, V. (2001). Children's attentional skills and road behavior. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 7(3), 227–234. <https://doi.org/10.1037//1076-898X.7.3.227>
- DVR. (o.D.a). *Kind und Verkehr*. Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V. <https://www.dvr.de/praevention/programme/kind-und-verkehr>
- DVR. (o.D.b). *Die Vision Zero im DRV*. <https://www.dvr.de/ueber-uns/vision-zero>
- Eisele, D. & Petzoldt, T. (2022). Effects of traffic context on eHMI icon comprehension. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 85, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.12.014>
- Eisele, D. & Petzoldt, T. (2024). Effects of a Frontal Brake Light on Pedestrians' Willingness to Cross the Street. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 23, 100990. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100990>
- Ezzati Amini, R., Katrakazas, C. & Antoniou, C. (2019). Negotiation and Decision-Making for a Pedestrian Roadway Crossing: A Literature Review. *Sustainability*, 11(23), 6713. <https://doi.org/10.3390/su11236713>
- Feldman, D. H. (2004). Piaget's stages: the unfinished symphony of cognitive development. *New Ideas in Psychology*, 22(3), 175–231. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2004.11.005>
- Field, A. (2017). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th edition). SAGE Publications.
- Foot, H. C., Thomson, J. A., Tolmie, A. K., Whelan, K. M., Morrison, S. & Sarvary, P. (2006). Children's understanding of drivers' intentions. *British Journal of Developmental Psychology*, 24(4), 681–700. <https://doi.org/10.1348/026151005X62417>
- Fritzsche, E. S. (2012). *Antwortsicherheit von Grundschulkindern: Ein Maß für das Selbstkonzept?* [Dissertation]. Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen-Nürnberg.
- Funk, W. (2008). *Mobilität von Kindern und Jugendlichen: Langfristige Trends der Änderung ihres Verkehrsverhaltens*. Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen-Nürnberg.
- Gerlach, J., Seipel, S., Poschadel, S. & Boenke, D. (2014). *Sichere Knotenpunkte für schwächere Verkehrsteilnehmer* (Forschungsbericht Nr. 23). Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.

- Ginsburg, H. & Opper, S. (1998). *Piagets Theorie der geistigen Entwicklung* (8. Auflage). Klett-Cotta.
- Goldstein, S., Naglieri, J. A., Princiotta, D. & Otero, T. M. (2014). Introduction: A History of Executive Functioning as a Theoretical and Clinical Construct. In *Handbook of Executive Functioning* (S. 3–12). Springer, New York, NY.
https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8106-5_1
- Granrud, C. E. (2009). Development of size constancy in children: a test of the metacognitive theory. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(3), 644–654.
<https://doi.org/10.3758/APP.71.3.644>
- Gründl, M. (2015). *Kinder im Straßenverkehr: Ursachen für ihre besondere Gefährdung und Möglichkeiten der Intervention* (Nr. 2). Ergoneers GmbH.
<https://doi.org/10.1515/pubhef-1994-1080>
- Hackenfort, M., Hagmann, D., Schüller, H., Sütterlin, C., Deublein, M. & Uhr, A. (2022). *Verhaltensökonomische Ansätze zugunsten der Verkehrssicherheit (Nudging)*. Forschungsprojekt MFZ_20_00A_01 auf Antrag der Arbeitsgruppe Mensch und Fahrzeug (MFZ).
https://digitalcollection.zhaw.ch/bitstream/11475/27394/3/2022_Hackenfort-et-al_Verhaltensoekonomische-Ansaetze-zugunsten-der-Verkehrssicherheit.pdf
- Häcker, H. O. (2021). *Sensation Seeking im Dorsch Lexikon der Psychologie*. Dorsch Lexikon der Psychologie. <https://dorsch.hogrefe.com/stichwort/sensation-seeking>
- Hoffmann, E. R., Payne, A. & Prescott, S. (1980). Children's Estimates of Vehicle Approach Times. *Human Factors*, 22(5), 235–240.
<https://doi.org/10.1177/001872088002200212>
- Hölzel, A. (2008). *Unterscheidung von formeller und informeller Kommunikation im Straßenverkehr* [Diplomarbeit]. Universität Wien, Wien, Österreich.
<https://core.ac.uk/download/pdf/11583874.pdf>
- Horswill, M. S. & McKenna, F. P. (2004). Drivers' hazard perception ability: Situation awareness on the road. In S. Banbury & S. Tremblay (Hrsg.), *A Cognitive Approach to Situation Awareness* (S. 155–175).
- JASP Team. (2022). *JASP* (Version 0.16.3) [Computer software]. JASP Team. <https://jasp-stats.org>
- Kavšek, M. (2019). Grundlegende kognitive Entwicklungsprozesse: Objektwahrnehmung. In B. Kracke & P. Noack (Hrsg.), *Springer Reference Psychologie. Handbuch Entwicklungs- und Erziehungspsychologie* (1. Aufl. 2019, S. 3–26). Springer Berlin Heidelberg.

- Kavšek, M. & Granrud, C. E. (2012). Children's and adults' size estimates at near and far distances: A test of the perceptual learning theory of size constancy development. *i-Perception*, 3(7), 459–466. <https://doi.org/10.1068/i0530>
- Koch, D.-L. (2018). Europäisches Parlament verabschiedet Bericht zu künftigen Schwerpunkten der Verkehrssicherheitsarbeit. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 1, 45–49.
- Koppen-Brauns, U. (2002). *Schulwegeverkehrsunfälle bei Grundschulern: eine Analyse zu Unfallhergang und Risikofaktoren sowie Präventionsansätzen anhand der Unfalldaten des Rheinischen Gemeindeunfallversicherungsverbandes* [Magisterarbeit]. Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Düsseldorf.
- Krause, A. (2018). Freie Querung einer Straße. In B. Schlag, S. Richter, K. Buchholz & T. Gehlert (Hrsg.), *Ganzheitliche Verkehrserziehung für Kinder und Jugendliche: Teil 1: Wissenschaftliche Grundlagen* (Forschungsbericht Nr. 50, S. 69–95): Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
- Kröling, S., Schlag, B., Richter, S. & Gehlert, T. (2021). *Ganzheitliche Verkehrserziehung für Kinder und Jugendliche: Teil 1: Entwicklung verkehrsrelevanter Kompetenzen im Alter von 0 bis 14 Jahren Band 1: Übersicht Kompetenzentwicklung* (Forschungsbericht Nr. 77). Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
- Krombholz, H. (1999). *Körperliche und motorische Entwicklung im Säuglings- und Kleinkindalter*. <https://www.familienhandbuch.de/babys-kinder/bildungsbereiche/bewegung/motorische-entwicklung-saeuglingsalter.php>
- Leat, S. J., Yadav, N. K. & Irving, E. L. (2009). Development of Visual Acuity and Contrast Sensitivity in Children. *Journal of Optometry*, 2(1), 19–26. <https://doi.org/10.3921/joptom.2009.19>
- Lee, D. N., Young, D. S. & McLaughlin, C. M. (1984). A roadside simulation of road crossing for children. *Ergonomics*, 27(12), 1271–1281. <https://doi.org/10.1080/00140138408963608>
- Leeuw, J. R. de (2015). jsPsych: A JavaScript library for creating behavioral experiments in a web browser. *Behavior Research Methods*, 47(1), 1–12. <https://doi.org/10.3758/s13428-014-0458-y>
- Limbourg, M. (1995). *Kinder im Straßenverkehr*. Gemeindeunfallversicherungsverband (GUVV) Westfalen-Lippe.
- Limbourg, M. (1997a). Gefahrenkognition und Präventionsverständnis von 3- bis 15jährigen Kindern. In Sicher Leben (Vorsitz), *Kindersicherheit: Was wirkt?*, Essen.

- Limbourg, M. (1997b). Kind und Verkehr - alles verkehrt? Kinderspezifische Mechanismen und Verhaltensmuster als Auslöser für Unfälle im Verkehr. In K. Kühn (Vorsitz), *Wohin geht die Fahrt?*, Saarbrücken.
- Limbourg, M. (1997c). *Kinder unterwegs im Verkehr: Ansätze zur Erhöhung der Verkehrssicherheit im Kindesalter* (Verkehrswachtforum Nr. 3).
- Limbourg, M. (2001). *Psychologische Grundlagen der Lern- und Leistungsmöglichkeit von Kindern im Straßenverkehr*. Universität Essen. Deutsche Akademie für Verkehrswissenschaft. 39. Deutscher Verkehrsgerichtstag, Goslar.
- Limbourg, M. (2010). *Kinder unterwegs im Straßenverkehr* (Prävention in NRW Nr. 12). Unfallkasse Nordrhein-Westfalen.
- Lobjois, R., Benguigui, N. & Cavallo, V. (2013). The effects of age and traffic density on street-crossing behavior. *Accident, Analysis & Prevention*, 53, 166–175.
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.028>
- Lohaus, A. & Vierhaus, M. (2015). *Entwicklungspsychologie des Kindes- und Jugendalters für Bachelor* (3., überarbeitete Auflage). *Springer-Lehrbuch*. Springer Berlin Heidelberg; Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-45529-6>
- Madigan, R., Mun Lee, Y., Lyu, W., Horn, S., Garcia de Pedro, J. & Merat, N. (2023). Pedestrian interactions with automated vehicles: Does the presence of a zebra crossing affect how eHMIs and movement patterns are interpreted? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 98, 170–185.
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.09.003>
- Matsuda, F. (2001). Development of concepts of interrelationships among duration, distance, and speed. *International Journal of Behavioral Development*, 25(5), 466–480.
<https://doi.org/10.1080/016502501316934905>
- Michaelis, M. (2018). Straßenquerung am Fußgängerüberweg. In B. Schlag, S. Richter, K. Buchholz & T. Gehlert (Hrsg.), *Ganzheitliche Verkehrserziehung für Kinder und Jugendliche: Teil 1: Wissenschaftliche Grundlagen* (Forschungsbericht Nr. 50, S. 96–130): Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
- Miller, J. A., Austin, J. & Rohn, D. (2004). Teaching Pedestrian Safety Skills to Children. *Environment and Behavior*, 36(3), 368–385.
<https://doi.org/10.1177/0013916503260880>
- Monzel, M., Keidel, K., Schubert, W. & Banse, R. (2021). A field study investigating road safety effects of a front brake light. *IET Intelligent Transport Systems*, 15(8), 1043–1052. <https://doi.org/10.1049/itr2.12080>

- Morrongiello, B. A. & Barton, B. K. (2009). Child pedestrian safety: Parental supervision, modeling behaviors, and beliefs about child pedestrian competence. *Accident, Analysis & Prevention*, 41, 1040–1046. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.06.017>
- Morrongiello, B. A. & Corbett, M. (2015). Using a virtual environment to study child pedestrian behaviours: a comparison of parents' expectations and children's street crossing behaviour. *Inj Prev*, 21(5), 291–295. <https://doi.org/10.1136/injuryprev-2014-041508>
- Morrongiello, B. A., Corbett, M. R., Milanovic, M. & Beer, J. (2016). Using a Virtual Environment to Examine How Children Cross Streets: Advancing Our Understanding of How Injury Risk Arises. *Journal of pediatric psychology*, 41(2), 265–275. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsv078>
- Morrongiello, B. A., Corbett, M., Milanovic, M., Pyne, S. & Vierich, R. (2015). Innovations in using virtual reality to study how children cross streets in traffic: evidence for evasive action skills. *Inj Prev*, 21(4), 266–270. <https://doi.org/10.1136/injuryprev-2014-041357>
- Nardini, M., Bedford, R. & Mareschal, D. (2010). Fusion of visual cues is not mandatory in children. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(39), 17041–17046. <https://doi.org/10.1073/pnas.1001699107>
- Neuhauser, Schienkiewitz, Rosario & Dortschy, K. (2013). *Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes: Referenzperzentile für anthropometrische Maßzahlen und Blutdruck aus der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS) (2. erweiterte Auflage)*. Robert Koch-Institut. https://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsB/referenzperzentile/koerperlaenge.pdf?__blob=publicationFile
- Novikov, N. A., Nurislamova, Y. M., Zhzhikashvili, N. A., Kalenkovich, E. E., Lapina, A. A. & Chernyshev, B. V. (2017). Slow and Fast Responses: Two Mechanisms of Trial Outcome Processing Revealed by EEG Oscillations. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 218. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00218>
- Núñez Velasco, J. P., Mun Lee, Y., Uttley, J., Solernou, A., Farah, H., van Arem, B., Hagenzieker, M. & Merat, N. (2021). Will pedestrians cross the road before an automated vehicle? The effect of drivers' attentiveness and presence on pedestrians' road crossing behavior. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 12, 100466. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100466>
- OLG Karlsruhe, Beschluss, 2 Rb 9 Ss 794/17, juris (OLG Karlsruhe 8. Januar 2018).
- O'Neal, E. E., Jiang, Y., Franzen, L. J., Rahimian, P., Yon, J. P., Kearney, J. K. & Plumert, J. M. (2018). Changes in perception-action tuning over long time scales: How children and adults perceive and act on dynamic affordances when crossing

- roads. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 44(1), 18–26. <https://doi.org/10.1037/xhp0000378>
- Oron-Gilad, T., Meir, A., Tapiro, H. & Borowsky, A. (09/2011). *Towards understanding child-pedestrian's deficits in perceiving hazards when crossing the road*. Ben-Gurion University.
- Ortlepp, J. (2009). *Zebrastreifen* (Unfallforschung kommunal Nr. 5). Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. <https://www.udv.de/resource/blob/79570/183f45daaf8e37feddbf561c3dbb8391/5-zebrastreifen-data.pdf>
- Ortlepp, J. (2013). *Untersuchungen zur Sicherheit von Zebrastreifen* (Unfallforschung kompakt Nr. 41). Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. <https://www.udv.de/resource/blob/79328/d9afa03103a0aac02ff31873f477836d/41-untersuchungen-zur-sicherheit-von-zebrastreifen-data.pdf>
- Ortlepp, J. (2022). *Verkehrssicherheit an Fußgängerquerungen* (Unfallforschung kompakt Nr. 116). Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. <https://www.udv.de/resource/blob/85774/83f1d87fd4db42bbe106d1f1c6a2a58d/116-vs-an-fussgaengerquerungen-data.pdf>
- 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 & Prevention*, 37(5), 962–971. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.04.017>
- Pauen, S., Siegler, R. S., DeLoache, J. S. & Eisenberg, N. (Hrsg.). (2005). *Entwicklungspsychologie im Kindes- und Jugendalter* (1. Aufl.). Spektrum Akademischer Verl.
- Petzoldt, T. (2014). On the relationship between pedestrian gap acceptance and time to arrival estimates. *Accident, Analysis & Prevention*, 72, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.06.019>
- Petzoldt, T., Ngoc, M. & Bogda, K. (2017). Time to Arrival Estimates, (Pedestrian) Gap Acceptance and the Size Arrival Effect. In *Proceedings of the Ninth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (S. 44–50). Public Policy Center, University of Iowa. <https://doi.org/17077>
- Petzoldt, T., Schleinitz, K. & Banse, R. (2018). Potential safety effects of a frontal brake light for motor vehicles. *IET Intelligent Transport Systems*, 12(6), 449–453. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2017.0321>

- Pieper, W. (1990). Entwicklung der Wahrnehmung. In H. Hetzer, E. Todt, I. Seiffge-Krenke, R. Arbinger, H. Hetzer, R. Arbinger & E. Todt (Hrsg.), *Angewandte Entwicklungspsychologie des Kindes- und Jugendalters* (2. Aufl., S. 19–46). Quelle & Meyer.
- Pirkey, O. S. (1925). Signal for automobiles (Patent No 1,553,959).
- Plumert, J. M., Kearney, J. K. & Cremer, J. F. (2004). Children's perception of gap affordances: bicycling across traffic-filled intersections in an immersive virtual environment. *Child development*, 75(4), 1243–1253. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2004.00736.x>
- Plumert, J. M., Kearney, J. K. & Cremer, J. F. (2007). Children's Road Crossing: A Window Into Perceptual–Motor Development. *Current Directions in Psychological Science*, 16(5), 255–258. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2007.00515.x>
- Post, D. V. & Mortimer, R. G. (1971). *Subjective Evaluation of the Front-Mounted Braking Signal*. Highway Safety Research Institute The University of Michigan.
- Rasouli, A., Kotseruba, I. & Tsotsos, J. K. (2017). Agreeing to cross: How drivers and pedestrians communicate. In *2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (S. 264–269). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ivs.2017.7995730>
- Rasouli, A. & Tsotsos, J. K. (2020). Autonomous Vehicles that Interact with Pedestrians: A Survey of Theory and Practice. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(3), 900–918. <https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2901817>
- Richter, S. (2014). Kinder im Straßenverkehr - Betrachtungen aus verkehrspsychologischer Sicht. In M. Otten & S. Wittkowske (Hrsg.), *In Bewegung: Bd. 3. Mobilität für die Zukunft: Interdisziplinäre und (fach-)didaktische Herausforderungen* (1. Auflage, S. 23–32). Bertelsmann.
- Rosenbloom, T., Nemrodov, D., Ben-Ellyahu, A. & Eldror, E. (2008). Fear and danger appraisals of a road-crossing scenario: a developmental perspective. *Accident, Analysis & Prevention*, 40(4), 1619–1626. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.05.001>
- Schieber, R. A. & Thompson, N. J. (1996). Developmental risk factors for childhood pedestrian injuries. *Inj Prev*, 2, 228–236. https://doi.org/10.1007/SpringerReference_61536
- Schlag, B. & Richter, S. (2018). Bei Ablenkung / in Gruppen auf Verkehr aufmerksam bleiben (Störbarkeit, Situationsbewusstsein). In B. Schlag, S. Richter, K. Buchholz & T. Gehlert (Hrsg.), *Ganzheitliche Verkehrserziehung für Kinder und Jugendliche: Teil 1: Wissenschaftliche Grundlagen* (Forschungsbericht Nr. 50, S. 55–68): Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.

- Schlag, B., Richter, S., Buchholz, K. & Gehlert, T. (2018). *Ganzheitliche Verkehrserziehung für Kinder und Jugendliche: Teil 1: Wissenschaftliche Grundlagen* (Forschungsbericht Nr. 50). Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
- Schleinitz, K., Petzoldt, T., Krems, J., Kühn, M. & Gehlert, T. (2015). *Geschwindigkeitswahrnehmung von einspurigen Fahrzeugen* (Forschungsbericht Nr. 33). Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
- Schmied, M. (2018). Situation: Linksabbiegen mit dem Fahrrad an ungeregelten Kreuzungen. In B. Schlag, S. Richter, K. Buchholz & T. Gehlert (Hrsg.), *Ganzheitliche Verkehrserziehung für Kinder und Jugendliche: Teil 1: Wissenschaftliche Grundlagen* (Forschungsbericht Nr. 50, S. 142–158): Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
- Schreiber, M. (2020). *Unfallrisiko Parken für Fußgänger und Radfahrer* (Unfallforschung kompakt Nr. 98). Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
<https://www.udv.de/resource/blob/74934/e2db07a131dc502c7c3ccb35737dede/98-unfallrisiko-parken-fuer-fussgaenger-und-radfahrer-data.pdf>
- Schubert, W. & Kirschbaum, B. (10/2018). *The Front Brake Light: Its conception and theoretical and experimental evidence for increasing traffic safety.*
- Schützhofer, B., Rauch, J. & Banse, R. (2017). Verkehrssicherheitsarbeit mit Jugendlichen an der Schwelle zur motorisierten Straßenverkehrsteilnahme – welchen Beitrag kann die Verkehrspsychologie dazu leisten? *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 63(5), 215–224.
- Schützhofer, B., Rauch, J., Söllner, M., Krammer-Kritzer, B., Soukup, B., Panian, T. & Lüftenegger, M. (2023). Vom Wissen zum Verstehen zum Anwenden? Implikationen für die sichere Straßenverkehrsteilnahme von Kindern. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 68 (2), 86–95. <https://doi.org/10.53184/ZVS2-2023-6>
- Schwebel, D. C., Davis, A. L. & O'Neal, E. E. (2012). Child Pedestrian Injury: A Review of Behavioral Risks and Preventive Strategies. *American journal of lifestyle medicine*, 6(4), 292–302. <https://doi.org/10.1177/0885066611404876>
- Schwebel, D. C., Wu, Y., Swanson, M., Cheng, P., Ning, P., Cheng, X., Gao, Y. & Hu, G. (2018). Child Pedestrian Street-Crossing Behaviors outside a Primary School: Developing Observational Methodologies and Data from a Case Study in Changsha, China. *Journal of transport & health*, 8, 283–288.
<https://doi.org/10.1016/j.jth.2018.01.005>

- Scicoverly GmbH. (2021). *Labvanced [Computer software]*. Scicoverly GmbH.
<https://www.labvanced.com>
- Seipel, S. (2013). *Sicherheit und Komplexität von Knotenpunkten: Sicherheit im Straßenverkehr für Kinder, Senioren und Menschen mit Mobilitätseinschränkungen* [Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal]. CrossRef. <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20140715-102306-1>
- Selman, R. L. (1984). *Die Entwicklung des sozialen Verstehens: entwicklungspsychologische und klinische Untersuchungen. (Beiträge zur Soziogenese der Handlungsfähigkeit)*. Suhrkamp.
- Simpson, G., Johnston, L. & Richardson, M. (2003). An investigation of road crossing in a virtual environment. *Accident, Analysis & Prevention*, 35(5), 787–796.
[https://doi.org/10.1016/s0001-4575\(02\)00081-7](https://doi.org/10.1016/s0001-4575(02)00081-7)
- Soole, D. W., Lennon, A. J. & Haworth, N. L. (2011). Parental beliefs about supervising children when crossing roads and cycling. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*.
- Sperandio, I. (2021). Developmental Trajectories of Size Constancy as Implicitly Examined by Simple Reaction Times. *Vision (Basel, Switzerland)*, 5(4).
<https://doi.org/10.3390/vision5040050>
- Stafford, J., Whyatt, C. & Craig, C. M. (2019). Age-related differences in the perception of gap affordances: Impact of standardized action capabilities on road-crossing judgements. *Accident, Analysis & Prevention*, 129, 21–29.
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.05.001>
- Statista. (2022). *Allgemeinbildende Schulen nach Schulart in 2021/2022 | Statista*.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/235954/umfrage/allgemeinbildende-schulen-in-deutschland-nach-schulart/>
- Statistisches Bundesamt. (2022). *Verkehrsunfälle: Kinderunfälle im Straßenverkehr 2021*.
https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/unfaelle-kinder-5462405217004-1_2021449.pdf?__blob=publicationFile
- Statistisches Bundesamt. (2023, 15. August). *25.800 Kinder im Jahr 2022 im Straßenverkehr verunglückt* [Pressemitteilung].
https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2023/PD23_33_p002.html
- Stavrinou, D., Byington, K. W. & Schwebel, D. C. (2009). Effect of cell phone distraction on pediatric pedestrian injury risk. *Pediatrics*, 123(2), e179-85.
<https://doi.org/10.1542/peds.2008-1382>

- StVO. (2013). § 26 Fußgängerüberwege. https://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/StVO.pdf
- Šucha, M. (2014). *Road users' strategies and communication: driver-pedestrian interaction* (Transport Research Arena 2014). http://old.psych.upol.cz/wp-content/uploads/2014/02/tra2014-paper-template_sucha_final_2.pdf
- Šucha, M., Dostal, D. & Risser, R. (2017). Pedestrian-driver communication and decision strategies at marked crossings. *Accident, Analysis & Prevention*, 102, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.02.018>
- Tabibi, Z. & Pfeffer, K. (2003). Choosing a safe place to cross the road: the relationship between attention and identification of safe and dangerous road-crossing sites. *Child: Care, Health and Development*, 29(4), 237–244. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2214.2003.00336.x>
- Tabibi, Z. & Pfeffer, K. (2007). Finding a Safe Place to Cross the Road: The Effect of Distractors and the Role of Attention in Children's Identification of Safe and Dangerous Road-Crossing Sites. *Infant and Child Development*, 15, 1–14. <https://doi.org/10.1002/icd>
- Tabone, W., Winter, J. de, Ackermann, C., Bärghman, J., Baumann, M., Deb, S., Emmenegger, C., Habibovic, A., Hagenzieker, M., Hancock, P. A., Happee, R., Krems, J. F., Lee, J. D., Martens, M., Merat, N., Norman, D., Sheridan, T. B. & Stanton, N. A. (2021). Vulnerable road users and the coming wave of automated vehicles: Expert perspectives. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9, 100293. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100293>
- Tapiro, H., Oron-Gilad, T. & Parmet, Y. (2020). Pedestrian distraction: The effects of road environment complexity and age on pedestrian's visual attention and crossing behavior. *Journal of Safety Research*, 72, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.12.003>
- Thomson, J. A. (1997). Developing Safe Route Planning Strategies in Young Child Pedestrians. *Journal of applied developmental psychology*, 18(2), 271–281. [https://doi.org/10.1016/S0193-3973\(97\)90041-1](https://doi.org/10.1016/S0193-3973(97)90041-1)
- Thomson, J. A., Tolmie, A. K., Foot, H. C., Whelan, K. M., Sarvary, P. & Morrison, S. (2005). Influence of virtual reality training on the roadside crossing judgments of child pedestrians. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 11(3), 175–186. <https://doi.org/10.1037/1076-898x.11.3.175>
- Tolmie, A., Thomson, J. A., Foot, H. C., Whelan, K., Morrison, S. & McLaren, B. (2005). The effects of adult guidance and peer discussion on the development of children's representations: evidence from the training of pedestrian skills. *British Journal of Psychology*, 96, 181–204. <https://doi.org/10.1348/000712604X15545>

- Tresilian, J. R. (1995). Perceptual and cognitive processes in time-to-contact estimation: Analysis of prediction-motion and relative judgment tasks. *Perception & psychophysics*, 57(2), 231–245.
- Trifunović, A., Čičević, S., Lazarević, D., Mitrović, S. & Dragović, M. (2018). Comparing tablets (touchscreen devices) and PCs in preschool children' education: testing spatial relationship using geometric symbols on traffic signs. *IETI Transactions on Ergonomics and Safety*, 2(1), 35–41. [https://doi.org/10.6722/TES.201808_2\(1\).0004](https://doi.org/10.6722/TES.201808_2(1).0004)
- Trifunović, A., Pešić, D., Čičević, S. & Antić, B. (2017). The Importance of spatial orientation and knowledge of traffic signs for children's traffic safety. *Accident, Analysis & Prevention*, 102, 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.02.019>
- TÜV | DEKRA arge tp21 GbR. (2021). *VICOM Editor* (Version 1.11) [Computer software]. TÜV | DEKRA arge tp21 GbR. www.vicomeditor.de
- Uhr, A. (2015). *Entwicklungspsychologische Grundlagen: Überblick und Bedeutung für die Verkehrssicherheit* (bfu-Grundlagen). Beratungsstelle für Unfallverhütung.
- Uhr, A., Allenbach, R., Ewert, U., Niemann, S., Hertach, P., Achermann Stürmer, Y. & Cavegn, M. (2017). *Sicherheit von Kindern im Strassenverkehr* (bfu-Sicherheitsdossier Nr. 16). Beratungsstelle für Unfallverhütung. <https://doi.org/10.13100/BFU.2.280.01>
- Underwood, J., Dillon, G., Farnsworth, B. & Twiner, A. (2007). Reading the road: the influence of age and sex on child pedestrians' perceptions of road risk. *British Journal of Psychology*, 98, 93–110. <https://doi.org/10.1348/000712606x104409>
- van der Meer, E., Gerlach, R. & Gehlert, T. (2020). *Entwicklung der Geschwindigkeitswahrnehmung bei Kindern* (Forschungsbericht Nr. 72). Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
- Várhelyi, A. (1998). Drivers' speed behaviour at a zebra crossing: a case study. *Accident, Analysis & Prevention*, 30(6), 731–743. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(98\)00026-8](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(98)00026-8)
- Vollrath, M. & Krems, J. F. (2011). *Verkehrspsychologie: Ein Lehrbuch für Psychologen, Ingenieure und Informatiker* (1. Auflage). Kohlhammer Standards Psychologie. Verlag W. Kohlhammer.
- Walter, E., Achermann Stürmer, Y., Scaramuzza, G., Niemann, S. & Cavgen, M. (2013). *Fussverkehr* (bfu-Sicherheitsdossier Nr. 11). Beratungsstelle für Unfallverhütung.
- Wang, H., Gao, Z., Shen, T., Li, F., Xu, J. & Schwebel, D. C. (2020). Roles of individual differences and traffic environment factors on children's street-crossing behaviour in a VR environment. *Inj Prev*(26), 417–423. <https://doi.org/10.1136/injuryprev-2019-043>

- Wang, H., Tan, D., Schwebel, D. C., Shi, L. & Miao, L. (2018). Effect of age on children's pedestrian behaviour: Results from an observational study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 556–565. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.06.039>
- Werner, A. (2018). New Colours for Autonomous Driving: An Evaluation of Chromaticities for the External Lighting Equipment of Autonomous Vehicles. *Colour Turn An Interdisciplinary and International Journal*, 1–14. <https://doi.org/10.25538/tct.v0i1.692>
- Whitebread, D. & Neilson, K. (2000). The contribution of visual search strategies to the development of pedestrian skills by 4-11 year-old children. *British Journal of Educational Psychology*, 70, 539–557. <https://doi.org/10.1348/000709900158290>
- Zeedyk, M. S., Wallace, L. & Spry, L. (2002). Stop, look, listen, and think? What young children really do when crossing the road. *Accident, Analysis & Prevention*, 34, 43–50. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(00\)00101-9](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(00)00101-9)

Anhang**Protokoll – Entwicklung der TTA Schätzung und Lückenakzeptanz bei Kindern**

VP-Nr.: _____

Einverständniserklärung Eltern vorliegend: ja neinTeilnehmerinformation gelesen / vorgetragen: ja nein

Datum: _____

Uhrzeit: _____

Geschlecht des Kindes: weiblich männlich divers

Alter des Kindes: _____

Klassenstufe: 1. Klasse 3. Klasse 5. Klasse 7. KlasseSehvermögen: normal korrigiertStraßenverkehr Wohnsituation: wenig mittelmäßig vielSchulweg: allein zu Fuß
 mit Freunden mit dem Fahrrad
 mit Geschwistern mit dem PKW
 mit Erwachsenen mit ÖPNV
 mit: mit:Negative Erfahrung
im Straßenverkehr? ja neinVideospieleerfahrung: keine wenig moderat vielAnmerkungen:

Protokoll – Einfluss von Umgebungsbedingungen auf die Querungsbereitschaft von Kindern

VP-Nr.: _____

Einverständniserklärung Eltern vorliegend: ja neinTeilnehmerinformation gelesen / vorgetragen: ja nein

Datum: _____

Uhrzeit: _____

Geschlecht des Kindes: weiblich männlich divers

Alter des Kindes: _____

Klassenstufe: 1. Klasse 3. Klasse 5. Klasse 7. KlasseNegative Erfahrung
im Straßenverkehr? ja nein

Anmerkungen:

Protokoll – Einfluss einer vorderen Bremsleuchte auf die Querungsbereitschaft von Kindern

VP-Nr.: _____

Einverständniserklärung Eltern vorliegend: ja neinTeilnehmerinformation gelesen / vorgetragen: ja nein

Datum: _____

Uhrzeit: _____

Geschlecht des Kindes: weiblich männlich divers

Alter des Kindes: _____

Klassenstufe: _____

Negative Erfahrung im Straßenverkehr? ja nein*Nach Experimentalgruppe:*

Die vordere Bremsleuchte...	stimme zu	stimme eher zu	weder noch	stimme eher nicht zu	stimme nicht zu
ist eine gute Idee					
gefällt mir gut					
gibt mir Sicherheit					
sollte bei allen Autos vorhanden sein					
ist schwierig zu verstehen					

Anmerkungen:
