

# **Kooperation im Straßenverkehr in innerstädtischen Pattsituationen**

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr. Ing.)

von der Fakultät für Maschinenbau  
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

genehmigte

Dissertation

von

**Jonas Imbsweiler**

aus Wolfhagen

Tag der mündlichen Prüfung: 10.05.2019

Hauptreferentin: Prof. Dr. Deml

Korreferent: Prof. Dr. Baumann



# Kurzfassung

In 2014 fanden 25% aller Unfälle im Straßenverkehr in Kreuzungen statt (Europäische Kommission, 2016). Insbesondere in Situationen mit mehr als zwei Verkehrsteilnehmern kann es zu schwierig aufzulösenden Kooperationsituationen kommen. Dies liegt daran, dass die Verkehrsteilnehmer kooperieren und kommunizieren müssen. Dieses Problem wird verschärft, wenn es zu sogenannten Pattsituationen kommt, in denen unklar ist, welcher Verkehrsteilnehmer zuerst fahren darf. Nach § 11 (3) StVO müssen die Verkehrsteilnehmer diese Situation zusammen lösen. Mit der Einführung von automatischen Fahrzeugführungen wird es zu einem Mischverkehr kommen (Färber, 2015). In Situationen, die durch Kooperation gelöst werden müssen, benötigen automatische Fahrzeugführungen Empfehlungen, wie sie sich verhalten können, um diese Pattsituation mit dem menschlichen Kooperationspartner aufzulösen.

Dafür wurden in dieser Arbeit zwei exemplarische Szenarien ausgewählt und systematisch untersucht. In einer Beobachtungsstudie wurden relevante Verhaltensweisen zur Lösung der Pattsituation identifiziert. Jedes Szenario wurde in einem eigenständigen Experiment hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit der Verhaltensweisen für eine automatische Fahrzeugführung untersucht. Die Ergebnisse wurden in einem weiteren Schritt mit einem Fragebogen hinsichtlich der Erwartungen überprüft.

Die Untersuchungen zeigten, dass in simplen Pattsituationen Verkehrsteilnehmer es kooperativer empfinden, wenn sie als erstes fahren dürfen und in komplexen Situationen es als kooperativer empfinden, wenn der Kooperationspartner als erstes fährt. Des Weiteren wurde aufgezeigt, dass explizite Kommunikationszeichen für ein defensives Verhalten, nicht aber für ein offensives Verhalten existieren.

Die Ergebnisse werden für das Themengebiet der Mensch-Maschine-Interaktion zwischen automatisch geführten Fahrzeugen und von Menschen gesteuerten Fahrzeugen ausführlich diskutiert.



# Abstract

In 2014, 25% of all road traffic accidents took place in intersections (European Commission, 2016). In particular in situations with more than two road users it can come to incidents. This is because road users have to cooperate and communicate. This problem is exacerbated when there are so-called deadlock situations in which it is unclear which road user has to drive first. With the introduction of automatic vehicle guidance, mixed traffic will occur (Färber, 2015) and increase the problem of deadlock situations, as automatic vehicle guidance must also overcome this problem.

For this purpose, two exemplary scenarios were selected and examined systematically. In an observational study, relevant behaviors for solving the deadlock were identified. Each scenario was investigated in an independent experiment with regard to the usability of the behavior pattern for automatic vehicle guidance. The results were checked in a further step with a questionnaire regarding the expectations.

The investigations showed that in simple stalemate situations, road users feel more cooperative when they are allowed to drive first and in complex situations when the cooperation partner drives first. Furthermore, it was shown that there are only explicit communication signs for a defensive behavior, but not for an offensive behavior.

The results are discussed in detail regarding the possibilities of a human-machine interaction between automatically controlled vehicles and vehicles controlled by humans.



# Inhaltsverzeichnis

Lebenslauf.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
<b>Kurzfassung.....</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>v</b>
<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>vii</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>xi</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>xvii</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>xxiii</b>
<b>Anmerkung.....</b>	<b>xxv</b>
<b>Danksagung.....</b>	<b>xxvii</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>31</b>
<b>2 Theorie.....</b>	<b>33</b>
2.1 Grundlagen der Kooperation im Straßenverkehr.....	33
2.2 Definition: Automatische Fahrzeugführung.....	35
2.3 Grundlagen der Kommunikation.....	38
2.4 Kommunikation im Straßenverkehr.....	45
2.4.1 Unterschiede zur Alltagskommunikation.....	46
2.4.2 Signale im Straßenverkehr.....	52
2.4.3 Informelle vs. formale Regeln.....	58
2.5 Kooperation.....	62
2.5.1 Kooperation vs. Interaktion.....	63
2.5.2 Kooperation mit automatischen Systemen.....	71
2.5.3 Kooperation im Straßenverkehr: Spezifisch.....	80
2.5.4 Kooperation mit verschiedenen automatischen Fahrzeugführungen.....	92
2.5.5 Fahrer-Fahrzeug-Interaktion.....	92
2.6 Fragestellung.....	97

<b>3 Beobachtungsstudie .....</b>	<b>103</b>
3.1 Ziel .....	103
3.2 Methode .....	104
3.2.1 Verhaltensmuster .....	104
3.2.2 Prozedur .....	106
3.2.3 Interraterreliabilität .....	108
3.3 Ergebnisse .....	111
3.3.1 X-Kreuzung .....	111
3.3.2 T-Kreuzung .....	120
3.3.3 Engstellen .....	124
3.4 Fazit .....	135
<b>4 Experimente .....</b>	<b>139</b>
4.1 Experiment I: Engstelle .....	139
4.1.1 Ziel .....	139
4.1.2 Methode .....	141
4.1.3 Ergebnisse .....	159
4.1.4 Diskussion .....	198
4.2 Experiment II: T-Kreuzungsszenario .....	204
4.2.1 Ziel .....	204
4.2.2 Methode .....	206
4.2.3 Ergebnisse .....	216
4.2.4 Diskussion .....	263
4.3 Vergleich von Experiment I und II .....	270
<b>5 Fragebogenuntersuchung .....</b>	<b>275</b>
5.1 Ziel .....	275
5.2 Methode .....	276
5.2.1 Durchführung .....	276
5.3 Ergebnisse .....	282
5.3.1 Hypothesenprüfung .....	284
5.4 Diskussion .....	292
5.4.1 Fazit .....	295
5.4.2 Limitationen .....	296
5.4.3 Ausblick .....	296



<b>6 Diskussion</b> .....	<b>297</b>
6.1 Zusammenführung der Ergebnisse .....	297
6.1.1 Zusammenfassung .....	297
6.1.2 Zusammenführung.....	300
6.2 Gestaltungsempfehlungen für AVs .....	306
6.3 Implikationen für weitere Studien .....	309
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>311</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>335</b>
Anhang A Theorie .....	335
Anhang B Beobachtungsstudie.....	338
Anhang C Experiment .....	340
Instruktion Experiment .....	340
Instruktionen Evaluation.....	343
Verabschiedung .....	343
Einverständniserklärung .....	344
Pflichten des Fahrers.....	346
Beispiel Randomisierung.....	347
Instruktion Versuchsleiter Drehbücher .....	348
Fragebogen VL Durchfahrt.....	350
Abschlussfragebogen Durchfahrt .....	351
Abschlussfragebogen VL/Proband .....	352
Abschlussfragebogen VL/Proband .....	353
Ergebnisse SDST .....	355



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Beispiele für Situationen mit Kooperationsbedarf.....	34
Abbildung 2. Sender-Empfänger Modell nach Shannon & Weaver (1949)....	39
Abbildung 3. Grobstruktur nonverbaler Metakommunikation nach Merten (1977b, S.133).....	48
Abbildung 4. Fahraufgaben nach Bubb (2015), ergänzt um die implizite und explizite Kommunikation. ....	51
Abbildung 5. Relevante Handgesten im Straßenverkehr (aus Färber, 2015, S. 132 zitiert nach Risser 1988).....	54
Abbildung 6. Kooperation nach Hoc (2001) aus Vanderheagen et al. (2006) S.5. ....	68
Abbildung 7. Verteilung von Konflikten in einer Pyramidendarstellung nach Svensson und Hydén (2006). ....	70
Abbildung 8. Kooperationsrahmenmodell aus Vanderheagen et al. (2006) S.6. ....	85
Abbildung 9. Kooperation nach Haar (2016). ....	87
Abbildung 10. Modellvorschlag für das Testen von Kommunikationssets für eine automatische Fahrzeugführung.....	100
Abbildung 11. Gleichrangige Engstelle; Litzenhardtstraße, Karlsruhe. ....	106
Abbildung 12. T-Kreuzung; Bismarckstraße – Fichtestraße, Karlsruhe.....	107
Abbildung 13. X-Kreuzung. Hirschstraße – Gartenstraße, Karlsruhe. ....	107
Abbildung 14. X-Kreuzung: Beispiele für Situationen, die während der Beobachtung aufgetreten sind. Als Basis fungiert die Abbildung der X-Kreuzung. Fahrzeuge ohne Pfeil sind nicht aufgetreten. ....	111
Abbildung 15. X-Kreuzung: Summe der einzelnen Verhaltensweisen. Blau = implizite Signale, Rot = explizite Signale. ....	112

Abbildung 16. T-Kreuzung: Summe der einzelnen Verhaltensweisen. Blau implizite Signale, Rot explizite Signale. ....	120
Abbildung 17. T-Kreuzung: Verhaltenssequenzen für alle Situationen. ....	121
Abbildung 18. Schematische Abbildung einer einseitigen Engstelle. Grünes Fahrzeug entspricht Position 1, graues Fahrzeug entspricht Position 2. ....	125
Abbildung 19. Einseitige Engstelle für Position 1 an der die Verkehrsteilnehmer warten müssen: Häufigkeit der Verhaltenssequenzen. ....	126
Abbildung 20. Einseitige Engstelle für Position 2 an der die Verkehrsteilnehmer fahren dürfen: Häufigkeit der Verhaltenssequenzen. ....	127
Abbildung 21. Gleichrangige Engstelle: Verhaltenssequenzen, aufgeteilt in als erstes/als zweites gefahren. ....	128
Abbildung 22. Gleichrangige Engstelle: Verhaltenssequenzen für die Gruppe als zweites gekommen, als erstes gefahren. ....	130
Abbildung 23. Gleichrangige Engstelle: Verhaltenssequenzen für die Gruppe als erstes gekommen, als zweites gefahren. ....	131
Abbildung 24. Gleichrangige Engstelle: Verhaltenssequenzen. ....	132
Abbildung 25. Verkehrsübungsplatz mit den verschiedenen Stationen: Bildquelle: <a href="http://www.verkehrswacht-karlsruhe.de">www.verkehrswacht-karlsruhe.de</a> Legende: 1. Startpunkt und Beobachtungspunkt VL3, 2. Künstlich erzeugte Engstelle, 3 Rückwärtsfahrparkour, 4.Künstlich verengte Fahrbahn, 5. Station seitwärtsparken, 6. Station: Am Berganfahen, 7.Station: Slalomparkour. ....	143
Abbildung 26. Versuchsdesign; Engstelle. ....	144
Abbildung 27. Beispiel einer Durchfahrt. Silberner VW Passat = VL 1, Blauer VW Passat = Versuchsfahrzeug mit Probanden. .	149
Abbildung 28. Ifab Versuchsfahrzeug. Oben links: Cockpit mit Eye-Tracking-System; Oben rechts Lidarsensor;; Unten Mittig: Gesamtansicht. ....	151

Abbildung 29. Balkendiagramm mit SD für die Variable „Sicherheit, fahren zu dürfen“ im Vergleich zwischen den Drehbüchern; Engstelle. ....	163
Abbildung 30. Balkendiagramm mit SD zu „Wie hoch schätzen Sie das Unfallrisiko in dieser Situation ein“? ; Engstelle. ....	164
Abbildung 31. Kontrastanalyse des Interaktionseffektes Durchgang x Drehbuch; Engstelle. ....	166
Abbildung 32. Balkendiagramm mit SD zu „Wie schätzen Sie die Kooperationsbereitschaft des Gegenübers ein?“; Engstelle. ....	167
Abbildung 33. Mittelwertdiagramme mit Standardabweichung für die Variable „Sicherheit, fahren zu dürfen“; Validitätsprüfung; Engstelle. ....	170
Abbildung 34. Mittelwertdiagramme mit Standardabweichung für die Variable „Unfallrisiko“; Validitätsprüfung; Engstelle. ..	171
Abbildung 35. Mittelwertdiagramme mit Standardabweichung für die Variable "Kooperationsbereitschaft"; Validitätsprüfung; Engstelle. ....	172
Abbildung 36. Modell der Fragestellung A; Engstelle. ....	173
Abbildung 37. Klassifikationsgüte des Modells; Engstelle. ....	174
Abbildung 38. Vorhergesagte Wahrscheinlichkeit zu fahren für die Kommunikationssets, unter dem Einfluss der wahrgenommenen Kooperationsbereitschaft; Engstelle. ....	175
Abbildung 39. Balkendiagramm mit Standardabweichung für den Fahrparameter Zero; Engstelle. ....	180
Abbildung 40. Balkendiagramm mit Standardabweichung für den Fahrparameter HFC; Engstelle. ....	182
Abbildung 41. Balkendiagramm mit Standardabweichung für den Fahrparameter MB; Engstelle. ....	183
Abbildung 42. Balkendiagramm mit Standardabweichung für den Fahrparameter ABD; Engstelle. ....	184

Abbildung 43. Balkendiagramm mit Standardabweichung für den Fahrparameter DMM; Engstelle.....	185
Abbildung 44. Mittelwertdiagramm für Fixationen pro Sekunde; Engstelle.....	187
Abbildung 45. Mittelwertdiagramme für die Anzahl der Fixationen auf Gegenüber und Fahrbahn; Engstelle. ....	190
Abbildung 46. Mittelwertdiagramme für die Variable „mittlere Fixationsdauer“ auf „Fahrbahn“, „Gegenüber“ und „Hindernis“; Engstelle. ....	192
Abbildung 47. Mittelwertdiagramme von Cluster 1; Engstelle.....	196
Abbildung 48. Mittelwertdiagramme von Cluster 2; Engstelle.....	196
Abbildung 49. Mittelwertdiagramme von Cluster 3; Engstelle.....	197
Abbildung 50. T-Kreuzungsszenario nach den verschiedenen Positionen aufgeschlüsselt. ....	205
Abbildung 51. Beispielbild der Durchführung. Auf Position 1 - VL 1, Position 2 Proband und Position 3 VL 2; T-Kreuzung....	211
Abbildung 52. Boxplot für die Variable „Sicherheit, fahren zu dürfen“, getrennt nach dem Faktor Drehbuch; T-Kreuzung.....	220
Abbildung 53. Boxplot für die Variable „Sicherheit, fahren zu dürfen“, getrennt nach dem Faktor Reihenfolge; T-Kreuzung.....	221
Abbildung 54. Boxplot für die Variable „Kooperationsintensität“; T-Kreuzung.....	223
Abbildung 55. Boxplot für die Variable „Unfallrisiko“, getrennt nach dem Faktor Drehbuch; T-Kreuzung.....	226
Abbildung 56. Boxplot für die Variable „Unfallrisiko“, getrennt nach dem Faktor Reihenfolge; T-Kreuzung.....	227
Abbildung 57. Screenshot aus dem Experiment zur Prüfung der Validität der Videos; T-Kreuzung.....	229
Abbildung 58. Mittelwertdiagramm für die Variable „Sicherheit, zu fahren“ in der Validitätsüberprüfung; T-Kreuzung.....	230

Abbildung 59. Mittelwertdiagramm für die Variable „Unfallrisiko“ in der Validitätsüberprüfung; T-Kreuzung.....	231
Abbildung 60. Mittelwertdiagramm mit Standardabweichung für die Variable Maximale laterale Beschleunigung; T-Kreuzung.....	237
Abbildung 61. Mittelwertdiagramm mit Standardabweichung für die Variable Stillstandszeitpunkt; T-Kreuzung.....	240
Abbildung 62. Mittelwertdiagramm mit Standardabweichung für die Variable Wiederbeschleunigungszeitpunkt; T-Kreuzung.....	243
Abbildung 63. Mittelwertdiagramm mit Standardabweichung für die Variable Rantasten; T-Kreuzung.....	248
Abbildung 64. Mittelwertdiagramm mit Standardabweichung für die Variable Bremszeitanteil; T-Kreuzung.....	250
Abbildung 65. Mittelwertdiagramm mit Standardabweichung für die Variable SDST; T-Kreuzung.....	253
Abbildung 66. Mittelwertdiagramm mit Standardabweichung für die Variable HFC; T-Kreuzung.....	256
Abbildung 67. Boxplotdiagramm für die Cluster 1; T-Kreuzung.....	260
Abbildung 68. Boxplotdiagramm für die Cluster 2; T-Kreuzung.....	261
Abbildung 69. Die sechs verschiedenen Verkehrssituationen. Beginnend von links: a) X-Kreuzungsszenario, b) T-Kreuzungsszenario, c) Gleichrangige Engstelle, d) Rechts vor links mit gleich breiten Straßen, e) Einseitige Engstelle f) Rechts vor links, nicht gleich.....	277
Abbildung 70. Fahrereinstellungen der Befragten.....	279
Abbildung 71. ROC-Kurve für Modell 1 zur Überprüfung von Hypothese 1-1. Fragebogenerhebung.....	286
Abbildung C. Pflichten des Fahrers 1.....	346





# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Vergleich der Automationsstufen von BAST und SAE. Anmerkung. Grün $\triangleq$ Mensch, Rot $\triangleq$ Automation, Orange $\triangleq$ Automation und Mensch. ....	36
Tabelle 2. Stufen der Autonomie in Bezug auf Entscheidungen und Handlungsauswahl nach Parasuraman et al. (2000). ....	77
Tabelle 3. Ansätze zur Lösung von Kooperationsproblemen nach Elvik (2014), inklusive Ergänzungen des Autors. ....	81
Tabelle 4. Gefangenendilemma nach Rapoport und Chammah (1965). ....	82
Tabelle 5. Gefangendilemma, übertragen auf eine gleichrangige Engstelle..	83
Tabelle 6. Taxonomie übersetzt nach Fuest, Sorokin, Bellem und Bengler (2018, S. 712). ....	95
Tabelle 7. Verhaltensweisen, die beobachtet wurden und relevant für die Untersuchung waren. ....	105
Tabelle 8. Interraterreliabilität der Beobachtungsmethode. ....	110
Tabelle 9. X-Kreuzung: Verhaltenssequenzen für alle Situationen. ....	114
Tabelle 10. X-Kreuzung: Verhaltenssequenzen aufgeteilt in die Trajektorien: „Geradeaus“, „Links abbiegen“ und „Rechts abbiegen“. ....	116
Tabelle 11. X-Kreuzung: Mitgliedschaftskoeffizienten aus der Fuzzy- Clusteranalyse. Fett markiert sind Zuordnungen, die in dem jeweiligen Cluster gehören. ....	118
Tabelle 12. T-Kreuzung: Mitgliedschaftskoeffizienten aus der Fuzzy- Clusteranalyse. Fett markiert sind Zuordnungen, die in dem jeweiligen Cluster gehören. ....	122
Tabelle 13. T-Kreuzungsszenario: Identifizierte Verhaltensweisen. ....	123
Tabelle 14. Identifizierte Verhaltensweisen für das gleichrangige Engstellenszenario. ....	133
Tabelle 15. Relevante Fahrparameter für das Engstellenszenario. ....	152
Tabelle 16. Übersicht der ausgewerteten Eye-Tracking Parameter. ....	158

Tabelle 17. Bonferroni Post-Hoc Tests für die Variable "Sicherheit, fahren zu dürfen"; Engstelle.....	162
Tabelle 18. Übersicht über paarweise Vergleiche. Anmerkung: Nur Darstellung der signifikanten Ergebnisse; Engstelle. ....	164
Tabelle 19. Übersicht 2 x 6 ANCOVA mit gefahrenen Kilometern in der Woche als Kovariate; Engstelle. ....	165
Tabelle 20. Normalverteilung der Fahrparameter für die Engstelle. ....	176
Tabelle 21. Normalverteilung der Residuen der Fahrparameter für die Engstelle.....	176
Tabelle 22. t-test für Hypothese 1-1, Fragestellung B; Engstelle.....	177
Tabelle 23. Überprüfung der Varianzhomogenität für die Fahrparameter; Engstelle.....	178
Tabelle 24. Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA für die Fahrparameter; Engstelle.....	179
Tabelle 25. Paarweise Vergleiche mithilfe der Bonferroni-Korrektur für den Parameter ZERO; Engstelle. ....	180
Tabelle 26. Paarweise Vergleiche mithilfe der Bonferroni-Korrektur für den Parameter HFC; Engstelle.....	181
Tabelle 27. Paarweise Vergleiche mithilfe der Bonferroni-Korrektur für den Parameter MB; Engstelle. ....	183
Tabelle 28. Paarweise Vergleiche mithilfe der Bonferroni-Korrektur für den Parameter ABD; Engstelle. ....	184
Tabelle 29. Paarweise Vergleiche mithilfe der Bonferroni-Korrektur für den Parameter DMM; Engstelle.....	185
Tabelle 30. Spearman Korrelationskoeffizienten der subjektiven Einschätzungen mit den verschiedenen Fahrparametern; Engstelle.....	186
Tabelle 31. Ergebnisse der ANOVA für die AV „Anzahl der Fixationen" hinsichtlich der UV „Drehbuch"; Engstelle. ....	188
Tabelle 32. Paarweise Vergleiche zwischen den Drehbüchern für die Anzahl der Fixationen auf das AOI „Fahrbahn“ mithilfe der	

	Bonferroni Post-Hoc-Tests. Anmerkung: Es werden nur statistisch signifikante Ergebnisse berichtet; Engstelle... 189
Tabelle 33.	Paarweise Vergleiche zwischen den Drehbüchern für Anzahl von Fixationen auf das AOI „Gegenüber“ mithilfe von Bonferroni Post-Hoc-Tests. Anmerkung: Es werden nur statistisch signifikante Ergebnisse berichtet; Engstelle... 189
Tabelle 34.	Ergebnisse der ANOVA für die AV „mittlere Fixationsdauer“ hinsichtlich der UV „Drehbuch“; Engstelle. .... 190
Tabelle 35.	Paarweise Vergleiche zwischen den Drehbüchern für die Variable „mittlere Fixationsdauer“ auf das AOI „Fahrbahn“ mithilfe von Bonferroni Post-Hoc-Tests. Anmerkung: Es werden nur statistisch signifikante Ergebnisse berichtet; Engstelle. .... 191
Tabelle 36.	Paarweise Vergleiche zwischen den Drehbüchern für die Variable „mittlere Fixationsdauer“ auf das AOI „Gegenüber“ mithilfe von Bonferroni Post-Hoc-Tests. Anmerkung: Es werden nur statistisch signifikante Ergebnisse berichtet; Engstelle. .... 191
Tabelle 37.	Signifikante okulare Parameter; Engstelle..... 194
Tabelle 38.	Fuzzy-Analyse für okulare Parameter; Engstelle. .... 195
Tabelle 39.	Korrelationstabelle zwischen okularen Parametern und subjektiven Einschätzungen; Engstelle. .... 198
Tabelle 40.	Drehbücher und Positionszuordnungen für das T-Kreuzungsszenario. .... 208
Tabelle 41.	Relevante Fahrparameter für das T-Kreuzungsszenario basierend auf Bönsch (2017). .... 213
Tabelle 42.	Bewertung der Fahrparameter für unterschiedliche Positionen und die Mission; T-Kreuzung. .... 214
Tabelle 43.	Vergleich der verschiedenen Modelle für die Variable „Sicherheit, fahren zu dürfen“; T-Kreuzung. .... 219
Tabelle 44.	Mehrebenenanalyse für Modell 2 mit der AV „Sicherheit, fahren zu dürfen“; T-Kreuzung. .... 220

Tabelle 45. Vergleich der verschiedenen Modelle für die Variable Kooperationsintensität; T-Kreuzung. ....	222
Tabelle 46. Mehrebenenanalyse für Modell 2 mit der AV „Kooperationsintensität "; T-Kreuzung.....	222
Tabelle 47. Vergleich der verschiedenen Modelle für die Variable „Unfallrisiko“; T-Kreuzung. ....	224
Tabelle 48. Mehrebenenanalyse für Modell 2 mit der AV „Unfallrisiko";T- Kreuzung.....	225
Tabelle 49. Übersicht multinomiale Regression; T-Kreuzung. ....	232
Tabelle 50. Wahrscheinlichkeit zu fahren, in Abhängigkeit der Kommunikationssets und Reihenfolge; T-Kreuzung. ....	232
Tabelle 51. Messwiederholte ANOVA für den Parameter MB; T- Kreuzung.....	234
Tabelle 52. Messwiederholte ANOVA für den Parameter Maximale laterale Beschleunigung; T-Kreuzung. ....	235
Tabelle 53. Kontrastanalyse für die messwiederholte ANOVA zur Analyse des Parameters laterale Beschleunigung; T-Kreuzung....	236
Tabelle 54. Messwiederholte ANOVA für den Parameter Stillstandszeitpunkt; T-Kreuzung.....	238
Tabelle 55. Kontrastanalyse für die messwiederholte ANOVA zur Analyse des Parameters Stillstandszeitpunkt; T-Kreuzung.....	239
Tabelle 56. Messwiederholte ANOVA für den Parameter Wiederbeschleunigungszeitpunkt; T-Kreuzung. ....	241
Tabelle 57. Kontrastanalyse für die messwiederholte ANOVA zur Analyse des Parameters Wiederbeschleunigungszeitpunkt; T- Kreuzung.....	242
Tabelle 58. Messwiederholte ANOVA für den Parameter Stillstandsdauer; T- Kreuzung.....	244
Tabelle 59. Messwiederholte ANOVA für den Parameter Stoppdauer; T- Kreuzung.....	245

Tabelle 60. Messwiederholte ANOVA für den Parameter Rantasten; T-Kreuzung.....	246
Tabelle 61. Kontrastanalyse für die messwiederholte ANOVA zur Analyse des Parameters Rantasten; T-Kreuzung.....	247
Tabelle 62. Messwiederholte ANOVA für den Parameter ABD; T-Kreuzung.....	249
Tabelle 63. Messwiederholte ANOVA für den Parameter SDST; T-Kreuzung.....	251
Tabelle 64. Kontrastanalyse für die messwiederholte ANOVA zur Analyse des Parameters SDST; T-Kreuzung.....	252
Tabelle 65. Messwiederholte ANOVA für den Parameter Zero; T-Kreuzung.....	254
Tabelle 66. Messwiederholte ANOVA für den Parameter Zero; T-Kreuzung.....	254
Tabelle 67. Messwiederholte ANOVA für den Parameter HFC; T-Kreuzung.....	255
Tabelle 68. Übersicht der Fahrparameter bezüglich der Hypothesenprüfung; T-Kreuzung.....	257
Tabelle 69. Signifikante Ergebnisse der messwiederholten ANOVA für die okularen Parameter; T-Kreuzung.....	259
Tabelle 70. Ergebnisse der Clusteranalyse bei zwei angenommenen Clustern; T-Kreuzung.....	260
Tabelle 71. Korrelationsmatrix der signifikanten okularen Parameter mit den subjektiven Einschätzungen; T-Kreuzung.....	262
Tabelle 72. Übersicht der Häufigkeit der verwendeten Signale über alle Situationen.....	283
Tabelle 73. Prozentuale Verteilung für jede Situation hinsichtlich als erstes oder später fahren zu wollen.....	284
Tabelle 74. Modelltest zur Überprüfung von Hypothese 1-1. Fragebogenerhebung.....	284

Tabelle 75. Logistische Regression zur Überprüfung von Hypothese 1-1. Fragebogenerhebung .....	285
Tabelle 76. Bravais-Pearson Korrelation zwischen gewähltem und erwartetem Verhalten zur Prüfung von Hypothese 2-1. Fragebogenuntersuchung .....	287
Tabelle 77. Fuzzyanalyse für die X-Kreuzung. Fragebogenuntersuchung..	288
Tabelle 78. Fuzzyanalyse für die T-Kreuzung: Ohne Geradeausfahrposition, Fragebogenuntersuchung .....	289
Tabelle 79. Fuzzyanalyse für die T-Kreuzung: Ohne Linksabbiegerposition, Fragebogenuntersuchung .....	290
Tabelle 80. Fuzzyanalyse für die T-Kreuzung: Gleichrangige Engstelle Fragebogenuntersuchung .....	291

# Abkürzungsverzeichnis

ABD	Anteil der Bremsdauer
AF	Automatische Fahrzeugführungen
AOI	Area of Interest
AV	Abhängige Variable
B	Blinzelparameter
UV	Unabhängige Variable
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
DMM	Differenz aus Minimal- und Maximalgeschwindigkeit
FFI	Fahrer-Fahrzeug-Interaktion
FX	Fixationsparameter
HFC	Hochfrequenzkomponenten des Lenksignals
ifab	Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation
km/h	Kilometer in der Stunde
LANEX	Spurüberschreitungen
MB	Maximale Bremsstärke
MLB	Maximale Laterale Beschleunigung
MRI	Mensch-Roboter-Interaktion
MMS	Mensch-Maschine-Schnittstelle

MLP	Mittlere Laterale Position
MV	Menschliche Verkehrsteilnehmer
NNI	Nearest Neighbor Index
PD	Pupillendurchmesser
RT	Rantasten
SAE	Society of Automotive Engineers
SC	Sakkadenparameter
SD	Stoppdauer
SDLP	Standardabweichung der lateralen Position
SDST	Standardabweichung des Lenkwinkels
SRR	Steering Wheel Reversal Rate
StVO	Straßenverkehrsordnung
SZZP	Stillstandszeitpunkt
TLC	Time-to-line-Crossing
WBZB	Wiederbeschleunigungszeitpunkt
ZERO	Nulldurchgänge des Lenkwinkels



## **Anmerkung**

Die Arbeit orientiert sich bei der Schreibweise von Zahlen an den Richtlinien der Deutschen Gesellschaft für Psychologie (Deutsche Gesellschaft für Psychologie, 2007).

Aus Gründen der Lesbarkeit wird an Stellen an denen eine geschlechtsneutrale Formulierung aus grammatikalischer oder stilistischer Sicht unpassend erschien, auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beiderlei Geschlecht.



# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen und Institutionen bedanken, die zu einem erfolgreichen Gelingen beigetragen haben.

Ich möchte mich herzlichst bei Frau Prof. Dr. Barbara Deml bedanken. Ihre Unterstützung, sowie Ihre fachliches Feedback haben mich zu jedem Zeitpunkt der Dissertation unterstützt. Des Weiteren möchte ich mich für die große Freiheit während der Untersuchungen und dem Auge zudrücken bei dem ein oder anderen Scherz bedanken.

Ein großer Dank gebührt Herrn Prof. Dr. Martin R. Baumann für die Übernahme des Zweitgutachtens, sowie für wertvolle inhaltliche Impulse und dass ich mich an Ihrem Lehrstuhl wie zu Hause fühlen durfte.

Weiterhin möchte ich den Institutionen der DFG, KIT und der Verkehrswacht Karlsruhe danken. Ebenso gilt mein Dank Spotify und Netflix. Insbesondere gilt mein Dank George Lucas und dem Star Wars Universum, sowie der Rocky Filmreihe, welche ich während des Schreiben geguckt habe und mich motiviert haben weiter zu machen.

Ein großer Dank gebührt natürlich den Kollegen und Kolleginnen des ifabs. Ohne euch wäre die Zeit am ifab nicht mal halb so toll gewesen. Einen besonderen Dank möchte ich aussprechen an: Dr. Marc Schneider, der mir dieses wundervolle Institut empfohlen hat; Sabrina Bringeland für die anregenden Gespräche am frühen Morgen; Dr. Tobias Heine für die vielen Wortwitze und dass ich weiß, dass die Katze im Berg wohnt; Marco Käppler dem Radexperten meines Vertrauens, sowie Manuel Zaremski, der den ein oder andern Spruch erdulden musste, weil er aus Gießen kommt. Zusätzlich muss ich ein riesen-großes Dankeschön an die drei Kolleg\*innen aussprechen, die mich über zwei Jahre in direkter Anwesenheit ertragen mussten: Elena Wolf, mein Patin, ohne deren Einführung und deren Humor hätte ich mich niemals am Institut zurecht gefunden und zu Hause gefühlt; Fabian Ries, meinem Lieblingsbayer und

„Zuschwafelpartner in allen Lebenslagen, DJ für Regentage und Reggeaton sowie meinem persönlichen Bergführer – ich hoffe wir verlieren uns nicht aus den Augen - und natürlich Katrin Linstedt – du musstest mich mehr als zwei Jahre ertragen, sehr viel Korrektur lesen und unzählige Fun Facts verarbeiten. Ich möchte mich für die tolle Zeit bedanken und hoffe es kehrt jetzt etwas Ruhe in dein Büro ein. Vielen Dank euch dreien – Möge die Macht mit euch sein.

Natürlich geht ein weiterer Dank an meinen ehemaligen Kollegen, Freund und Trauzeugen Simon Stache: Vielen Dank für anregenden Statistik-Diskussionen, die Hilfe mit dem Clustern und deiner Freundschaft.

Ich möchte mich bei all den wissenschaftlichen Hilfskräften und Praktikanten bedanken, die mich auf dem steinigen Pfad der Dissertation begleitet haben: Maureen Ruesch, du bist jetzt auf der guten Seite der Macht!; Tobias Weyer, Mr. Fahr Simulator, ich ziehe meinen Hut vor dir, du wirst deinen Weg gehen; Jakob Bönsch, du konntest jede noch so verwirrte Idee umsetzen, einfach eine Maschine; Johanna Hess, vielen Dank für die perfekte Umsetzung von nicht ganz stringent formulierten OpenSesame-Ideen und dem Einbringen deiner Gedanken und Ideen; Dennis Grötzingler, leider haben sich unsere Wege sehr früh getrennt, aber ich hoffe, dass ich dich für Arbeitswissenschaft begeistern konnte; sowie Julius Braun, vielen Dank für die erste Umsetzung, der Idee, des Interaktionstests.

Des Weiteren möchte ich mich bei allen Abschlussarbeitern bedanken, die ich betreuen durfte. Ich hoffe ihr konntet so viel von mir lernen, wie ich von euch.

Zu guter Letzt, aber im Herzen als erstes, möchte ich mich bei meiner Familie bedanken: Ein unendlich großes Dankeschön geht an meine Eltern, die mich immer unterstützt haben. Ohne euch wäre ich nicht da, wo ich jetzt bin. Vermutlich wäre ich Pizzabäcker geworden oder wäre Besitzer und bester Kunde der Imbissbude „Imbisweiler“. Ein riesen großes Dankeschön geht an meine Großeltern Oma Helga, Oma Rita, Opa Heinz und Opa Theo für die Liebe, die ich erfahren durfte und dem Wissen, dass alles gut wird, sowie natürlich bei meiner Patentante Angelika und meinem Onkel Schorsch, für Unterkunft, Essen, gutes Bier und dem Wissen, dass man nicht alleine in Karlsruhe ist.

Zuletzt gilt mein Dank, dem für mich wichtigsten menschlichen Wesen in diesem Universum, meiner zukünftigen Frau Vanessa. Vielen Dank für die Unterstützung in den letzten drei Jahren. Vielen Dank dafür, dass ich dich lieben darf. Vielen Dank dafür, dass du da bist. Ich freue mich auf die gemeinsame Zukunft mit dir.

Karlsruhe, im Januar 2019

Jonas Imbsweiler

Live long and prosper



---

# 1 Einleitung

Die Einführung von automatischen Fahrzeugführungen rückt immer näher. Nach Johannig und Mildner (2015) ist mit einem Mischverkehr innerhalb der nächsten fünf bis zehn Jahre zu rechnen. Gegenwärtige Unfälle zeigen nach der Europäischen Kommission (2016), dass der Mischverkehr eines der größten Probleme darstellt, gleichzeitig aber große Entwicklungsmöglichkeiten in der Mensch-Roboter-Interaktion schafft. Dies wird daran ersichtlich, dass 24% der Unfälle auf Kreuzungen und somit dem innerstädtischen Verkehr zurückzuführen sind.

Eine der größten Herausforderungen im Mischverkehr ist die Interaktion zwischen den einzelnen Verkehrsteilnehmern. Diese Herausforderung wird noch größer, wenn bedacht werden muss, dass es in alltäglichen Situationen zu kooperativen Situationen kommen kann, die nicht mit Verkehrsregeln abgedeckt sind und somit eine automatische Fahrzeugführung keine Handlungsanweisung besitzt.

Ein Bereich, in dem zukünftig eine Interaktion und eine daraus folgende Kooperation zwischen Mensch und Roboter folgen wird, ist der Straßenverkehr. Es kann davon ausgegangen werden, dass in den nächsten vier bis acht Jahren Automobile mit einem SAE-Level von 4 eingeführt werden (Johannig & Mildner, 2015). Diese Roboter sollten in der Lage sein das menschliche Kooperationsverhalten zu verstehen.

Des Weiteren ist nach der aktuellen Erkenntnislage wenig Wissen über das Verhalten von menschlichen Verkehrsteilnehmern in kooperativen Situationen vorhanden.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, menschliches Kooperationsverhalten im Verkehr auf der einen Seite zu untersuchen, um für nachfolgende Forschungsarbeiten eine Grundlage zu bilden. Auf der anderen Seite sollen Gestaltungsempfehlungen für automatische Fahrzeugführungen entwickelt werden, um den Mischverkehr der nahen Zukunft zu regeln. Dafür wird in der

Dissertationsschrift versucht, die in der Wissenschaft vorhandene methodische Vielfalt einzusetzen, um ein möglichst großes Bild über Kooperation im Straßenverkehr zu erlangen.

Dafür wird in Kapitel 2 ein theoretischer Überblick geschaffen, indem eine Herleitung von Kommunikation im Straßenverkehr durchgeführt wird und aufgezeigt wird, inwiefern sich Interaktion von Kooperation unterscheidet. Des Weiteren wird diskutiert, inwieweit die Konzepte der Kooperation auf den Straßenverkehr übertragbar sind.

In Kapitel 3 wird eine Beobachtungsstudie vorgestellt, die verschiedene Verhaltensweisen identifiziert hat, welche in Kapitel 4 experimentell untersucht wurden. Neben dem Beobachten und Testen wird in Kapitel 5 eine Fragebogenuntersuchung vorgestellt, welche die Erwartungen der Verkehrsteilnehmer in kooperativen Situationen untersucht hat. In Kapitel 6.1 werden die Ergebnisse zusammengeführt und diskutiert, um abschließend in Kapitel 6.2 Gestaltungsempfehlungen für automatische Fahrzeugführungen abzuleiten.



---

## 2 Theorie

Die nachfolgende Beschreibung des theoretischen Hintergrundes gliedert sich nach folgendem Schema: In einem ersten Abschnitt werden die Grundlagen der Kommunikation und Kooperation näher erklärt (Kapitel 2.1-2.3). In einem zweiten inhaltlichen Abschnitt werden diese spezifisch auf den Straßenverkehr angewendet (Kapitel 2.4-2.5). Daraus wird in Kapitel 2.6 die Zielsetzung noch einmal spezifisch abgeleitet und die Fragestellung näher vorgestellt.

### 2.1 Grundlagen der Kooperation im Straßenverkehr

Kooperation im Straßenverkehr ist omnipräsent und kann auftreten ohne dass alle beteiligten Verkehrsteilnehmer diese bemerken. So ist es eine Frage der Perspektive, ob Verkehrsteilnehmer eine Situation als kooperativ empfinden oder nicht.

In den Anfängen des Automobils konnte Kooperation dahingehend definiert werden als der Zustand, dass sich keiner der Teilnehmer verletzte: *„Dichte Staubwolken hinter sich her zu ziehen, wurde zum Sport, ebenso wie die Schadenfreude, dass Menschen panisch zur Seite springen mussten und verstaubt hustend zurückblieben, wenn man mit dem Automobil vorbei donnerte.“* (Hölzl, 2008, S. 19)

Typische kooperative Situationen entstehen im täglichen Straßenverkehr in zwei Zonen:

- auf Autobahnen bei Spurwechseln und Auffahrten (Kauffmann, Raeth, Winkler, & Vollrath, 2017)
- in innerstädtischen Szenarien (Imbsweiler, Ruesch, Palyafári, Deml, & Puente León, 2016); typischerweise 30 km/h Zonen

In der Stadt oder Verkehrsbereichen mit 30 km/h bzw. 50 km/h entstehen kooperative Situationen an Kreuzungen mit Vorfahrtsregel oder auf den Verbindungsstrecken zwischen den Kreuzungen, wenn Hindernisse auf der Fahrbahn sind, die umfahren werden müssen. In Kreuzungen entstehen insbesondere dann kooperative Situationen, wenn mehrere Verkehrsteilnehmer die Kreuzung erreichen und aufgrund der Fahrtrichtungswünsche eine Pattsituation entsteht, weil keine klare Regelung existiert, wer zuerst fahren darf (Abbildung 1).

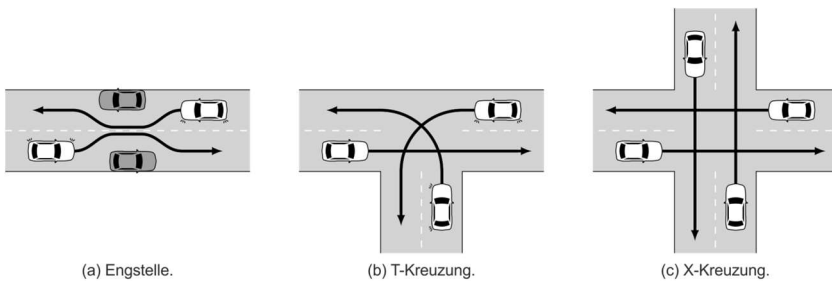


Abbildung 1. Beispiele für Situationen mit Kooperationsbedarf.

Merten (1977) beschreibt den Straßenverkehr als ein normatives, anonymes System, in welchem eine Kommunikation wie aus dem Alltag bekannt, nicht möglich ist. Zaidel (1992) fügt dazu an, dass die Entscheidung von Verkehrsteilnehmern zum Teil davon abhängig ist, auf welche Art und Weise Verkehrsteilnehmer miteinander kommunizieren. Aufgrund dieser Systemeigenschaft und der Möglichkeit mit einer automatischen Fahrzeugführung bewusst Einfluss auf die Situation nehmen zu müssen sowie der bestehenden Notwendigkeit, rückt Kommunikation im Straßenverkehr in den Fokus der aktuellen Forschung.

Kooperation wurde als ein Verhalten betrachtet welches als das bewusste Inkaufnehmen eines Nachteiles beschrieben werden kann (Benmimoun, Neunzig, & Maag, 2004). In Untersuchungen von Benmimoun et al. (2004)

wurde Kooperation als ein Werkzeug betrachtet, um den Verkehrsfluss zu erhöhen und somit den professionellen Verkehrsteilnehmern, wie Taxifahrern oder LKW-Fahrern, zugeschrieben werden kann.

Haar, Kleen, Albrecht, Schmettow und Verwey (2016) beschreiben, dass Kooperation auf einem intuitiven Weg entsteht und von mehreren Faktoren wie Stimmung und Emotionen abhängig ist. Des Weiteren fügt er an, dass Kooperation für einen von zwei Kooperationspartnern unbemerkt bleiben kann. Nach Renge (2000) hilft Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmern, Verhalten zu koordinieren, den Verkehr zu regulieren, das Intendieren von Signalen sowie anderen Vorfahrt zu gewähren oder sich selbst die Vorfahrt zu nehmen, unabhängig davon, ob diese bewusst oder unbewusst eingesetzt wird, da wie in dem vorherigen beschriebenen Abschnitt bereits festgestellt wurde, dass kommuniziert werden muss. Diese beschriebenen Fähigkeiten muss eine automatische Fahrzeugführung beherrschen, um in dem entstehenden Mischverkehr handeln zu können und auftretende kooperative Situationen zu bewältigen.

Je näher die Einführung von automatischen Fahrzeugführungen rückt, desto wichtiger wird es sein, die Kooperation im Straßenverkehr zu untersuchen, um einen erfolgreichen Mischverkehr bewältigen zu können. Dies wird ein notwendiger Schritt sein, um sicheren Verkehr zu ermöglichen. Des Weiteren wird es nötig sein, den Begriff der Kooperation besser zu definieren, um einer Automation ermöglichen zu können ab wann diese sich in einer kooperativen Situation befindet.

Im nachfolgenden Kapitel wird das Konzept einer automatischen Fahrzeugführung näher vorgestellt, um später ableiten zu können, was diese beherrschen muss, um kooperative Situationen zu bewältigen.

## **2.2 Definition: Automatische Fahrzeugführung**

In diesem Unterkapitel wird zunächst das Konzept einer automatischen Fahrzeugführung näher vorgestellt. Dafür müssen in einem ersten Schritt die Stufen

der Automation nach der SAE (Society of Automotive Engineers) J3016 Norm (2014) sowie der BASt (Bundesanstalt für Straßenwesen) erläutert werden.

Der Begriff der automatischen Fahrzeugführung kann irreführend sein, da dieser nicht klar definiert, welche Fähigkeiten die automatische Führung besitzt. Um diese Mängel zu beheben, haben sich zwei Klassifizierungssysteme etabliert: Die SAE Stufen (2014, 2016) mit der Norm SAE J3016™ und die Klassifizierung der BASt (Bundesanstalt für Straßenwesen) (Gasser, 2015). In der nachfolgenden Tabelle 1 werden die beiden Klassifizierungen verglichen. Da die Stufen der SAE aus einer englischsprachigen Quelle entspringen, werden diese nicht übersetzt, um keine Übersetzungsverluste zu provozieren.

Tabelle 1. Vergleich der Automationsstufen von BASt und SAE. Anmerkung. Grün ≙ Mensch, Rot ≙ Automation, Orange ≙ Automation und Mensch.

Stufen	SAE-Stufen	BASt-Stufen	Lenkung /Beschleunigen /Bremsen	Überwachen der Umwelt	Rückfall-ebene	Fahraufgaben der Automation
0	No Automation	Driver-only	Mensch	Mensch	Mensch	Keine Fahraufgabe
1	Driver-assistance	Assistiert	Mensch	Mensch	Mensch	Einzelne Fahraufgaben
2	Partial-automation	Teilautomatisiert	System	Mensch	Mensch	Einzelne Fahraufgaben
3	Conditional-automation	Hochautomatisiert	System	System	Mensch	Einzelne Fahraufgaben
4	High automation	Vollautomatisiert	System	System	System	Einzelne Fahraufgaben
5	Full automation		System	System	System	Alle Fahraufgaben

Auf den ersten Blick sind die beiden Klassifizierungen sehr ähnlich. Beide Klassifizierungen weisen als erste Stufe eine „Driver-only“ Stufe auf (SAE = 0, BASt = 1), welche keine Assistenzsysteme aufweist und der Mensch die

longitudinale und laterale Kontrolle des Fahrzeuges übernimmt und die Umwelt überwacht. Die nächste Stufe ist ebenfalls identisch (SAE = 1, BAST = 2). Der Mensch übernimmt hier auch alle Aufgaben, mit dem Unterschied, dass einzelne Fahraufgaben assistierend unterstützen, wie z. B. ein Tempomat oder eine Abstandsregelung. In der dritten Stufe (SAE = 2, BAST = 3) ist das Fahrzeug teilautomatisiert. Ab hier kann die Automation die longitudinale und laterale Kontrolle des Fahrzeuges übernehmen, wie beispielsweise ein ACC (Adaptive Cruise Control). Das Fahrzeug kann teilautomatisiert und somit selbstständig fahren. Allerdings stellt der Fahrer die letzte Rückfallebene dar und muss somit noch überwachen. Das System kann den Fahrer zur Übernahme auffordern. Beide Klassifizierungssysteme (die „Vollautomatisierte“ Stufe nach BAST bzw. nach SAE „high automation“) gehen davon aus, dass die Automation in der Lage ist, einen Großteil der Fahraufgaben zu bewältigen. Der Mensch stellt ebenfalls nicht mehr die letzte Rückfallebene dar und muss nicht mehr mit einer Übernahmeaufforderung rechnen. Die Automation muss aber nicht zwingend alle Situationen beherrschen. So kann es z. B. möglich sein, auf der Autobahn zu fahren und Spurwechselmanöver etc. durchzuführen, aber das Auf- und Abfahren auf eine Autobahn muss noch von dem menschlichen Fahrer übernommen werden.

Die Norm der SAE geht noch einen Schritt weiter und beschreibt mit der Stufe 5 die Vollautomatisierung (Full Automation). In dieser Stufe ist vorgesehen, dass die Automation alle Fahraufgaben unter allen Umweltbedingungen beherrscht und der menschliche Fahrer keine Aufgaben übernehmen muss. Die BAST sieht eine derartige letzte Abstufung nicht vor.

Im Folgenden wird sich bei der Verwendung der Automationsgrade an dem Klassifizierungssystem der SAE orientiert, da dieses international gebräuchlich ist. Des Weiteren bezieht sich ein Großteil der Überlegungen auf die Automationsstufe 3 „Conditional Automation“, da ab dieser Stufe der Fahrer nicht mehr überwachen muss.

Im Anschlusskapitel wird das Konstrukt der Kommunikation näher erläutert. Zuerst werden relevante Modelle der Kommunikation vorgestellt. In einem zweiten Schritt wird aufgezeigt, wie kommuniziert werden kann.

## 2.3 Grundlagen der Kommunikation

Unter Kommunikation wird im Allgemeinen der Austausch von Informationseinheiten verstanden. Der Begriff Kommunikation leitet sich aus dem lateinischen „communicatio“ ab, was so viel wie *Mitteilung* bedeutet.

In einer Literaturstudie haben Krauss und Kuglanski (1996) vier Gruppen von Kommunikationsarten identifizieren können, die sich zwischen den verschiedenen Modellen der Psychologie differenzieren lassen:

1. Encoder-/Decoder-Modelle (Sender-/Empfänger-Modelle),
2. Intentionale Modelle,
3. Perspektivübernahmemodelle,
4. Dialogmodelle.

Shanon & Weaver (1949) entwickelten das Sender-Empfänger-Modell (1) der Kommunikation (Abbildung 2), welches gleichzeitig eines der populärsten Kommunikationsmodelle ist und den Beginn der wissenschaftlichen Verwendung von Encoder/Decoder-Modellen einläutete. Das Verständnis von Kommunikation wird heute in der Mensch-Maschine-Interaktion genutzt (Henrich, Fischer, Gecks, & Kuhn, 2008; Winner, Hakuli, Lotz, & Singer, 2015). Das Sender-Empfänger-Modell beschreibt den Informationsweg, den ein gesendetes Signal nimmt. Der Beginn liegt immer bei dem Sender welcher ein Signal, um eine bestimmte Botschaft zu übermitteln über ein Sendegerät an das Empfangsgerät eines Empfängers sendet. Zur Übermittlung des Signals dient ein Kanal, der durch entsprechende Störquellen unterbrochen und verfälscht werden kann. Die Herausforderung bei der Übermittlung von Informationen ist, dass das gesendete Signal korrekt bei dem Empfänger ankommt. Dafür benötigen Sender und Empfänger das gleiche Codesystem (Bauer, Risser, Soche, Teske, & Vaughan, 1980). Signale können vielfältig sein und umfassen das komplette Wahrnehmungssystem des menschlichen vegetativen Systems: auditiv, visuell, taktil und olfaktorisch.

In der Regel wird über den auditiven und oder den visuellen Kanal kommuniziert (Shanon & Weaver 1949). Des Weiteren betont die aktuelle empirische Forschungsgrundlage (Schulz, 2009; Krotz, 2007; Strohner, 2006), dass nicht von Informationsübermittlung gesprochen werden kann, da im engeren Sinne keine Informationen übermittelt werden. Hingegen würde bei der menschlichen Kommunikation auch ein Signal gesendet werden, bei welchem es vor allem um die Interpretation durch das Gegenüber geht, welches ein Signal erhält und dieses Signal in seinen wahrgenommenen Kontext einbettet und sich so die beigemessene Bedeutung verändern kann in Abhängigkeit davon, welches Codesystem das Gegenüber aufweist. So betont Schulz, dass „das Ergebnis, die empfangene Mitteilung, [...] stark abhängig von der Interpretationsleistung des Rezipienten“ (Schulz, 2009, S. 195) ist. Da die meisten Kulturen auf ein gemeinsames Codesystem zurückgreifen können, werden die meisten Mitteilungen gleich verstanden (Schulz, 2009, Bauer et al., 1980).

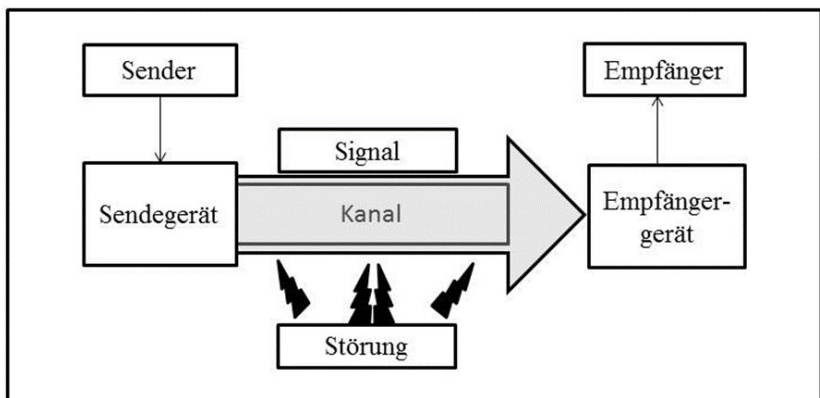


Abbildung 2. Sender-Empfänger Modell nach Shanon & Weaver (1949)

Intentionale Modelle (2) untersuchen die Fragestellung, wie eine erfolgreiche Kommunikation gelingen kann. Ein typisches Beispiel für ein intentionales Modell sind die vier Kommunikationsmaxime von Grice (1975), welche versuchen eine erfolgreiche Kommunikationsdurchführung zu charakterisieren:

1. Maxime der Qualität: Der Gesprächsteilnehmer soll einen wahren Beitrag leisten – das bedeutet, dass er nicht äußern soll, was er für falsch hält und immer Begründungen für die Äußerungen liefern soll.
2. Maxime der Quantität: Der Gesprächsteilnehmer soll seinen Beitrag so informativ wie möglich und so informativ wie nötig gestalten.
3. Maxime der Relevanz: Der Gesprächsteilnehmer soll nur relevante Gesprächsbeiträge beisteuern.
4. Maxime der Modalität: Der Gesprächsteilnehmer soll sich so deutlich wie möglich ausdrücken.

Die Maxime unterliegen der Grundannahme, dass die Kommunikationspartner ein gemeinsames Ziel verfolgen und sich deswegen kooperativ sowie rational in der Kommunikationsdurchführung verhalten. Diese Grundannahme nennt Grice (1975) auch *Kooperationsprinzip*. Die vier Maximen von Grice zielen vor allem auf den verbalen Dialog zwischen zwei Personen ab, können aber auch auf nonverbale Kommunikation übertragen werden. Eine weitere Übertragung der Maxime auf den Verkehrskontext oder der Mensch-Roboter-Interaktion ist dem Autor der Dissertationsschrift zu diesem Zeitpunkt nicht bekannt. Dies wäre aber sinnvoll, da einzelne Elemente für eine Ausarbeitung von Gestaltungsempfehlungen relevant sein könnten. Insbesondere die Maxime der Quantität (2) und der Modalität (4) sind nach Ansicht des Autors zu berücksichtigende Punkte in der späteren Arbeit, da diese einen Einfluss auf eine erfolgreiche Kooperation haben können.

Als dritte Modellart wurden die Perspektivenübernahmemodelle (3) genannt, welche davon ausgehen, dass eine erfolgreiche Kommunikation dann gelingt, wenn eine Perspektivenübernahme durchgeführt wird. Eine der bekanntesten Ausführungen dazu sind die Regeln von Rogers (1991), welche auf die klientenzentrierte Gesprächsführung aus der psychotherapeutischen Forschung zurückzuführen sind. Dieser Forschungszweig ist für die vorliegende Dissertationsschrift nur bedingt relevant.



Als vierte Modellart wurden die Dialogmodelle (4) genannt. Dialogmodelle scheinen auf den ersten Blick nicht relevant zu sein, wenn man der Argumentation von Merten (1977) folgt. Dieser beschreibt in seinem Beitrag, dass die Dialogmodelle nicht auf dem anonymen und schnellem System Straße angewendet werden können. Allerdings bieten die Axiome von Watzlawick (2004) ebenso wie die vier Maxime der Intentionalen Modelle (2) Anhaltspunkte für die Gestaltung, sodass das Wesentliche kurz beschrieben wird. Ein Beispiel für Dialogmodelle sind die Axiome von Watzlawick, die versuchen, einen erfolgreichen Dialog zu charakterisieren.

Die Axiome beziehen sich dabei auf die Kommunikationsformen ab der Stufe Humankommunikation nach Merten (1977), welche nachfolgend noch einmal im Detail in diesem Kapitel beschrieben werden. Im Folgenden sind die fünf Axiome nach Watzlawick dargestellt:

1. Axiom: „Man kann nicht nicht kommunizieren“ (Watzlawick, Bavelas, & Jackson, 1993, S. 53)
2. Axiom: „Jede Kommunikation hat einen Inhalts- und einen Beziehungsaspekt, derart, dass Letzterer den Ersteren bestimmt und daher eine Metakommunikation ist.“ (S. 56)
3. Axiom: „Die Natur einer Beziehung ist durch die Interpunktion der Kommunikationsabläufe seitens der Partner bedingt.“ (S. 61)
4. Axiom: „Menschliche Kommunikation bedient sich digitaler (verbaler) und analoger (non-verbaler, nicht-sprachlicher) Modalitäten (Ausdrucksmittel).“ (S.68)
5. Axiom: „Zwischenmenschliche Kommunikationsabläufe sind entweder symmetrisch (gleichwertig) oder komplementär (ergänzend), je nachdem, ob die Beziehung zwischen den Partnern auf Gleichheit oder Unterschiedlichkeit beruht.“ (S. 69-70).

Das erste Axiom beschreibt die Situation, dass selbst bei einem Schweigen des Gegenübers trotzdem von einer Kommunikation ausgegangen werden kann.

Die Informationen, die vermittelt werden, werden in diesem beschriebenen Fall nicht nur über die Sprache transportiert. Dieser Ausdruck ist wohl das bekannteste Axiom von Watzlawick und ist als implizites Wissen in der Gesellschaft verankert. Das erste Axiom ist für den Straßenverkehr das wichtigste Axiom, da es jederzeit zutrifft und wird in Kapitel 2.4 näher diskutiert. Das zweite Axiom beschreibt, dass es in jeder Form der Kommunikation einen Beziehungsaspekt gibt und es nach Watzlawick keine rein informative Kommunikation geben kann. Wichtig zu erwähnen ist, dass sich dieses Axiom nicht unbedingt auf computervermittelte Kommunikation bezieht. Das dritte Axiom beschreibt die Auffassung von Watzlawick, dass jede Kommunikation eine Reaktion hervorruft und somit eine Reaktion auf die vorausgegangene Kommunikation darstellt. Ab einer gewissen Länge der Kommunikation wird es schwer festzustellen, welches Signal das Ursprungssignal darstellt und wer somit Sender und Empfänger ist. Dies wird vor allem in Hinblick auf die Kommunikation im Mischverkehr entscheidend sein, da die Automation verstehen muss, ob sie reagiert oder agieren muss in einer Situation. Hingegen beschreibt das vierte Axiom, dass es sowohl implizite als auch explizite Kommunikation geben kann, und stellt somit eine Verbindung zu dem ersten Axiom dar, da der Sender in irgendeiner Form immer kommuniziert. Das fünfte Axiom ist sehr ausführlich und beschreibt die Hierarchieebenen zwischen Menschen und der damit zu Grunde liegende Kommunikation. In der Regel sind Kommunikationsabläufe ergänzend, wenn sich die Hierarchien der beiden Kommunikationspartner unterscheiden und symmetrisch, wenn sie auf einer gleichen Ebene liegen.

Bei genauerer Betrachtung der Encoder/Decoder-Modelle (1) stellt sich die Frage, welche Signalwege und -arten auftreten können. Welche Signale über welche Kanäle wie kommuniziert werden, hat Merten (1977a) genauer untersucht und versuchte, die Definition von Kooperation zu schärfen. Hierfür hat er über 160 Definitionen von Kommunikation näher betrachtet und unterscheidet infolgedessen zwischen der *subanimalischen*, *animalischen*, *Human-*, *Massen-* und *computervermittelten* Kommunikation.

Die Definition *subanimalische Kommunikation* kann bei Merten (1977a) nachgelesen werden. Die Kommunikation zwischen Menschen repräsentiert der

Begriff der *Humankommunikation*. Ein charakteristisches Merkmal ist das Vorhandensein eines Sprachkanals sowie mehrerer verschiedener nonverbaler Sprachkanäle. Besonders hervorzuheben ist, dass nach Mertens (1977a) der Mensch Gesten und Körpersprache zur Kommunikation nutzen kann und somit in der Lage ist, sehr schnell zu kommunizieren. Der Vorteil der Sprache liegt darin, dass die vermittelte Kommunikation präzisiert werden kann. Dieser Vorteil fällt im Straßenverkehr weg. Zu der Humankommunikation zählt auch die Massenkommunikation, welche auf technische Errungenschaften zurückgreifen kann und sich gezielt an ein größeres Publikum richtet. Unter technischen Errungenschaften wird unter anderem die Schrift verstanden. Die *Massenkommunikation* ist somit eine Ebene höher anzusiedeln als der Begriff der Humankommunikation. Als letzte Ebene der Kommunikation prägt Merten (1977a) den Begriff der *computervermittelten Kommunikation*. Unter computervermittelter Kommunikation versteht Merten (1977a), wenn zur Kommunikation von mindestens zwei Personen elektronische Medien verwendet werden wie z. B. Chatprogramme, Emailprogramme oder soziale Medien, um mit anderen Personen in Kontakt zu treten. Als Frage bezüglich der verschiedenen Einordnungen bleibt bestehen, dass je nach Gestaltungslösung der Mischverkehr schwer einzuordnen ist. Wenn sich automatische Fahrzeugführungen wie Menschen verhalten, muss die Frage gestellt werden, ob die Einordnung der Kommunikation dann in *Human-* oder in die *computermittelte* Kommunikation fällt.

Trotzdem merkt Merten (1977a) an, dass die verbale Kommunikation nicht unabhängig von der nonverbalen Kommunikation zu betrachten ist. So ergibt sich laut Merten (1977a) aus verbaler und nonverbaler Kommunikation eine Symbiose, da keine der beiden Kanäle alleine die Aufgaben der Kommunikation erfüllen könnte. Somit beschreibt Merten die vierte Maxime von Grice (1975), welche betont, dass es wichtig ist, dass die Kommunikation so deutlich wie möglich ausfällt. Dies kann nach Merten nur durch eine Kombination aus impliziter und expliziter Kommunikation geschehen.

Die nonverbale Kommunikation ist deutlich vielschichtiger als die verbale Kommunikation und ist ebenso wie die verbale Kommunikation ein Konstrukt, welches in vielen Forschungsfeldern untersucht wird. Im Folgenden wird kurz

dargestellt, welche Formen der nonverbalen Kommunikation unterschieden werden können.

Nach Argyle und Schmidt (2005) können folgende nonverbale Signale unterschieden werden:

- Gesichtsausdruck;
- Blick;
- Gesten und Körperbewegungen;
- Körperhaltung;
- Räumliches Verhalten;
- Kleidung und Körperbau;
- paraverbale Signale: Stimmhöhe, Lautstärke und Sprechgeschwindigkeit.

Die Auflistung unterstützt das erste Axiom von Watzlawick (1996), dass man nicht nicht kommunizieren kann sowie das vierte Axiom. In Bezug auf die nonverbale Kommunikation muss weiterhin zwischen bewusster und unbewusster Kommunikation unterschieden werden (Heller & Haynal, 1997; Merten, 1977). Der größte Unterschied in der unbewussten nonverbalen Kommunikation zu der bewussten Kommunikation ist, dass die Signale der unbewussten nonverbalen Kommunikation schneller von dem Empfänger verarbeitet werden (Fahr, 2006). Des Weiteren hat die nonverbale Kommunikation für die Interaktion mit anderen Menschen eine weitere Funktion, und zwar die einer unbewussten Steuerungseinheit des Interaktionsprozesses. Nach Burgoon, Floyd und Guerrero (2010) nutzen Menschen nonverbale Kommunikation, um eine Interaktion in Gang zu setzen, sie zu koordinieren oder sie zu vermeiden.

Zusammengefasst lässt sich der Begriff der Kommunikation im Allgemeinen auf drei Punkte aufschlüsseln. Für die vorliegende Arbeit sind vor allem die Encoder-/Decoder Modelle von Relevanz, da sie beschreiben, dass es einen Sender und einen Empfänger gibt, welche sich über verschiedene Kanäle Signale zusenden. Damit die Kommunikation funktioniert, existieren nach den Dialogmodellen z. B. verschiedene Grundannahmen wie die Axiome von Watzlawick (1996). Insbesondere das erste Axiom ist von Bedeutung, da es

aufzeigt, dass man nicht nicht kommunizieren kann. Für den Straßenverkehr ist dies vor allem dahingehend relevant, da sich Verkehrsteilnehmer immer im Raum bewegen und somit nonverbal kommunizieren. Die Maxime der Quantität (2) und Modalität (4) von Gricce (1976) müssen bei einer Gestaltung eines Kommunikationsprozesses berücksichtigt werden. Neben den Modellen gibt es verschiedene Ebenen der Kommunikation, die Merten (1977a) ausführlich dargestellt hat. Für die vorliegende Arbeit ist vor allem die Humankommunikation und computervermittelte Kommunikation von Interesse. Die Humankommunikation zeigt auf wie Menschen miteinander kommunizieren und welche Prinzipien auf die computervermittelte Kommunikation übertragen werden können. Neben den Ebenen gibt es noch weitere verschiedene Kommunikationssignale. In der Humankommunikation kann zwischen der verbalen und nonverbalen Kommunikation unterschieden werden (Argyle, 2005). Die verbale Kommunikation setzt ein gemeinsames Codiersystem, die Sprache, voraus, während für die nonverbale Kommunikation gilt, dass zwischen der bewussten und unbewussten Kommunikation differenziert werden muss.

Diese allgemeinen Grundsätze der Kommunikation können nicht vollständig auf die Kommunikation im Straßenverkehr übertragen werden. So weist Merten (1977b) darauf hin, dass es sich bei dem System Straßenverkehr um ein flüchtiges, normatives System handelt und die allgemeinen Aspekte von Kommunikation nicht zwangsläufig greifen. Das nachfolgende Kapitel wird die Besonderheiten bei der Kommunikation im Straßenverkehr näher behandeln.

## **2.4 Kommunikation im Straßenverkehr**

In dem nachfolgenden Kapitel werden zuerst die Unterschiede der Kommunikation im Straßenverkehr zur Alltagskommunikation aufgezeigt und diskutiert. Im Anschluss folgt ein Unterkapitel, welches das Thema der Signale aufgreift und aufzeigt, mit welchen Signalen im Straßenverkehr kommuniziert wird. In einem letzten Kapitel wird der Begriff der formalen und informellen Regeln näher erläutert.

### 2.4.1 Unterschiede zur Alltagskommunikation

Wie bereits Merten (1977b) darauf hingewiesen hat, ist das System Straße ein flüchtiges normatives System, bei welchem nicht alle Regeln der Kommunikation greifen. Weiterhin führt er aus, dass der Straßenverkehr die Kommunikation dahingehend einschränkt, als dass die Kommunikation auf der nonverbalen Ebene ablaufen muss, die Kommunikation weitestgehend anonym ist und die Situationen komplex sind. Šucha (2014) beschreibt Kommunikation im Straßenverkehr ähnlich mit dem Verweis auf die Begrenztheit der Möglichkeiten zur Kommunikation, die eine weitere Hürde darstellen und zu Missverständnissen führen können.

Bauer et al. (1980) merken dies ebenfalls an und ergänzen, dass zwischen absichtlicher und unabsichtlicher Kommunikation unterschieden werden müsse. Des Weiteren ist es, orientierend an dem Sender-Empfänger-Modell nach Shannon und Weaver (1949), von zentraler Bedeutung, dass Sender wie auch Empfänger über ein gemeinsames Codesystem verfügen. Um das Thema der Komplexität von Merten (1977) zu berücksichtigen, wenden Bauer et al. (1980) die Voraussetzungen zum Lösen komplexer Aufgaben von Schroder, Driver und Seufert (1975) auf den Straßenverkehr an:

1. Hinreichende aufgabenspezifische Fähigkeiten und Kenntnisse: Die korrekte Verwendung und Interpretation von Zeichen.
2. Optimales Interessens- und Motivationsniveau: Wenn das Interesse und die Motivation der beiden oder mehrerer Verkehrsteilnehmer übereinstimmt, dann ergänzen sich die Kommunikationspartner in ihrer Zielsetzung.
3. Sicherheit im Umgang mit Personen: Verkehrsteilnehmer müssen in der Lage sein, das Verhalten der anderen vorherzusagen.
4. Fähigkeit zur komplexen Informationsverarbeitung: Neben dem Vorhersagen und dem Anwenden von Zeichen müssen diese auch erkannt und interpretiert werden können.

Merten (1977b) versuchte, den Kommunikationsprozess im Straßenverkehr schematisch darzustellen (Abbildung 3).

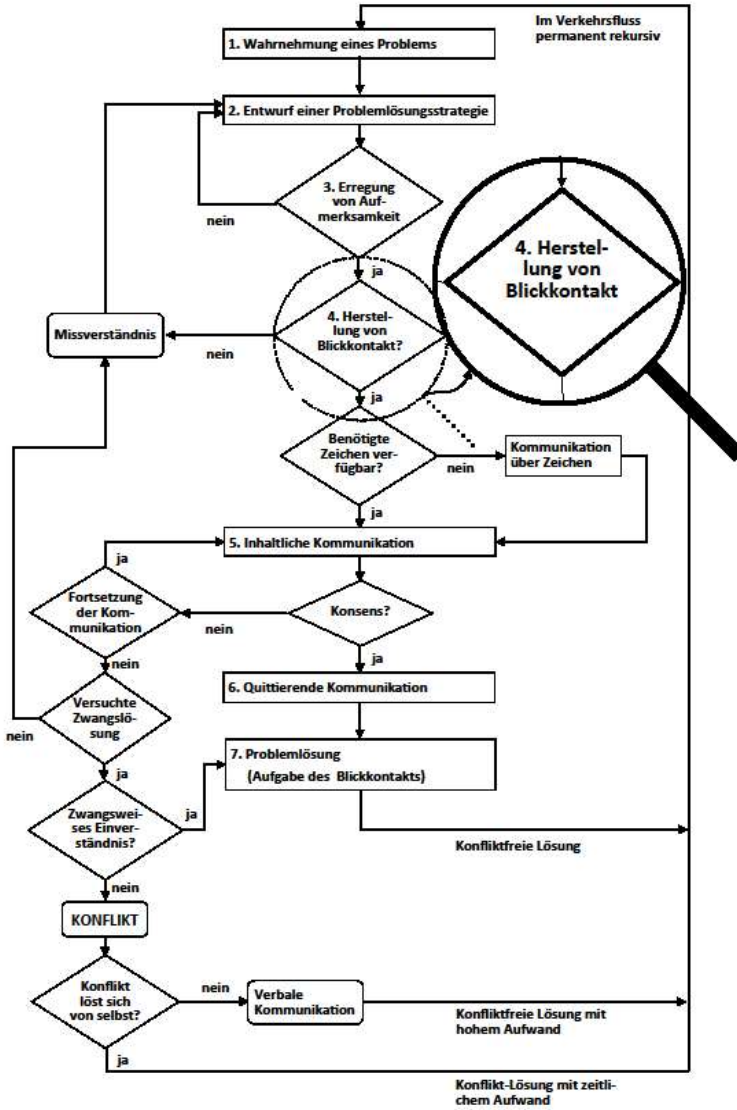


Abbildung 3. Grobstruktur nonverbaler Metakommunikation nach Merten (1977b, S.133).



Bei näherer Betrachtung von Abbildung 3 fällt auf, dass nach früherer Ansicht unter „Kommunikation im Straßenverkehr“ insbesondere der konfliktfreie Prozess der Kommunikation im Vordergrund stand, nicht aber, wie die Situation erfolgreich gelöst werden kann (Risser, 1985). Des Weiteren wird deutlich, dass die Situation im Straßenverkehr sehr komplex werden kann. Es muss berücksichtigt werden, dass dieser Ablauf für beide Kommunikationspartner gilt und es im Vergleich zu dem einfachen Sender-Empfänger Modell nicht sofort klar ist, wer Sender und wer Empfänger ist. Dies kann sich durch die Dynamik der Situation ändern, wie in dem dritten Axiom von Watzlawick (1969) beschrieben (Kapitel 2.3). Um diese Komplexität zu beherrschen, würden Verkehrsteilnehmer nach Merten das Ökonomiekriterium der Kommunikationsvermeidung anwenden (Merten, 1977; Färber, 2015). Das Ökonomiekriterium lässt sich dabei in vier Unterkriterien aufgliedern. Das bedeutet, dass es bei einem Kontakt nur dann zur erzwungenen Kontaktaufnahme kommt, wenn ein Problem auftritt und die Metakommunikation nicht mehr weiterhilft. Um dies zu gewährleisten, muss eine Kommunikationsvermeidung stattfinden. Unter Kommunikationsvermeidung versteht Merten (1977b), dass diese im Zusammenhang mit dem Ökonomiekriterium angewendet wird. Dabei haben sich folgende vier Strategien etabliert (Färber, 2015):

1. Schematismenbildung;
2. Vorwegnehmendes Handeln;
3. Informationsmaximierung;
4. Kollektive Orientierung.

Unter Schematismenbildung wird von Färber (2015) verstanden, dass aufgrund bestimmter Eigenschaften des Verkehrsteilnehmers auf dessen Verhalten geschlossen wird. Färber (2015) weist daraufhin, dass diese natürlich nicht immer zutreffend sind, aber den Alltag erleichtern können. Eine typische Schematismenbildung fanden Björklund und Åberg (2005) in einer Befragungsstudie heraus. Hier wurde das Abbremsen an einer Kreuzung als typisches Verhalten von Menschen in einem höheren Lebensalter von den Befragten betrachtet. Würden diese Befragten nun einen älteren Verkehrsteilnehmer in einer Kreuzung sehen, würden sie davon ausgehen, dass dieser verzögert, weil dieser als alt wahrgenommen wird.

Hinter dem Begriff vorwegnehmendes Handeln verbirgt sich die Annahme, dass Verkehrsteilnehmer kleine Prozessschritte vorab durchführen, wie z. B. bei dem Einscheren in eine Lücke sich vorher bedanken, um dem Kommunikationspartner zu signalisieren, was die zu erwartende Handlung ist (Färber, 2015; Merten, 1977b). Merten weist daraufhin, dass dieses Verhalten sehr anfällig für Missverständnisse ist. Nach dem Wissen des Autors wurde die Aussage allerdings nicht hypothesengeleitet getestet, sodass diese Annahme sehr stark auf den eigenen Erfahrungen des Autors fußt. Des Weiteren konnte nach dem aktuellen Stand des Autors keine Studie gefunden werden, die diesen Zusammenhang als experimentellen Gegenstand hatte.

Die dritte Strategie ist die der Informationsmaximierung. Darunter versteht Merten (1977b), dass Verkehrsteilnehmer sich so viele Informationen wie möglich suchen und abwartend in die Situation hineingehen. Auch diese Strategie sei mit Konflikten verbunden, weil der andere Interaktionspartner zum Beispiel die gleiche Strategie anwendet und es so zu einer Pattsituation kommen kann (Merten, 1981).

Als letzte Strategie nennt Merten (1977b, 1981) die Strategie der kollektiven Orientierung. Unter kollektiver Orientierung ist das Nachmachen der Handlungen anderer Verkehrsteilnehmer gemeint. Es birgt das Risiko, Fehler von anderen zu übernehmen. Ein typisches Beispiel wäre, wenn ein Fußgänger eine Straße betritt, obwohl das Lichtsignal einer Ampel rot anzeigt, weil die Gruppe um ihn herum über rot geht und er nicht auf das Lichtsignal achtet.

Die Strategien der Kommunikationsvermeidung zeigen aber auch, dass es im Hinblick auf die allgemeinen Vorstellungen des Begriffes Kommunikation eine deutliche Übereinstimmung mit dem ersten Axiom von Watzlawick gibt, welches besagt, dass man nicht nicht kommunizieren kann (1996). Dies ist insbesondere deshalb von Relevanz, da neben der Kommunikationsvermeidung eine Variante nicht angewendet werden kann, und zwar das Verlassen der Situation. Der Verkehrsteilnehmer kann sich der Situation nicht entziehen, er bewegt sich und kommuniziert somit durch sein Verhalten im Raum. Aufgrund dieser Eigenschaft sendet der Verkehrsteilnehmer immer ein Kommunikationssignal an andere Verkehrsteilnehmer, die potenzielle Kommunikationspartner sein könnten.

Eine weitere Möglichkeit implizite und explizite Kommunikation zu beschreiben und einzuordnen, besteht über die Beschreibung der Fahraufgabe eines Fahrers. Anhand der Beschreibung der Fahraufgabe nach Bubb (2015) wird ersichtlich, dass die implizite Kommunikation und explizite Kommunikation auf unterschiedliche Bereiche verteilt werden müssen (Abbildung 4). So unterscheidet Bubb (2015) zwischen der primären, sekundären und tertiären Fahraufgabe. Unter die primären Fahraufgaben fallen die Navigation, die Führung des Fahrzeuges und die Stabilisierung. Unter die sekundären Fahraufgaben fallen spezifische Aktionen bzw. Reaktionen des Fahrers, die sich nicht auf das Führen des Fahrzeuges beziehen, sondern diese unterstützen, um in der Verkehrsumwelt teilzunehmen. Unter die tertiären Fahraufgaben fallen vor allem die Komfortbedienungen wie z. B. das Einstellen des Radios.

Es wird ersichtlich, dass die implizite Kommunikation zu der primären Fahraufgabe gezählt werden kann, weil dies die Stabilisierung und Führung des Fahrzeuges betrifft, während die explizite Kommunikation unter die sekundäre Fahraufgabe fällt. Wenn man diese Betrachtung zugrunde legt, kann geschlossen werden, dass immer eine implizite Kommunikation stattfindet und die explizite Kommunikation immer eine zusätzliche Form der Kommunikation ist, die die implizite Botschaft unterstützt (Watzlawick, 1996).

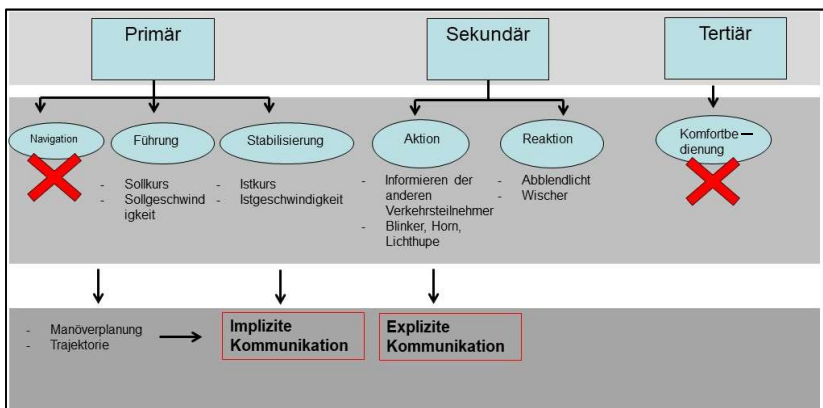


Abbildung 4. Fahraufgaben nach Bubb (2015), ergänzt um die implizite und explizite Kommunikation.

Mithilfe der Fahraufgaben nach Bubb (2015) wird deutlich, dass es einen Unterschied zwischen impliziter und expliziter Kommunikation gibt. Im nachfolgenden Kapitel wird dargestellt, welche Signale Autofahrer zur Verfügung haben, um miteinander zu kommunizieren.

### 2.4.2 Signale im Straßenverkehr

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, stellt insbesondere die Nonverbalität der Kommunikation im Straßenverkehr eine besondere Herausforderung dar. Verschiedene Autoren (Merten, 1977a; Risser, 1985; Bauer et al., 1980; Färber, 2015) haben versucht, die möglichen Signale der Autofahrer darzustellen. Färber weist daraufhin, dass schon Darwin im Jahre 1874 sich mit dem Thema der nonverbalen Sprache auseinandergesetzt hat und fasst zusammen, dass drei Bereiche für die nonverbale Kommunikation identifiziert werden können: *Gesichtsausdruck* und *Augenkontakt*, *Gesten* und *Körperbewegungen*, *Stimme* und *Art des Ausdrucks*. Dies wurde bereits ausführlich in Kapitel 2.3 beschrieben.

Ergänzend dazu muss nach Argyle und Schmidt (2005) das *räumliche Verhalten* mit aufgenommen werden. Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass diverse Signale erst durch die technischen Einrichtungen des Automobils, wie z. B. eine Lichthupe (Risser, 1985) möglich sind. Diese werden im Folgenden als technische Signale bezeichnet.

Risser ermittelte (1985) mithilfe einer Fokusgruppe verschiedene Zeichen, die im Straßenverkehr eingesetzt werden. Diese werden mit den Erkenntnissen von Merten (1977) und Färber (2015) fusioniert.

In der Literatur findet sich meist eine Differenzierung zwischen informellen und formellen Signalen (Merten, 1977b) sowie zwischen impliziten und expliziten Signalen (Risser, 1985). Diese Gegenüberstellung wird nach der Präsentation der verschiedenen Zeichen durchgeführt. Eine Differenzierung gestaltet sich als schwierig und bezieht sich vor allem auf den Kontext. Wenn geregelte Situationen untersucht werden, werden in der Regel formelle und informelle Signale untersucht (de Ceunynck, Polders, Daniels, Hermans, Brijs, & Wets,

2013) und wenn nicht geregelte, kooperative Situationen untersucht werden, wird zwischen impliziten und expliziten Signalen unterschieden (Kauffmann, Naujoks, Winkler, & Kunde, 2018).

#### **2.4.2.1 Gesichtsausdruck und Augenkontakt**

Der Augen- bzw. Blickkontakt stellt nach Risser (1985) ein wichtiges Element dar, um mit anderen Verkehrsteilnehmern in Kontakt zu treten. Merten (1977b) geht in seinen Ebenen der Metakommunikation (Abbildung 3) noch weiter und stellt die These auf, dass ohne Blickkontakt keine Kommunikation im Straßenverkehr stattfinden kann. Es bleibt dabei fraglich, inwiefern das Modell wirklich eine Metakommunikation darstellt und, ob ohne Blickkontakt keine Kommunikation stattfinden kann.

Färber (2015) gibt das Beispiel, das bei dem Einscheren aus einer untergeordneten Straße auf die vorfahrtsberechtigten Straße mithilfe des Blickkontakts die Bestätigung gesucht wird, ob man fahren darf. Nach Färber (2015) ist das Thema Blickkontakt vor allem dahingehend für den Mischverkehr interessant, da entweder ein Fahrer im Innenraum sitzt, dieser mit anderen Tätigkeiten beschäftigt sein wird und der Gegenüber keine Informationen von ihm erhalten kann. Alternativ kann der Fahrer des automatischen Fahrzeuges zwar den Verkehr betrachten, ist aber in die Fahraufgabe nicht eingebunden und somit wäre ein Blickkontakt nicht hilfreich. Witzlack, Beggatio und Krems (2016) stellten bei der Untersuchung in der Fahrer-Fußgänger-Interaktion von einem Parkplatz-Querungsszenarios fest, dass der Blickkontakt häufig überschätzt wird, ebenso wie der allgemeine Einsatz von expliziten Signalen. In erster Linie fungiert der Blickkontakt allerdings nur als Bestätigung und ist somit ein zusätzliches Element, aber keine notwendige Voraussetzung.

Gasser (2015) merkt an, dass in neueren Fahrzeugen durch die Biegung der Windschutzscheibe in der Regel nur sehr schwer Blickkontakt möglich ist und die damit einhergehende Relevanz des Blickkontaktes sowie der Mimik verschwindet. Durch diesen Hinweis wird vor allem deutlich, dass der Blickkontakt an Relevanz verloren hat und keine notwendige Voraussetzung darstellt. Prüfen lässt sich diese Frage allerdings nur mit Studien, die untersucht haben,

ob in den 70ern mehr Missverständnisse als heute aufgetreten sind. Dem Autor ist eine solche Studie nicht bekannt.

Neben dem Augenkontakt können auch Gesten und Körperbewegungen zur Kommunikation eingesetzt werden, diese werden im Folgenden näher beschrieben.

### 2.4.2.2 Gesten und Körperbewegungen

Gesten und Körperbewegungen wurden insbesondere von Merten (1977b) und Risser (1988) im Detail ausgeführt. Färber (2015) griff das Thema in seiner Zusammenfassung noch einmal auf. Im Folgenden (Abbildung 5) werden die wichtigsten Gesten dargestellt, welche Risser (1988, zitiert nach Färber, 2015) vorstellt und im heutigen Verkehr noch eine Relevanz aufweisen.

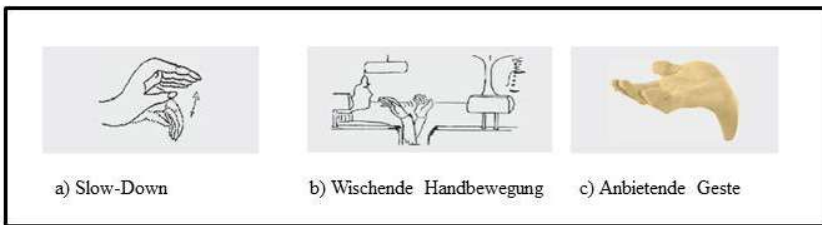


Abbildung 5. Relevante Handgesten im Straßenverkehr (aus Färber, 2015, S. 132 zitiert nach Risser 1988).

Geste (a) soll anderen Verkehrsteilnehmern anzeigen, dass sie langsamer fahren sollen, im Gegensatz zu einer wischenden Handbewegung (b), welche dem Gegenüber vermitteln soll, dass er fahren kann. Dies trifft auf Fußgänger wie auch andere Verkehrsteilnehmer zu. Die anbietende Geste (c) soll anzeigen, dass auf ein Vorfahrtsrecht verzichtet wird. Diese ist im Gegensatz zu (a) und (b) nicht dynamisch, sondern statisch.

Neben diesen Gesten gibt es auch noch andere Gesten und Körperbewegungen. So führt Färber (2015) beispielsweise noch ein zustimmendes Nicken mit auf.

Viele weitere Gesten im Straßenverkehr beziehen sich auf emotionale Zustände und haben nur geringes Potential zur Verwendung für eine Automation. So identifizierte Risser (1985) noch die Gesten:

- Hand als Dankeschön heben,
- Faust als Drohung verwenden, um seine Wut auszudrücken;
- Das „Vogelzeichen“, um seine Wut auszudrücken;
- Daumen und Zeigefinger öffnen und schließen, um zu signalisieren, dass die Lichtanlage kaputt ist;
- Übertriebene Gesten, um zu zeigen, dass man wütend ist;
- Kopfschütteln, um zu zeigen, dass man nicht einverstanden ist;
- Eingezogener Kopf und Arme weggestreckt, um zu zeigen, dass man nicht weiß, wie man sich verhalten soll.

Insgesamt lässt sich zeigen, dass es mehr Zeichen gibt, um die eigene Wut auszudrücken, als Dankbarkeit oder positive Gefühle. Es gilt anzumerken, dass das Verdeutlichen der Wut über z. B. das Vogelzeichen mit einem Bußgeld belegt werden kann, denn nach der StVO § 1, Absatz 1 gilt: „Die Teilnahme am Straßenverkehr erfordert ständige Vorsicht und gegenseitige Rücksicht.“ Nach dem deutschen Bußgeldkatalog (2017) würde das Vogelzeichen mit einer Strafe von 750 Euro belegt werden, sowie das „Scheibenwischerzeichen“ mit 1000 Euro.

Die vorgestellten Zeichen zeigen, dass Kommunikation im Straßenverkehr auf informellen Wegen vonstattengeht. Dies wird im Kapitel 2.4.3 näher diskutiert. Neben den offensichtlichen Signalen gibt es auch noch die zusätzlich identifizierten Signale: räumliches Verhalten und technische Signale. Diese Signale werden in den folgenden Unterkapiteln dargestellt.

#### **2.4.2.3 Räumliches Verhalten**

Unter räumlichem Verhalten verstehen Argyle und Schmidt (2005) das bewusste oder unbewusste Bewegen im Raum. Für den Straßenverkehr ist dieses Verhalten essenziell, denn wie in Kapitel 2.3 angemerkt, kann man sich der

Situation nicht entziehen. Das räumliche Verhalten umfasst das laterale und longitudinale Fahrverhalten und entspricht so der impliziten Kommunikation.

Das räumliche Verhalten ist vor allem für automatisch geführte Fahrzeuge von Interesse, da sie auf diese Weise die Intentionen der anderen Verkehrsteilnehmer erkennen können und technisch einfacher ist, wie das Interpretieren von expliziten Signalen in nicht definierten Situationen. Zusammengefasst lässt sich schlussfolgern, dass dies für das Annäherungsverhalten an eine Situation Kommunikation benötigt wird. Janssen, van der Horst, Bakker und Broeke (1988) fanden heraus, dass vor allem das Annäherungsverhalten (longitudinale Verhalten) eine entscheidende Rolle spielt, im Hinblick darauf, ob der menschliche Gegenüber einem annähernden Verkehrsteilnehmer die Vorfahrt gewährt oder sie selbst in Anspruch nimmt.

Björklund und Åberg (2005) fanden heraus, dass beim Annähern an eine Kreuzung das Verhalten eine entscheidende Rolle einnimmt: So wird das Halten der Geschwindigkeit und das Beschleunigen mit einer Fahrintention verknüpft, während das Abbremsen als nachgebend empfunden wird.

### 2.4.2.4 Technische Einrichtungen

Unter technischen Einrichtungen werden Möglichkeiten der Signalgebung verstanden, die mithilfe der grundlegenden technischen Ausstattung in einem Automobil angewendet werden können, zu denen Risser folgende zählt (Risser, 1985):

- Fahrtrichtungsanzeiger: Links Überholsignal oder das Räumen der linken Fahrspur auf der Autobahn, rechts  $\triangleq$  Parkplatzsuche oder Einsehen;
- Warnblinkanlage;
- Horn;
- Lichthupe.

Im nachfolgenden Kapitel werden die Erkenntnisse aus den einzelnen Unterkapiteln bezüglich der Signale zusammengefasst.



### 2.4.2.5 Fazit über die Bedeutsamkeit der verschiedenen Signale

Zusammengefasst lassen sich aus den verschiedenen vorgestellten Signalen folgende Erkenntnisse ableiten:

- Die Bedeutsamkeit des Blickkontaktes muss zurückgestellt werden. Dieser scheint nicht so bedeutsam, wie frühere Literatur beschreibt (Risser, 1985).
- Des Weiteren muss diskutiert werden, inwieweit es sinnvoll ist, sich auf die Signale zu berufen, da die Zusammenstellung vor ca. 30 Jahren erstellt worden ist. Der Straßenverkehr unterliegt einer großen Dynamik und es gilt zu überprüfen, welche Signale noch aktuell sind und welche Signale eventuell auch neu hinzugekommen sind.
- Neben der Bedeutsamkeit des Blickkontaktes lässt sich auch zusammenfassen welche Signale in die Kategorie implizit und explizit fallen. Nach de Ceunynck et al. (2013) lässt sich das *räumliche Verhalten* den impliziten Verhaltensweisen zuordnen. Dem expliziten Verhalten können vor allem *Gesten, Körperbewegungen* sowie Aktionen und Reaktionen bezüglich der *technischen Einrichtungen* zugeordnet werden.

Bei der Betrachtung der Signale, die sich aus den technischen Einrichtungen ergeben, wird deutlich, dass diese Signale nicht einzeln, sondern immer in Kombination mit anderen eingesetzt werden. Selbst ein Stillstand auf einer Kreuzung stellt ein „Bewegen im Raum“ dar, sofern man dem ersten Axiom von Watzlawick sowie der vierten Maxime von Grice folgt. In der Regel trifft die Annahme der kombinierten Signale auf die Verwendung der Signale mithilfe der technischen Einrichtungen zu, da der Fahrer gleichzeitig auch fährt bzw. sich im Raum bewegt. In weiteren Untersuchungen sollte die Kombination der Signale näher untersucht werden, um zu prüfen, welche Kombinationen in welchen Situationen eingesetzt werden.

Bei der Beschreibung der Signale von Merten (1977a), Risser (1985) oder auch Färber (2015) ist auffällig, dass diese die beschriebene Dynamik des Straßenverkehrs unterschlagen, was auch das vierte Axiom von Watzlawick beschreibt. Es wird davon ausgegangen, dass der Kommunikationsprozess dem Sender-Empfängermodell folgt. Die Dynamik und Wechselspiele der Signale werden nicht weiter beschrieben.

Wann welches Signal eingesetzt wird, folgt je nach Kontext bestimmten Regeln. Dies wird unter dem Begriff der informellen und formalen Regeln kategorisiert (Björklund und Åberg, 2005). Diese Regeln werden in dem nächsten Kapitel näher spezifiziert.

### 2.4.3 Informelle vs. formale Regeln

Informelle Regeln schränken ein oder regeln soziales Verhalten ohne, dass die Gesetzeskraft bemüht werden muss und entstehen aus der Interaktion der Gruppenmitglieder (Cialdini & Trost, 1998). Formale Regeln sind nach dieser Definition Verhaltensweisen, die von der StVO geregelt sind. Es gilt anzumerken, dass sprachlich übersetzt von informellen Regeln gesprochen werden muss. Da die führende deutschsprachige Literatur (siehe z. B. Färber, 2015) von informellen und formalen regeln spricht, wurde diese Übersetzung von dem Autor übernommen.

Informelle Regeln sind im Straßenverkehr dann zu beobachten, wenn das erwartete Verhalten dem beobachteten Verhalten widerspricht oder diese beiden Verhaltensweisen sich gegenseitig stark unterstützen (Björklund & Åberg, 2005). Einer der ersten Wissenschaftler, der dieses Thema in den Fokus rückte, war Lurie (1968). Aus einer spieltheoretischen Sicht argumentierte Lurie, dass es je nach Situation sinnvoller ist, formale bzw. informelle Regeln anzuwenden. Lurie (1968) prägte den Begriff der „Sozialen Desorganisation“ und wies darauf hin, dass aufgrund dieser eine erhöhte Unfallzahl zu erwarten sei. Diese Desorganisation komme dann zum Tragen, wenn für die spezifische Situation keine adäquaten formalen oder informellen Regeln existieren, wenn Situationen komplett unstrukturiert sind, es überlappende Kommunikationssignale gibt oder wenn die Regeln nicht klar beschrieben sind.

Informelle Regeln sind nicht durch die StVO geregelt und entstehen durch Interaktion der Verkehrsteilnehmer, um den Verkehrsfluss bzw. das Aufeinandertreffen besser zu gestalten. Zum einem ist die Herausforderung, dass automatische Fahrzeuge diese informellen Regeln ebenfalls beherrschen müssen (Maurer, Gerdes, Lenz, & Winner, 2015) und zum anderen unterliegt der Straßenverkehr einer großen Dynamik (Merten, 1977b), sodass mit der Einführung

einer automatischen Fahrzeugführung neue Regeln entstehen können. Šucha (2014) ergänzt dazu, dass formales Verhalten insbesondere dann gezeigt wird, wenn andere Verkehrsteilnehmer dieses Verhalten vorher gezeigt und somit als Vorbild gedient haben. Zaidel (1992) geht davon aus, dass jeder Fahrer von dem Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer beeinflusst wird und den damit einhergehenden formalen und informellen Regeln, die in der Umwelt Straßenverkehr vorherrschen. Daraus entsteht ein dynamisches Wechselspiel aus gegenseitigen Beeinflussungen. Die Notwendigkeit von klaren Verhaltensweisen bzw. Regeln ist somit gegeben.

Es kann sein, dass durch Roboterautomobile neue Verhaltensweisen und informelle Regeln entstehen, die nach dem aktuellen Stand nicht vorherzusehen sind. Es ist somit schwierig vorherzusehen, was mit der Einführung von automatischen Fahrzeugführungen passieren wird und welchen Einfluss dies auf die Fahrer haben könnte. Nach Zaidel (1992) gibt es vier wichtige Möglichkeiten, wie die soziale Umwelt den Fahrer beeinflusst und somit Regeln entstehen:

1. Das Verhalten der anderen kann als Informationsquelle dienen;
2. Die Kommunikation mit anderen, um Intentionen wahrnehmen zu können;
3. Andere als Referenzgruppe, welche die informellen Regeln repräsentieren und daraus können informelle Regeln abgeleitet werden;
4. Informationen über andere, um deren Verhalten zu imitieren.

Es wird ersichtlich, dass Kommunikation ein entscheidender Faktor ist, welcher genutzt wird, um informelle Regeln anzuwenden.

Das Anwenden von informellen Regeln ist allerdings nicht immer auf unpassende formale Regeln zurückzuführen. So führt Björklund (2005) aus, dass das Nichtbeachten von formalen Regeln auch auf motivationale Gründe zurückgeführt werden kann, wie z. B. das Wissen über den Straßenverkehr zu aktualisieren. Des Weiteren betonen Björklund und Åberg (2005), dass Verkehrsregeln oft wagen sein können und deswegen von unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern auf verschiedene Weisen interpretiert werden. So dürfen

Radfahrer in Deutschland bei einem ausgewiesenen Radweg die Straße benutzen, wenn der Radweg nicht geeignet erscheint. Unter welchen Kriterien ein Radweg als nicht geeignet erscheint, ist nicht festgelegt und muss von dem Radfahrer selbst beurteilt werden.

Hjorthol, Assum und Solheim (1984) weisen darauf hin, dass neben dem Wissen, Erwartungen eine weitere Rolle spielen können. Wenn in spezifischen Situationen immer wieder bestimmte Erwartungen provoziert werden, sei dies ein Hinweis, dass sich eine informelle Regel etabliert hat. Erwartungen im Allgemeinen werden aus der gewonnenen Erfahrung der jeweiligen Nutzer abgeleitet. In einer Studie vergleicht Renge (2000) Fahranfänger mit erfahrenen Fahrern und konnte feststellen, dass Fahranfänger Signale von anderen Verkehrsteilnehmern zu 30 % schlechter bestimmen und interpretieren konnten. Die größten Differenzen ergaben sich dabei für informelle Kommunikationssignale wie die Lichthupe. Ähnliche Resultate konnten Takada, Fukuda und Iwamiya (2013) mit einer Befragung von 140 japanischen Autofahrern und Fußgängern in Bezug auf die Verwendung des Horns feststellen. So empfanden Autofahrer den Einsatz des Horns als weniger ärgerlich als Fußgänger. Es können natürlich auch weitere Gründe bei diesem Ergebnis eine Rolle gespielt haben. So ist das Horn für den Fußgänger in der Regel lauter wie in einem Automobil. Des Weiteren spielt bei dem Verständnis des Horns als Kommunikationssignal die Frequenz eine entscheidende Rolle. Im Vergleich zu der Lichthupe resümieren Takada et al. (2008), dass das Horn kein geeignetes Signal zur Kommunikation sei, da es zu schnell falsch verstanden werden kann. Diese Ergebnisse deuten wieder auf die Erkenntnisse von Hjorthol et al. (1984) hin, dass Erfahrung eine wesentliche und transferierbare Rolle bei der Ausprägung von informellen Verkehrsregeln spielt.

Problematisch ist, dass Erwartungen in einer Situation im Verkehr auch falsch sein können. So zeigte Rumar (1990), dass Verkehrsteilnehmer in spezifischen Situationen auf den falschen Verkehrsteilnehmer achten oder ihn bewusst suchen, wie z. B. einen Radfahrer und dann einen anderen Verkehrsteilnehmer übersehen. Summala, Pasanen, Räsänen und Sivänen (1996) konnten zeigen, dass Autofahrer und Motorradfahrer in der Regel nicht nach schwächeren Ver-

kehrsteilnehmern Ausschau halten und diese deswegen öfter übersehen würden. Dieses Problem tritt vor allem dann auf, wenn es in der alltäglichen Routine passiert. Informelle Regeln scheinen sich vor allem bei einem häufigen Auftreten eines Problems oder Ereignisses zu entwickeln und fallen somit u. a. in die alltägliche Routine. Die Frage, die dadurch ungeklärt bleibt, ist, inwiefern sich informelle Regeln von täglichen Routinen unterscheiden? Nach dem Wissen des Autors wurde diese Fragestellung noch nicht untersucht. Ein weiteres Element dieser Erkenntnisse sind die Erwartungen von Verkehrsteilnehmern. Diese scheinen eine wichtige Rolle zu spielen. Eine automatische Fahrzeugführung sollte in der Lage sein, in Pattsituationen, Verhalten zu zeigen, welches der menschlichen Kooperationspartner erwarten kann, um nicht überrascht zu werden. Im Idealfall zeigt die automatische Fahrzeugführung nicht nur erwartetes Verhalten, sondern hält sich an informelle Regeln, sofern diese nicht die formalen Regeln verletzen. Dies bedeutet, dass eine automatische Fahrzeugführung in der Lage sein muss, aus dem gezeigten Verhalten der Verkehrsteilnehmer zu schließen, ob eine informelle Regel angewendet wurde.

Wilde (1976) fügt an, dass Konflikte im Straßenverkehr dort entstehen, wo einige Verkehrsteilnehmer formale Regeln anwenden und andere Verkehrsteilnehmer informelle Regeln. Johnston (1973, zitiert nach Wilde, 1976) führt das Beispiel einer Frau auf, die in vier Jahren in vier Auffahrunfälle involviert war, weil sie bei einem Stoppschild hielt. Die informelle Regel für diese Kreuzung war aber, sich hineinzutasten in die Kreuzung, ohne zu stoppen. Diese Konstellation führe automatisch zu einem Konflikt. Wilde (1976) leitete daraus vier Konstellationen von Verhaltensweisen ab, die die Verkehrsteilnehmer in einer Interaktion anwenden können und vermutlich zu einem kritischen Ereignis führen:

1. Verhalten, welches mit formalen und informellen Regeln übereinstimmt; ein Beispiel wäre, dass man bei einer Rechts-vor-Links-Kreuzung als linker Verkehrsteilnehmer dem rechten Verkehrsteilnehmer nachgibt als formale Regel und dies auch die informelle Regel ist;

2. Verhalten, welches nicht mit formalen Regeln, aber mit informellen Regeln übereinstimmt; zum Beispiel auf einer geschwindigkeitsbegrenzten Landstraße mit 120 km/h zu überholen, obwohl nur 100 km/h gelten, um den Überholvorgang schnell abzuschließen;
3. Verhalten, welches mit formalen Regeln übereinstimmt, nicht aber mit informellen Regeln; ein Beispiel wäre eine Rechts-vor-Links Kreuzung bei der die informelle Regel ist, die von links kommenden als erstes durchzulassen. Dies trifft auf manche Kreuzungen in Holland zu (Wilde, 1976).
4. Verhalten, welches mit keiner der beiden Regeln übereinstimmt.

Der Konflikt zwischen informellen und formalen Regeln zeigt, dass Kommunikationssignale ein wesentliches Element von formalen und informellen Regeln darstellen können. In diesem Fall wären Kommunikationssignale ein Mittel zum Zweck. Diese Regeln decken aber offensichtlich auch nicht alle Situationen ab. Einen wesentlichen Hinweis geben diese Regeln trotzdem und zwar auf die Interaktion zwischen Verkehrsteilnehmern. Informelle Regeln kommen vor allem in geregelten Situationen zum Einsatz. In kooperativen Situationen wie in Abbildung 1 beschrieben, können diese nicht zum Einsatz kommen, da es ja auch keine formalen Regeln gibt und ersetzt werden können. Um die Interaktion bzw. Kooperation zwischen Verkehrsteilnehmern verstehen zu können, müssen die dahinterliegenden Regeln und die damit verknüpften Kommunikationssignale verstanden werden.

In dem nächsten Kapitel wird der Begriff der Interaktion und Kooperation noch einmal geschärft, damit eine Einordnung der Dissertationsschrift in die aktuelle Forschung durchgeführt werden kann.

## 2.5 Kooperation

Das folgende Unterkapitel behandelt das Konstrukt der Kooperation. In einem ersten Schritt werden die Begriffe Interaktion und Kooperation voneinander abgegrenzt. Danach folgen ein Überblickskapitel zum Thema Kooperation mit

automatischen Systemen sowie ein Kapitel über Kooperation im Straßenverkehr.

## **2.5.1 Kooperation vs. Interaktion**

Die Begriffe Kooperation und Interaktion wurden in der älteren Literatur häufig synonym verwendet und nicht gezielt differenziert (Wilde, 1976, Bauer et al., 1980). Es ist wichtig, eine Unterscheidung der Kooperation und Interaktion zu treffen, denn in der Mensch-Technik-Interaktion ergibt sich ein wesentlicher Unterschied je nach Verwendung des Begriffes.

### **2.5.1.1 Interaktion**

Um auf das vorherige Kapitel Bezug zu nehmen, definiert Merten (1977b) als notwendige Voraussetzung für Interaktion eine Kommunikation und geht davon aus, dass für jede Interaktion auch Kommunikation notwendig sei. Auf Basis dieser Annahme gehören Interaktion und Kommunikation zusammen, wenn die dafür notwendigen Interaktionspartner im gleichen geteilten Raum anwesend sind.

Risser, Zusan, Tamme, Steinbauer und Kaba (1991) definieren Interaktion als: „Das mehr oder weniger aufeinander abgestimmte Verhalten zweier oder mehrerer Individuen, wobei das Agieren jedes einzelnen Individuums eine zu berücksichtigende Voraussetzung für das Agieren der Anderen darstellt.“ (S.19).

Nach Suchman (2009) kann man soziale Interaktion auf zwei verschiedene Arten verstehen. Entweder mit dem „Planungsmodell“ oder mit dem „situierten Handlungsmodell“.

Unter dem Planungsmodell versteht Suchman (2009), dass Individuen für bestimmte Situationen bereits Pläne bzw. Lösungen abgespeichert haben. Der Gegenüber besitzt in der Regel die gleichen Pläne und ist somit in der Lage, zu rekonstruieren, was der Interaktionspartner möchte. Dies geschieht durch die Interpretation der Situation und des gezeigten Verhaltens. Das Planungsmodell kann dabei in drei Phasen unterteilt werden:

1. Plangenerierung;
2. Interaktion und Planerkennung des Interaktionspartners;
3. Aktueller Status des Plans.

Das geteilte Hintergrundwissen ist wichtig, weil es die Basis für die Interaktion bildet. Juhlin (2001) sieht in diesem Zusammenhang die formellen Verkehrsregeln als Gesamtheit der vorhandenen Pläne, die die Verkehrsteilnehmer besitzen. Somit sind insbesondere formelle Regeln als das geteilte Hintergrundwissen zu betrachten.

Krummheuer (2010) stellt drei Kritikpunkte an der Sichtweise von Suchman auf. Der erste Kritikpunkt bezieht sich dabei auf den Punkt, dass experimentelle Ergebnisse auf die Nutzung im Alltag von z. B. Computern (bzw. Mensch-Maschine Schnittstellen im Allgemeinen) eher als unzulässig zu betrachten sind. Experimente in Laborumgebungen sind zu spezifisch, um auf den Kontext übertragen werden zu können. Des Weiteren würden nach Krummheuer (2010) die konstruierten Variablen dem situativen Kontext nicht gerecht werden und diesen somit vernachlässigen. Als dritten Kritikpunkt führt Krummheuer (2010) an, dass nach dem Planungsmodell das Verstehen einer Situation zu sehr als mentaler Prozess behandelt wird und nicht als situativer Prozess. Die Kritik von Krummheuer bezieht sich unter anderem auf die Gültigkeit der externen Validität von Laborexperimenten. Diese ist berechtigt, aber Laborexperimenten die externe Validität im Allgemeinen abzuspüren, ist mit Vorsicht zu betrachten und sollte nicht auf alle Laborexperimente verallgemeinert werden.

In Bezug auf die Kritikpunkte an dem Planungsmodell kommt das andere Verständnis sozialer Interaktion von Suchman (1987) zum Tragen: *Das situierte Handlungsmodell*. Dabei sind drei Säulen von entscheidender Bedeutung. So differenziert Suchman (1987) zwischen der „Situation of action“, welche die Verfügbarkeit und Bandbreite der möglichen Ressourcen beschreibt, die ein Akteur besitzt, um seine Handlungen durchzuführen und die der anderen Akteure zu interpretieren. Als zweite Säule fungiert die „situation of the user“, welche in dem Fall von Suchman (1987, 2009), die an die Situation gebundene



Interpretation der Fähigkeiten einer Maschine ist und wie mit dieser interagiert werden muss. Die dritte Säule ist die „situation of the machine“, welche für den Fall von zwei menschlichen Interaktionspartnern nicht relevant wird. Prinzipiell können nach Suchman (1987, 2009) Pläne somit als Repräsentation von Handlungen abgeleitet werden. Diese Handlungen können auf Basis von zwei Weisen betrachtet werden: Der Akteur wählt und führt eine Handlung aus, welche auf dem antizipierten Ausgang basiert. Als zweite Betrachtung können Pläne als Ressourcen für situierte Handlungen betrachtet werden. Unter veränderten Umgebungsbedingungen können sich situierte Handlungen aufgrund von Plänen wieder ändern. Diese Pläne sind somit auf einer globalen Ebene zu betrachten, während Handlungen auf einer lokalen Ebene zu verorten sind und die Lösung einer Situation in ihren Einzelheiten darstellt.

Zusammengefasst sind für die Interaktion Pläne sowie der situative Kontext entscheidend und ergeben in ihrer Gesamtheit eine Interaktion. Nach Goffmann (1956) muss bei einer Interaktion unterschieden werden, ob die beiden Akteure das Interesse haben und die Notwendigkeit besteht, zu kommunizieren. Erst wenn die Notwendigkeit zu kommunizieren besteht, kann von einer Interaktion ausgegangen werden. Deswegen kann abgeleitet werden, dass wenn auf einer Hauptstraße zwei Verkehrsteilnehmer aus der entgegengerichteten Richtung sich kurz treffen, keine Interaktion im eigentlichen Sinne entsteht, auch wenn sich eine gemeinsame Ressource geteilt wird (Juhlin, 2001).

Juhlin (2001) fasst Interaktion im Straßenverkehr mit drei wesentlichen Merkmalen zusammen:

1. Die Identifikation der Situation;
2. Informelle Regeln sind entweder auf den Kontext anwendbar oder auf das individuelle Verhalten des anderen Akteurs;
3. Ein Akteur versteht das Verhalten des anderen Akteurs als Beleg für einen dahinterliegenden verborgenen Plan, obwohl eine Handlung auf mehrere Pläne zurückzuführen sein kann.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass die Interaktion zwischen Akteuren auf Plänen oder situierten Handlungen beruht. Für die Akteure in der Interaktion ist es wichtig, die Handlungen der Interaktionspartner zu verstehen, um adäquate Handlungen auswählen zu können. Entscheidend ist, dass beide Akteure die Situation und die damit verbundenen Handlungen der Interaktionspartner verstehen.

Anhand dieses Kapitels konnte gezeigt werden, aus welchen Elementen eine Interaktion besteht. Im Folgenden Kapitel wird dargestellt, wie sich das Konstrukt Kooperation zusammensetzt.

### 2.5.1.2 Kooperation

Wie im übergeordneten Kapitel beschrieben, wird Kooperation und Interaktion häufig synonym verwendet. So verwendet z. B. Juhlin (2001) den Begriff der „co-ordination“ und es bleibt dabei unklar, ob er Interaktion oder Kooperation meint. Weiterhin könnte auch die wörtliche Übersetzung „Koordinieren“ gemeint sein. Dafür sind die Beispiele in dem Artikel nicht ganz zutreffend. Aufgrund der gegebenen Beispiele im Artikel selbst, kann von Interaktion ausgegangen werden. Warum dies so verstanden werden kann, wird im Nachfolgenden erläutert.

Das Wort Kooperation entstammt dem lateinischen Wort *cooperatio* und meint Zusammenwirkung. Bei der Betrachtung von Kooperation fällt auf, dass unterschiedliche Definitionen verwendet werden. So definieren Benmimoun et al. (2004) Kooperation als ein: „*Verhalten, das mit einem Verzicht auf das eigene Recht einhergeht.*“ (S.9). Bei dieser Definition liegt ein Spezialfall vor, in dem die Forscher das partnerschaftliche Verhalten zur Verkehrsflusserhöhung untersucht haben. Kooperation kann z. B. auch mit dem Konstrukt des Gefängendilemmas betrachtet und modelliert werden (Helbing & Lozano, 2010). Die Autoren beschreiben Kooperation als eine Zusammenarbeit, die einen Beitrag erfordere. Dieser Beitrag erzeugt einen Nutzen für den Interaktionspartner. In diesem Sinne wird Kooperation als Kosten-Nutzen-Ansatz betrachtet. Ein gemeinsamer Nenner ist also ein Problem oder eine Situation, die gelöst werden muss. Hoc (2001) definiert Kooperation in dem Sinne, *dass wenn mindestens zwei Agenten die gleichen Ressourcen beanspruchen, eine*

*Interferenz erzeugt wird. Das Verhalten des einen beeinflusst das Verhalten des anderen. Die Lösung kann als Kooperation bezeichnet werden.*

Die Lösung stellt das gemeinsame Ziel der Agenten dar. Dabei ist Kooperation unabhängig davon, ob es sich bei den beteiligten Agenten um Maschinen oder Menschen handelt. Ergänzend dazu erklärt Castelfranchi (1998), dass eine Interferenz darauf basiert, dass die Wirkung einer Handlung eines Agenten die Ziele des anderen Agenten beeinflusst. Entweder trifft eine Übereinstimmung der Ziele ein, was dann als positive Interferenz bezeichnet werden kann oder diese nicht übereinstimmen und dieser Zustand als negative Interferenz bezeichnet werden kann.

Abbildung 6 erklärt, wie Hoc (2001) Kooperation betrachtet. Dabei geht Hoc (2001) davon aus, dass es drei verschiedene Ebenen gibt. Auf der ersten Ebene ist das sogenannte „Management“ des Akteurs, welches die Wissensbasis darstellt. Jeder Akteur einer Kooperation besitzt dieses und es kann entsprechend unterschiedlich ausgeprägt sein. In der mittleren Ebene beschreibt er den „CO-FOR“ (Common Frame of Reference), also den gemeinsamen Referenzrahmen der Akteure, welcher eine Überschneidung der Repräsentationen der beiden Kooperationspartner darstellt. Die untere Ebene setzt sich aus der antizipierten Referenz zusammen, welche versucht, die Ziele des anderen zu antizipieren. Wenn dies nicht möglich ist, wird nach einer Lösung gesucht.

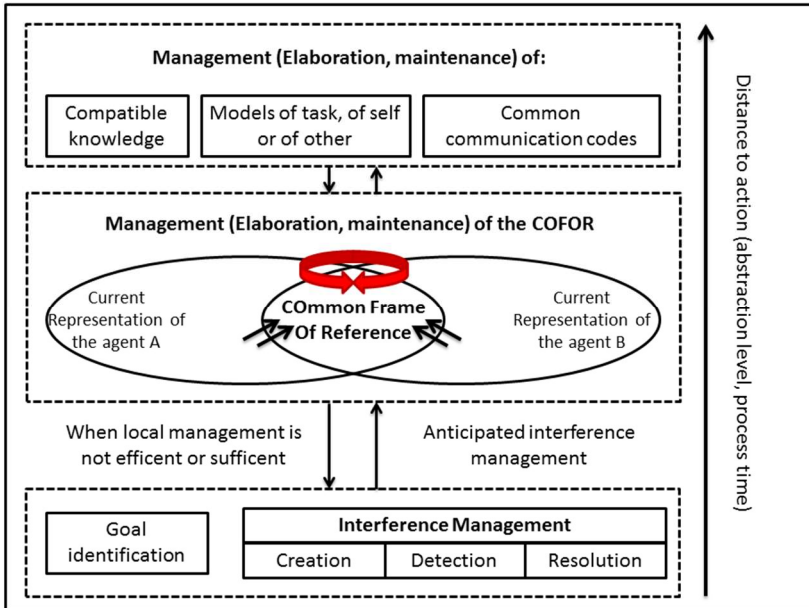


Abbildung 6. Kooperation nach Hoc (2001) aus Vanderheagen et al. (2006) S.5.

Grislin-Le Strugeon und Millot (1999) führen aus, dass zwei Hauptanforderungen für die menschliche Kooperation notwendig seien: Die Möglichkeit zur Kontrolle von interferierenden Zielen sowie die Erleichterung der Aktivität des anderen Akteurs.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass Kooperation die Zusammenarbeit zwischen zwei Akteuren beschreibt. Diese Zusammenarbeit lässt sich durch ein gemeinsames Ziel kanalisieren. Für die Lösung wird, wie bei einer Interaktion auch Kommunikation benötigt.

### 2.5.1.3 Abgrenzung von Kooperation und Interaktion

Basierend auf den Definitionen von Interaktion (Kapitel 2.5.1.1) und Kooperation (Kapitel 2.5.1.2) lässt sich ableiten, dass die Interaktion eine Ebene höher angesiedelt ist, als die Kooperation. Das bedeutet, dass jede Kooperation zwangsläufig eine Interaktion ist. Eine Interaktion ist nicht zwangsläufig eine Kooperation.

Hoc (2001) arbeitet den entscheidenden Faktor zwischen Kooperation und Interaktion heraus: den des gemeinsamen Zieles und der damit verbundenen Lösung. Eine Interaktion kann auch gegenläufig sein und die Interaktionspartner können versuchen, auf Kosten des Anderen ihr Ziel zu erreichen.

Trotz des auf den ersten Blick großen Unterschiedes, gibt es aufgrund der Überschneidung Gemeinsamkeiten. Die gemeinsame Basis stellt die Kommunikation dar, die das Werkzeug zum Interagieren sowie zum Kooperieren bereitstellt. Des Weiteren spielen bei der Interaktion die Identifikation der Situation wie auch informelle Regeln eine entscheidende Rolle (siehe Juhlin, 2001). Suchman (1987) bezeichnete das Verständnis von Interaktion als Pläne und Handlungen. Da eine Kooperation zwangsläufig zu der Interaktion gehört, sind dies auch wesentliche Elemente der Kooperation. Entscheidend ist, dass die Kooperationspartner in der Lage sind, das intendierte Verhalten zu antizipieren und so angemessen zu der Lösung einer Situation beizutragen. Funktioniert dies nicht, gilt für die Interaktion, wie auch folglich für die Kooperation, dass Konflikte entstehen. Für den Verkehrskontext beschreiben Svensson und Hydén (2006), dass eine gescheiterte Interaktion zu einem Konflikt führen kann. In der Konfliktpyramide von Svensson und Hydén (2006) wird ersichtlich, dass ein Großteil der Interaktionen störungsfrei abläuft und somit keine Konflikte erzeugt werden (siehe Abbildung 7). Nur ein kleiner Teil von misslungenen Interaktionen führt zu Konflikten und zwar dann, wenn das Verhalten und somit die Kommunikation des Gegenüber nicht verstanden wird.

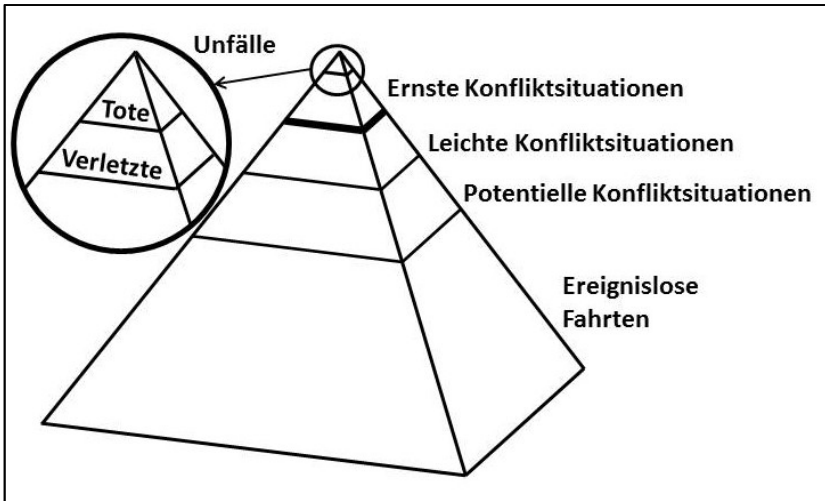


Abbildung 7. Verteilung von Konflikten in einer Pyramidendarstellung nach Svensson und Hydén (2006).

Da die Kooperation wie bereits beschrieben eine Teilmenge der Interaktion darstellt, gilt diese Erkenntnis auch für Kooperationsprozesse. Entscheidende Aufgabe ist für kooperative Situationen die Verhaltensweisen zu identifizieren, die zu konfliktfreien Lösungen führen. Verhaltensweisen, die diese Voraussetzung erfüllen, müssen, übertragen nach den Kriterien von Juhlin (2001), dabei helfen, die Situation schneller zu identifizieren. Des Weiteren müssen die Verhaltensweisen entweder als informelle Regeln auf die Situation oder auf den Gegenüber angewendet werden können. Als letzte Voraussetzung muss die Handlung eindeutig gewählt werden, sodass die dahinterliegende Intention deutlich wird. Ein Verhalten, welches nicht auf einen eindeutigen Plan zurückzuführen ist, sollte nicht angewendet werden. Risser (1985) weist darauf hin, dass viele Kommunikationszeichen mehrdeutig sein können. So bedeutet die Lichthupe auf der Autobahn, dass das Vorderfahrzeug Platz machen soll, weil man eine höhere Geschwindigkeit hat oder dass man dem Vordermann Platz macht z. B. bei einem Spurwechsel. Ein Ansatz ist nicht, sich auf einzelne Kommunikationszeichen zu fokussieren, sondern diese in der Gesamtheit zu

betrachten, und somit Kombinationen von Kommunikationszeichen anzuwenden, die eine eindeutige Intention vermitteln. Im Folgenden werden diese Kombinationen als Kommunikationssets bezeichnet. Wenn diese Punkte erfüllt sind, kann eine erfolgreiche Kooperation im Straßenverkehr angewendet werden.

Der Fokus der Arbeit liegt auf kooperativen Situationen im zukünftigen Mischverkehr. Im nachfolgenden Anschlusskapitel wird zunächst aufgezeigt, wie Kooperation aktuell zwischen automatischen Systemen in der Mensch-Maschine-Interaktion gestaltet ist.

## **2.5.2 Kooperation mit automatischen Systemen**

In diesem Kapitel wird die aktuelle Kooperation mit automatischen Systemen beschrieben und aufgezeigt, wie diese gestaltet sein sollte.

Wie im vorangegangenen Kapitel wird zunächst der Begriff der Mensch-Maschine-Interaktion näher beschrieben, da die Interaktion auch hier eine übergeordnete Menge darstellt und sich die Kooperation zwischen automatischen Systemen darauf bezieht.

Der Begriff automatische Systeme ist sehr allgemein gehalten und umfasst verschiedene Schnittstellen. Unter einem automatischen System bzw. einer Automation wird eine Technologie verstanden, welche aus eigenem Antrieb aktiv Daten selektiert, Informationen transferiert und Entscheidungen trifft oder Prozesse kontrolliert (Bauernhansl, Hompel, & Vogel-Heuser, 2014).

Grundlegend geht die Forschung aus dem Feld „Kooperation mit automatischen Systemen“ auf die Mensch-Roboter Interaktion zurück. In der Mensch-Roboter Interaktion kann nach Takeda, Koboyashi, Matsubara und Nishida (1997) zwischen vier Arten der Interaktion differenziert werden:

1. Der (primitive) „primitiven“ Interaktion, welche über computergestützte Schnittstellen gestaltet wird;

2. Der (intimate) „vertrauten“ Interaktion, welche über direkte Kommunikation gestaltet ist und über Mimik, Geste, Sprache etc. umgesetzt wird;
3. Der (lose) „nicht verbundenen“ Interaktion, welche eine örtliche Trennung zwischen Menschen und Roboter darstellt. Als Mediator fungiert beispielsweise ein kamerabasiertes System;
4. Der (cooperative) „kooperativen“ Interaktion, welche eine direkte Zusammenarbeit mit dem menschlichen Partner gewährleisten kann.

Für den Mischverkehr und eine damit eingehende Interaktion mit automatisch geführten Fahrzeugen, trifft insbesondere die kooperative Interaktion und vertraute Interaktion zu und kann inhaltlich schwer voneinander differenziert werden. Die primitive Interaktion betrifft eher die Handhabung von Mensch-Maschine-Schnittstellen.

Mit früheren Studien, die im nachfolgenden Absatz beschrieben sind, lässt sich aufzeigen, dass eine Interaktion mit einer Automation der Interaktion zwischen Menschen ähnelt. Reeves und Nass (1996) konnten mithilfe ihrer Untersuchungen zeigen, dass das menschliche Verhalten gegenüber Technik sehr ähnlich ist zu dem Verhalten gegenüber Menschen. So hatte beispielsweise das Geschlecht der Stimme sowie die Tonhöhe einen Einfluss wie der Mensch auf den Computer reagierte. Diesbezüglich konnte Ostrom (Ostrom, 1998) zeigen, dass bei der Interaktion mit einer Automation, in einem sozialen Kontext, die gleichen Gehirnareale (anteroventral, Corpus striatum und orbital frontal) aktiviert wurden. Des Weiteren konnte die Untersuchung zeigen, dass nonverbale Kommunikation ohne Mimik deutlich effizienter ist als die Kommunikation mit einer künstlichen Mimik. Des Weiteren konnten Duffy und Joue (2001) zeigen, dass es für die Mensch-Roboter-Interaktion nicht entscheidend ist, dass Mensch und Roboter einen gleichen sprachlichen und kulturellen Hintergrund aufweisen, sondern ob die beiden ein gemeinsames Zeichenrepertoire sowie Konzepte und Einstellungen besitzen.

Eine der bekanntesten Studienreihen zum Thema Mensch-Maschine-Interaktion sind die sogenannten CASA-studies (Computer as social actors) von u. a.



Nass, Moon und Carney (2006). Die Kernhypothese ist, dass menschliche Nutzer auf Computer reagieren, als seien diese eigenständige sowie soziale Akteure. Basierend auf den CASA-Studien (Nass & Moon, 2000; Nass, Moon, & Carney, 1999) können drei Kernannahmen abgeleitet werden:

1. Menschen zeigen gegenüber Computern soziales Verhalten. Dies wird durch das Anwenden von sozial etablierten Regeln und Heuristiken deutlich, welche normalerweise im Umgang zwischen Menschen gezeigt werden.
2. Menschen sind sich nicht bewusst, dass sie sich sozial gegenüber dem Computer verhalten.
3. Die Reaktionen auf den Computer erfolgen automatisch und unbewusst.

Ergänzend zu den drei Kernhypothesen stellte Sundar (2004) untermauernd fest, dass Probanden in seiner Studie eine kurzfristige Beziehung zu den Computern entwickelten und sich bei den Computern für Handlungen bedankten und oder sich von dem Computer verabschiedeten, wenn das Experiment vorüber war.

Echterhoff, Bohner und Siebler (2006) kritisieren insbesondere die dritte Annahme, dass die Reaktionen automatisch ablaufen würden. Hauptproblem sei, dass die automatische Reaktion per Selbstbericht erfasst worden sei und ein einfaches „Nein“ ausreichend war. Um diese mentale Repräsentation in Form einer automatischen Reaktion zu prüfen, sollten andere Indikatoren wie physiologische Maße genutzt werden. Des Weiteren merkt Miller (2002) zu dieser Thematik an, dass Experimente aus dem Labor mit Vorsicht zu genießen seien, da diese sehr künstlich sein können und keine Langzeitbetrachtung gewährleistet werden kann. Trotz der Kritik an Punkt drei wird ersichtlich, dass sich diese Interaktion nicht gänzlich von der zwischen Menschen unterscheidet. In der aktuellen Betrachtung der Mensch-Maschine-Interaktion ist insbesondere die Interaktion zwischen Industrierobotern und Menschen interessant.

Die Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) stellt eine spezifische Interaktion zwischen Mensch und Automation dar. Es wird im Allgemeinen zwischen der

Fern-Interaktion und der Nah-Interaktion unterschieden (Goodrich & Schultz, 2007). Bei einer Fern-Interaktion sind der Roboter und der Mensch voneinander räumlich getrennt, während sich bei der Nah-Interaktion Mensch und Roboter in demselben Raum befinden oder zumindest die gleiche Umgebung teilen. Dies trifft zum Beispiel auf den Straßenverkehr, aber insbesondere auf Industrieanlagen zu.

In herkömmlichen Produktionsanlagen sind Mensch und Roboter räumlich voneinander getrennt. Der Arbeitsbereich muss mit Sicherheitsanlagen überwacht werden, um ein unbefugtes Eintreten zu verhindern, damit eine Kollision zwischen Mensch und Roboter vermieden werden kann. Wenn sich Roboter und Mensch eine Arbeitsumgebung teilen und nicht räumlich voneinander getrennt sind, also eine unmittelbare Interaktion möglich ist, wird von der Mensch-Roboter-Koexistenz gesprochen und in diesem Zusammenhang auch von der Mensch-Roboter-Kooperation gesprochen (Henrichs et al., 2008). Reichenbach (2010) unterscheidet dabei zwischen Industrierobotern und Leichtbaurobotern. Industrieroboter sind entweder durch vollautomatisierte Anlagen, zutrittsbeschränkte Anlagen oder Anlagen mit einer Aufenthaltserkennung abgesichert. Im Gegensatz dazu gibt es die Leichtbauroboter, die sich in der Zusammenarbeit mit Menschen unterteilen lassen in die Eingriffszone, Assistenz, Kollaboration, Kooperation und mobile Robotik.

Unter Kollaboration wird verstanden, dass sich Mensch und Roboter eine Umgebung teilen und an einer gemeinsamen Aufgabe arbeiten. Nach Haag (2015) ist der Unterschied zwischen Kollaboration und Kooperation der, dass bei der Mensch-Roboter-Kollaboration das Team aus Mensch und Roboter, die anfallenden Aufgaben nach den entsprechenden Fähigkeiten aufteilt und ausführt. Der Mensch sei kreativ, während der Roboter in einer immer gleichbleibenden Qualität arbeiten könne. Bei der Mensch-Roboter-Kooperation würden beide Partner auf der gleichen Hierarchiestufe arbeiten und somit der Roboter mehr Autonomie zur Verfügung hatte.

Sowohl Haag (2015) als auch Deuse, Weisner, Hengstbeck und Busch (2015) gehen davon aus, dass die technische Entwicklung nicht so weit geht, dass der Roboter dem Menschen Befehle geben wird, sondern der Mensch die letzte

Instanz in dem Kooperationsprozess darstellen wird. Dies ist natürlich in diesem Sinne kein Maßstab für technische Entwicklung, sondern wirft Fragen auf, wie weit die Gesellschaft bzw. die Politik in der MRI gehen möchte.

Goodrich und Schultz (2007) bauen darauf auf und führen aus, dass Roboter fünf verschiedene Merkmale aufweisen, die ein Entwickler variieren kann:

- Autonomie;
- Informationsaustausch;
- Teamstruktur;
- Adaption/Lernen;
- Aufgabenform;

Yanco und Drury (2004) ergänzen weitere Merkmale:

- Aufgabenkritikalität,
- Robotermorphologie: Anthropomorph, Zoomorph, Funktional;
- Interaktionsrollen des Menschen nach Scholtz (2003): Supervisor, Operateur, Kollege, Mechaniker/Programmierer oder Zuschauer;
- Die Typen der physischen Nähe nach Huttenrauch und Eklundh (2004): vermeidend, passierend, folgend, ankommend und berührend.
- Entscheidungsunterstützungssysteme für Operateure;
- Zeit/Raum Taxonomie nach Ellis, Gibbs und Rein (1991): synchron vs. asynchron bei verschiedenen Zeiten, kollokiert, wenn in dem gleichen Raum, und nicht-kollokiert, wenn das Mensch-Roboter System an unterschiedlichen Orten existiert;

Übertragen auf den Straßenverkehr sind vor allem die Autonomie, der Informationsaustausch und die Adaption von Interesse. Die Teamstruktur als solche

ist für den Industriekontext von Relevanz, weil diese willentlich beeinflusst werden kann, je nachdem wie die Produktionsanlage aufgebaut ist und das Unternehmen, im Rahmen der gesetzlichen Regelungen, arbeiten möchte. Wie in einer kooperativen Situation im Straßenverkehr die Zusammensetzung geregelt werden kann, ist unklar und es ist auch nicht absehbar, dass diese geregelt werden soll. Auch die Aufgabenform, wie Greifen eines Objektes o. ä. ist nicht übertragbar, da diese in den SAE-Level bereits geregelt ist.

Unter Autonomie bei dem Design von insbesondere mobilen Robotern, wird verstanden, wie hoch die Vernachlässigungstoleranz ist, also wie lange ein Roboter nicht beachtet werden muss (Crandall, Goodrich, Olsen Jr., & Nielsen, 2005). Insgesamt beziehen sich die Autonomiebeschreibungen für Roboter auf unterschiedliche Aspekte. Neben der Zeit können noch die Antriebsbewegungen oder die Fähigkeit, sich zu artikulieren relevante Dimensionen darstellen. Für die vorliegende Arbeit wird sich auf die Autonomiebeschreibung für die Mensch-Roboter-Interaktion bezogen. Einer der bekanntesten Ansätze stammt von Parasuraman, Sheridan und Wickens (2000) und spannt eine Skala für Entscheidungen und Handlungsauswahl von 1 = Niedrig bis 10 = Hoch (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2. Stufen der Autonomie in Bezug auf Entscheidungen und Handlungsauswahl nach Parasuraman et al. (2000).

<b>Hoch</b> = 10	Der Computer entscheidet alles, handelt autonom, ignoriert den Menschen
9	Der Computer informiert den Menschen nur, wenn der Computer entscheidet, den Menschen zu informieren.
8	Der Computer informiert nur, wenn der Mensch danach fragt.
7	Der Computer führt die Handlung automatisch aus und informiert falls notwendig.
6	Der Computer stellt eine beschränkte Zeit zur Verfügung, bevor die Handlung von dem Computer ausgeführt wird.
5	Der Computer führt den Vorschlag aus, wenn der Mensch zustimmt.
4	Der Computer schlägt eine Alternative vor.
3	Der Computer grenzt die Auswahl ein.
2	Der Computer bietet eine Auswahl an Entscheidungen/Handlungen an.
<b>Niedrig</b> = 1	Der Computer bietet keine Assistenz an: Der Mensch muss alle Entscheidungen und Handlungen tätigen.

Eine weitere häufig verwendete Unterteilung des Automatisierungsgrades ist die Unterteilung der Informationsverarbeitung von Parasuraman et al. (2000) in vier Stufen: 1. Informationssammlung (Acquisition of multiple sources of information), 2. Informationsanalyse (Manipulation of information), 3. Entscheidungs- und Handlungsauswahl (Decisions based on such cognitive processing) und 4. Handlungsausführung. Basierend auf diesen Stufen leiten Parasuraman et al. (2000) drei Stufen der Automation ab: 1. Autonomes

Wahrnehmen, 2. Autonomes Planen und 3. Autonomes Handeln. Paxcau Godin, Rajaonah, Anceaux und Vanderhaegen (2011) versuchten die verschiedenen Beschreibungen der Automatisierungsgrade von Parasuraman et al. (2000), und Kaber und Edsley (2004) in einer übersichtlichen Taxonomie zusammenzuführen (siehe Anhang A, Tabelle A 1).

Durch Tabelle 2 und Tabelle A 1 wird ersichtlich, dass ein großer Zusammenhang und eine hohe Vergleichbarkeit zu den SAE-Stufen (siehe Kapitel 2.2) vorhanden ist, die sich an den Automatisierungsgraden orientieren. Es wird deutlich, dass die gängigen Taxonomien eine sehr starke Ähnlichkeit aufweisen. Insbesondere Stufe 10 der Vollautomatisierung entspricht der SAE Stufe 5. Die Zwischenstufen sind für die Automatisierung feiner aufgliedert, müssen aber auch einen größeren Bereich von Arbeitsaufgaben abdecken.

Bei dem Thema des Informationsaustauschs im Feld der MRI steht die Art und Weise wie Informationen ausgetauscht werden im Fokus (Goodrich & Schultz, 2007). Im Allgemeinen wird von Goodrich und Schultz (2007) zwischen dem *Kommunikationsmedium* und *Format der Kommunikation* unterschieden. Für das Kommunikationsmedium werden in der Regel die Sinne Sehen, Hören und Berührung verwendet, sodass als Kommunikationsmedium entweder visuelle Darstellungen, wie Displays bzw. Augmented Reality Schnittstellen, Gesten, Sprache, auditive Signale, oder physische Interaktion durch taktile Signale verwendet werden. Im Bereich der computergestützten Gruppenarbeit unterscheidet man drei Modi, mit denen kommuniziert werden kann: auditiv, visuell oder basierend auf Daten, analytisch (Nickerson, 1997). Yanyo and Drury (2004) weisen darauf hin, dass es sich als schwierig gestaltet, eine einheitliche Taxonomie für HRI-Systemen zu benennen, weil die Art des Informationsaustausches so vielfältig sein kann.

Der dritte Punkt der Adaption bzw. des Lernens ist dahingehend relevant, als dass automatische Systeme für sehr spezifische Kontexte entwickelt werden und so ein Training benötigen (Shibata & Tanie, 2000). Goodrich und Schultz (2007) argumentieren, dass maschinelles Lernen wichtig ist, da dies die Menge an benötigtem menschlichem Training verkürzen würde sowie dass für sehr spezielle Fälle eventuell gar kein Training mehr notwendig sei und der menschliche Nutzer aus der Interaktion heraus lernen kann.

Auf Basis der definierten Konstrukte und Erkenntnisse wird ersichtlich, dass eine Kooperation zwischen Mensch und Maschine möglich ist, diese sich nicht zwingend von der Mensch-Mensch-Interaktion unterscheiden muss und durch geschickte Intentionserkennung es sogar möglich ist, die Interaktion „trainingsfrei“ und intuitiv zu gestalten. Breazal, Kidd Hoffman und Berlin (2005) untersuchten dabei die Effektivität von non-verbalen impliziten und expliziten Kommunikationssignalen in der Mensch-Roboter-Interaktion. In ihrem Versuch mussten menschliche Probanden zusammen mit einem Roboter arbeiten und dabei den Roboter bei einer Auswahl von drei Tasten zeigen, welche Taste dieser drücken soll. Dabei variierte der Roboter seine nonverbalen sozialen Hinweisreize sowie seine impliziten Kommunikationssignale. Die Forscher fanden heraus, dass implizite, nicht verbale Hinweisreize die Leistung in der Aufgabe positiv beeinflussten, sowie eine geringere Anzahl an Fehlern auftrat. Daraus schlussfolgern Breazal et al. (2005), dass soziale nicht verbale Hinweisreize und implizite Kommunikation ein Mittel sind, um eine erfolgreiche Kooperation zwischen Mensch und Roboter zu gewährleisten. In der herkömmlichen MRI ist unter der Kommunikation immer eine Mischung aus Sprache und Gesten bzw. Mimik zu verstehen, deswegen wird der Begriff der impliziten und expliziten Kommunikation so verstanden, wie in Kapitel 2.4.2.5 beschrieben. So zeigen Studien die Bedeutung der Lippensynchronisation auf und schlussfolgern, dass Menschen Roboter besser verstehen, wenn die Mimik des Mundes an das Gesprochene angepasst ist (Weil, 1982; Lewis & Parke, 1987). Die Studie bezieht sich auf den McGurk-Effekt (McGurk & MacDonald, 1976) aus der Sprachpsychologie, der aufzeigt, dass Sprachsignale besser verstanden werden, wenn Lippenbewegungen beobachtet werden. Dieser Effekt verdeutlicht, dass die Sprachverarbeitung sowohl mit der Wahrnehmung als auch der Erzeugung verzahnt ist.

Neben den Lippenbewegungen werden auch andere explizite, nicht verbale Signale, wie Gesten oder Kopfbewegungen, untersucht, um diese zum Beispiel als Feedback für ein Mensch-Roboter-System zu verwenden (Segato, Krogsgaard, Jensen, & Rehm, 2014). Des Weiteren finden parallel Forschungen zu dem Bereich der Blickkontaktaufnahme und -koordination (Das, Hoque, Kobayashi, & Kuno, 2013; Hoffman, Grimes, Shon, & Rao, 2006) statt, sowie der Blickbeobachtung, insbesondere um eine Theory of Mind des Gegenübers

zu entwickeln (Peters, Asteriadis, Karpouzis, & Sevin, 2008) bis hin zu Kommunikationsrobotern, die an Autismus erkrankten Kindern helfen, Kommunikationsfähigkeiten zu erwerben (Robins, Dautenhahn, & Dickerson, 2009).

Die Weiteren präsentierte Forschungsergebnisse zeigen, dass eine Interaktion bzw. sogar eine Kooperation zwischen Mensch und Automation möglich ist. Viel mehr zeigen sie auf, dass die Unterschiede in der technischen Limitierung der Roboter liegen und nicht in der Interaktion selbst. Die erwähnten CASA-Studien weisen darauf hin, dass es in der Tendenz keine Unterschiede vorliegen, mit wem ein Mensch interagieren muss. Die neuere Forschung ergänzt dies, indem sie aufzeigt, wie gut die Mensch-Roboter-Interaktion werden kann, wenn Grundprinzipien der menschlichen Interaktion eingehalten werden, wie z. B. das Verwenden von impliziten Kommunikationssignalen.

In Kapitel 2.5 wurde unabhängig von der Domäne definiert, was in der Forschung unter dem Begriff der Kooperation im Straßenverkehr verstanden wird. Im nachfolgenden Kapitel wird Kooperation im Straßenverkehr noch einmal spezifisch und mithilfe aktueller Theorien und Modellen dargestellt.

### **2.5.3 Kooperation im Straßenverkehr: Spezifisch**

Es gibt nicht einen Modellansatz für die Beschreibung des kooperativen Prozesses, sondern mehrere Ansätze für bestimmte Kooperationsprobleme. Neben den beschriebenen Szenarien in Kapitel 2.1 gelten als weitere Kooperationsherausforderungen Überholmanöver, das Wechseln einer Spur auf der Autobahn oder in der Stadt, das Einfädeln auf eine Autobahn sowie kooperative Bremsmanöver vor einer Ampel.

Eine Möglichkeit, Kooperation darzustellen, ist die Kooperation als spieltheoretischen Ansatz zu modellieren. Elvik (2014) betrachtete dabei verschiedene Studien, die die Kooperation im Straßenverkehr unter spieltheoretischen Ansätzen auswerteten (Tabelle 3).



Tabelle 3. Ansätze zur Lösung von Kooperationsproblemen nach Elvik (2014), inklusive Ergänzungen des Autors.

<b>Ansatz</b>	<b>Kooperationsproblem</b>	<b>Studie</b>
Gefangenendilemma	Wahl der Fahrzeuggröße in einer Unfallsituation, Wer darf fahren?	Tay (2002), Fekete, Vollrath, Huemer und Salchow (2015)
Ko-Koordinationsspiel	Geschwindigkeitswahl	Lave (1985), Ryeng (2012)
Gemischtes Strategiespiel	Geschwindigkeitswahl	Bjørnskau und Elvik (1992)
Gemischtes Strategiespiel	Einfädeln	Kita (1999)
Gamifizierung -Ansatz (Anmerkung: Es wurde vom Autor keine angemessene Übersetzung gefunden)	Spurwechsel	Zimmermann, Fahrmeier & Bengler (2015)
Kosten-Nutzen-Modell	Abbiegen	Vanderhaegen, Chalmé, Anceaux & Millot (2006)
Sequentielles Hühnchen Modell (Sequential chicken model)	Nichtsignalisierte Kreuzung (Rechts vor Links)	Fox, Camara, Markkula, Romano, Madigan & Merat (2018)

Spieltheoretische Ansätze sind zur Betrachtung von Kooperation geeignet, da sie ein Problem von zwei Partnern sehr gut verdeutlichen.

Eines der bekanntesten spieltheoretischen Probleme ist das Gefangenendilemma von Rapoport und Chammah (1965), welches in Tabelle 4 dargestellt ist.

Tabelle 4. Gefangenendilemma nach Rapoport und Chammah (1965).

Spieler 1/Spieler 2	Nicht kooperieren	Kooperieren
Nicht kooperieren	-1,-1	0,-5
Kooperieren	-5,0	-3,-3

In dem Dilemma geht es um folgenden Sachverhalt: Zwei Einbrecher wurden von der Polizei festgenommen und werden separat voneinander verhört, mit dem Ziel, dass beide die Tat gestehen. Nach den Autoren existieren für die Spieler (Gefangenen) zwei Strategien: Entweder Nicht-kooperieren oder Kooperieren. Wenn jeweils nur einer der beiden Spieler kooperiert und der andere Spieler nicht kooperiert, dann geht der Spieler, der kooperiert hat, nicht ins Gefängnis und kann auf eine Bewährungsstrafe hoffen. Derjenige, der die Strategie anwendete, nicht zu kooperieren, muss mit einer Gefängnisstrafe von fünf Jahren rechnen. Wenn beide Spieler kooperieren, dann kommen beide Spieler für drei Jahre ins Gefängnis. Werden aber beide Spieler die Strategie anwenden, nicht zu kooperieren, dann ist mit einer Gefängnisstrafe von einem Jahr für jeden zu rechnen. Die Auswirkungen, wenn beide Parteien nicht kooperieren wird als *Nash-Gleichgewicht* bezeichnet und repräsentiert die geringste Gesamtstrafe. Wenn aber einer der beiden kooperiert, ist die Gesamtstrafe deutlich höher. Nicht kooperieren wird in diesem Zusammenhang als dominante Strategie bezeichnet und zu kooperieren als nicht dominante Strategie.

Aufgrund der Tatsache, dass in dem Fall bei mehreren Ziehungen bzw. Wiederholungen die Gesamtstrafe am niedrigsten ausfällt, wenn beide kooperieren, liegt die Hypothese nahe, dass Spieler bei mehreren Ziehungen auch häufiger die nicht dominante Strategie anwenden. Locey und Rachlin (2012) konnten in einer Untersuchung herausfinden, dass Spieler auf einem längeren Zeitraum, in einem Gefangendilemma, bei einem Antritt mit (oder gegen) einen Computer die dominante Strategie anwenden, auch wenn Nicht-Kooperieren für beide Beteiligten insgesamt die beste Strategie darstellen würde.

In Tabelle 5 wurde versucht, das Gefangendilemma auf die beschriebene Engstelle aus Kapitel 2.1 zu übertragen, welche zur Rekapitulation, aus einer Verengung (z. B. durch parkende Autos) auf beiden Spuren besteht und aus beiden Richtungen jeweils ein Fahrzeug kommt. Es ist unklar, welcher Verkehrsteilnehmer als erstes fahren darf. Dies müssen die beiden Kooperationspartner aushandeln.

Tabelle 5. Gefangendilemma, übertragen auf eine gleichrangige Engstelle.

Fahrer 1/Fahrer 2	Fahren	Nicht Fahren
Fahren	-X	+X
Nicht Fahren	+X	-X

In der Engstelle bzw. in kooperativen Situationen im Straßenverkehr gilt es, Pattsituationen zu vermeiden. Dabei können die Strategie „Fahren“ und „Nicht Fahren“ angewendet werden. Im Vergleich zu dem Dilemma von Rapoport und Chammah (1965) gibt es bei der Übertragung Probleme. Eine Pattsituation liegt dann vor, wenn beide Fahrer die gleiche Strategie wählen. Insgesamt entsteht dadurch kein Nash-Gleichgewicht oder eine niedrigere Gesamtstrafe durch z. B. längere Standzeiten. Sowohl Rapoport und Chammah (1965) wie auch Gonzales Ben-Asher, Martin und Dutt (2015) betonen weiterhin, dass die Verhaltensentscheidung unabhängig von der Verhaltensentscheidung des Gegenübers ist. Dies ist für die aus Kapitel 2.1 beschriebenen Szenarien nicht gegeben. Des Weiteren handelt es sich bei der Betrachtung um ein sogenanntes One-Shot-Game, was bedeutet, dass nicht mehrere Runden „gespielt“ werden, sondern die beiden potenziellen Kooperationspartner nur einmal aufeinander treffen. Der individuelle Gewinn ist also größer, wenn nicht kooperiert wird. Bei der Engstelle handelt es sich um ein One-Shot-Game, allerdings, wie oben aufgeführt, ist „Nicht Kooperieren“ (=Fahren) nicht die beste individuelle Entscheidung, sondern wenn beide Fahrer die jeweilige gegensätzliche Strategie anwenden.

Des Weiteren muss auf zwei andere größere Unterschiede hingewiesen werden. Nicht nur, dass die Engstelle ein „One-Shot Game“ darstellt, die Kooperationspartner stehen auch in einem direkten Kontakt und werden nicht über einen „Vermittler“, wie den Gefängniswärter zum Kooperieren gezwungen zu interagieren. Da die Kooperationspartner in einem direkten Kontakt stehen wird der zweite größere Unterschied sichtbar und zwar, dass die Situation sehr dynamisch und von dem Verhalten der jeweiligen Interakteure abhängig ist. Dies ist bei dem klassischen Gefangenendilemma nicht gegeben.

Darüber hinaus schlussfolgern Martin Gonzalez, Juvina und Lebiere (2013), dass die Strategie Kooperieren insbesondere dann gehäuft angewendet wird, wenn die Spieler mehr Informationen über das Verhalten des Anderen besitzen. Auch dies trifft auf die Engstelle zu, denn die Fahrer sind in der Lage, das Verhalten des Gegenübers zu betrachten. Als letztes Argument kann noch aufgeführt werden, dass das klassische Gefangenendilemma für zwei Spieler gilt und nicht ohne weitere mathematische Probleme, wie beispielsweise mit dem N-Personen Gefangenendilemma, angewendet werden kann. Bei einem N-Personen Gefangenendilemma sind mehr als zwei Spieler involviert. Eine Beschreibung und Modellierung des kooperativen Prozesses sollte aber auch für alle Szenarien gelten und nicht nur für sehr spezifische Situationen.

Vanderheagen, Chalmé, Anceaux und Millot (2006) betrachten Kooperation und Wettbewerb zwischen Verkehrsteilnehmern unter einem Kosten-Nutzen-Modellansatz. Dabei legen sie den Fokus auf die Organisation des Straßenverkehrs und im Detail auf die herrschende Straßenverkehrsordnung, die Infrastruktur und den Verkehrsfluss.

Kooperation oder Wettbewerb (siehe Abbildung 8) beziehen sich immer auf zwei Fahrer, die das Auto über eine Schnittstelle steuern. Dabei wirken sich die Ziele der Fahrer auf die gemeinsame Fahrzeugkoordination aus, die sich wiederum bei jedem Fahrer durch eine spezifische Trajektorie ausdrückt. Anhand der Trajektorie kann bestimmt werden, ob die Interaktion kooperativ oder konkurrierend gelöst wurde. In dem Modell ist der Kosten-Nutzen nicht direkt berücksichtigt und wurde hinterher aus dem Modell konstruiert. Da keine weiteren Veröffentlichungen nach dem Wissen des Autors zu diesem Modell gefolgt sind, konnte keine Zusammenführung durchgeführt werden.

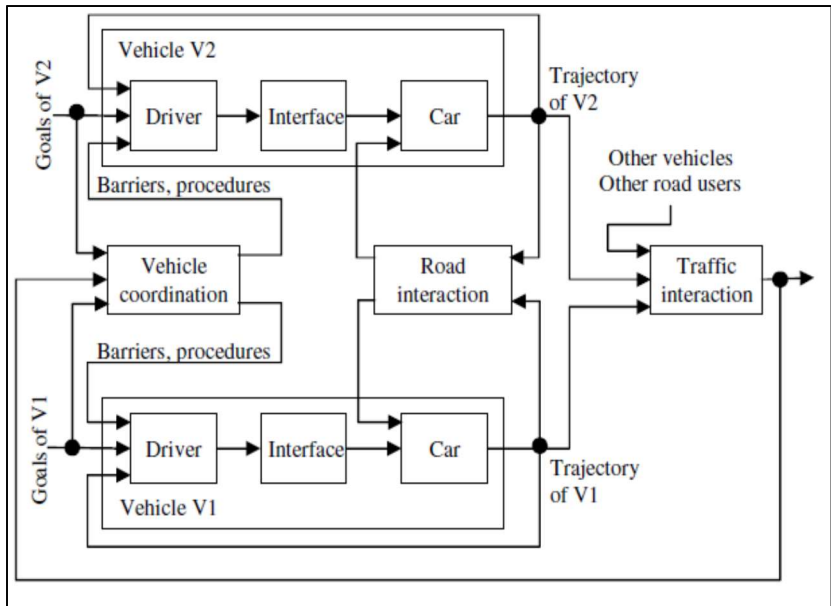


Abbildung 8. Kooperationsrahmenmodell aus Vanderheagen et al. (2006) S.6.

In einem Fahrsimulatorexperiment nutzen die Autoren zwölf verschiedene Situationen, in denen die Verkehrsteilnehmer kooperieren oder gegeneinander arbeiten konnten. Insgesamt zeigten die Probanden, bezogen auf eine Rechtsvor-Links Situation, in 24 % der Fälle ein konkurrierendes Verhalten und in 76% der Fälle ein kooperierendes Verhalten. Diese Studie betrachtet in erster Linie Interaktion und definiert ein Aufeinandertreffen als Kooperation oder konkurrierendes Verhalten. Dabei wurden insbesondere Situationen untersucht, die nach der Straßenverkehrsordnung schon eine Lösung vorliegen hatten. Somit stand das informelle Verhalten im Fokus. Wie Pattsituationen gelöst werden, wurde nicht gezeigt und kann mit diesem Ansatz nicht gelöst werden. Der Ansatz eines Kosten-Nutzen-Modells im Allgemeinen scheint im Unterschied zu dem Gefangendilemma oder anderen spieltheoretischen Ansätzen allerdings eine adäquatere Lösung zu sein, da hier objektive Parameter wie z. B.

die Time-To-Colission (TTC) angewendet und für automatische Fahrzeugführungen übertragen werden können. Nach dem Wissen des Autors wurden die in dem Beitrag angekündigten Folgepublikationen zur Testung des Modells nicht veröffentlicht, sodass keine weiteren Rückschlüsse gezogen werden können.

Haar et al. (2016) versuchte, Kooperation im Straßenverkehr (siehe Abbildung 9) auf einem allgemeineren Niveau zu modellieren. Auch hier stehen die Wahrnehmung und eine Kosten-Nutzenanalyse im Vordergrund. Wie die Kosten-Nutzen-Analyse weiterverwendet wird, ist nicht näher beschrieben. Angrenzend zu der subjektiven Kosten-Nutzen-Analyse wird versucht, alle Konstrukte in einen Zusammenhang zu bringen, die mit Kooperation in Verbindung stehen.

Des Weiteren werden in diesem Modell erneut nur zwei Fahrer betrachtet und nicht mehrere Fahrer. Der Fokus wird dabei auf Kooperation gelegt bzw. die Beschreibung wird an Benmimoun et al. (2004) orientiert, welche, wie in Abschnitt 2.5 beschrieben, das bewusste Inkaufnehmen eines Nachteils des Ausführenden definiert. Es entspricht nur bedingt dem Verständnis von Hoc (2001). Es konnten keine weiteren Studien zur Prüfung des Modells gefunden werden.

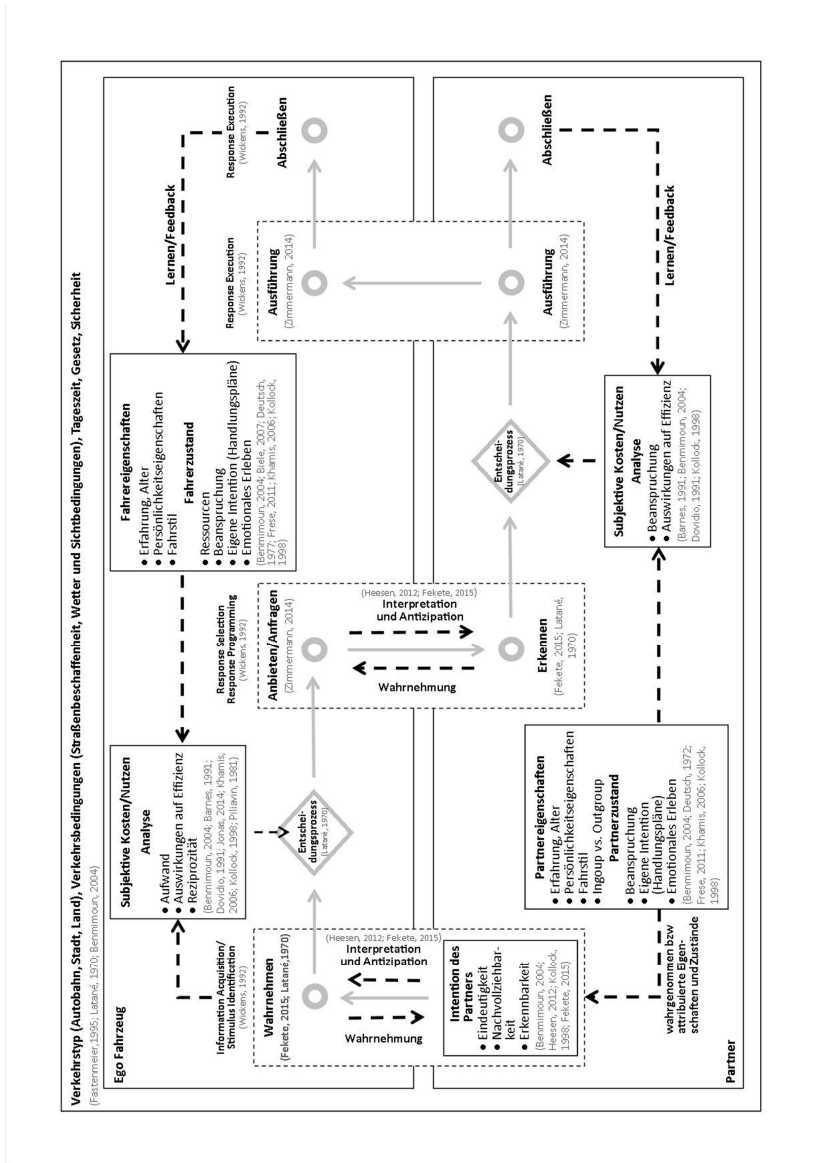


Abbildung 9. Kooperation nach Haar (2016).

Neben der subjektiven Kosten-Nutzen-Analyse sowie Fahrereigenschaften, welche in der Literatur hinreichend untersucht werden, ist vor allem die Intention der Partner interessant. Das Erkennen der Partnerintention ist notwendig, um eine erfolgreiche Kooperation zu gewährleisten, insbesondere für eine automatische Fahrzeugführung. Eine Intention kann durch das Fahrverhalten, also die Kommunikationssignale erkannt werden.

Neben der Modellierung werden in der aktuellen Forschung vor allem einzelne Signale und Situationen in kooperativen Szenarien näher untersucht. In einer Studie von Ba, Zhang, Reimer, Yang und Salvendy (2015) wurden unterschiedliche explizite Kommunikationssignale (Horn, Warnlicht, Fahrtrichtungsanzeiger) für verschiedene Situationen (einparkendes Fahrzeug, vorausfahrendes Fahrzeug mit geringer Geschwindigkeit, Einfädeln auf eine Spur, Fahrzeug hält auf dem Standstreifen) und in verschiedenen Perspektiven (Sicht durch die Windschutzscheibe, Sicht auf den Rückspiegel) per Video untersucht. Als abhängige Variable fungierte u. a. die Einstellung zu dem anderen Fahrzeug, sowie Fixationsmetriken. Dabei konnte die Gruppe um Ba et al. (2015) herausfinden, dass die Probanden es bevorzugten, wenn der andere Fahrer ein Signal verwendete. Des Weiteren weisen die Fixationsmetriken für die anderen Fahrzeuge eine höhere Fixationsdauer sowie -frequenz auf, wenn diese ein explizites Signal verwendeten.

Unter dem Konstrukt der Interaktion wurden verschiedene Handgesten in einer Vorfahrt geregelten Straße von Kitazaki und Mhyre (2015) in einer Rechts-vor-Links-Situation untersucht. Dabei betrachteten die Probanden animierte Videosequenzen und gaben an, wie sicher sie sich waren, zu fahren und ob sie nachgeben würden oder nicht. Die Studie konnte zeigen, dass das Fahrverhalten ohne explizites Kommunikationssignal nicht so effektiv funktioniert, wie ein intendiertes Verhalten mit explizitem Signal. Somit ist die Handgeste kein notwendiges, aber ein hinreichendes Signal in Rechts-vor-Links-Situationen. Allerdings handelte es sich hier um animierte Grafiken und nicht um echte, erlebte Situationen, sodass nicht zwingend eine Schlussfolgerung auf das tatsächliche Verhalten gezogen werden kann.



Lee und Sheppard (2016) untersuchten den Einfluss der Bewegung des Fahrzeuges und des gegebenen Signals, also der impliziten und expliziten Kommunikation, anhand von Bildern und Videos. Des Weiteren wurde zwischen Motorrad und Automobil unterschieden. Den Probanden wurde aus einer echten Verkehrssituation ein Bild oder das passende Video präsentiert und sie mussten einschätzen, ob die Fahrzeuge geradeaus fahren oder abbiegen werden. Die Forscher konnten zeigen, dass Probanden anhand des Videomaterials die Intention genauer einschätzen konnten als mit Standbildern. Es bleibt unklar, wie gut auf den Bildern die expliziten Signale zu erkennen waren. Weiterhin konnte berichtet werden, dass Probanden das Verhalten des Fahrzeuges besser einschätzen können als das Verhalten des Motorrads. Genauso wie Kitazaki und Mhyre (2015) konnten Lee und Sheppard (2016) zeigen, dass Probanden die Intention besser erkennen, wenn das Verhalten mit einem gültigen Signal gekoppelt ist.

Ein Großteil der Forschung von Kooperation zwischen Verkehrsteilnehmern fokussiert sich auf die Interaktion zwischen Autofahrern und vulnerablen Verkehrsteilnehmern, wie Radfahrern und Fußgängern (siehe z. B. Witzlack et al., 2017). Die Situationen, die Kooperation benötigen, lassen sich nur bedingt mit den Situationen zwischen Fahrern vergleichen, da andere Geschwindigkeiten vorherrschen und das Risiko für einen der beiden Verkehrsteilnehmer deutlich höher ist. Des Weiteren liegt eine andere Gesetzesgrundlage vor, da Autofahrer Rücksicht auf schwächere Verkehrsteilnehmer nehmen müssen. Insbesondere die Interaktion zwischen Autofahrern und Fahrradfahrern ist abhängig von der vorgegebenen Infrastruktur, welche auf die Interaktion zwischen Fahrern nur bedingt zutrifft (Parkin, Clark, Clayton, Ricci, & Parkhurst, 2016).

Aufgrund dessen konzentriert sich diese Dissertationsschrift nicht auf den Bereich der Interaktion mit vulnerablen Verkehrsteilnehmern, da die Ergebnisse dieser Arbeit nicht ohne Weiteres zu verallgemeinern sind. Trotzdem lassen sich aus aktuellen Studien ebenfalls verallgemeinerbare Erkenntnisse ableiten.

So konnten Beggiato, Witzlack, Springer und Krems (2017) zeigen, dass ein wirksames implizites Kommunikationssignal in der Fahrer-Fußgänger-Interaktion das Abbremsen ist und haben eine optimale Verzögerung ermittelt, in

Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Tageslicht, um Fußgängern zu signalisieren, ob das automatische Auto anhält oder nicht.

Insgesamt zeigt die Studienlage, dass Kommunikation zwischen Fußgängern und Autofahrern wichtig ist, um Intentionen zu vermitteln (Šucha, 2014).

Eine Simulationsstudie von Lehsing, Benz und Bengler (2016) konnte zeigen, dass Fahrer vorsichtiger fahren, wenn sie mit einem Computer als Fußgänger interagieren müssen, als mit einem Menschen als Fußgänger, wenn diese an einem Bürgersteig entlangliefen. Des Weiteren wurde bei einem von Menschen gesteuerten Fußgänger an einem Zebrastreifen in der Tendenz häufiger gebremst als bei einem computergesteuerten Fußgänger. Diese Ergebnisse bezogen die Forscher auf das Fehlen von interpersoneller Kommunikation des computergesteuerten Fußgängers.

Zhuang und Wu (2014) untersuchten die Wirkung von Gesten in der Kommunikation zwischen Fußgängern und Autofahrern und variierten die Gesten in einem experimentellen Aufbau, um zu untersuchen, bei welchen Gesten Autofahrer mehr nachgeben würden. Sie fanden heraus, dass ein wesentlicher Einfluss auf das Nachgebenverhalten, die Sichtbarkeit und Eindeutigkeit der Gesten darstellte. Parkin et al. (2016) betonen ebenfalls die Bedeutsamkeit von Kommunikationssignalen in Bezug auf die Fahrrad-Fahrzeug-Interaktion. Eine wichtige Rolle spielt dabei das Blickverhalten und die Art der Armbewegung zur Signalisierung eines Abbiegemanövers des Fahrradfahrers (Walker, 2005).

Als wesentliche Einflussfaktoren für das Nachgebenverhalten von Autofahrern in der Interaktion mit Fußgängern konnten Obeid, Abkarian, Abou-Zeid und Kaysi (2017) die Geschwindigkeit des Autofahrers, das Verbot von Bordsteinparken, die Existenz eines Zebrastreifens und einer höheren Anzahl an Fußgängern, die über die Straße möchten, identifizieren. Anhand der Studie wird ersichtlich, dass in der Interaktion mit vulnerablen Verkehrsteilnehmern auch andere Einflussfaktoren eine Rolle spielen.

Die Erkenntnisse aus der Forschung mit vulnerablen Verkehrsteilnehmern zeigen, dass es mehrere Einflussfaktoren gibt. So haben Rasouli Kotseruba und Tsotsos (2018) in einem Übersichtsartikel die verschiedenen Einflussfaktoren

in der Interaktion zwischen Fußgängern und automatisch, wie von Menschen gesteuerten Fahrzeugen, zusammengefasst. Wesentliche Einflüsse umfassen dabei:

- Soziale Faktoren: Gruppengröße, soziale Normen (informelle Regeln), Imitationen anderer
- Demographie: Geschlecht, Alter
- Zustand: Geschwindigkeit des Fußgängers (stoppend, annähernd etc.), konfundierend mit Alter, Geschlecht und Gruppengröße, Aufmerksamkeit
- Eigenschaften: soziale Normen (siehe soziale Faktoren), Kultur (konfundiert mit sozialen Normen),
- Fähigkeiten: Einschätzung von Geschw. und Distanzen der Automobile
- Umweltfaktoren: Physischer Kontext wie z. B. Zebrastreifen, Ampelanlagen etc.
- Dynamische Faktoren: Zeitlücke, die noch akzeptiert wird, Wartezeit, Verkehrsfluss, Kommunikationssignale nonverbaler Art.
- Verkehrseigenschaften: Verkehrsaufkommen, Fahrzeuggröße und Farbe, Fahrzeugtyp

Basierend auf der Aufzählung wird deutlich, dass viele Punkte auf die Fußgänger-Fahrzeug-Interaktion zutreffen, einige Punkte aber auch auf die Fahrer-Fahrer-Interaktion angewendet werden können. So haben soziale Normen (informelle Regeln), das Ankunftsverhalten (Geschwindigkeit und Distanz) sowie die Kommunikation einen großen Einfluss auf die Kooperation zwischen Fahrern.

Anhand der Basis der dargelegten Studienlage kann geschlussfolgert werden, dass verschiedene Modellierungsansätze für Kooperation im Straßenverkehr

existieren. Diese verschiedenen Modellansätze orientieren sich an unterschiedlichen Definitionen von Kooperation sowie den angewendeten Methoden. Die Grundlage in dieser Dissertationsschrift bildet die Definition von Hoc (2001). Ein Modell, welches mit der Definition von Hoc arbeitet, ist das Modell von Vanderheagen et al. (2006). Dieses wurde nicht weiter getestet. Andere Modellansätze verfolgen spieltheoretische Lösungen und gelten unter sehr spezifischen Bedingungen. Allgemeingültige Aussagen lassen sich nur sehr schwer ableiten. Insgesamt zeigen die im weiteren Verlauf präsentierten Studien, dass ein Fokus auf die Kommunikationssignale und die damit einhergehende Intensionsvermittlung als nächster Schritt geschehen sollte.

Im nachfolgenden Kapitel wird aufgezeigt, wie Kooperation mit unterschiedlichen Fahrzeugführungen aussehen könnte.

### **2.5.4 Kooperation mit verschiedenen automatischen Fahrzeugführungen**

In diesem Unterkapitel wird die Kooperation mit verschiedenen Fahrzeugführungen näher beschrieben. Dafür muss in einem ersten Schritt der Begriff der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion (FFI) näher beschrieben und zwischen FFI und der Interaktion mit automatischen Fahrzeugen abgegrenzt werden.

### **2.5.5 Fahrer-Fahrzeug-Interaktion**

Unter Fahrer-Fahrzeug-Interaktion wird eine Unterform der Mensch-Maschine-Interaktion verstanden, welche die Interaktion zwischen Mensch und Fahrzeug beschreibt. Innerhalb der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion wird insbesondere die Interaktion mit einer automatisierten Schnittstelle verstanden, wenn z. B. der Fahrer mit einem Assistenzsystem, SEA-Level 2, oder höher interagiert.

In diesem Zusammenhang findet sich in der Literatur die Beschreibung der [Horse-metapher (H-Metapher)] Pferde-Metapher von Flemisch, Adams, Conway, Goodrich, Palmer und Schutte (2003). Diese beschreibt, dass Nutzer ähnlich, wie bei der Reiter-Pferd Partnerschaft, bei der die Automation (Pferd)

über die Fähigkeit verfügt, über eine Sensorik wahrzunehmen und Entscheidungen zu treffen und somit die Automation in der Lage ist, einem vorgegebenen Pfad zu folgen. Der Mensch kann allerdings noch über eine Schnittstelle eingreifen, bzw. die Automation kontrollieren. Je nach Automatisierungsgrad wird von „kurzen“ oder „langen“ Zügeln gesprochen, die der Reiter hält.

Daraus leitet sich der Horse-Mode (H-Mode) ab, welcher den Fokus auf eine haptisch-multimodale Interaktion zwischen Fahrer und Automation legt und eine Integration verschiedener Assistenzsysteme darstellt (Altendorf, et al., 2015). Das dargestellte Beispiel soll aufzeigen, dass im Allgemeinen die FFI die Interaktion mit dem Fahrzeug in den Vordergrund stellt und nicht die Interaktion mit einem anderen Fahrzeug. Weiterer Schwerpunkte der FFI sind Sitzkomfort und Körperhaltung, Vibrationen und Klima (Gkikas, 2012; Bubb, 2015).

Neben dem Fokus auf die Untersuchung von Assistenzsystemen wird zunehmend die Interaktion zwischen Fahrer und einer automatischen Fahrzeugführung (ab SAE Stufe 3) untersucht. Hier stehen insbesondere das Vertrauen in die automatische Fahrzeugführung (Gold, Körber, Hohenberger, Lechner, & Bengler, 2015) für beispielsweise Übernahmesituationen (Maechler, Rousseeuw, Struyf, Hubert, & Hornik, 2015) oder wie viele und welche Informationen zur Bildung von Vertrauen dem Nutzer angezeigt werden sollen (Beggiato, Hartwich, Schleinitz, Krems, Othersen, & Petermann-Stock, 2015) und wie ein akzeptierter Fahrstil von automatischen Fahrzeugführungen gestaltet werden kann (siehe u. a. Hartwich, Beggiato, Dettmann, & Krems, 2015; Scherer, Dettmann, Hartwich, Pech, Bullinger, & Wanielik, 2015) im Mittelpunkt.

Einen Schritt weiter gehen Zimmermann et al. (2015) bei dem Versuch, eine Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS) zu entwickeln, welches das Spurwechseln erleichtern soll. Hier wird Kooperation als strategisches Spiel betrachtet und angewendet. Für das Einfädeln des Gegenübers werden Punkte auf ein virtuelles Konto gutgeschrieben, wenn man selbst einfädelt, werden Punkte abgezogen. Im Mittel verhalten sich die Probanden kooperativ. Die Visualisierung basiert auf einem Head-Up-Display und der Testung in einem Fahr Simulator.

Einen anderen Ansatz, aber auch als Basis, für eine MMS, beforschen Guo et al. (2017), die eine MMS zur Intentionserkennung entwickelten, bei dem die Probanden in einem Experiment einen Knopf drücken mussten, wenn sie der Meinung waren, dass das nachfolgende Auto einfädeln möchte. Dieses Wissen wurde in eine MMS überführt.

Neben der Interaktion mit dem eigenen Fahrzeug ist auch die Interaktion mit anderen automatischen Fahrzeugen von Bedeutung.

Fuest, Sorokin, Bellem und Bengler (2017) definieren eine Taxonomie zur Untersuchung von automatischen Fahrzeugführungen (AF) und menschlichen Verkehrsteilnehmern (MV) wie Fußgängern, Fahrradfahrern und Autofahrern. Die Taxonomie gibt dabei einen Überblick über die wichtigsten Merkmale einer Verkehrssituation und wie diese für die Kooperation zwischen Fahrern untersucht werden kann. Als wichtigste Merkmale (ausführlich siehe Anhang A Theorie) wurden die Geschwindigkeit, Intention und Verkehrsregeln identifiziert. Nachfolgend wird sich bei der Beschreibung von Verkehrssituationen an der beschriebenen Taxonomie orientiert und auf diese Bezug genommen.

Tabelle 6. Taxonomie übersetzt nach Fuest, Sorokin, Bellem und Bengler (2018, S. 712).

Merkmal (AF = Automatische Fahrzeugführung, MV = Menschlicher Verkehrsteilnehmer)	Facetten
Vorfahrt	AF
	MV
	Nicht definiert
AF's Intention bezüglich der Vorfahrt	Den MV als Erstes fahren lassen
	Als Erstes fahren
MV's Intention bezüglich der Vorfahrt	Den AF als Erstes fahren lassen
	Als Erstes fahren
MV Art	Autofahrer
	Radfahrer
	Fußgänger
Longitudinale Distanz (Vorwärtsfahrt)	< 3 m
	3- 10 m
	< 10 m
Laterale Distanz	0 m
	<= 3m
	< 3 m
Aufmerksamkeit MV	Ja
	Nein
Beeinträchtigung der Wahrnehmung des MVs	Blickfeld
	Akustik
	Beides (Blickfeld und Akustik)
Geschwindigkeit AF	0 km/h
	30 km/h
	50 km/h
	130 km/h
Geschwindigkeit MV	0 km/h
	4,4 km/h
	17,5 km/h
	30 km/h
	50 km/h
	130 km/h
Fahrtrichtung AF	Vorwärts
	Rückwärts
Perspektive (aus der Perspektive des AFs)	Voraus
	Seitlich/diagonal
	rückwärts

Nach dem aktuellen Stand der Forschung werden vor allem Spurwechselmanöver und Einschersituationen mit mindestens zwei Spuren untersucht. Der Unterschied zu der definierten Kooperation in Kapitel 2.5.1.3 ist, dass bei einem Spurwechselmanöver Kooperation definiert und verstanden wird, entsprechend der Arbeit von Benmimoun et al. (2004). Übertragen auf die Einfädelsituation definiert Ellinghaus (1986) das Einfädeln des Anderen als Kooperation. In dieser Situation entsteht in dem Sinne keine Pattsituation und Kooperation

kann etwas anders definiert werden. Nach der Definition von Fuest et al. (2018) sind dies vor allem Situationen, die sich seitlich und rückwärtig abspielen und in einem hohen Geschwindigkeitsbereich ( $< 50$  km/h) liegen.

Kauffmann et al. (2017) entwickelten eine Bremsstrategie, die die Kooperation für Einscherszenarien erhöhen soll und der Frage nachging, welche Verzögerungsrate am geeignetsten ist, um ein Einschersignal zu intendieren. Fokus der Forschung sind die Intentionserkennung und informelle Regeln, die durch implizite Signale gekennzeichnet sind.

In einer weiteren Untersuchung zeigten Kauffmann, Naujok, Winkler und Kund (2018), dass bei dem Spurwechsel insbesondere das Verzögerungsverhalten, Geschwindigkeitsreduktion und Reaktionsgeschwindigkeit als Indikatoren für ein kooperatives Verhalten mit einer potenziellen automatischen Fahrzeugführung gelten können. Ein ähnliches Ergebnis konnten Witzlack et al. (2016) zeigen, die bei einem Parkplatzszenario mit Fußgängern und Autofahrern feststellten, dass das Bremsverhalten wie auch die Geschwindigkeitswahl eine bedeutendere Aussagekraft besitzen als explizite Kommunikationszeichen. In einem darauf aufbauenden Videopool variierten Witzlack, Beggiano, Blum und Krems (2018) die Verzögerungsparameter. Sowohl für verschiedene Abstufungen eines Beschleunigungsmanövers, wie auch für verschiedene Abstufungen eines Bremsmanövers konnten keine Unterschiede festgestellt werden. Als einer der Gründe nannten die Autoren das Nichtvorhandensein von Geräuschen während der Videostudie. Dieser Nachteil tritt auch in der Kooperation zwischen Fahrern auf, da im Inneren eines Fahrzeuges die Geräuschkulisse der Umgebung deutlich gedämpft ist. Für die Kooperation ist das Manöver entscheidender als die Intensität.

Zu Pattsituationen im Straßenverkehr sind dem Autor keine Publikationen bekannt, die diese unter dem Aspekt der Kooperation untersucht haben.

Aufbauend auf den vorgestellten Ergebnissen lassen sich zu Kooperation mit einer automatischen Fahrzeugführung im Mischverkehr folgende Aussagen ableiten:



- Für den Mischverkehr ist es unerlässlich, dass sowohl die verschiedenen automatischen Fahrzeugführungen wie auch die menschlichen Fahrer in der Lage sind, die Intentionen des anderen zu erkennen.
- Des Weiteren wird aus Kapitel 2.4 ersichtlich, dass Kommunikation nicht nur aus expliziten Signalen, sondern auch aus impliziten Signalen bestehen kann. Eine automatische Fahrzeugführung muss in der Lage sein, auch die impliziten Signale zu verstehen und selbst einsetzen zu können.
- Die Erwartungen, der menschlichen Verkehrsteilnehmer müssen berücksichtigt werden.
- Pattsituationen wurden unter Kommunikationsaspekten für den Mischverkehr noch nicht ausreichend untersucht.

In dem nachfolgenden Kapitel wird die Zielsetzung der vorliegenden Dissertationsschrift näher beschrieben und die Fragestellung für die darauffolgenden Experimente geschärft.

## 2.6 Fragestellung

Wie in Kapitel 2.5.1 dargestellt, kann sich dabei auf verschiedene Definitionen gestützt werden. Diese Dissertationsschrift konzentriert sich auf die Definition von Hoc (2001), da die Definition für den Straßenverkehr eine sehr hohe Relevanz besitzt.

Die hohe Relevanz rührt daher, dass in Paragraph § 11 (3) der StVO vorgeschrieben wird, dass in unklaren Situationen, die Verkehrsteilnehmer sich selbst verständigen sollen: *„(3) Auch wer sonst nach den Verkehrsregeln weiterfahren darf oder anderweitig Vorrang hat, muss darauf verzichten, wenn die Verkehrslage es erfordert; auf einen Verzicht darf man nur vertrauen, wenn man sich mit dem oder der Verzichtenden verständigt hat.“*

Situationen, auf die das zutrifft, betreffen insbesondere innerstädtische Szenarien in Tempo-30-Zonen, da diese in der Regel nicht durch Ampelanlagen oder Beschilderung geregelt sind.

In Kapitel 2.1 (siehe Abbildung 1) wurden drei Szenarien vorgestellt, welche diese Definition erfüllen. Diese drei Szenarien bilden die Basis für die nachfolgenden Untersuchungen. Der Fokus liegt dabei auf gleichrangigen Engstellen und dem T-Kreuzungsszenario. Orientierend an der Taxonomie nach Fuest et al. (2018) können folgende Kriterien festgehalten werden:

- Die Vorrangs- bzw. Vorfahrtsregeln sind nicht definiert,
- die menschlichen Verkehrsteilnehmer sind Autofahrer,
- die longitudinale Distanz liegt in den Bereichen kleiner 3- 10 Meter und größer 10 Meter,
- die laterale Distanz ist größer 3 Meter,
- die Aufmerksamkeit wird nicht manipuliert und ist somit gegeben,
- Geschwindigkeit der AF sowie des MVs liegen bei 30 km/h
- und die Fahrtrichtung ist vorwärts, sowie die Perspektive der AF nach vorne.

Anhand der dargestellten Theorien und Erkenntnisse wird ersichtlich, dass eine Forschungslücke für diese Art von Szenarien besteht. Diese Lücke möchte die vorliegende Dissertationsschrift füllen. Des Weiteren zeigen die dargestellten Theorien, dass Kommunikation im Straßenverkehr nicht mit der Kommunikation im Alltag zu vergleichen ist und auf anderen Regeln und Merkmalen basiert, sowie durch die Dynamik des Systems besondere Eigenschaften vorliegen. Sowohl implizite Kommunikationszeichen als auch explizite Kommunikationszeichen scheinen der Schlüssel in der Darstellung der Intention zu sein.

Insbesondere die dargestellte Forschung zeigt, dass die Intentionserkennung und -vermittlung einen Schlüssel in der erfolgreichen Bewältigung des Mischverkehrs darstellen werden. Für Spurwechsel- und Einfädelszenarien existieren im Gegensatz zu Pattsituationen bereits erste Ideen und Forschungsarbeiten für den innerstädtischen Verkehr. Wie aus den berichteten Forschungsergebnissen abgeleitet, ist die Verwendung der „richtigen“ Kombination aus impliziten und expliziten Kommunikationssignalen notwendig.

In Abbildung 10 ist dargestellt, wie Kooperation unter Verwendung von Kommunikationssets betrachtet werden kann. In einem ersten Schritt muss auf der einen Seite der Kreuzungstyp identifiziert werden, wie z. B. eine X-Kreuzung, T-Kreuzung oder eine andere Art, wie eine Verengung der Straße. Auf der anderen Seite muss die Anzahl der Teilnehmer und die gewünschte Richtung beachtet werden. Basierend auf dem Kreuzungstyp und den Teilnehmern sowie deren Trajektorie können sich Szenarien ergeben, die einen Interaktionsbedarf haben, wie eine Rechts-vor-Links-Situation oder Kooperationsbedarf, wie die beschriebenen Szenarien aus Kapitel 2.1 (siehe Abbildung 1). Jedem Verkehrsteilnehmer stehen anhand der impliziten und expliziten Kommunikationssignale (siehe Kapitel 2.4.2) diverse Möglichkeiten zur Kommunikation mit den anderen Verkehrsteilnehmern zu Verfügung. Je nach Verwendung eines spezifischen Kommunikationssets, ergibt sich eine entsprechende Reihenfolge zu fahren in der Situation, sowie eine wahrgenommene Kooperationsbereitschaft. Der Vorteil dieser Darstellung ist, dass nicht nur der Weg betrachtet werden kann, wie sich die Reihenfolge ergibt. Eine AF kann eine Reihenfolge präferieren (vom Nutzer oder der Programmierung) und basierend darauf ein Kommunikationsset auswählen. Folglich können mit dieser Variante beide Richtungen des Modells betrachtet werden.

Zentrales Element sind dabei die Kommunikationssets, welche die Kombination aus impliziten und expliziten Kommunikationssignalen darstellen. In den berichteten Studien (siehe z. B. Ba et al., 2015) wurden die Signale in der Regel separiert betrachtet und auf andere Szenarien angewendet.

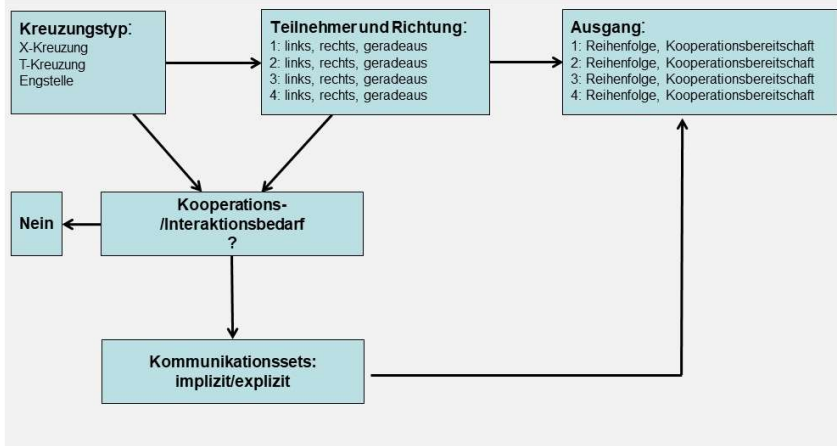


Abbildung 10. Modellvorschlag für das Testen von Kommunikationssets für eine automatische Fahrzeugführung.

Ziel der Dissertationsschrift ist es, für die beschriebenen Szenarien die geeigneten Kommunikationssets zu identifizieren, die auch von einer automatischen Fahrzeugführung im Mischverkehr eingesetzt werden können, sodass die Intention für die menschlichen Verkehrsteilnehmer ersichtlich wird.

Wie menschliche Verkehrsteilnehmer in innerstädtischen Szenarien kooperieren, muss dafür näher untersucht werden. Die vorliegende Dissertationsschrift wird sich dabei auf drei Säulen stützen:

- **Schwerpunkt 1** ist die Beobachtung der Verhaltensweisen in kooperativen Situationen. Fokus liegt auf den impliziten Signalen, da in Kapitel 2.3 aufgezeigt werden konnte, dass jegliches Bewegen im Raum eine Kommunikation darstellt. Dabei kann sich auf die methodischen Vorarbeiten von de Ceunynck et al. (2013) gestützt werden, welche für andere innerstädtischen Kreuzungstypen eine Beobachtungsstudie durchgeführt haben. Ziel der ersten Säule wird es sein, Kommunikationssets zu identifizieren, im Idealfall informelle Regeln abzuleiten, mindestens aber Kommunikationssets verwenden zu können, die die Maxime der Quantität und Modalität von Grice (1976) erfüllen.

- **Schwerpunkt 2** wird die identifizierten Kommunikationssets in einem Experiment untersuchen, um Empfehlungen für eine automatische Fahrzeugführung in kooperativen Szenarien abzuleiten.
- **Schwerpunkt 3** wird eine Fragebogenstudie sein, welche die Erwartungen der menschlichen Verkehrsteilnehmer erfasst, da die Erwartungen eine große Rolle bei der Bildung von informellen Regeln und potentiellen Konflikten haben können. Des Weiteren ist zu erwarten, dass es Unterschiede gibt zwischen dem beobachtenden und experimentell untersuchten Verhalten, sowie explizit formulierte Erwartungen.

Auf Basis dieser drei Schwerpunkte sollen Empfehlungen für kooperative Szenarien im innerstädtischen Verkehr für eine automatische Fahrzeugführung abgeleitet, die Wissens- und Forschungslücken gefüllt und eine Methodik aufgezeigt werden, um Intentionen von Verkehrsteilnehmern im Detail zu untersuchen.

Im Folgenden werden die Durchführung, Ergebnisse und die Diskussion der Beobachtungsstudie (Schwerpunkt 1) näher vorgestellt.



---

## 3 Beobachtungsstudie

In dem nachfolgenden Kapitel wird die Beobachtungsmethodik näher vorgestellt. Als erster Schritt wird definiert, was die Ziele der Methode sind. Im Anschluss werden die Methode sowie die Ergebnisse näher vorgestellt. Somit betrifft die Beobachtungsstudie die Säule 1, wie in dem voran gegangenen Kapitel beschrieben. Die Beobachtungsstudie sowie die Ergebnisse sind auszugsweise in Imbsweiler et al.(2016) beschrieben.

### 3.1 Ziel

Das Ziel der Beobachtungsstudie ist es, das genaue Kooperationsverhalten von Verkehrsteilnehmern in Situationen mit Kooperationsbedarf zu identifizieren. De Ceunynck et al. (2013) führten eine kamerabasierte Beobachtungsstudie durch. Dabei versuchte die Forschergruppe Unterschiede im Fahrerverhalten in verschiedenen Kreuzungsarten zu ermitteln. Im Fokus standen Rechts-vor-Links-Kreuzungen und vorfahrts-geregelte Kreuzungen unter Berücksichtigung der Kommunikation. Es wurde keine Unterscheidung zwischen den verschiedenen expliziten Signalen getätigt. Des Weiteren fand die Beobachtungsstudie in einer 50er-Zone statt und der Verkehr in mehreren Kreuzungen wurde mit Ampelanlagen geregelt. Weiterhin stand ein Engstellenszenario nicht im Fokus der Forschungsfrage. Zu guter Letzt wurde das Verhalten als einzelne Verhaltensweise betrachtet und nicht als Verhaltenssequenz. Nach dem Wissen des Autors existierte zu dem damaligen Zeitpunkt keine weitere Beobachtungsstudie.

Aus diesem Grund wurde eine eigene Beobachtungsstudie durchgeführt, die auf einer neu entwickelten Methode basiert. Das Ziel der Studie war es, kooperatives Verhalten, in dem in Kapitel 2.1 spezifizierten T-Kreuzungsszenario, X-Kreuzungsszenario und Engstellenszenarien zu identifizieren und zwischen ihnen zu diskriminieren. Ein weiterer Fokus lag darin, Verhaltenssequenzen

aus den zu beobachtenden Verhaltensmustern zu ziehen, um zwischen impliziten und expliziten Kommunikationsverhaltensmustern zu unterscheiden.

## **3.2 Methode**

Die beschriebenen Kritikpunkte an der Studie von de Ceunynck et al. (2013) bilden die Basis für die im Folgenden vorgestellte Methode. Aufgrund dessen muss die Methode folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Die Möglichkeit, einzelne Situationen zu rekonstruieren;
- Die Möglichkeit, die Verhaltenssequenzen aus den Verhaltensmustern zu extrahieren;
- Eine Unterscheidung zwischen den einzelnen impliziten und expliziten Signalen.

In den nachfolgenden Kapiteln wird die Methode beschrieben. In den Ergebnis- und Diskussionskapiteln wird aufgezeigt, ob die Voraussetzungen erfüllt wurden.

### **3.2.1 Verhaltensmuster**

In dem nachfolgenden Kapitel sind die verschiedenen Verhaltensmuster aufgelistet (siehe Tabelle 7), welche relevant für die Studie waren und von den Teilnehmern beobachtet wurden. Der Beobachtungsbogen ist im Anhang zu finden (Anhang B).

Während der Beobachtung wurden weder die Blickrichtung der einzelnen Verkehrsteilnehmer erfasst, noch auf die Aufschlüsselung der einzelnen Handgesten, zugunsten einer höheren Reliabilität, verzichtet, da diese nur schwer beobachtet werden konnten. Gasser (2015) betont, dass es im heutigen Straßenverkehr schwieriger geworden ist per Blickkontakt und Gesten zu kommunizieren, weil die Windschutzscheibe in neueren Automobilen eine höhere



Neigung aufweist und es somit schwieriger geworden ist, in das Auto des potenziellen Kooperationspartners zu schauen und etwas zu erkennen. Aufgrund dieser gestiegenen Komplexität, wird auf diese beiden Facetten der Kommunikation verzichtet. Im Gegensatz zu de Ceunynck et al. (2013) wird es ersichtlich, dass insbesondere die expliziten Verhaltensweisen in mehrere Signale aufgeteilt werden konnten. Deshalb sollte es möglich sein, den Einsatz von expliziten Signalen in einem detaillierten Prozess zu analysieren.

Tabelle 7. Verhaltensweisen, die beobachtet wurden und relevant für die Untersuchung waren.

<b>Verhaltensweisen</b>	<b>Kommunikation: Implizit oder Explizit</b>	<b>Beschreibung der Kategorien</b>
Trajektorie	Implizit	Rechts, links, geradeaus
Fahrverhalten	Implizit	Beschleunigung, Verlangsamung, markantes Stoppen, Geschwindigkeit halten
Fahrverhalten	Explizit	Horn, Geste, Richtungsanzeiger
Reihenfolge der Ankunft	Beides	Welcher Verkehrsteilnehmer traf als erstes ein? Absteigende Reihenfolge der eingetroffenen Verkehrsteilnehmer.
Reihenfolge der Abfahrt	Beides	Welcher Verkehrsteilnehmer verließ als erstes die Situationen? Absteigende Reihenfolge der verlassenden Verkehrsteilnehmer.

### 3.2.2 Prozedur

In Rücksprache mit der Polizei Karlsruhe wurden Kreuzungen und eine Straße mit immer wiederkehrenden Engstellen identifiziert (siehe Abbildung 11, Abbildung 12, Abbildung 13).

Die Engstelle war variabel und hing davon ab, wie die Verkehrsteilnehmer am Straßenrand geparkt haben. Deshalb bestand auch die Möglichkeit, eine einseitige Engstelle zu beobachten, die sich in der gleichen Straße befand.



Abbildung 11. Gleichrangige Engstelle; Litzenhardtstraße, Karlsruhe.



Abbildung 12. T-Kreuzung; Bismarckstraße – Fichtestraße, Karlsruhe.



Abbildung 13. X-Kreuzung. Hirschstraße – Gartenstraße, Karlsruhe.

Für jeden potenziellen Verkehrsteilnehmer wurde ein Beobachter benötigt. Das bedeutet, dass für die gleichrangige Engstelle zwei Beobachter im Einsatz waren, für die T-Kreuzung waren drei Beobachter im Einsatz und für die X-Kreuzung wurden vier Beobachter benötigt.

Jedes Ereignis konnte aus einer verschiedenen Anzahl an Interaktionspartnern bestehen, sodass jeder Beobachter jedes Ereignis nummerieren musste und identifizieren musste, welches Verhalten von dem zugewiesenen Verkehrsteilnehmer angewendet wurde. Am Ende der Beobachtung wurden die Daten der jeweiligen Beobachter zusammengeführt. Auf diese Weise konnten die definierten Situationen rekonstruiert werden. Um die einzelnen Sequenzen aufzunehmen, mussten die Beobachter nicht nur die jeweiligen aufgetretenen Verhaltensweisen spezifizieren und zuordnen, sondern auch die Reihenfolge notieren. In der späteren Analyse kann eine Verhaltenssequenz aus den einzelnen aufgenommenen Verhaltensweisen erzeugt werden.

Jede Kreuzung wurde fünf Stunden lang beobachtet. In Absprache mit der Polizei, unter Berücksichtigung eines mittelhohen Verkehrsaufkommens ohne Rückstau wurden zwei Beobachtungszeitpunkte identifiziert. Der erste Beobachtungszeitpunkt befand sich zwischen 08:00 und 10:00 Uhr morgens. Der zweite Beobachtungszeitpunkt wurde zwischen 15:30 und 17 Uhr festgelegt.

Vor der Beobachtung fand ein Beobachtertraining statt, in dem verschiedene Videosequenzen analysiert wurden sowie das Kodierschema diskutiert und vereinheitlicht wurde. Das Beobachtertraining dauerte zwei Stunden. Am Ende der tatsächlichen Beobachtung mussten die Beobachtungsbögen synchronisiert werden, um eine gesamte Betrachtung der Situationen zu ermöglichen.

### 3.2.3 Interraterreliabilität

Zur Bewertung der Methode wurde die Interraterreliabilität analysiert. Dafür wurde eine Vorstudie durchgeführt in der die Beobachter eine Trainingseinheit absolvierten und das Kodierschema anwendeten. Insgesamt wurden  $N = 64$  Verkehrsteilnehmer beobachtet, um die Interraterreliabilität zu bestimmen.

Als Maße der Übereinstimmung wurde die prozentuale Übereinstimmung sowie Cohens Kappa (Cohen, 1960) verwendet. In Bezug auf Bortz (2005) wird von einer guten Übereinstimmung ausgegangen, wenn Cohens Kappa zwischen 0,61 und 0,80 liegt und von einer sehr guten Übereinstimmung zwischen 0,81 und 1,00. In der nachfolgenden Tabelle (Tabelle 8) sind die Werte der Übereinstimmung präsentiert.

Wie in Tabelle 8 dargestellt, kann die Interraterreliabilität als sehr gut bezeichnet werden. Im Mittel beträgt Cohens Kappa  $M = 0,920$  und ein Großteil der einzelnen Signale weisen ein Cohens Kappa von 1 auf. Der Wert 1 muss angenommen werden, da Cohens Kappa nicht in der Lage ist, mit einer perfekten Übereinstimmung umzugehen (Bortz, 2005). Für die Variable „Verlangsamung“ und „Geschwindigkeit halten“ ergeben sich ein Cohens Kappa von 0,636 und 0,682. Diese können nicht mehr als sehr hoch, aber immer noch als hoch angesehen werden, wenn man sich auf Bortz (2005) bezieht. Einer der Gründe könnte sein, dass es für die Beobachter in Echtzeit schwierig ist, zwischen minimaler Verzögerung oder dem Halten der Geschwindigkeit zu unterscheiden. Es gilt zu prüfen, ob diese beiden Variablen in einer Videobeobachtung besser zu beobachten wären.

Tabelle 8. Interraterreliabilität der Beobachtungsmethode.

	<b>Übereinstimmung in %</b>	<b>Cohens Kappa</b>
<b>Beschleunigung</b>	100	1
<b>Verlangsamung</b>	93,8	,68
<b>Geradeaus</b>	100	1
<b>Geschwindigkeit halten</b>	93,8	,64
<b>Links</b>	100	1
<b>Rechts</b>	100	1
<b>Markantes Stoppen</b>	100	1
<b>Richtungsanzeiger</b>	96,9	,93
<b>Lichthupe</b>	100	1
<b>Horn</b>	100	1
<b>Handgeste</b>	100	1
<b>Ankunft</b>	92,2	,82
<b>Verlassen der Kreuzung</b>	96,9	,93
<b>Mittelwert</b>	97,3	,92
<b>Kodierung Reihenfolge der Verhaltenssequenzen</b>	90,63	,85

In dem nachfolgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Beobachtungsstudie vorgestellt.

## 3.3 Ergebnisse

Dieser Abschnitt stellt die Ergebnisse der Methode dar. Das Kapitel untergliedert sich in die verschiedenen Kreuzungstypen (Engstelle, T-Kreuzung, X-Kreuzung). Jedes Unterkapitel wird unterteilt sein in: *Rekonstruktion der Situation, Darstellung der Verhaltensweisen und eine Clusterung der Daten.*

### 3.3.1 X-Kreuzung

#### 3.3.1.1 Rekonstruktion der beobachteten Situationen

Insgesamt konnten für die X-Kreuzung  $N = 133$  Ereignisse beobachtet werden, welche mindestens das Aufeinandertreffen von zwei Verkehrsteilnehmern beinhalteten. Innerhalb der 133 Ereignisse konnten  $N = 33$  verschiedene Situationen, die mehrfach vorgekommen sind, rekonstruiert werden. Eine vollständige Auflistung aller Situationen kann dem Anhang entnommen werden (Anhang B).

In Abbildung 14 sind unterschiedlich konzipierte Situationen präsentiert, die während der Beobachtung der X-Kreuzung aufgetreten sind.

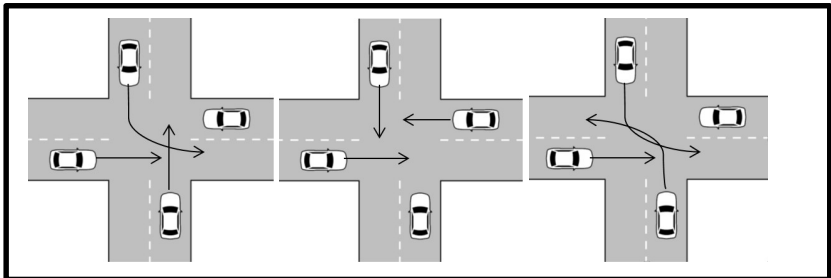


Abbildung 14. X-Kreuzung: Beispiele für Situationen, die während der Beobachtung aufgetreten sind. Als Basis fungiert die Abbildung der X-Kreuzung. Fahrzeuge ohne Pfeil sind nicht aufgetreten.

Bei  $N = 94$  konnte aufgezeichnet werden, welcher Verkehrsteilnehmer Vorfahrt hatte, allerdings fuhr nur in  $N = 44$  (46,81 %) der Fälle der Verkehrsteilnehmer als erstes, der auch Vorfahrt hatte.

Detaillierte Analysen zeigen, dass sich Verkehrsteilnehmer mit Vorfahrt in  $N = 33$  Fällen (35,11 %) mit einem defensiven Fahrverhalten an die Kreuzung (Verlangsamung, markantes Stoppen) annäherten. In  $N = 3$  (3,19%) der Fälle gaben die Verkehrsteilnehmer mit Vorfahrtsrecht ihr Vorfahrtsrecht unter der Zuhilfenahme eines expliziten Signals an einen anderen Verkehrsteilnehmer ab. In  $N = 14$  der Fälle nahm ein anderer Verkehrsteilnehmer die Vorfahrt.

### 3.3.1.2 Verhaltensweisen

In einem ersten Schritt werden die Summen der einzelnen Verhaltensweisen analysiert (Abbildung 15).

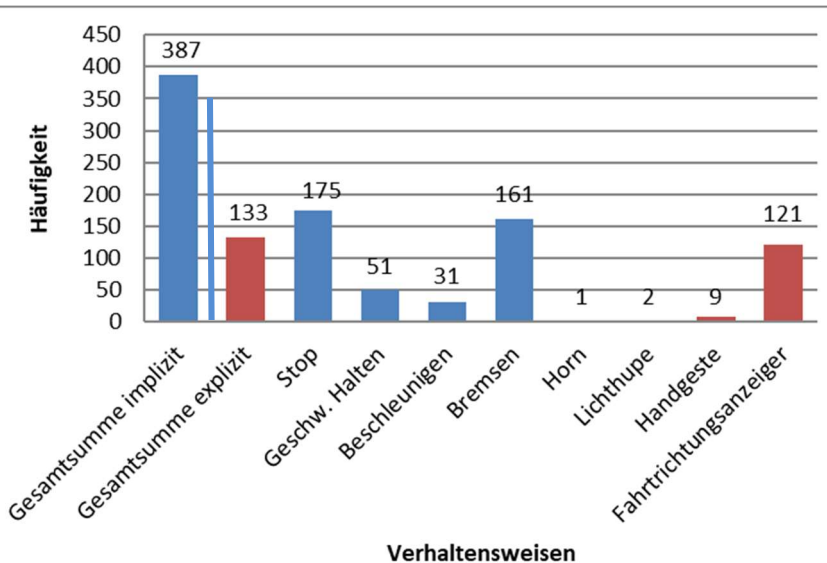


Abbildung 15. X-Kreuzung: Summe der einzelnen Verhaltensweisen. Blau = implizite Signale, Rot = explizite Signale.



Die Gesamtsumme der impliziten Verhaltensweisen ist größer, als die der expliziten Verhaltensweisen, da sich jeder Verkehrsteilnehmer auf der Straße befindet und sich bewegt. Das meist eingesetzte explizite Signal ist der Fahrtrichtungsanzeiger. Schließt man den Fahrtrichtungsanzeiger aus, spielt die explizite Kommunikation eine untergeordnete Rolle und wird nur in den Situationen eingesetzt, bei denen es zu einem Stillstand zwischen den Verkehrsteilnehmern kommt (siehe  $N = 175$  Stop). Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich, gemäß der Definition von Kapitel 2.5.1.3, um eine kooperative oder interaktive Situation handelt. De Ceunynck et al. (2013) konnten beobachten, dass die Verkehrsteilnehmer in 34 % der Fälle ein explizites Signal verwendeten. Somit sind sich die Ergebnisse sehr ähnlich, denn in dieser Beobachtung wurde in 27% der Fälle ein explizites Kommunikationssignal verwendet. Aufgrund der nicht vorhandenen Aufschlüsselung der expliziten Signale in der Untersuchung von de Ceunynck et al. (2013), ist es nicht möglich, das meist verwendete explizite Signal zu identifizieren.

Für genauere Analysen müssen die Verhaltenssequenzen betrachtet werden. Bei der Betrachtung der Verhaltenssequenzen können zwei Vorgehensweisen durchgeführt werden. Bei der ersten Vorgehensweise (siehe Abbildung 15) werden alle Verhaltenssequenzen betrachtet. Hingegen werden bei der zweiten Vorgehensweise bestimmte Situationen identifiziert und die Verhaltensweisen analysiert. Im Fall der zweiten Vorgehensweise ist es wichtig, zu wissen, ob es Unterschiede in dem Verhalten zwischen den verschiedenen Trajektorienwahlen gibt. Aufgrund dessen werden für die zweite Vorgehensweise die Daten in Linksabbiegen, Rechtsabbiegen und Geradeausfahren aufgeteilt.

Tabelle 9. X-Kreuzung: Verhaltenssequenzen für alle Situationen.

<b>Verhaltenssequenz</b>	<b>Häufigkeit</b>
Bremsen	57
markantes markantes Stoppen	53
Geschw. halten	31
Bremsen - markantes markantes Stoppen	30
Fahrtrichtungsanzeiger - markantes markantes Stoppen	25
Fahrtrichtungsanzeiger - Bremsen	17
Bremsen - Fahrtrichtungsanzeiger markantes markantes Stoppen	13
markantes markantes Stoppen - Fahrtrichtungsanzeiger	9
Fahrtrichtungsanzeiger - Bremsen - markantes markantes Stoppen	7
Beschleunigung	3
Beschleunigung - Fahrtrichtungsanzeiger	3
Bremsen - markantes markantes Stoppen - Fahrtrichtungsanzeiger	3
Fahrtrichtungsanzeiger	2
Fahrtrichtungsanzeiger - Geschw. halten	2
Bremsen - markantes markantes Stoppen - Beschleunigung	2
Beschleunigung- markantes markantes Stoppen - Fahrtrichtungsanzeiger	1
Fahrtrichtungsanzeiger - Beschleunigung	1
Fahrtrichtungsanzeiger - markantes markantes Stoppen - Beschleunigung - Handgeste	1
Fahrtrichtungsanzeiger - markantes markantes Stoppen -Bremsen	1
Bremsen - Beschleunigung	1
Bremsen - Beschleunigung - markantes markantes Stoppen	1
Bremsen - Fahrtrichtungsanzeiger	1
Bremsen - Geschw. halten	1
Bremsen - Lichthupe	1
Bremsen - markantes markantes Stoppen - Fahrtrichtungsanzeiger - Handgeste	1
Bremsen - markantes markantes Stoppen - Lichthupe	1

Tabelle 9 zeigt die Sequenzen auf, die am häufigsten aufgetreten sind. Anhand der Häufigkeit kann festgestellt werden, dass die meisten Sequenzen aus einem

vermutlich eindeutigen Verhaltensmuster bestehen, welches in der Regel aus zwei Verhaltensweisen zusammengesetzt ist (in 52,94 % der Fälle).

In Tabelle 10 können die Verhaltenssequenzen, aufgeschlüsselt nach der Trajektorie, betrachtet werden. Es wird ersichtlich, dass für die Trajektorie „rechts abbiegen“ weniger und eindeutige Sequenzen aufgezeigt werden, als für die Trajektorie „links abbiegen“. Dies kann dadurch erklärt werden, dass sich Verkehrsteilnehmer, die von links kommen, an den Verkehrsteilnehmern, die von rechts kommen, orientieren müssen, da in Deutschland nach der StVO § 8 rechts vor links gilt. Im Gegensatz zeigt die Trajektorie „gerade aus“ ein gemischtes Muster von Verhaltenssequenzen und ist sehr wahrscheinlich von der jeweiligen Situation abhängig.

Aufgrund der Schwierigkeit der Interpretation der verschiedenen Verhaltenssequenzen, ist es notwendig, dass eine Klassenbildung bzw. Clusterbildung stattfinden muss, um detaillierte Aussagen treffen zu können. Das wiederum erleichtert die Interpretation der Ergebnisse. Die Bildung und Analyse von Clustern werden im nächsten Kapitel durchgeführt.

Tabelle 10. X-Kreuzung: Verhaltenssequenzen aufgeteilt in die Trajektorien: „Geradeaus“, „Links abbiegen“ und „Rechts abbiegen“.

Verhaltenssequenz	Geradeaus- fahren	Linksab- biegen	Rechtsab- biegen
Beschleunigung	12	2	1
Beschleunigung - Fahrtrichtungsanzeiger	2	1	0
Beschleunigung - markantes Stoppen	2	1	0
Beschleunigung - markantes Stoppen - Fahrtrichtungsanzeiger	0	0	1
Fahrtrichtungsanzeiger	0	2	0
Fahrtrichtungsanzeiger - Beschleunigung	0	1	0
Fahrtrichtungsanzeiger - Bremsen	0	6	9
Fahrtrichtungsanzeiger - Bremsen - markantes Stoppen	0	6	1
Fahrtrichtungsanzeiger - Geschw. halten	0	0	1
Fahrtrichtungsanzeiger - markantes Stoppen	2	14	7
Fahrtrichtungsanzeiger - markantes Stoppen - Beschleunigung - Handgeste	0	1	0
Fahrtrichtungsanzeiger - markantes Stoppen - Bremsen	0	1	0
Bremsen	33	4	5
Bremsen - Beschleunigung	1	0	0
Bremsen - Beschleunigung - markantes Stoppen	1	0	0
Bremsen - Fahrtrichtungsanzeiger	0	6	9
Bremsen - Fahrtrichtungsanzeiger - markantes Stoppen	1	5	7
Bremsen - Geschw. halten	1	0	0
Bremsen - markantes Stoppen	26	3	0
Bremsen - markantes Stoppen - Beschleunigung	2	0	0
Bremsen - markantes Stoppen - Fahrtrichtungsanzeiger	0	2	1
Bremsen - markantes Stoppen - Fahrtrichtungsanzeiger - Handgeste	0	1	0
Bremsen - markantes Stoppen - Lichthupe	1	0	1
Lichthupe - Bremsen	0	1	0
Geschw. halten	18	0	2

Geschw. halten Bremsen	1	0	1
markantes Stoppen	44	7	0
markantes Stoppen - Fahrtrichtungsanzeiger	0	7	1
markantes Stoppen - Handgeste	1	0	0
markantes Stoppen - Horn	1	0	0

### 3.3.1.3 Clusteranalyse

Für die Anwendung einer Clusteranalyse muss eine Methode gewählt werden, die für binäre kategoriale Daten angewendet werden kann. Eine der meist genutzten Vorgehensweisen ist die von Hatzinger, Hornik und Nagel (2004). In einem ersten Schritt wird mithilfe des Gower-Koeffizienten eine Distanzmatrix berechnet (Gower, 1971). Der Gower-Koeffizient stellt die Verschiedenheit der Daten dar, welche in einem nächsten Schritt dann entsprechend standardisiert werden. Die Summe aller Variablen in Bezug auf die Summe der Varianz erzeugt die Distanzmatrix zwischen zwei Einheiten (Meachler et al., 2017). Zur Berechnung der Distanzmatrix wurde die Software R-Studio (1.1.447) und das Paket „cluster“ von Meachler et al. (2017) verwendet. In einem nächsten Schritt wurde die Distanzmatrix mithilfe von Fuzzy-Prozeduren einer Clusteranalyse unterzogen. Der Vorteil bei der Verwendung von Fuzzy-Prozeduren ist, dass jede Beobachtung mehreren Clustern zugeordnet werden kann und nicht, wie in üblichen Verfahren, nur einem Cluster. Mithilfe der Funktion „fanny“ aus dem Paket „cluster“ wurden die Daten analysiert. Die Prozedur gibt für jedes Cluster einen Mitgliedschaftskoeffizienten pro Variable aus. In Tabelle 11 ist die Clusteranalyse für die X-Kreuzung dargestellt.

Die Tabelle 11 zeigt auf, dass die Verhaltensweisen in drei Cluster aufgeteilt werden können: „Linksabbiegen“, „Rechtsabbiegen“ und „Geradausfahren“. Des Weiteren zeigt die Clusteranalyse, dass Verkehrsteilnehmer, die links abgebogen sind, sich defensiv verhielten. Im Gegensatz dazu verwendeten Verkehrsteilnehmer, die rechts abgebogen sind, in der Tendenz offensive Verhaltensweisen.

Zur Bewertung der Qualität der Fuzzy-Clusteranalyse kann der Dunn-Koeffizient berechnet werden (Dunn, 1973). Der Koeffizient befindet sich im Spektrum von 0 „unklare Aufteilung“ bis 1 „klare Aufteilung“. Für die berechnete Clusteranalyse ergibt sich ein Dunn-Koeffizient von  $Fk(U) = ,842$ , welcher als sehr hoch angesehen werden kann (Dunn, 1973). Somit kann von einer klaren Aufteilung der Cluster gesprochen werden.

Tabelle 11. X-Kreuzung: Mitgliedschaftskoeffizienten aus der Fuzzy-Clusteranalyse. Fett markiert sind Zuordnungen, die in dem jeweiligen Cluster gehören.

Kommunikationssignale	Mitgliedschaftskoeffizient		
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Linksabbiegen	<b>0,89</b>	0,1	0,01
Bremsen	<b>0,71</b>	0,17	0,11
Markantes Stoppen	<b>0,73</b>	0,13	0,14
Fahrtrichtungsanzeiger	<b>0,96</b>	0,04	0
Rechtsabbiegen	0,19	<b>0,8</b>	0,01
Beschleunigung	0,03	<b>0,96</b>	0,01
Geschw. halten	0,05	<b>0,92</b>	0,03
Horn	0	<b>1</b>	0
Lichthupe	0	<b>1</b>	0
Handgeste	0	<b>0,99</b>	0
Geradeaus	1	0	<b>1</b>

### 3.3.1.4 Diskussion

Die Ergebnisse der X-Kreuzung zeigen zwei Besonderheiten auf. Die erste Besonderheit ist, dass explizite Kommunikationszeichen eine untergeordnete Rolle gespielt haben. Dies ist konträr zu der Literatur (Risser, 1985, Färber, 2015), die der expliziten Kommunikation eine sehr wichtige Rolle zuschreibt. So gehen frühere Studien davon aus, dass die explizite Kommunikation ein Schlüsselement in der Interaktion zwischen Verkehrsteilnehmern darstellt (Bauer et al., 1980). Auf Basis der Beobachtungsstudie kann diese Ansicht nur teilweise geteilt werden. Die explizite Kommunikation ist nicht in der Art dominant, wie es erwartet wurde. Explizite Kommunikationszeichen treten dann besonders in Erscheinung, wenn es zu einem Stillstand in einer bestimmten Situation kommt und dienen als letzte Lösung in dem Kooperationsprozess.

Die zweite Besonderheit zeigt, dass eine vermeintlich klar geregelte Situation in einer Interaktion bzw. Kooperation zwischen zwei Verkehrsteilnehmern münden kann, da die Situationen für die Verkehrsteilnehmer offensichtlich nicht immer derart klar erscheinen, wie es aus einer objektiven Beobachterperspektive der Fall ist. Als eine Regel kann festgehalten werden, dass sobald mehr als zwei Verkehrsteilnehmer in eine Situation involviert sind, eine Interaktion auftritt, obwohl es gar nicht notwendig ist. Dies kann allerdings nur aus den Daten interpretiert werden und müsste noch einmal hypothesengeleitet überprüft werden. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse der Clusteranalyse die Möglichkeit, dass zwischen links abbiegen, rechts abbiegen und geradeausfahren unterschieden werden kann und in Verbindung mit defensiven bzw. offensiven Verhaltensweisen stehen. Verkehrsteilnehmer, die rechts abbiegen, zeigen im Vergleich zu Verkehrsteilnehmer die links abbiegen, offensivere Verhaltensweisen. Das Geradeausfahren ist nicht mit besonderen defensiven oder offensiven Verhaltensweisen verknüpft. Somit ist die Abbiegeintention ein Schlüsselement in der Beschreibung von Situationen.

In dem nächsten Kapitel werden die Ergebnisse der T-Kreuzung berichtet.

### 3.3.2 T-Kreuzung

Das Kapitel weist die gleiche Struktur auf, wie das vorangegangene Kapitel, es wird mit der Rekonstruktion beginnen und mit den verschiedenen Analysemethoden für die Verhaltensweisen enden.

#### 3.3.2.1 Rekonstruktion der beobachteten Situationen

Wie bei der X-Kreuzung werden zunächst die konkreten Verhaltensweisen dargestellt, die beobachtet werden konnten (Abbildung 16).

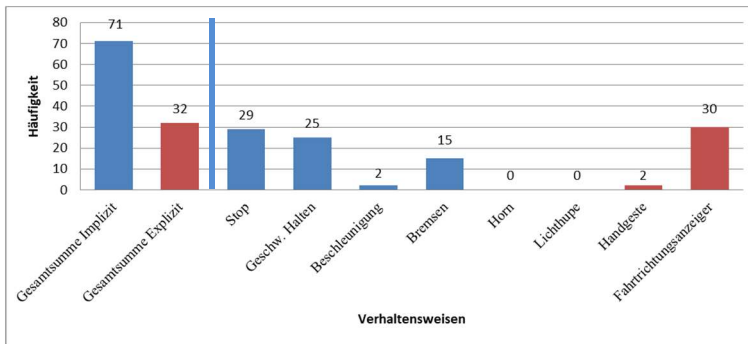


Abbildung 16. T-Kreuzung: Summe der einzelnen Verhaltensweisen. Blau implizite Signale, Rot explizite Signale.

Die Ergebnisse zeigen auch für die T-Kreuzung eine untergeordnete Rolle der expliziten Kommunikation. Das meist verwendete explizite Kommunikationszeichen ist auch für die T-Kreuzung der Fahrtrichtungsanzeiger. Abzüglich des Fahrtrichtungsanzeigers wurde zweimal eine Handgeste zur Kommunikation verwendet. Des Weiteren zeigen die Daten, dass mehr defensives Verhalten wie beispielsweise „Stop“ mit  $N = 29$  und „Bremsen“ mit  $N = 15$  eingesetzt wurde im Vergleich zu den offensiven Verhaltensweisen „Geschw. halten“  $N = 25$  und „Beschleunigung“  $N = 2$ .

Ähnlich zu der X-Kreuzung werden die Verhaltenssequenzen analysiert und in der nachfolgenden Abbildung 17 präsentiert.



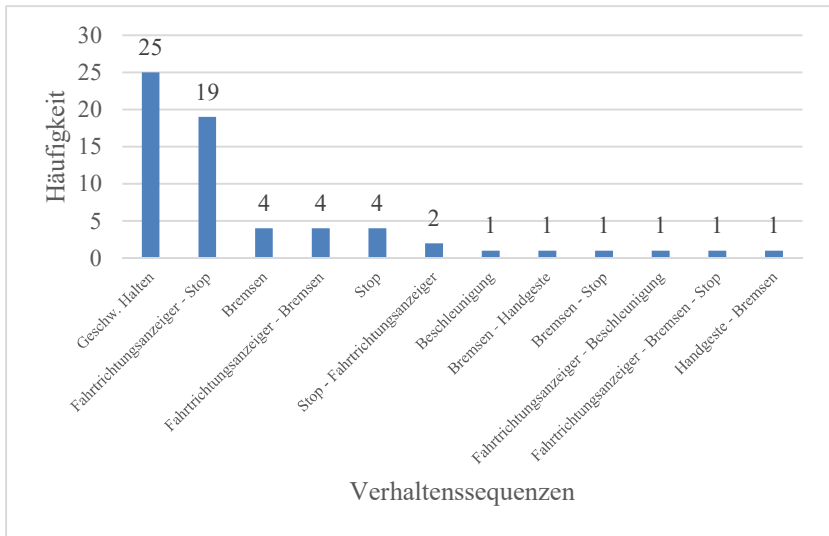


Abbildung 17. T-Kreuzung: Verhaltenssequenzen für alle Situationen.

Die Daten zeigen die gleiche Tendenz wie bei der Analyse der einzelnen Verhaltensweisen und zwar, dass die defensiven Fahrweisen dominieren. Einzig die Sequenz „Geschwindigkeit halten“ ist den offensiven Verhaltensweisen zuzuordnen.

In einem nächsten Schritt wird die Clusteranalyse vorgestellt.

### 3.3.2.2 Clusteranalyse

Das Verfahren ist das gleiche wie im vorangegangenen Kapitel 3.3.1.3 (Hatzinger et al., 2011). In einem ersten Schritt werden die Mitgliedschaftskoeffizienten präsentiert (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12. T-Kreuzung: Mitgliedschaftskoeffizienten aus der Fuzzy-Clusteranalyse. Fett markiert sind Zuordnungen, die in dem jeweiligen Cluster gehören.

Kommunikationssignale	Mitgliedschaftskoeffizient		
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Links	<b>0,96</b>	0,03	0
Stopp	<b>0,99</b>	0,01	0
Fahrtrichtungsanzeiger	<b>0,99</b>	0,01	0
Rechts	0,1	<b>0,88</b>	0,02
Beschleunigung	0	<b>1</b>	0
Bremsen	0	<b>0,92</b>	0,03
Horn	0	<b>1</b>	0
Lichthupe	0	<b>1</b>	0
Handgeste	0	<b>1</b>	0
Geradeaus	0	0	<b>1</b>
Geschw. halten	0	0	<b>1</b>

Für die Analyse der drei Cluster ergibt sich ein Dunn-Koeffizient von  $F_k(U) = ,955$ . Dieser kann als sehr hoch eingeordnet werden. Es kann aufgezeigt werden, dass die Clusteranalyse die Variablen in die drei Trajektorien „Rechts“, „Links“ und „Geradeaus“ aufteilt, ähnlich wie bei den Ergebnissen für die X-Kreuzung.

### 3.3.2.3 Identifizierung der Verhaltensweisen für das ausgewählte T-Kreuzungsszenario

Eines der Szenarien, das genauer in dieser Dissertation betrachtet werden soll, ist das T-Kreuzungsszenario, welches in Kapitel 2.1 beschrieben wird. Während der Beobachtung sind nicht genügend Ereignisse aufgetreten, um klare Verhaltensweisen zu definieren;  $N = 3$ . Aufgrund dieser Situation wurden die

Ereignisse der X-Kreuzung hinzugefügt, die eine ähnliche Trajektorienkombination aufweisen. Insgesamt kann so auf zehn Ereignisse zurückgegriffen werden. In der Situation (siehe Abbildung 1) treten drei verschiedene Positionen auf. **Position 1** und **Position 2** sind die beiden **Linksabbieger-Positionen**, während **Position 3** die **Geradeausfahr-Position** darstellt.

Folgende sechs verschiedene Situationen konnten identifiziert werden (Tabelle 12). Dabei wurden diese zusätzlich in offensive und defensive Varianten eingeteilt:

Tabelle 13. T-Kreuzungsszenario: Identifizierte Verhaltensweisen.

<b>Situation</b>	<b>Position in der Situation</b> (siehe Abb. 1)	<b>Verhalten der Verkehrsteilnehmer (VT) auf der entsprechenden Position</b>	<b>Offensives oder Defensives Verhalten</b>
1	3	Verkehrsteilnehmer (VT) 1 bremst, stoppt und betätigt die Lichthupe	Defensives Verhalten
	1 oder 2	VT 2 betätigt Fahrtrichtungsanzeiger und stoppt	
2	3	VT 1 bremst und stoppt	Defensives Verhalten
	1 oder 2	VT 2 betätigt Fahrtrichtungsanzeiger und stoppt	
3	3	VT 1 bremst, kommt aber nicht zum Stillstand	Offensives Verhalten
	1 oder 2	VT 2 betätigt den Fahrtrichtungsanzeiger und bremst	
4	3	VT 1 hält Geschwindigkeit	Offensives Verhalten
	1 oder 2	VT 2 betätigt den Fahrtrichtungsanzeiger und bremst	
5	1 oder 2	VT 1 bremst und betätigt den Fahrtrichtungsanzeiger	Defensives Verhalten
	1 oder 2	VT 2 bremst, betätigt den Fahrtrichtungsanzeiger und betätigt die Lichthupe	
6	1 oder 2	VT 1 betätigt den Fahrtrichtungsanzeiger und bremst	Offensives Verhalten
	1 oder 2	VT 2 betätigt den Fahrtrichtungsanzeiger, bremst und betätigt dann eine Handgeste	

#### 3.3.2.4 Diskussion

Die Ergebnisse der T-Kreuzung fördern ähnliche Erkenntnisse wie die der X-Kreuzung zutage: eine untergeordnete Rolle der expliziten Kommunikationssignale und eine dominante Rolle der impliziten Kommunikationssignale. Des Weiteren zeigen die Daten, dass es mithilfe von Clusteranalysen sehr gut möglich ist, zwischen den Trajektorien „Links“, „Rechts“ und Geradeaus“ zu unterscheiden. Das intendierte Abbiegeverhalten spielt eine wichtige Rolle in der Anwendung von Kommunikationssignalen. So ist auch bei der T-Kreuzung das Linksabbiegen mit einem defensiven Fahrstil verknüpft, wohingegen das Rechtsabbiegen mit einem offensiven Fahrstil assoziiert ist. Das Geradeausfahren ist sehr von der Situation abhängig und kann nicht mit einem besonders offensiven oder defensiven Fahrstil verknüpft werden.

Darüber hinaus war es möglich, für das weitere Vorgehen Verhaltenssequenzen zu extrahieren, welche für die Experimente genutzt werden konnten. Diese werden in dem nachfolgenden Kapitel näher untersucht. In dem nächsten Unterkapitel werden die Ergebnisse der beiden Engstellen präsentiert.

#### 3.3.3 Engstellen

Wie in der Durchführung der Methode beschrieben, ist die Beobachtungsmethodik der Engstelle dynamischen Faktoren unterlegen. Insbesondere an verschiedenen Punkten auftretende Engstellen durch parkende Autos ermöglichten es, während der Studie zwei Arten von Engstellen zu beobachten: eine gleichrangige und eine einseitige Engstelle.

Aufgrund dessen wird das Kapitel in zwei Teile unterteilt, getrennt nach den beiden Engstellentypen. In Bezug auf die Straßenverkehrsordnung ist für die gleichrangige Engstelle nicht geregelt, wer fahren darf und die Verkehrsteilnehmer müssen dies aushandeln (§ 11(2)). Auf der anderen Seite ist bei der einseitigen Engstelle derjenige zum Warten verpflichtet, der das Hindernis auf seiner Seite vorfindet. Deshalb ist es nicht methodisch valide, die beiden Situationen einem direkten statistischen Vergleich auszusetzen.

### 3.3.3.1 Einseitige Engstelle

Zur Analyse der einseitigen Engstelle sollte zwischen den Verkehrsteilnehmern unterschieden werden (siehe Abbildung 18), die warten müssen (Position 1) und denen, die fahren dürfen (Position 2).

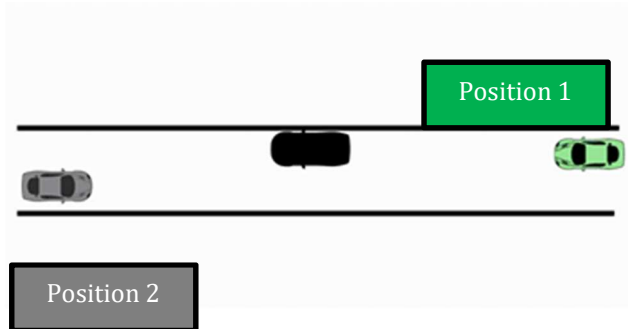


Abbildung 18. Schematische Abbildung einer einseitigen Engstelle. Grünes Fahrzeug entspricht Position 1, graues Fahrzeug entspricht Position 2.

Während der Beobachtung konnten  $N = 51$  Ereignisse registriert werden. In Abbildung 19 sind die Verhaltenssequenzen für Position 1 dargestellt. Die Daten zeigen, dass der Großteil der Verhaltenssequenzen aus defensiven Verhaltensweisen zusammengesetzt ist oder aus eindeutigen, offensiven Verhaltensweisen, z. B. Beschleunigung mit  $N = 7$ .

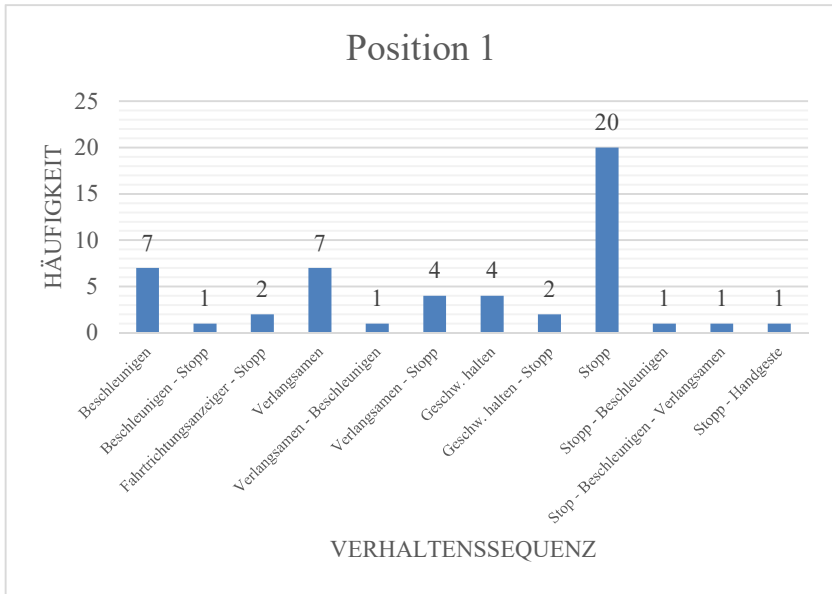


Abbildung 19. Einseitige Engstelle für Position 1 an der die Verkehrsteilnehmer warten müssen: Häufigkeit der Verhaltenssequenzen.

Abbildung 20 zeigt die Verhaltenssequenzen für Position 2. Es ist zu erkennen, dass diese in der Regel zu den offensiven Verhaltensweisen gezählt werden können.

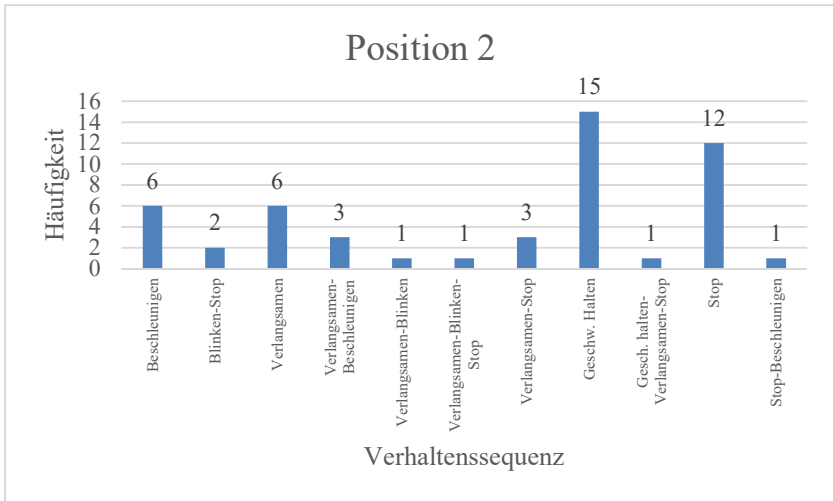


Abbildung 20. Einseitige Engstelle für Position 2 an der die Verkehrsteilnehmer fahren dürfen: Häufigkeit der Verhaltenssequenzen.

Die Verhaltenssequenzen für Position 1 sowie Position 2 zeigen, dass die Methode in der Lage ist, zwischen offensiven und defensiven Verhaltensweisen zu unterscheiden. Dies wird am Beispiel des Parameters „Geschw. halten“ ersichtlich, welcher in Position 1 ( $N = 4$ ) deutlicher weniger zu beobachten war, wie bei Position 2 ( $N = 15$ ). Vielmehr ist es aufgrund der Sequenzen möglich, die Position zu identifizieren, der es erlaubt war, zu fahren. Für dieses Beispiel ist es die Position 1.

### 3.3.3.2 Gleichrangige Engstelle

Die gleichrangige Engstelle ist dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Aufeinandertreffen von zwei Verkehrsteilnehmern aus jeweils einer Richtung kommend die Vorfahrt nicht geregelt ist und der StVO § 11 (2) greift. In einem ersten Schritt werden die Verhaltensweisen präsentiert.

3.3.3.2.1 Verhaltensweisen

Um die Menge der Verhaltensweisen übersichtlich zu gestalten, werden im Folgenden die Verhaltensweisen aufgeteilt in „zuerst gefahren“ und als „zweites gefahren“ (Abbildung 21).

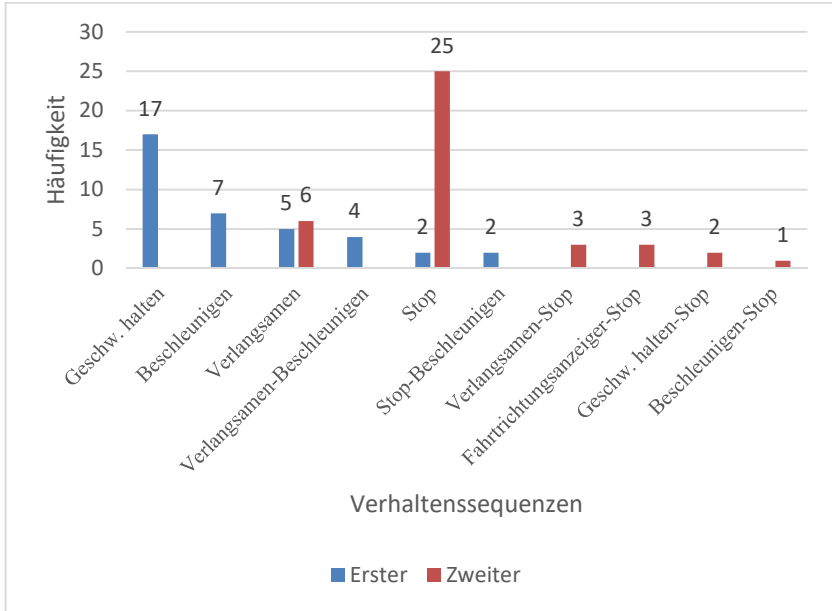


Abbildung 21. Gleichrangige Engstelle: Verhaltenssequenzen, aufgeteilt in als erstes/als zweites gefahren.

3.3.3.2.2 Zwischenfazit

Die Daten zeigen wie die vorher präsentierten Ergebnisse, dass die explizite Kommunikation eine untergeordnete Rolle in der Interaktion einnimmt. Des Weiteren zeigen die Daten, dass die impliziten Verhaltensweisen im Fokus stehen sollten.



Die präsentierten Daten sind allerdings nicht aussagekräftig genug, um Verhaltensweisen zu definieren, welche erklären können, warum Verkehrsteilnehmer als erstes oder als zweites fahren. Für diesen Zweck sollte analysiert werden, welcher Verkehrsteilnehmer als erstes an der Engstelle eingetroffen ist und als zweites gefahren ist, sowie welcher Verkehrsteilnehmer als zweites eingetroffen und als erstes gefahren ist. Dieser Analyseschritt wird im nachfolgenden Kapitel durchgeführt.

#### 3.3.3.2.3 Identifizierung der Verhaltensweisen für das ausgewählte Engstellenszenario

Wie im vorangegangenen Kapitel erläutert, ist es notwendig, die Verhaltensmuster zu betrachten, die sich auf zwei spezifische Gruppen von Verkehrsteilnehmern beziehen:

1. Verkehrsteilnehmer, die als erstes eingetroffen und als zweites gefahren sind,
2. Verkehrsteilnehmer, die als zweites eingetroffen und als erstes gefahren sind.

Diese beiden Gruppen repräsentieren besonders offensive und defensive Fahrstile. In Abbildung 22 und Abbildung 23 werden die Verhaltensweisen präsentiert. Abbildung 24 präsentiert die Daten von Gruppe 1.

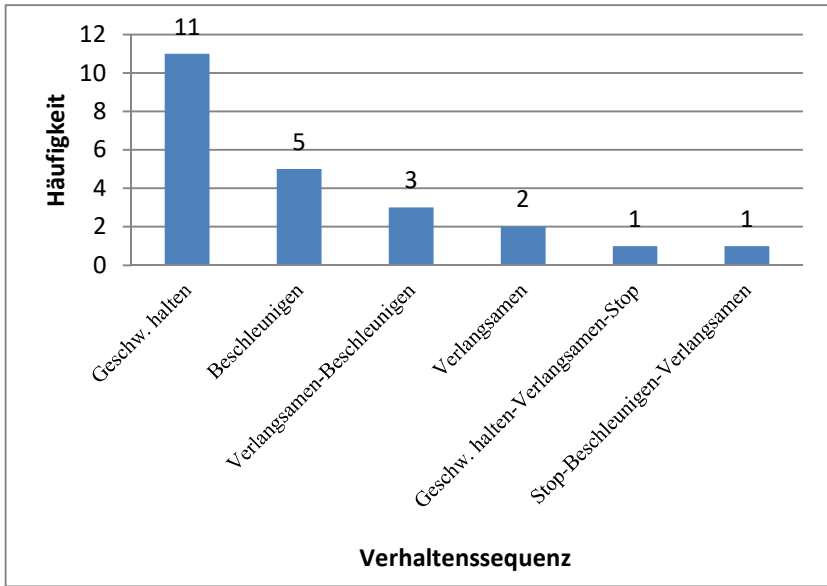


Abbildung 22. Gleichrangige Engstelle: Verhaltenssequenzen für die Gruppe als zweites gekommen, als erstes gefahren.

Es kann aufgezeigt werden, dass diese Gruppe sehr offensiv gefahren ist und dies durch sehr klare einzelne Verhaltensweisen zum Ausdruck gebracht hat.

Abbildung 23 zeigt die Gruppe der Verkehrsteilnehmer, die als erstes angekommen, aber als zweites gefahren ist.

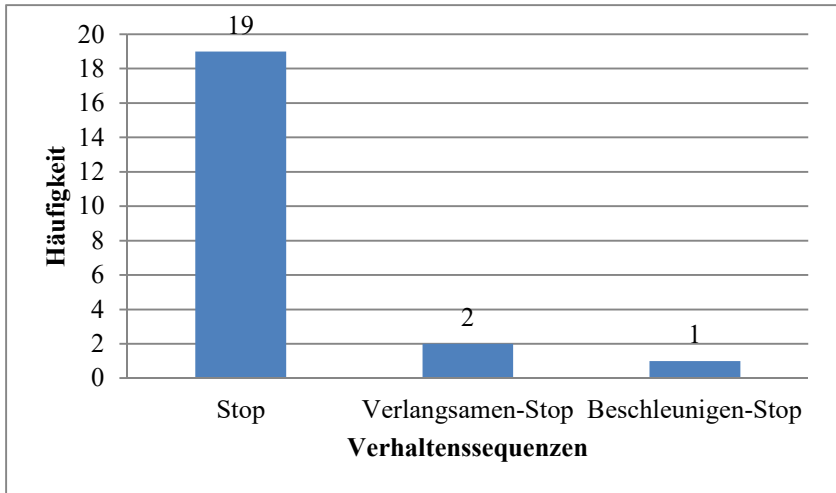


Abbildung 23. Gleichrangige Engstelle: Verhaltenssequenzen für die Gruppe als erstes gekommen, als zweites gefahren.

In Abbildung 24 werden für ein besseres Gesamtverständnis der Situation alle Verhaltenssequenzen präsentiert.

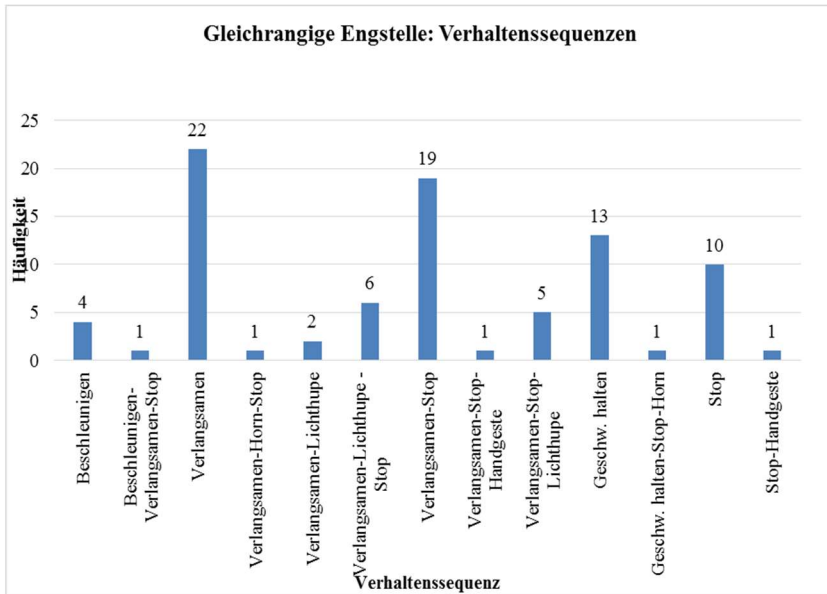


Abbildung 24. Gleichrangige Engstelle: Verhaltenssequenzen.

Aufbauend auf den präsentierten Ergebnissen kann geschlossen werden, dass die Verhaltensweisen: „Stopp“, „Geschwindigkeit halten“, „Verlangsamen“ in Kombination mit der „Lichthupe“ die wichtigsten Kommunikationssignale darstellen. Die Lichthupe ist das einzige explizite Signal, welches hilft, eine Einigung in der Situation zu erzielen. Die Handgeste wird zwar verwendet, aber auch, um sich nachträglich zu bedanken und hilft somit nicht, einen signifikanten Lösungsbeitrag in der Situation zu liefern.

Das Horn wurde ebenfalls benutzt, um andere über die Lösung einer Situation zu informieren, falls der Verkehrsteilnehmer über die Lösung der Situation nicht zufrieden war. Im Gegensatz dazu wurde die Geste allerdings zwei Mal eingesetzt, um ein Missverständnis in der Situation aufzuklären. Die beiden beschriebenen Fälle sollten bei einer automatischen Fahrzeugführung verhindert werden.

Auf Basis der Ergebnisse wurden mögliche Verhaltensweisen für die gleichrangige Engstelle abgeleitet, welche in der Tabelle 14 präsentiert werden. In der genannten Tabelle sind Verhaltensweisen in offensiv und defensiv getrennt, damit eine automatische Fahrzeugführung die Möglichkeit hat, beide Intentionen abzudecken. Diese Verhaltensweisen wurden in einer Experimentierreihe getestet (siehe Kapitel 1).

Tabelle 14. Identifizierte Verhaltensweisen für das gleichrangige Engstellenszenario.

<b>Situation</b>	<b>Verhaltensweise</b>	<b>Defensiv/Offensiv</b>
1	Verlangsamen – Lichthupe betätigen	Defensiv
2	Stopp – Lichthupe betätigen	Defensiv
3	Verlangsamen - Stopp	Defensiv
4	Geschwindigkeit halten	Offensiv
5	Beschleunigen	Offensiv
6	Verlangsamen	Offensiv

### 3.3.3.3 Diskussion

Die Ergebnisse der einseitigen Engstelle sowie die der gleichrangigen Engstelle konnten die nachfolgenden beschriebenen Erkenntnisse aufzeigen.

Es gibt einen großen Unterschied im Verhalten der Verkehrsteilnehmer zwischen der einseitigen und der gleichrangigen Engstelle. Auf Basis der Ergebnisse ist dies logisch, denn im Falle der einseitigen Engstelle ist das Vorrangsrecht durch die StVO klar geregelt. Nichtsdestotrotz sind vier ableitbare Gemeinsamkeiten identifizierbar:

1. Der Einsatz von expliziten Kommunikationssignalen ist **sehr gering**.
2. Ein Großteil der Verhaltenssequenzen besteht aus **zwei** Verhaltensweisen, wie z. B. markantes Stoppen mit anschließender Betätigung der Lichthupe.
3. Der Einsatz des Fahrtrichtungsanzeigers zur Intentionsvermittlung für den hinteren Verkehrsteilnehmer sowie für den Verkehrsteilnehmer von der entgegengerichteten Seite wird nur sehr **selten** eingesetzt;
4. Das am häufigsten verwendete *explizite* Signal ist die **Lichthupe**.

Als Zusammenfassung für das Gestalten von Verhaltensweisen in Engstellen kann festgehalten werden, dass eine automatische Fahrzeugführung folgende Verhaltenseigenschaften aufweisen sollte:

- Das Intendieren von eindeutigen Verhaltensweisen mit einem oder zwei Kommunikationssignalen, wie z. B. markantes Stoppen mit anschließender Betätigung der Lichthupe;
- Für ein nachgebendes Verhalten und zur Vermittlung, dass der Gegenüberfahren darf, sollte die Lichthupe benutzt werden;
- Der Einsatz von expliziten Signalen, wie Horn oder die meisten Handgesten eignet sich nur bedingt, da diese emotionalen Zustände ausdrücken, nicht aber zur Lösung des Problems beitragen.

In dem nachfolgenden Kapitel wird ein Fazit über die gesamte Verkehrsbeobachtung gezogen werden.

## 3.4 Fazit

In dem Eingangskapitel (3.1) der Beobachtungsstudie wurden drei Voraussetzungen beschrieben, die für eine erfolgreiche Verkehrsbeobachtung erfüllt werden müssen:

1. Das Rekonstruieren der Situation;
2. Die Sequenz der Verhaltensweisen verstehen;
3. Unterscheidung zwischen expliziten und impliziten Signalen.

Mithilfe der Methode ist es möglich, die Situationen zu rekonstruieren. Es kann nachvollzogen werden, welcher Verkehrsteilnehmer (Auto, Fahrradfahrer oder Motorradfahrer) in Abhängigkeit der Reihenfolge wann eingetroffen ist und in welcher Reihenfolge wieder die Situation verlassen hat. Des Weiteren können die Trajektorien nachvollzogen werden und die gezeigten Verhaltensweisen analysiert werden. Aufgrund dieser Möglichkeiten konnten für die X-Kreuzung  $N = 33$ , für die T-Kreuzung  $N = 12$  verschiedene Situationen und für Engstelle  $N = 189$  Fälle beobachtet werden. Darüber hinaus konnte nachvollzogen werden, welcher Verkehrsteilnehmer nach der StVO hätte fahren sollen und welcher Verkehrsteilnehmer tatsächlich gefahren ist.

Die Verkehrsbeobachtung konnte es allerdings nicht leisten, die Verkehrsteilnehmer und deren Verhalten in einen zeitlich-kausalen Zusammenhang zu bringen. Somit sind die Verhaltensweisen disjunkt voneinander zu analysieren. In einer nächsten Beobachtung sollte eine Methode verwendet werden, die es ermöglicht, eine zeitliche Auflösung der Situation zu gewährleisten. Des Weiteren wurde der rückwärtige Verkehr nicht mit einbezogen. Dies sollte ebenfalls in einer nachfolgenden Studie untersucht werden, denn dieser prägt die Gesamtbewertung der Situation.

Die Verkehrsbeobachtung ermöglicht es, die Verhaltenssequenzen zu verstehen bzw. die Verhaltensweisen in eine Reihenfolge zu bringen. Die Sequenzen geben Hinweise für die Intention des Verkehrsteilnehmers und können somit für eine automatische Fahrzeugführung verwendet werden.

In der Studie von de Ceunynck et al. (2013) konnte keine Unterscheidung zwischen expliziten und impliziten Signalen getroffen werden. Mit der angewendeten Methode war dies möglich. Tatsächlich war der Einsatz der expliziten Signale nicht so relevant, wie es auf Basis der existierenden und vorgestellten Literatur erwartet wurde (Risser, 1985, Färber 2015). Die Ergebnisse sind ähnlich zu denen von de Ceunynck et al. (2013), welche einen Einsatz von expliziten Signalen in 34 % der Fälle beobachten konnten. In der präsentierten Beobachtung variierte der Einsatz von expliziten Signalen je nach Kreuzungstyp und mittelt sich im Bereich von 27% aller Fälle. Der Einsatz der expliziten Signale ist sogar niedriger wie im Vergleich zu den Ergebnissen von de Ceunynck et al. (2013) (34,36 %), obwohl nicht regulierte Kreuzungen beobachtet wurden.

Als eines der wichtigsten expliziten Kommunikationssignale konnte die Lichthupe identifiziert werden. Dies liegt zum einen daran, dass dieses Signal auch über eine größere Entfernung sichtbar ist, wie zum anderen daran, dass das Horn und im Allgemeinen die Handgeste nicht als Intentionmarker für eine automatische Fahrzeugführung verwendet werden können. Beide Signale werden dann verwendet, wenn es zu einem Stillstand gekommen ist oder der Verkehrsteilnehmer seine Emotion über die Lösung einer Situation, ausdrücken möchte. Auf Basis der Ergebnisse kann angenommen werden, dass diese beiden Signale für eine automatische Fahrzeugführung nicht hilfreich sind, um eine kooperative Situation zu bewältigen.

Das Ziel der Dissertationsschrift ist es, Verhaltensweisen zu finden, welche von menschlichen Verkehrsteilnehmern genutzt und auch verstanden werden, um eine erfolgreiche Lösung zu garantieren.

Neben dem geringen Einsatz von expliziten Signalen konnte ein geringer Einsatz des Fahrtrichtungsanzeigers registriert werden. Sullivan, Bao, Goudy und Konet (2015) konnten zeigen, dass der Fahrtrichtungsanzeiger nur 71 - 75% der beobachteten Zeit eingesetzt wurde. In der gleichrangigen Engstelle wurde keine Verwendung des Fahrtrichtungsanzeigers registriert, sowie in 13,73% der Fälle für die einseitige Engstelle. Die Ergebnisse der Engstelle sind somit konsistent zu den Ergebnissen von Faw (2013). In diesem Experiment wurden



zwei Beobachtungsstudien durchgeführt, welche den Einsatz des Fahrtrichtungsanzeigers untersuchten. Es konnte aufgezeigt werden, dass der Einsatz des Fahrtrichtungsanzeigers von der Verkehrsdichte abhängig ist. So wurde der höchste Einsatz des Fahrtrichtungsanzeigers bei moderatem Verkehr beobachtet (92%), bei niedriger Verkehrsdichte wurde ein mittlerer Einsatz verzeichnet (88,7%) sowie bei sehr hoher Verkehrsdichte der geringste Einsatz (78%). Natürlich müssen die Einschränkungen berücksichtigt werden, dass andere Kreuzungssituationen beobachtet wurden sowie die Beobachtung in einem anderen Land stattfand. Trotzdem bieten die Ergebnisse der selbst durchgeführten Beobachtungsstudie und die von Faw (2013) den Hinweis, dass das Nicht-Verwenden des Fahrtrichtungsanzeigers nicht bedeutet, dass der Verkehrsteilnehmer in jedem Fall geradeaus fahren wird. Dies muss bei der Gestaltung berücksichtigt werden.

Weitere Studien sollten den Einfluss der Komplexität einer Verkehrssituation in Abhängigkeit der Verwendung der formellen Signale betrachten. Basierend auf den Ergebnissen sollte die Forschungsfrage ausgeweitet werden und die Rolle der expliziten Signale untersucht werden.

Als Ausblick kann festgehalten, dass implizite Kommunikationssignale bessere Hinweise liefern, um das Verhalten des Gegenübers zu antizipieren. Die vorgestellte Methode ermöglicht es, verschiedene Verhaltenssequenzen für die T-Kreuzung wie für die gleichrangige Engstelle zu identifizieren.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die identifizierten Verhaltenssequenzen in einem experimentellen Aufbau näher untersucht, um festzustellen, ob diese die dahinterstehende Intention angemessen präsentieren, damit eine automatische Fahrzeugführung diese verwenden kann.



---

## 4 Experimente

In Kapitel 3 wurden verschiedene Verhaltensweisen für das Engstellen- und T-Kreuzungsszenario abgeleitet. Diese identifizierten Verhaltensweisen zur Intentionsvermittlung „zu fahren“ oder „nicht zu fahren“ wurden in einer Experimentalreihe getestet. Dies entspricht dem beschriebenen zweiten Schwerpunkt aus Kapitel 2.6

In den nachfolgenden Kapiteln wird die Experimentalreihe zu der Engstelle und T-Kreuzung näher vorgestellt.

### 4.1 Experiment I: Engstelle

In dem folgenden Kapitel wird das dazugehörige Experiment näher vorgestellt. In einem ersten Schritt werden die Ziele näher erläutert, die Methode sowie Ergebnisse präsentiert und diskutiert. Im Anschluss folgt ein Kapitel, welches ein Experiment vorstellt, das einen Teil der Daten evaluiert hat, um deren Validität zu bestätigen.

Ergebnisse zu der Experimentalreihe finden sich in den Publikationen:

Imbsweiler, Palyafári, Puente León & Deml (2017a), Imbsweiler Wolf, Linsedt, Hess & Deml (2017b) und Imbsweiler et al. (2017c)

#### 4.1.1 Ziel

In der übergeordneten Fragestellung ist das Ziel, Verhaltensweisen zu finden, welche eine automatische Fahrzeugführung anwenden könnte. Daraus resultiert die Fragestellung:

*Welche Verhaltensweisen sind für eine automatische Fahrzeugführung geeignet, um eine Intention in einer Pattsituation auszudrücken?*

Um diese Fragestellung zu testen, muss zunächst untersucht werden, wie sich Verkehrsteilnehmer im Straßenverkehr in Pattsituationen verhalten. In Kapitel 2.1 konnten auf Basis einer Beobachtungsstudie verschiedene Verhaltensweisen identifiziert werden. Diese werden in den nachfolgenden beschriebenen Experimenten auf ihre Eignung zur Intentionsvermittlung untersucht.

Das Ziel des nachfolgenden Experimentes war es, verschiedene Verhaltensweisen für eine Engstelle zu testen, um herauszufinden, welche Verhaltensweisen am besten geeignet sind, um die Intentionen fahren/nicht fahren für eine automatische Fahrzeugführung auszudrücken. Dabei soll aufgezeigt werden, dass die Verhaltensweisen mit den Mitteln durchgeführt werden können, die jedes Fahrzeug zur Kommunikation besitzt.

Da zu dem Zeitpunkt der Experimente noch sehr wenig Wissen über die Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmern in Pattsituationen vorhanden war, war die Fragestellung explorativer Natur und es wurden keine Hypothesen gebildet, die sich auf Vorarbeiten oder andere Autoren beziehen. Die Hypothesen entsprechen der entdeckenden Natur.

Aus der Fragestellung können folgende Teilfragestellungen abgeleitet werden und versuchen einen möglichst großen Bereich abzudecken:

- A) Subjektiv: Wie schätzen Verkehrsteilnehmer die Verhaltensweisen ein, wenn sie mit diesen konfrontiert werden?
- B) Fahrparameter: Lassen sich mithilfe von Can-Bus-Daten Aussagen über das Kommunikationsverhalten für die Eignung treffen?
- C) Physiologische Daten: Lassen sich mithilfe von Eye-Tracking-Daten Aussagen über das Kommunikationsverhalten für die Eignung treffen?

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen müssen verschiedene Auswertungen getroffen werden. Fragestellung A kann mit dem beschriebenen Modell aus Kapitel 2.6 beantwortet werden. Für Fragestellung B und C müssen explizit Fahrparameter aus CAN-Bus und Eye-Tracking-Daten ermittelt und analysiert werden.

In einem zweiten Schritt werden die Ergebnisse präsentiert. Hierzu dienen die Fragestellungen als orientierende Struktur.

## 4.1.2 Methode

Das nachfolgende Experiment arbeitete mit der Methode eines Konföderierten als Versuchsleiter, deswegen werden die Informationen über die Versuchsleiter dargestellt, welche für das Experiment von Interesse sind. Der Methodenteil wird an diesen Stellen Versuchsleiter und Probanden separiert voneinander betrachten.

### 4.1.2.1 Stichprobe: Probanden

Insgesamt haben an der Studie  $N = 22$  Probanden teilgenommen, wobei nur eine weibliche Probandin vertreten war. Der Altersdurchschnitt betrug  $M = 23,91$  Jahre ( $SD = 2,10$ ). Im Durchschnitt fahren die Probanden einmal in der Woche mit dem Auto, wobei dabei durchschnittlich  $M = 141,82$  km ( $SD = 156,11$ ) zurückgelegt werden.

### 4.1.2.2 Stichprobe: Konföderierte

An dem Experiment waren  $N = 5$  (weiblich 3, männlich 2) Versuchsleiter als Konföderierte beteiligt. Der Altersdurchschnitt betrug  $M = 23,00$  Jahre ( $SD = 2,24$ ). Im Durchschnitt fahren die Versuchsleiter einmal in der Woche mit dem Auto, wobei dabei durchschnittlich  $M = 45$  ( $SD = 59,73$ ) km zurückgelegt werden.

Die beiden Stichproben sind hinsichtlich des Alters als ähnlich einzustufen. Die Fahrerfahrung war bei den Probanden im Schnitt deutlich höher. Das Geschlecht ist bei den Konföderierten ähnlich verteilt, um Geschlechtsunterschiede zu minimieren.

### 4.1.2.3 Durchführung

Die Studie wurde auf dem Gelände des Verkehrsübungsplatzes Karlsruhe-Knielingen durchgeführt (Abbildung 25). Auf diesem Gelände wurde mithilfe

von blauen Tonnen eine gleichrangige Engstelle nachgebaut, welche drei Meter lang war. Die Engstelle wurde so konstruiert, dass jeweils nur ein Auto passieren konnte. Der Untersuchungsbereich begann jeweils 25 Meter vor der Engstelle und wurde durch für die Probanden nicht ersichtliche Markierungen definiert. Dieser Abstand zur Markierung hat sich anhand der Beobachtungsstudie als die Zone erwiesen in der die Interaktionen stattgefunden haben.

Der Versuchsplan basierend auf der Reihenfolge der verschiedenen Drehbücher wurde randomisiert durchgeführt und es waren jeweils zwei Fahrzeuge beteiligt: Das Fahrzeug von dem Versuchsleiter, welches entweder ein Ford Fiesta oder ein VW Passat war, um den Einfluss der Fahrzeuggröße mitaufzunehmen, da die Frage im Raum stand, ob VT auf ein größeres Fahrzeug anders reagieren als auf ein kleineres Fahrzeug. Dieses Fahrzeug wurde von dem Versuchsleiter 1 (VL1) gesteuert. In dem Fahrzeug des Probanden saß der zweite Versuchsleiter (VL2), welcher dem Probanden Anweisungen gab. Ein dritter Versuchsleiter (VL3) überwachte das Experiment, für die Probanden nicht ersichtlich, von außen.

Als Instruktion wurde den Probanden mitgeteilt, dass der Lidarsensor auf dem Dach getestet werden solle, um die Aufmerksamkeit nicht auf die Engstelle zu legen (Instruktion im Anhang C). Die Aufklärung der Probanden folgte im Anschluss an das Experiment.

Den Beginn des Experimentes stellten die Einwilligung der Einverständniserklärungen (siehe Anhang C) und die Aufklärungen über den Umgang mit dem Versuchsfahrzeug (siehe Anhang C) dar. Danach folgten die Einstellung des Fahrersitzes und die Kalibrierung des Eye-Tracking-Systems. Im Anschluss gab es nochmal eine standardisierte Probefahrt, welche verlängert wurde, wenn sich der Proband noch nicht sicher fühlte. Folgende Elemente enthielt die Übungsfahrt: Anfahren, Absolvieren einer Rückwärtsfahrstrecke, Beschleunigung des Fahrzeuges, Bremsen und seitwärts Einparken.

Damit die Aufmerksamkeit des Probanden nicht auf den Engstellenszenarien lag, wurden verschiedene Fahraufgaben zwischen dem Passieren der Engstelle durchgeführt (siehe Abbildung 25). Die Fahraufgaben wurden randomisiert

durchgeführt und beinhalteten: rück-/seitwärts Einparkens, Anfahr-/Rückwärts-/Slalomparkour sowie Durchfahren einer anderen Engstelle.

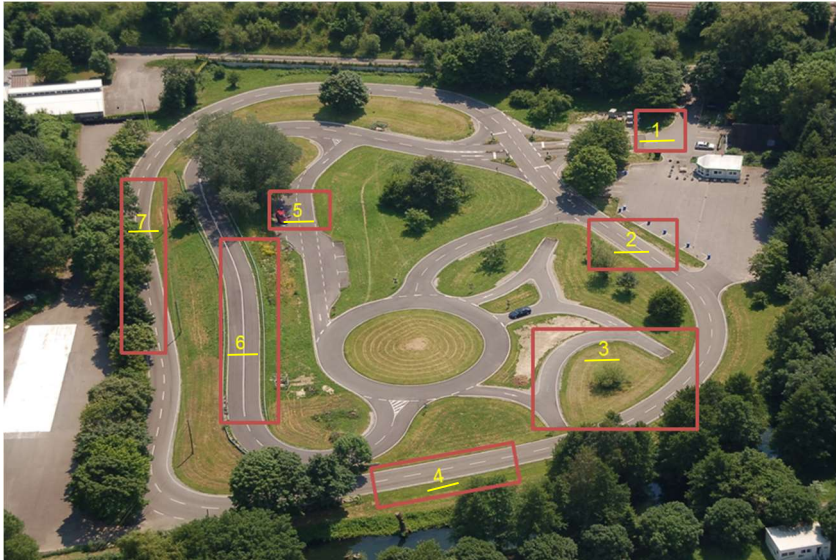


Abbildung 25. Verkehrsübungsplatz mit den verschiedenen Stationen: Bildquelle: [www. verkehrswacht-karlsruhe.de](http://www.verkehrswacht-karlsruhe.de) Legende: 1. Startpunkt und Beobachtungspunkt VL3, 2. Künstlich erzeugte Engstelle, 3 Rückwärtsfahrparkour, 4.Künstlich verengte Fahrbahn, 5. Station seitwärtsparken, 6. Station: Am Berganfahren, 7.Station: Slalomparkour.

Das Versuchsdesign ist noch einmal in Abbildung 26 dargestellt. Es gab insgesamt sechs Versuchsdurchgänge, da diese auf den sechs verschiedenen Verhaltensweisen beruhen (siehe Tabelle 14), welche im Folgenden als Drehbuch bezeichnet werden und noch einmal näher in Kapitel 4.1.2.3.1 beschrieben sind. Diese wurden je zweimal aus den beiden unterschiedlich möglichen Fahrtrichtungen durchgeführt. In der Summe ergaben sich zwölf Durchfahrten.

Bei der anderen Engstelle sowie hinter dem Slalomparkour waren mit dem VL1 Fixpunkte ausgemacht und markiert. Überquerte der Proband diese Fix-

punkte fuhr der VL1 und begann die Durchfahrt. Wenn ein gleichzeitiges Eintreffen nicht realisiert werden konnte, wurde die Durchfahrt in der Auswertung nicht beachtet und wiederholt. Dafür gab es ein geheimes Signal, indem der VL1 den Probanden via Instruktion über den angrenzenden Parkplatz manövrierte.

Die Entscheidung zu wiederholen, lag bei VL1 oder bei VL2 sowie einem dritten Versuchsleiter (VL3), der die Szenerie von dem Bürogebäude aus einer erhöhten Position beobachten konnte und für die Probanden nicht sichtbar war. Dieser stand mit den anderen beiden Versuchsleitern über ein Walkie-Talkie in Kontakt. Zur Durchsage eines neuen Versuches betätigten VL2 oder VL3 die Sprechfunktion. Dadurch wurde ein Rauschen hörbar. Dieses Rauschen war das Signal für das Wiederholen. Das Rauschen war für den Probanden nicht hörbar. Im Mittel dauerte eine Experimentalfahrt  $M = 29,01$  Minuten. Die Probanden legten im Durchschnitt  $M = 11,70$  km zurück. Das Experiment insgesamt dauerte ca. 90 Minuten und wurde nach dem ifab-Stundensatz mit 7,50 Euro/Stunde vergütet.

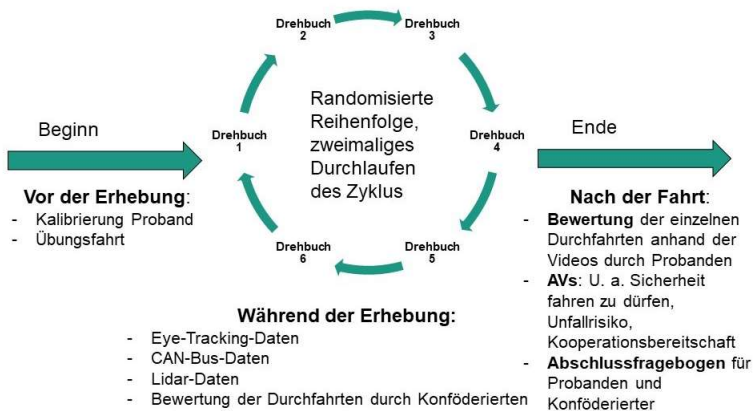


Abbildung 26. Versuchsdesign; Engstelle.



In den beiden nachfolgenden Kapiteln wird noch einmal die Versuchsdurchführung aus Sicht der Probanden und Versuchsleiter im Detail beschrieben, da beide als Kooperationspartner Teil des Experimentes waren.

#### 4.1.2.3.1 Durchführung aus Sicht der Versuchsleiter

Die Versuchsleiter mussten sich bei den Durchfahrten an sogenannte Drehbücher halten. Diese wurden basierend auf den identifizierten Verhaltensweisen (siehe Tabelle 7) entwickelt. Dafür wurden exakte Instruktionen geschrieben und in drei Probedurchgängen getestet. Die Instruktionen sind im Anhang enthalten. Davon waren drei Drehbücher in die Mission „Anhalten“ und drei Drehbücher in die Mission „Durchfahren“ unterteilt. In der Mission „Anhalten“ musste VL1 versuchen zu stoppen und den Probanden Vorrang zu gewähren. Bei Mission „Durchfahren“ musste VL1 versuchen durchzufahren, sofern das Verhalten des Probanden es zulassen würde. Die Missionen dienten als Absicherung, um bei einem Scheitern der Drehbücher zu mindestens die Intention zu testen. Wenn die Probanden sich nicht drehbuchkonform verhalten haben, sollten die VL adäquat reagieren. Das bedeutet, wenn die Probanden beispielsweise statt anzuhalten, gefahren sind, mussten die VL stoppen.

Die Drehbücher für die Mission „Anhalten“ wurden folgendermaßen umgesetzt:

1. Markantes Stoppen (Stoppen);
2. Gezieltes Bremsen auf eine Restgeschwindigkeit von max. 15 km/h, bei gleichzeitigem Betätigen der Lichthupe (Bremsen + Lichthupe);
3. Markantes Stoppen mit anschließender Betätigung der Lichthupe. (Stoppen + Lichthupe)

Die Drehbücher für die Mission „Durchfahren“ wurden wie folgt gestaltet:

4. Mit gleichbleibender Geschwindigkeit auf die Engstelle zufahren (ca. 20 km/h);

5. Vor der Engstelle von 30 km/h kurz auf 45 km/h beschleunigen (Beschleunigen);
6. Gezieltes Bremsen von ca. 30 km/h auf 15 km/h und auf die Engstelle zufahren (Verlangsamten).

Nach dem Abschluss einer Durchfahrt musste VL1 mithilfe eines Diktiergerätes die Durchfahrt anhand folgender Variablen bewerten (Instruktion für VL1 siehe Anhang C):

- a. Umsetzung des Drehbuchs (Likert-Skala von 1 „überhaupt nicht“ bis 7 „sehr gut“);
- b. Kooperationsbereitschaft des Probanden (Likert-Skala von 1 „sehr niedrig“ bis 7 „sehr hoch“, orientierend an Renge (2000));
- c. Kooperationsintensität (Likert-Skala von 1 „sehr niedrig“ bis 7 „sehr hoch“).

Durch die Einschätzung der Umsetzung konnten nachträglich noch einmal gezielt nicht funktionierende Durchfahrten gefiltert werden, wenn z. B. das Timing nicht gestimmt hat. Die Bewertung der Umsetzung erfolgte aufgrund der zeitlichen Abstimmung der Handlungen nach den entsprechenden Vorgaben. Die Bewertung der Umsetzung wurde anhand von Videoaufnahmen in den Probedurchgängen geprobt. Am Ende aller Durchfahrten beantworteten VL1 sowie VL2 einen Abschlussfragebogen zur allgemeinen Einschätzung des Probanden und der Durchfahrten (Fragebogen siehe Anhang C). In diesem Fragebogen beantworteten die VL1 und 2 folgende Fragen:

- d. Kooperationsbereitschaft des Probanden (Likert-Skala von 1 „sehr niedrig“ bis 7 „sehr hoch“);
- e. Kooperationsintensität (Likert-Skala von 1 „sehr niedrig“ bis 7 „sehr hoch“);
- f. Fahrtstil des Probanden (Likert-Skala von 1 „unsportlich“ bis 7 „sehr sportlich“)

Die allgemeinen Einschätzungen dienten der Fragestellung A und sollten die subjektive Sicht der Probanden bzgl. der Verhaltensweisen abbilden.

Nach dem Abschluss der Experimentalreihe füllten die VL einen finalen Fragebogen zu den deskriptiven Daten aus (siehe Anhang C), der Fragen zur Person (Alter, Geschlecht, Nationalität, Fahrerfahrung, wöchentlich gefahrene Kilometer, Fahrstil) sowie zur Persönlichkeit enthielt. Die Persönlichkeitseigenschaften wurden mit dem NEO-FFI in der Kurzform nach Borkenau und Ostendorf (2008) erfasst. Der NEO-FFI erfasst die fünf Faktoren: Neurotizismus, Introversiön/Extraversiön, Offenheit für Erfahrung, Gewissenhaftigkeit und soziale Verträglichkeit. Dieser Fragebogen wurde eingesetzt, um zu kontrollieren, ob die Persönlichkeitseigenschaften einen Einfluss auf das Kooperations und Kommunikationsverhalten haben, da auch, trotz der Drehbücher, feine Unterschiede im Fahrverhalten auftreten könnten.

#### 4.1.2.3.2 Durchführung aus Sicht der Probanden

Die Durchführung aus Sicht der Probanden weicht aus der Perspektive der Versuchsleiter. Allerdings wurden zusätzlich mehrere Messmethoden verwendet. Die gesamte Fahrt wurde sowohl von der Smart-Eye Feldkamera (nähere Beschreibung siehe Kapitel 4.1.2.4) sowie von einer GoPro Hero 2 gefilmt. Das Versuchsfahrzeug wird in Kapitel 4.1.2.4 näher beschrieben und war ein blauer VW Passat, welcher gleichwertig, wie der Passat der VL war.

Nach Abschluss aller Durchfahrten wurden den Probanden durch VL3 die Aufnahmen präsentiert. Zu jeder Durchfahrt musste der Proband einen Fragebogen ausfüllen (Fragebogen siehe Anhang C, Beispielbild einer Durchfahrt siehe Abbildung 27):

- a. Sind Sie als Erstes oder als Zweites gefahren?
- b. Warum haben Sie sich entschieden, als Erstes bzw. als Zweites zu fahren? (verbunden mit einer Auflistung an möglichen Verhaltensweisen des Gegenübers)
- c. Wie sicher waren Sie sich in ihrer Entscheidung, als Erstes oder Zweites zu fahren? (sieben-stufige Likert-Skala von 1 „überhaupt nicht sicher“ bis 7 „sehr sicher“)

- d. Wann haben Sie sich entschieden? (Markierung des Entscheidungszeitpunktes auf einer maßstabsgetreuen Zeichnung)
- e. Wie hoch haben Sie das Unfallrisiko in der Situation eingeschätzt (siebenstufige Likert-Skala von 1 „kein Risiko“ bis 7 „sehr großes Risiko“)
- f. Wie hoch schätzten Sie die Kooperationsbereitschaft des Gegenübers sowie die Kooperationsintensität ein? (siebenstufige Likert-Skala von 1 „sehr niedrig“ bis 7 „sehr hoch“)
- g. Kontrollfrage: Haben Sie sich aufgrund der Situation davor anders entschieden?

Frage c), d) und f) wurden bereits von Renge (2000) verwendet. Auch Kauffmann (2018) verwendete diese Art der Fragen, um die Wahrnehmung von Kooperation zu erfassen, wenn auch mit einer 15-Punkt-Likert-Skala. Aktuell ist dem Autor kein anderer Fragebogen bekannt, um die Wahrnehmung von kooperativen Situationen zu erfassen.

Nach dem Bewerten der Durchfahrten beantworteten die Probanden den gleichen Abschlussfragebogen wie VL2. Danach wurden die Probanden über den Zweck der Untersuchung aufgeklärt und die Vergütung für das Experiment ausgehändigt. Für Rückfragen seitens der Probanden wurde eine Kontaktperson genannt.



Abbildung 27. Beispiel einer Durchfahrt. Silberner VW Passat = VL 1, Blauer VW Passat = Versuchsfahrzeug mit Probanden.

#### 4.1.2.4 Messequipment und Umgebung

In dem folgenden Abschnitt ist das Messequipment und Umgebung des Experimentes näher beschrieben. Als wesentliche Elemente können der Verkehrsübungsplatz sowie das Versuchsfahrzeug bezeichnet werden, wobei mit dem Versuchsfahrzeug Eye-Tracking-Daten und CAN-Bus-Daten aufgezeichnet wurden.

##### 4.1.2.4.1 Verkehrsübungsplatz

Der Verkehrsübungsplatz befindet sich auf dem Gelände der Verkehrswacht Karlsruhe und ist in Abbildung 25 aus der Vogelperspektive dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der Verkehrsübungsplatz aus einer zweispurigen, durch Markierungen getrennten Fahrbahn besteht. Der ovale Ring umfasst ca. 450 Meter Fahrstrecke, dessen Umrundung ca. 95 Sekunden dauert. In der Mitte

des ovalen Rings befinden sich ein Kreisverkehr, ein Berg zum Üben des Anfahrens eines Autos, eine Bucht zum Üben des seitlichen Einparkens und eine Rückwärtsfahrstrecke. Insgesamt ergeben die beschriebenen Teile eine Fahrstrecke von 750 Metern, sodass sich inklusive des ovalen Ringes eine Gesamtfahrstrecke von 1200 Metern ergibt. Es herrscht ein vorgeschriebenes Tempolimit von 30 km/h.

Die Versuche wurden vormittags zwischen 8 und 12 Uhr durchgeführt. Während dieser Zeit war der Verkehrsübungsplatz für Kunden gesperrt.

##### 4.1.2.4.2 Versuchsfahrzeug

Das Versuchsfahrzeug gehört zur Ausstattung des ifab. Es ist ein VW Passat 2.0 TDI Variant mit uneingeschränkter Straßenzulassung (siehe Abbildung 28).

Die Blickbewegungen des Fahrers können über das berührungslose Kamerasystem Smart-Eye Pro 5.9 erfasst werden, welches aus insgesamt fünf fest verbauten Kameras sowie einer Szenenkamera zur Erfassung der Fahrumgebung besteht.

Neben dem Smart-Eye-System ist auf dem Dach noch ein Velodyne VLP 16 Lidarsensor zur Erfassung der Umwelt im Fahrzeug verbaut. Im Kofferraum des Versuchsfahrzeugs befindet sich ein Rechnersystem, mit welchem CAN-Bus-Daten aufgezeichnet werden können. Dieses synchronisiert das Eye-Tracking-System und den CAN-Bus.

Die anderen beiden Fahrzeuge, die die VL1 und VL2 fahren wurden von dem Anbieter Stadtmobil gemietet und waren während des gesamten Versuchs die gleichen Fahrzeuge.



Abbildung 28. Ifab Versuchsfahrzeug. Oben links: Cockpit mit Eye-Tracking-System; Oben rechts Lidarsensor;; Unten Mittig: Gesamtansicht.

Im Fond des Fahrzeuges befindet sich der Versuchsleiterplatz, welcher es ermöglicht, die Aufzeichnungen während der Fahrt zu überwachen und wenn nötig, Anweisungen zu geben.

#### 4.1.2.5 Design und Hypothesen: Fragestellung B

In Kapitel 4.1.1 wurde folgende Fragestellung abgeleitet:

„Lassen sich mithilfe von Can-Bus Daten Aussagen über das Kommunikationsverhalten für die Eignung treffen?“

Zur Testung von Fragestellung B müssen zunächst relevante Fahrparameter identifiziert und getestet werden. Feldberg (2017) hat unter wissenschaftlicher Anleitung eine Analyse der relevanten Fahrparameter durchgeführt, die Daten wurden von dem Verfasser noch einmal berechnet. Im Folgenden findet eine Zusammenfassung der relevanten Fahrparameter auf Basis der Ergebnisse von Feldberg (2017) statt.

Die Fahrparameter können unterschieden werden zwischen solchen Parametern, die sich auf die Spurhaltegüte beziehen und solchen Parametern, die sich auf die Geschwindigkeit konzentrieren, wobei in Bezug auf die Spurhaltegüte noch zwischen Spurhaltemaßen und Lenkmaßen unterschieden wird. Diese werden im Folgenden tabellarisch dargestellt (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15. Relevante Fahrparameter für das Engstellenszenario.

Name	Art der Spurgüte	Beschreibung	Autor
Mittlere Laterale Position (MLP)	Spurgüte: Spurhaltemaß	Mittelwerte aller gemessenen Abstände eines Bezugspunktes des Fahrzeugs vom linken oder rechten Spurrand. Rückschlüsse auf Fahrstil möglich.	Knappe, Keinath, & Meinecke (2006)
Standardabweichung der lateralen Position (SDLP)	Spurgüte: Spurhaltemaß	Standardabweichung aller gemessenen Abstände vom Mittelpunkt des Fahrzeugs zum linken oder rechten Spurrand. Rückschlüsse auf Ablenkung.	Östlund et al. (2004)
Spurüberschreitungen (LANEX)	Spurgüte: Spurhaltemaß	Ungeplantes Verlassen eines definierten Teils des Fahrzeugs der Spur. Drei Varianten: Anzahl der Spurüberschreitungen pro km, Dauer der Überschreitung, Meter außerhalb der Spur.	Knappe et al. (2006)



Time-to-line-Crossing ( <b>TLC</b> )	Spurgüte: Spurhalte- maß	Zeitpunkt, zu dem das Fahrzeug die gedachte Spurmarkierung erreichen wird.	Knappe et al. (2006)
Nulldurchgänge des Lenkwinkels ( <b>ZERO</b> )	Spurgüte: Lenkmaße	Wie oft das Lenkrad während einer Messung über die Geradeausstellung hinwegbewegt wird. Strecke. Abhängig von dem Streckenverlauf.	(Knappe, 2009)
Standardabweichung des Lenkwinkels ( <b>SDST</b> )	Spurgüte: Lenkmaße	Aufgezeichnete Standardabweichung des Lenkwinkels über einen definierten Zeitraum oder eine Strecke. Abhängig von dem Streckenverlauf.	Knappe et al. (2006)
Steering Wheel Reversal Rate ( <b>SRR</b> )	Spurgüte: Lenkmaße	Umkehrungen in der Lenkrichtung, ab einer bestimmten Winkeldifferenz gezählt.	Östlund et al. (2004)
Hochfrequenzkomponenten des Lenksignals ( <b>HFC</b> )	Spurgüte: Lenkmaße	Um nieder- und hochfrequentes Rauschen auszublenden, wird mithilfe von Filtern nur das Frequenzband zwischen 0,3 – 0,6 Hertz betrachtet. Hohe Werte deuten auf Stress hin.	Östlund et al. (2004)
Maximale Bremsstärke ( <b>MB</b> )	Geschwindigkeitsverhalten	Maximale Bremskraft auf das Bremspedal.	Feldberg (2017)
Anteil der Bremsdauer ( <b>ABD</b> )	Geschwindigkeitsverhalten	Anteil der Bremsdauer im Verhältnis zu der gesamten Aufzeichnung.	Feldberg (2017)
Differenz aus Minimal- und Maximalgeschwindigkeit ( <b>DMM</b> )	Geschwindigkeitsverhalten	Die berechnete Differenz aus minimaler und maximaler Geschwindigkeitsdifferenz für eine Durchfahrt.	Feldberg (2017)

Das Experiment zeichnet sich dadurch aus, dass es zum einen Drehbücher und zum anderen Missionen gibt (siehe Kapitel 4.1.2.3.1). Aufgrund dessen beziehen sich die Hypothesen zum einem auf die Unterschiede zwischen Drehbüchern im Allgemeinen und zum anderen zwischen den Missionen.

Die Unterschiede zwischen den Drehbüchern werden mit einer messwiederholten einfaktoriellen ANOVA mit dem Faktor *Drehbuch* und der AV *Parameter* berechnet.

Die Unterschiede zwischen den Missionen werden mit einem t-Test für verbundene Stichproben berechnet. Die Mission dient hierbei als Faktor.

Die Hypothesen gelten jeweils für jeden der sechs Parameter. Zur übersichtlichen Gestaltung der Dissertationsschrift wird darauf verzichtet jede einzelne Hypothese zu jedem einzelnen Parameter zu nennen.

*H1-0: Es gibt keinen Unterschied zwischen den Missionen offensiv und defensiv hinsichtlich der verschiedenen Parameter.*

*H1-1: Es gibt einen Unterschied zwischen der Mission offensiv und defensiv hinsichtlich der verschiedenen Parameter.*

*H2-0: Es gibt keinen Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich der verschiedenen Parameter.*

*H2-1: Es gibt einen Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich der verschiedenen Parameter.*

Die genannten Hypothesen werden im Kapitel 4.1.3.3 geprüft. Im nachfolgenden Kapitel werden die Hypothesen bezüglich der Eye-Tracking-Parameter vorgestellt.

#### **4.1.2.6 Design und Hypothesen: Fragestellung C**

Zur Testung der Fragestellung C, müssen wie bei den Fahrparametern, relevante Eye-Tracking Parameter identifiziert werden. Unter wissenschaftlicher Anleitung des Autors hat Gerking (2017) eine Analyse der relevanten Blickparameter durchgeführt und die Daten wurden von dem Verfasser noch einmal berechnet und in Imbsweiler et al. (2016) sowie in Imbsweiler et al. (2017a, c) publiziert. Des Weiteren wurde in einer Überblickspublikation die Auswertung für relevante Eye-Tracking Parameter in kurzen kooperativen Situationen dargestellt (Imbsweiler et al., 2017b).

In Bezug auf Eye-Tracking-Parameter muss bezüglich des Messsystems differenziert werden. So können einerseits die Augenbewegungen ohne direkten Bezug zur Außenwelt dargestellt werden, als auch andererseits die Parameter, die es mithilfe einer Feldkamera ermöglichen zu analysieren, welche Objekte der Proband betrachtet hat.

In einem ersten Schritt wird das Design zur Auswertung der letztgenannten Parameter dargestellt, welche sich auf die Auswertungen der Feldkamera beziehen. Bevor die Daten analysiert werden können, müssen diese annotiert werden, das heißt, den Fixationen die passenden Objekte zugeordnet werden. Für die Analyse der Daten wurden als relevante Objekte die Engstelle (*Hindernis*), der *Kooperationspartner* bzw. das andere *Fahrzeug* sowie die *Fahrbahn* identifiziert.

Im Allgemeinen unterscheidet man zwischen Fixationen und Sakkaden (Birbaumer & Schmidt, 2010). Unter *Fixationen* wird der Punkt verstanden, auf welchem bei der Betrachtung der Umgebung der Blick ruht, also fixiert wird (Bockelmann, 1987). Der Weg zwischen zwei Fixationen wird als *Sakkade* bezeichnet und zeichnet sich durch Dauer von 15-100 ms bzw. durch eine Geschwindigkeit von bis zu 500°/s aus (Birbaumer et al., 2010). Nach Cohen (1976) ist das Blickverhalten für das Führen eines Fahrzeuges essenziell und stellt das Zusammenspiel aus Sakkaden und Fixationen dar. Piechulla (2004) konnte zeigen, dass je komplexer eine Fahraufgabe ist, desto mehr konzentrierte sich die Fixationsdauer auf das Verkehrsgeschehen. Als relevante Parameter wurden die Fixationen auf ein Objekt gewählt.

Im Bereich der MMI konnte gezeigt werden, dass die Fixationen auf die zuletzt fixierten Areas-of-Interest (AOIs) einen Hinweis auf die Intention in der Interaktion mit der Maschinen-Schnittstelle liefern können (Sakiat et al. 2004).

In der bereits präsentierten Studie von Ba et al. (2015) konnte gezeigt werden, dass die Probanden im Mittel eine höhere totale Fixationszeit sowie eine erhöhte Fixationszeit auf den Interaktionspartner aufwendeten, wenn explizite Kommunikationszeichen verwendet wurden. Somit zeigt sich wiederholt die Bedeutung der Fixationen für die Fahraufgabe.

Nur wenige Untersuchungen zu dem Thema Blickverhalten von Autofahrern in Engstellen konnten nach einer Literaturrecherche gefunden werden. So konnte Dilling (1973) zeigen, dass bei einer Baustelle auf der Autobahn der vorausliegende Streckenabschnitt sowie die potenziellen Interaktionspartner fixiert wurden. Cohen (1976) kommt zu dem Schluss, dass nach der Identifizierung einer Engstelle, die Fixationen zu dem Zweck aufgewendet werden, eine alternative Fahrspur auszuwählen. Das Hindernis selbst stehe nicht im Fokus. Dabei bezieht sich Cohen auf das Passieren einer Engstelle ohne Gegenverkehr. Schweigert (2003) empfiehlt für das Passieren einer Engstelle einen durchgängigen Abgleich zwischen dem eigenen Fahrzeug (Fahrzeugkarosse) und dem zur Verfügung stehenden Platz.

Im Gegensatz zu diesen empirischen Erkenntnissen, die auf Untersuchungen basieren, spricht Schweigert (2003) eher Empfehlungen für Untersuchungen des Blickverhaltens aus, die sich nicht auf spezifische Experimente beziehen. So besteht nach Ansicht von Schweigert (2003) die Aufgabe des Autofahrers in Engstellen darin, einen permanenten Vergleich zwischen der Fahrzeugkarosse und dem verfügbaren Platz durchzuführen. Daher rät er, eine besonders hohe Aufmerksamkeit auf die Punkte des Fahrzeugs beziehungsweise der Umgebung zu lenken, an denen ein Zusammenstoß am wahrscheinlichsten ist und diese abwechselnd zu fixieren.

Aus der präsentierten Studienlage leiten sich für die Analyse der Areas-of-Interests folgende Parameter ab: mittlere Fixationsdauer auf das AOI, Anzahl der Fixationen auf ein AOI, Fixationswechsel zwischen den AOIs.

Als Design kann für die Variablen jeweils eine messwiederholte einfaktorielle ANOVA mit dem Faktor *Drehbuch* verwendet werden und den entsprechenden Parameter als AV. Basierend auf dem beschriebenen Design werden folgende Hypothesen abgeleitet:

H1-0: *Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich der Anzahl der Fixation.*

H1-1: *Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich der Anzahl der Fixationen.*

H2-0: *Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich der Anzahl der Fixationen auf das Hindernis, Fahrbahn sowie Fahrzeug.*

H2-1: *Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich (H2-1.1) der Anzahl der Fixationen auf die Fahrbahn, (H2-1.2) den Kooperationspartner im gegenüberliegenden Fahrzeug sowie (H2-1.3) auf das Hindernis.*

H3-0: *Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich der mittleren Fixationsdauer auf das Hindernis, die Fahrbahn sowie das Fahrzeug.*

H3-1: *Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich (H3-1.1) der mittleren Fixationsdauer auf die Fahrbahn, (H3-1.2) den Kooperationspartner im gegenüberliegenden Fahrzeug sowie (H3-1.3) auf das Hindernis.*

H4-0: *Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Missionen in Bezug auf die Fixationswechsel.*

H4-1: *In der offensiven Mission gibt es signifikant mehr Fixationswechsel als in der defensiven Mission.*

Neben den Auswertungen für die AOI-basierten Parameter existieren noch weitere okulare Parameter, welche zur Auswertung von kurzen kooperativen Situationen verwendet werden können. Da die Anzahl der potenziell nutzbaren Parameter sehr groß ist, stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage, welche Parameter für nachfolgende Studien besonders geeignet sind. Im Allgemeinen kann zwischen okularen Parametern unterschieden werden, die das Blinzeln, den Pupillendurchmesser, Fixationsparameter und Sakkadenparameter betreffen (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16. Übersicht der ausgewerteten Eye-Tracking Parameter.

Kategorie	Parameter
Blinzelparameter (B)	Nearest Neighbor Index (Di Nocera, Rome, Mastrangelo, & Capobianco, 2016) (NNI,1), Percentage of eyelid closure (Lal & Craig, 2001) (PERCLOS,2), Blinzeldauer in ms (3), Blinzelrate (4)
Pupillendurchmesser (PD)	Pupillendurchmesser (5), Mittelwert Pupillendurchmesser (6), Median Pupillendurchmesser (7), Frequenz des Pupillendurchmessers (8), Amplitude des Pupillendurchmessers (9), Maximum des Pupillendurchmessers (10)
Fixationsparameter (FX)	Fixationsdauer-Metrik (Maximum, Mittelwert, Median) (11,12,13), Anzahl der Fixationen (14), Verhältnis von Fixationen und Sakkaden (15)
Sakkadenparameter (SC)	Sakkadengeschwindigkeits-Metrik (Mittelwert, Maximum, Median) (16, 17, 18), Sakkadenamplituden-Metrik (Mittelwert, Maximum, Median) (19, 20, 21), Sakkadendauer-Metrik (Mittelwert, Maximum, Median) (22, 23, 24, 25), Anzahl von Sakkaden (26)
Anmerkung: Nummerierung in der Auswertung von Bedeutung.	

Die Analyse dieses Teils der Daten unterliegt einem explorativen Ansatz und folgt keiner gezielten Hypothese. Es geht darum, herauszufinden, ob die Parameter zwischen den Drehbüchern differenzieren können. Dafür wird eine 2x6 messwiederholte ANOVA mit den Faktoren Durchgang und Drehbuch verwendet werden. Als AV fungieren die Parameter aus Tabelle 16.

Des Weiteren werden zur Identifizierung von systematischen Mustern die signifikanten Parameter noch einmal mit einem Clusterverfahren analysiert (Hatzinger, Hornik, & Nagel, 2011). Der Fuzzy-Ansatz hat den Vorteil, dass

jede Variable jedem Cluster mit einem bestimmten Wert zugewiesen wird. Dadurch ist es möglich, zu beurteilen, wie stark das Cluster und die Variablen zusammenhängen. In einer Clusteranalyse bedeutet ein systematisches Muster, dass sich z. B. in einem Fall (hier Probanden) bestimmte Parameter in verschiedenen Drehbüchern immer gleich verhalten. Dazu wurde die Software R 3.4.1 und das Paket "cluster" (Maechler, Rousseeuw, Struyf, Hubert, & Hornik, 2015) verwendet.

In dem nachfolgenden Kapitel werden die Ergebnisse der verschiedenen Fragestellungen behandelt. In einem ersten Schritt werden die Datenaufbereitung und die deskriptiven Ergebnisse beschrieben. In einem zweiten Schritt werden die Hypothesen geprüft.

### **4.1.3 Ergebnisse**

Das folgende Kapitel wird über die Ergebnisse berichten und die aufgestellten Hypothesen prüfen. Im ersten Schritt werden experimentelle Voraussetzungen geprüft und überprüft, ob die Manipulation in Form von Drehbüchern erfolgreich angewendet werden konnte.

#### **4.1.3.1 Experimentelle Voraussetzungen und Manipulationscheck**

In einem weiteren Schritt wurde mit einem zusätzlichen Computerexperiment die Validität der Videos geprüft, um sicher zu gehen, dass die Ergebnisse stabil sind. Es könnte sein, dass es einen Unterschied dahingehend gibt, ob die Situation erlebt wurde oder nicht. Dies wird in einem zusätzlichen Unterkapitel dargestellt.

##### **4.1.3.1.1 Experimentelle Voraussetzungen und Manipulationscheck**

Zur Testung der Daten muss geprüft werden, ob die experimentellen Voraussetzungen erfüllt worden sind. Diese beinhalten in einem ersten Schritt die Annahme, dass die Persönlichkeitsausprägungen der Probanden, sowie die Einschätzung des Fahrstils einer Normalverteilung folgen. Des Weiteren muss überprüft werden, ob die Wahl des Fahrzeuges einen Einfluss auf das Verhalten der Probanden hatte.

Die gleiche Annahme zur Normalverteilung gilt für die Residuen der Fragen „Sicherheit, fahren zu dürfen“, „Kooperationsbereitschaft“ und „Kooperationsintensität“, da diese in einem späteren Schritt für eine messwiederholte ANOVA verwendet wurden. Nach Field, Miles und Field (2013) müssen die Residuen normalverteilt sein. Für die Überprüfung eignet sich nach Field et al. (2013) der Shapiro-Wilk Test, welcher die Alternativhypothese testet, ob die Daten nicht normalverteilt sind.

Die fünf Persönlichkeitseigenschaften Extraversion, Neurotizismus, Offenheit, Gewissenhaftigkeit sowie Verträglichkeit zeigen folgende Ergebnisse:

- Extraversion ( $S-W = 0,865$ ,  $df = 22$ ,  $p < 0,010$ ),
- Neurotizismus ( $S-W = 0,940$ ,  $df = 22$ ,  $p = 0,202$ ),
- Offenheit ( $S-W = 0,961$ ,  $df = 22$ ,  $p = 0,505$ ),
- Gewissenhaftigkeit ( $S-W = 0,941$ ,  $df = 22$ ,  $p = 0,211$ ),
- Verträglichkeit ( $S-W = 0,969$ ,  $df = 22$ ,  $p = 0,686$ ).

Die Persönlichkeitseigenschaften Neurotizismus, Offenheit, Gewissenhaftigkeit sowie Verträglichkeit folgen nach dem Shapiro-Wilk Test einer Normalverteilung. Nur die Variable Extraversion ist nicht normalverteilt, was allerdings für eine Stichprobe, die auf Freiwilligkeit an einer Untersuchung teilnimmt, nicht zwingend verwunderlich ist. Im Allgemeinen kann angenommen werden, dass die Persönlichkeitseigenschaften zwischen den Probanden ausreichend streuen.

Des Weiteren wurde getestet, ob die Einschätzung des eigenen Fahrstils der Probanden ( $M = 3,95$ ,  $SD = 0,339$ ) nach dem Shapiro-Wilk Test normalverteilt ist. Diese Annahme kann getroffen werden ( $S-W = 0,952$ ,  $df = 22$ ,  $p = 0,351$ ).

Der Einfluss des Kooperationsfahrzeuges (Ford Fiesta vs. VW Passat) wurde mithilfe eines t-Tests für unabhängige Stichproben untersucht mit den AVs „Sicherheit, fahren zu dürfen“ und „Kooperationsbereitschaft“. Diese Testung unterliegt der Annahme, dass es keinen Unterschied zwischen den Variablen



geben darf, wenn davon auszugehen ist, dass das Kooperationsfahrzeug keinen Einfluss auf den Probanden hatte.

Nach dem t-Test gibt es keinen signifikanten Unterschied  $T(264) = -0,174, p = n. s.$  zwischen Kooperationsfahrzeug 1 (VW Passat)  $M = 5,66, SD = 1,537$  und Kooperationsfahrzeug 2 (Ford Fiesta)  $M = 5,44, SD = 1,494$  für die AV „Sicherheit, fahren zu dürfen“.

Nach dem t-Test gibt es keinen signifikanten Unterschied  $T(264) = -0,174, p = n. s.$  zwischen Kooperationsfahrzeug 1  $M = 4,48, SD = 2,184$  und Kooperationsfahrzeug 2  $M = 4,44, SD = 1,998$  für die AV „Kooperationsbereitschaft“.

Auf Basis der Ergebnisse kann angenommen werden, dass es keinen Einfluss des Kooperationsfahrzeuges auf das Entscheidungsverhalten der Probanden gab.

Als letzte Überprüfung werden die Residuen der Fragen „Sicherheit, fahren zu dürfen“, „Kooperationsbereitschaft“, „Unfallrisiko“ und Kooperationsintensität auf ihre Normalverteilung geprüft:

- „Sicherheit, fahren zu dürfen“ ( $S-W = 0,965, df = 22, p = 0,602$ ),
- „Unfallrisiko“ ( $S-W = 0,957, df = 22, p = 0,316$ ),
- „Kooperationsbereitschaft“ ( $S-W = 0,951, df = 22, p = 0,333$ ),
- „Kooperationsintensität“ ( $S-W = 0,969, df = 22, p = 0,682$ )

Für alle vier Variablen kann von einer Normalverteilung der Residuen ausgegangen werden.

Die verschiedenen Angaben der Versuchsleiter wurden nicht auf eine Normalverteilung hin geprüft, weil die Stichprobe mit  $N = 5$  zu klein für eine Voraussetzungsüberprüfung ist. Nach dem Gesetz der großen Zahlen folgen Stichproben erst ab einer Größe von  $\geq 20$  einer Normalverteilung (Bortz & Döring, 2006).

Des Weiteren wird zur Manipulationsüberprüfung eine 2 x 6 messwiederholte ANCOVA durchgeführt mit den Faktoren Drehbuch und Durchgang, um auf der einen Seite zu überprüfen, dass es einen Reihenfolgeeffekt gab, sowie auf der anderen Seite, ob die Manipulation über die Drehbücher wirksam war. Als AVs dienen dafür die Fragen „Sicherheit, fahren zu dürfen“, „Kooperationsbereitschaft“ und „Unfallrisiko“. Als Kovariate fungiert die Angabe der gefahrenen Kilometer pro Woche, um Einflüsse der Fahrerfahrung zu berücksichtigen.

Für die Variable „Sicherheit, fahren zu dürfen“ gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern  $F(1, 3,426) = 4,420, p < 0,05$ , partiellen  $\eta^2 = 0,181$  (siehe Abbildung 33) nicht aber zwischen den Durchgängen  $F(1, 3,426) = 0,087, p < 0,771, \eta^2 = 0,004$ . Aufgrund des partiellen Eta-Quadrates ist von einem starken Effekt der Drehbücher auszugehen.

Der signifikante Effekt zwischen den Drehbüchern wird noch einmal mithilfe eines Post-Hoc Tests näher analysiert (siehe Tabelle 17). Zur besseren Übersicht werden nur signifikante Ergebnisse dargestellt.

Tabelle 17. Bonferroni Post-Hoc Tests für die Variable "Sicherheit, fahren zu dürfen"; Engstelle.

Paare	SE	Mittlere Differenz	p
Drehbuch 1 – Drehbuch 2	,315	-1,091	,037*
Drehbuch 2 – Drehbuch 6	,333	1,273	,016*
Drehbuch 3 - Drehbuch 6	,325	1,045	,065.

Es ist zu erkennen, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen Drehbuch 1 ( $M = 5,092, SD = 1,778$ ) und Drehbuch 2 ( $M = 6,181, SD = 1,098$ ) gibt, zwischen Drehbuch 2 ( $M = 6,181, SD = 1,098$ ) und Drehbuch 6 ( $M = 4,911, SD = 1,612$ ) sowie zwischen Drehbuch 3 ( $M = 5,955, SD = 1,499$ ) und Drehbuch 6 ( $M = 4,911, SD = 1,612$ ). Die Unterschiede zwischen den anderen Drehbüchern

liegen nur auf deskriptiver Ebene vor und konnten nicht mit Post-Hoc-Tests nachgewiesen werden.

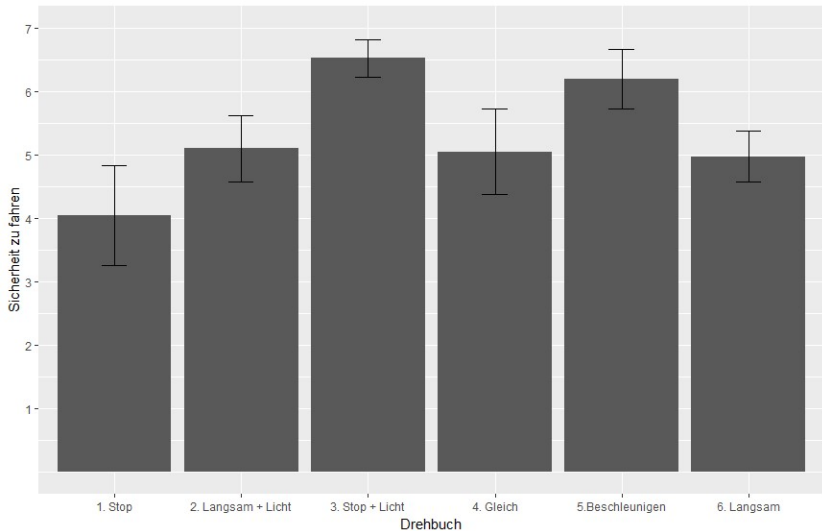


Abbildung 29. Balkendiagramm mit SD für die Variable „Sicherheit, fahren zu dürfen“ im Vergleich zwischen den Drehbüchern; Engstelle.

Für die Variable „Unfallrisiko“ kann ein signifikanter Effekt zwischen den Drehbüchern angenommen werden  $F(1, 3,221) = 6,942, p < 0,000, \eta^2 = 0,258$ ). Die Effektstärke ist als hoch einzuordnen. Der Unterschied zwischen den Durchgängen ist nicht signifikant  $F(1, 3,221) = 0,981, p < 0,334, \eta^2 = 0,047$ . Wie in den vorangegangenen Testungen wurden Post-Hoc-Tests gerechnet, um ein besseres Verständnis zu erlangen (siehe Tabelle 18).

Es ist zu erkennen, dass es signifikante Unterschiede zwischen Drehbuch 1 und Drehbuch 4, 5, sowie zwischen Drehbuch 2 und Drehbuch 5 und zwischen Drehbuch 3 und Drehbuch 4, 5 gibt.

4.1 Experiment I: Engstelle

Tabelle 18. Übersicht über paarweise Vergleiche. Anmerkung: Nur Darstellung der signifikanten Ergebnisse; Engstelle.

Paare	SE	Mittlere Differenz	p
Drehbuch 1 – Drehbuch 4	,267	-,818	,091.
Drehbuch 1 – Drehbuch 5	,324	-1,364	,007*
Drehbuch 2 - Drehbuch 5	,391	-1,432	,023*
Drehbuch 3 – Drehbuch 4	,274	-,886	,063.
Drehbuch 3 - Drehbuch 5	,366	-1,432	,013*

$p < ,1$ , \* $p < ,05$ , \*\* $p < ,01$ , \*\*\* $p < ,001$

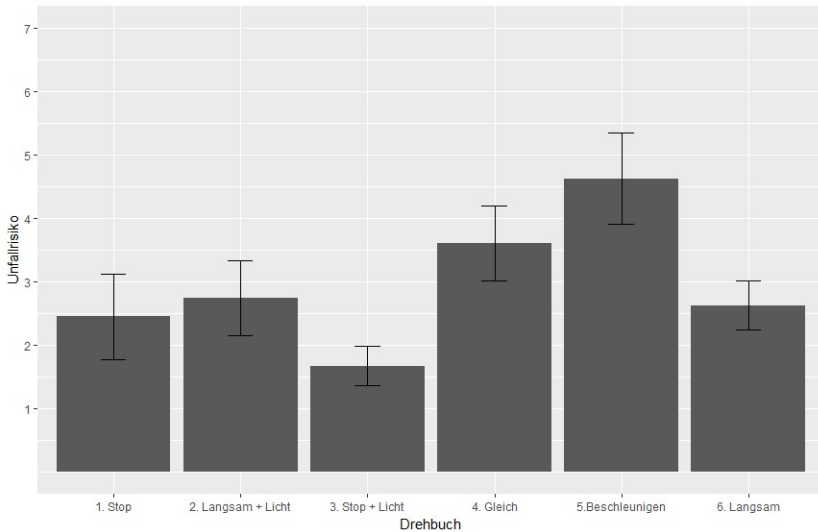


Abbildung 30. Balkendiagramm mit SD zu „Wie hoch schätzen Sie das Unfallrisiko in dieser Situation ein“; Engstelle.

Für die Variable der Kooperationsbereitschaft gibt es sowohl einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Drehbuch  $F(1, 5) = 14,096$ ,  $p < 0,000$ , partielles  $\eta^2 = 0,413$ , als auch einen signifikanten Interaktionseffekt zwischen den Faktoren Drehbuch und Durchgang  $F(1, 5) = 3,884$ ,  $p < 0,003$ ,  $\eta^2 = 0,163$ . Die genauen Ergebnisse sind in Tabelle 19 dargestellt. Da bei dem Auftreten eines Interaktionseffektes mit einer Faktorausprägung  $N > 2$  der Haupteffekt nicht berücksichtigt werden darf, wird im Folgenden nur der Interaktionseffekt diskutiert. Des Weiteren wurde für ein besseres Verständnis in Abbildung 31 der Interaktionseffekt mittels Kontrastanalyse dargestellt. Diese erlaubt, Unterschiede zwischen den Bedingungen darzustellen und ist im Falle eines Interaktionseffektes die beste Methode zur Visualisierung (Field et al., 2013).

Tabelle 19. Übersicht 2 x 6 ANCOVA mit gefahrenen Kilometern in der Woche als Kovariate; Engstelle.

Faktor	SS	df	MS	F	p	Partielles $\eta^2$
Durchgang	,558	1	,588	,254	,620	,013
Durchgang*Km	,587	1	,587	,268	,611	,013
Drehbuch	249,296	5	49,859	14,096	,000***	,413
Drehbuch*Km	8,099	3.873	2,091	,458	,807	,022
Durchgang*Drehbuch	35,336	5	7,076	3,884	,003**	,163
Durchgang*Drehbuch*Km	17,429	5	3,486	1,916	,098.	,087
Fehler Reihenfolge	43,901	20	2,195			
Fehler Drehbuch	353,723	100	3,537			

\* $p < ,05$ , \*\*  $p < ,01$ , \*\*\*  $p < ,001$

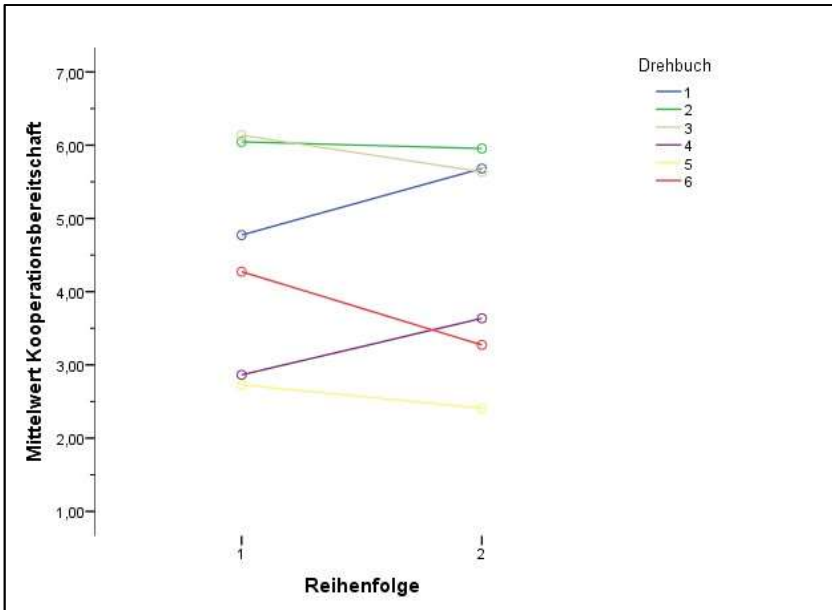


Abbildung 31. Kontrastanalyse des Interaktionseffektes Durchgang x Drehbuch; Engstelle.

Die Kontrastanalyse zeigt, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen Drehbuch 1 und Drehbuch 6 gibt ( $F(1, 20) = 7,621, r = 0,01$ ) sowie zwischen Drehbuch 4 und Drehbuch 6 ( $F(1, 20) = 10,869, r = 0,1$ ). Orientierend an Field et al. (2013) kann bei einem  $r$  von  $\geq 0,1$  von einer kleinen Effektstärke ausgegangen werden. In Bezug auf die beiden berichteten signifikanten Effekte in der Kontrastanalyse kann von einem kleinen bzw. sehr kleinen Effekt ausgegangen werden, welcher für die weitere Analyse nicht berücksichtigt werden muss. Zu einem besseren Verständnis und für die Vollständigkeit sind in Abbildung 32 noch einmal mit einem Balkendiagramm die Mittelwertunterschiede aufgetragen.

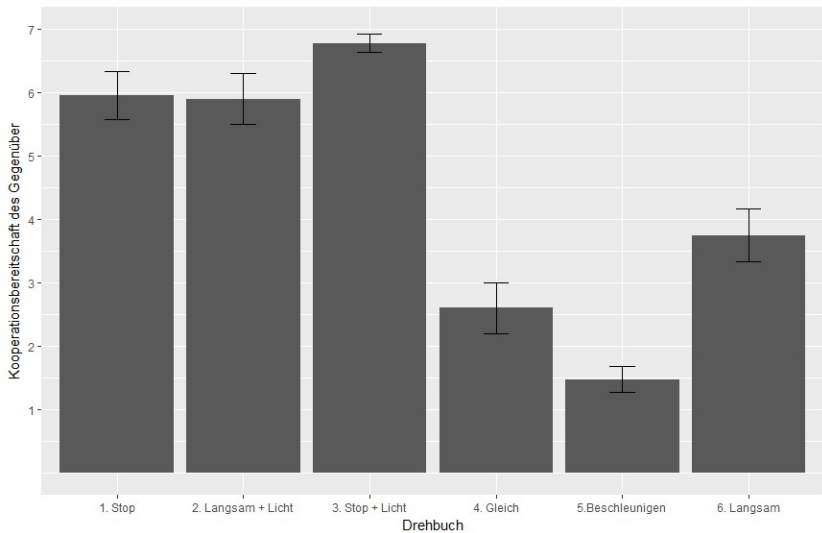


Abbildung 32. Balkendiagramm mit SD zu „Wie schätzen Sie die Kooperationsbereitschaft des Gegenübers ein?“; Engstelle.

Basierend auf den Ergebnissen kann gesagt werden, dass die Stichprobe der Probanden verwendet werden kann, da die Persönlichkeitseigenschaften normalverteilt sind. Des Weiteren gab es keinen Einfluss des Kooperationsfahrzeuges auf das Entscheidungsverhalten. Mithilfe einer ANCOVA wurde ein Manipulationscheck durchgeführt. Es kann aufgezeigt werden, dass die Drehbücher unterschiedliche Einschätzungen ergaben und somit erfolgreich durchgeführt wurden. Für die weiteren Ergebnisse kann mit den gewonnenen Daten gerechnet werden.

#### 4.1.3.1.2 Validitätsprüfung der Videos aus Experiment I

Unter wissenschaftlicher Anleitung des Autors hat Hess (2016) die Validität der Videos dahingehend geprüft, ob es einen Einfluss auf die Beurteilung der Videos hat, wenn der Proband die Situation vorher erlebt hat oder nicht. Die Daten der Abschlussarbeit wurden noch einmal von dem Autor neu berechnet.

Um die Validität der Videos zu prüfen, führte Hess (2016) eine Computerstudie durch, in der die Probanden die Videos betrachteten und die gleichen Fragen beantworteten wie die Probanden aus der Ursprungstudie.

Zur besseren Übersicht wird die Studie in einer verkürzten Form dargestellt. Die vollständige Beschreibung findet sich in Hess (2016).

#### *4.1.3.1.2.1 Methode*

Insgesamt haben an der Studie  $N = 20$  Probanden ( $N = 8$  weiblich,  $N = 12$  männlich) teilgenommen. Der Altersdurchschnitt betrug  $M = 24,25$  Jahre ( $SD = 1,67$ ). Die durchschnittliche Fahrtleistung betrug  $M = 48,90$  Kilometer ( $SD = 98,79$ ).

Das Experiment wurde mithilfe der Experimentalsoftware Opensesame (Version 3.1.2 Jazzy James) in den Versuchslaboren des ifabs durchgeführt. Es konnten parallel zwei Probanden an dem Experiment teilnehmen.

Es wurde für jedes Drehbuch ein charakteristisches Video ausgesucht und zur Präsentation der Probanden aufbereitet. Unter charakteristisch wird ein Video verstanden, welches von VL2 in der Umsetzung als sehr gut eingestuft wurde. Da die Aufnahmen mit einer GoPro 2 Hero gemacht wurden, mussten diese noch einmal um  $180^\circ$  gedreht werden, damit sie in der richtigen Perspektive gezeigt werden konnten.

Nach einer Begrüßung (siehe Anhang C) durch den Versuchsleiter, wurden die Probanden vollständig durch das Experiment geführt.

Das Experiment startete mit einem Testvideo und den entsprechenden Fragen. Das Testvideo und die Experimentalvideos stoppten jeweils kurz vor der Aktion des Gegenübers, sodass nicht erkenntlich war, welche Aktion als nächstes folgen würde. Es wurde erläutert, dass die Probanden jedes Video nur einmal betrachten können und sich dann entscheiden müssen zu fahren oder nicht zu fahren. Nach dem Testlauf begann das Experiment. Den Probanden wurden dabei zwölf Videos präsentiert, sodass jedes Drehbuch zweimal vorhanden war. Die Präsentation der Videos erfolgte in randomisierter Reihenfolge. Nach jedem Video mussten die Probanden nennen, an welcher Position sie fahren



würden, wie sicher sie sich bei der Entscheidung fühlen, sowie das Unfallrisiko, die Kooperationsbereitschaft und Intensität einschätzen (methodische Herleitung siehe Kapitel 4.1.2). Die Fragen waren somit die gleichen wie in dem Experiment. Des Weiteren wurde gefragt, welche Verhaltensweisen des Gegenübers zu der Entscheidung beigetragen haben. Nach den zwölf Videos mussten die Probanden noch einen demographischen Fragebogen und den NEO-FFI in der Kurzform (Borkenau und Ostendorf, 1993) ausfüllen. Insgesamt dauerte das Experiment zwischen 20 und 30 Minuten.

Da es sich um andere Probanden handelt, können die Daten nicht direkt miteinander verglichen werden (Bortz et al., 2006). Somit werden die Ergebnisse nur qualitativ miteinander verglichen und dahingehend überprüft, ob die Daten ähnliche Muster aufzeigen. Diese Art des Vorgehens wird ebenfalls von Field et al. (2010) empfohlen.

#### *4.1.3.1.2.2 Ergebnisse*

Die Daten der doppelten Drehbücher wurden gemittelt und zusammengefasst, da es keine signifikanten Unterschiede gab (siehe hierzu Hess, 2016). Für die Fragen „Sicherheit, fahren zu dürfen“, „Unfallrisiko“ und „Kooperationsbereitschaft“ wurde eine einfaktorielle messwiederholte ANOVA mit dem Faktor Drehbuch und den genannten AVs (siehe Kapitel 4.1.3.1.2.1) berechnet.

Die einfaktorielle ANOVA ist robust gegenüber der Verletzung der Normalverteilung, sodass auf eine Überprüfung verzichtet werden kann (Field et al., 2013). Troncoso, Skidmore & Thomson (2013) kamen zu dem Schluss, dass das partielle  $\eta^2$  zum Berichten der Effektstärke einer einfaktoriellen ANOVA nicht geeignet ist, deswegen wird im Folgenden für diese Analyse das Effektmaß  $\omega^2$  verwendet. Für die Variable „Sicherheit, fahren zu dürfen“ zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den Drehbüchern  $F(5,114) = 11,896, p = .000, \omega^2 = 0,312$ . Der Effekt ist nach Troncoso et al. (2013) als sehr groß einzuordnen. Die Unterschiede können in Abbildung 33 nachvollzogen werden.

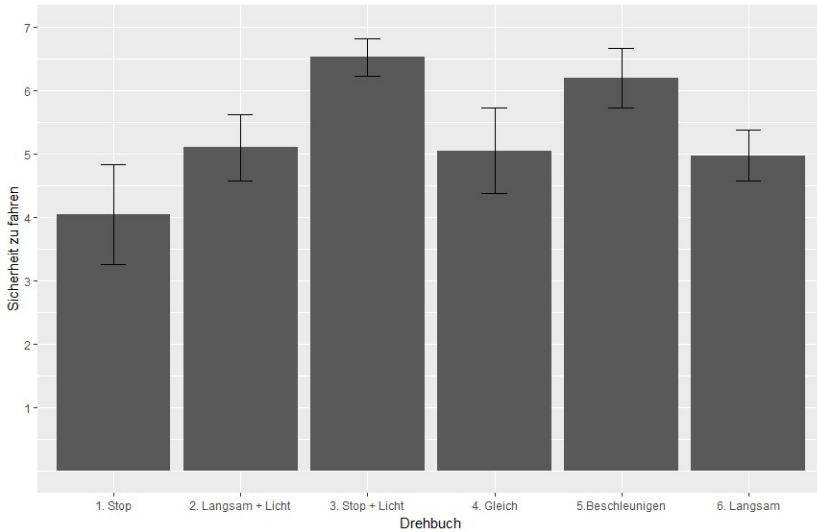


Abbildung 33. Mittelwertdiagramme mit Standardabweichung für die Variable „Sicherheit, fahren zu dürfen“; Validitätsprüfung; Engstelle.

Die Variable Unfallrisiko unterscheidet sich signifikant zwischen den Drehbüchern  $F(5,114) = 14,462, p = .000, \omega^2 = 0,359$ . Das Omegaquadrat zeigt einen großen Effekt auf. In Abbildung 34 sind die Mittelwertunterschiede dargestellt.

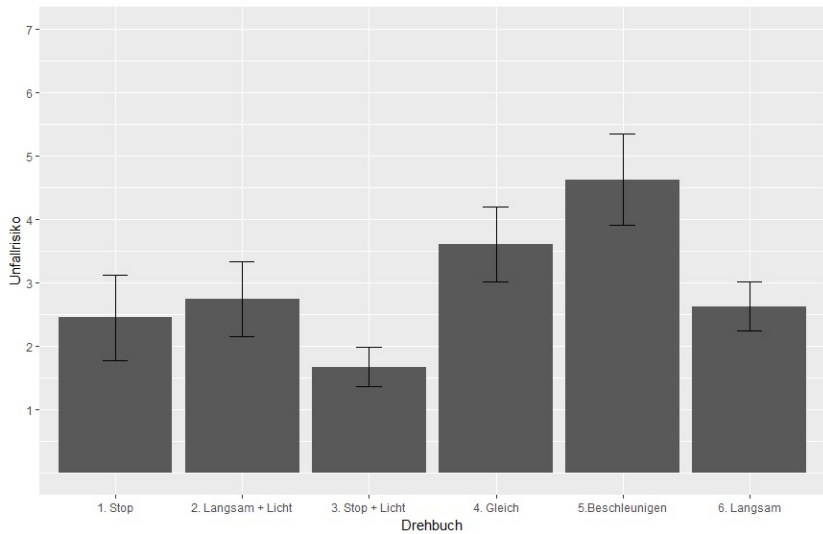


Abbildung 34. Mittelwertdiagramme mit Standardabweichung für die Variable „Unfallrisiko“; Validitätsprüfung; Engstelle.

Die Variable Kooperationsbereitschaft unterscheidet sich signifikant zwischen den Drehbüchern  $F(5,114) = 166,167$ ,  $p = .000$ ,  $\omega^2 = 0,873$ . Das Omegaquadrat ist als sehr groß einzuschätzen. In Abbildung 35 sind die Mittelwertunterschiede dargestellt.

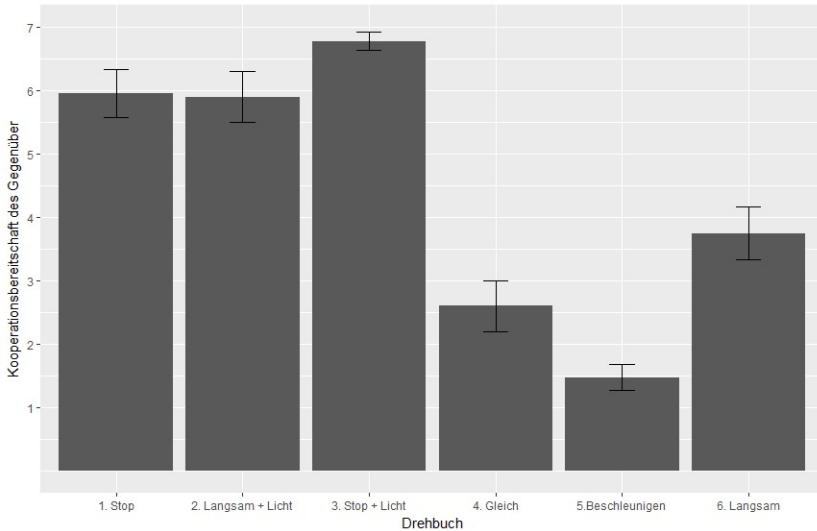


Abbildung 35. Mittelwertdiagramme mit Standardabweichung für die Variable "Kooperationsbereitschaft"; Validitätsprüfung; Engstelle.

#### 4.1.3.1.2.3 Einordnung der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Computerexperimentes zeigen anhand der Abbildung 33, Abbildung 34, Abbildung 35 und den berichteten Ergebnissen, dass diese sich in einem ähnlichen Muster verhalten, wie die Ergebnisse aus dem zu überprüfenden Experiment. Verglichen mit den Abbildungen aus Kapitel 4.1.3.1.1 zeigen die Einschätzungen der Probanden identische Muster auf.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Videos valide sind. Die Detailergebnisse können in Hess (2016) nachvollzogen werden.

#### 4.1.3.2 Ergebnisse Fragestellung A

Die Fragestellung A untersucht das Entscheidungsverhalten und prüft dabei, ob die verschiedenen Annäherungsweisen in Form von Drehbüchern einen Einfluss auf die Entscheidung haben, wann gefahren wird. Dafür wurde eine

logistische Regression berechnet mit dem Kriterium der Reihenfolge (als erstes oder zweites fahren) und den Prädiktoren der Kooperationsbereitschaft, sowie den kategorialen Prädiktoren der Drehbücher. Die Drehbücher werden in diesem Modell als Kommunikationsset bezeichnet. Das Modell inklusive der Ergebnisse ist in Abbildung 36 präsentiert. Die logistische Regression testet in diesem Fall die Wahrscheinlichkeit, als erstes zu fahren.

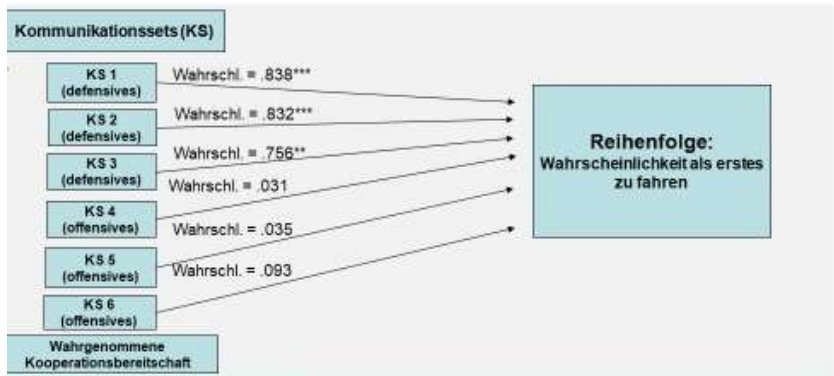


Abbildung 36. Modell der Fragestellung A; Engstelle.

Die Vorhersagegüte kann in Abbildung 37 noch einmal im Detail betrachtet werden und liegt bei 90,60 %. Des Weiteren liegen die Pseudomaße in einem sehr hohen Bereich:

- Cox & Snell Index: 0,552,
- Nagelkerke Index: 0,740,
- Mc Fadden's R<sup>2</sup>: 0,587.

Auf Basis der Ergebnisse kann Hypothese 1-1, dass die defensiven Drehbücher (1, 2, 3) dazu führen mit einer höheren Wahrscheinlichkeit als erstes zu fahren, angenommen werden. Die Wahrscheinlichkeit ist für Drehbuch 1 = 0,838 am höchsten, für Drehbuch 2 etwas geringer = 0,832 und für Drehbuch 3 = 0,756 am geringsten, sowie signifikant verschieden in dem Vergleich zu den defensiven Drehbüchern.

Hypothese H2-1, dass die offensiven Drehbücher dazu führen, dass mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit als erstes gefahren wird, kann angenommen werden. Keine der drei Kommunikationssets kann eine signifikante Wahrscheinlichkeit aufweisen.

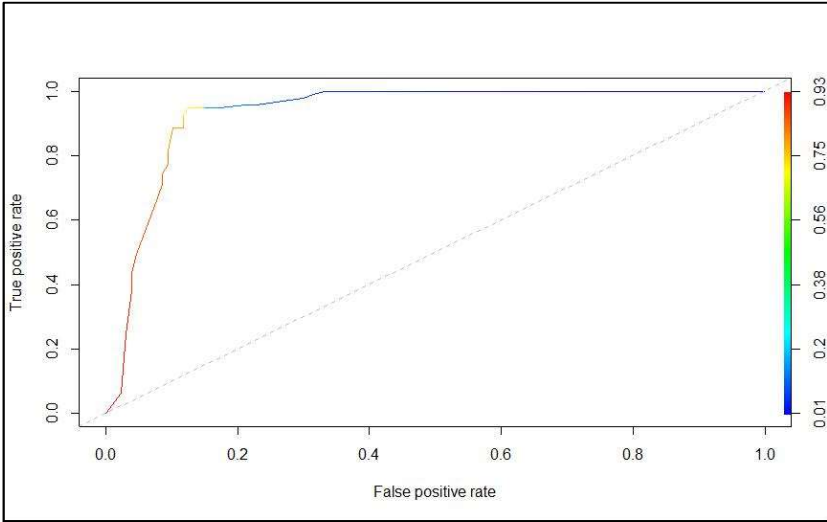


Abbildung 37. Klassifikationsgüte des Modells; Engstelle.

Des Weiteren wird in Abbildung 38 noch einmal die vorhergesagte Wahrscheinlichkeit abgebildet, mit welchem Kommunikationsset es am wahrscheinlichsten ist, dass als erstes gefahren wird unter dem Einfluss der wahrgenommenen Kooperationsbereitschaft. Es ist zu erkennen, dass, wenn die wahrgenommene Kooperationsbereitschaft als sehr niedrig empfunden wird, auch die defensiven Drehbücher mit einer deutlich geringeren Wahrscheinlichkeit dazu führen, dass als erstes gefahren wird. Gleichzeitig steigt für die offensiven Drehbücher die Wahrscheinlichkeit, dass als erstes gefahren wird, wenn die Kommunikationssets als kooperativer empfunden werden.

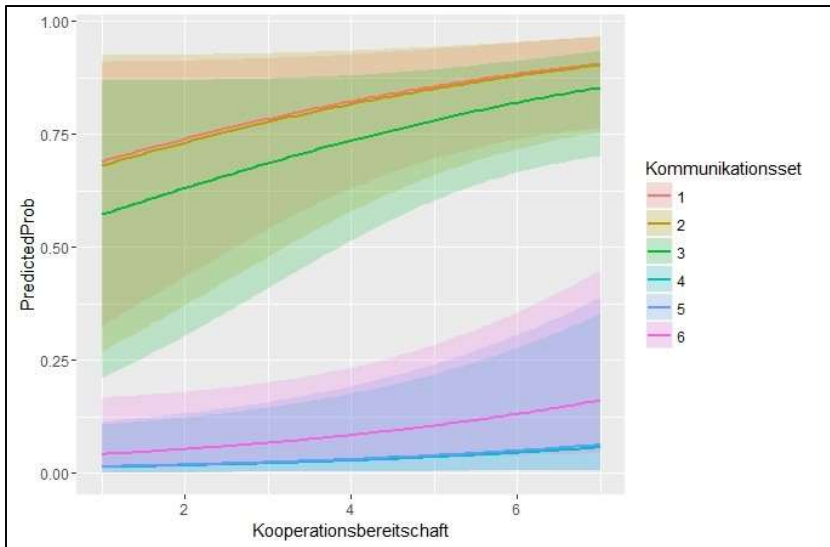


Abbildung 38. Vorhergesagte Wahrscheinlichkeit zu fahren für die Kommunikationssets, unter dem Einfluss der wahrgenommenen Kooperationsbereitschaft; Engstelle.

#### 4.1.3.3 Ergebnisse Fragestellung B

Zur Testung von Fragestellung B wurde in einem ersten Schritt überprüft, ob die Verteilung der Parameter einer Normalverteilung folgt. Es gilt anzumerken, dass nur 20 der 22 Probanden aufgrund fehlender Datensätze in der Analyse beachtet werden konnten. Dies wurde einmal getrennt für die Bedingungen Missionen und Drehbücher durchgeführt.

Für die Missionen folgen, auf Basis eines Shapiro-Wilk Tests, alle Parameter einer Normalverteilung (siehe Tabelle 20).

Tabelle 20. Normalverteilung der Fahrparameter für die Engstelle.

Fahrparameter	Statistik	df	p
ZERO	,945	20	,436
SDST	,937	20	,812
HFC	,931	20	,163
MB	,966	20	,659
ABD	,942	20	,257
DMM	,957	20	,659

Die Residualverteilungen der einzelnen Parameter folgen nur teilweise einer Normalverteilung (Tabelle 21). Die Residuen der Parameter SDST, ABD und DMM folgen nicht einer Normalverteilung. Nach Field (2013) ist der Shapiro-Wilk-Test, im Falle einer nicht normalen Verteilung der Stichprobe, eine Möglichkeit, um diese zu prüfen. Alternativ kann die Normalverteilung mit einem optischen (qualitativen) Test geprüft werden. Im Anhang (Anhang C) sind die Histogramme abgebildet. Anhand dieser kann nachvollzogen werden, dass eine Normalverteilung vorliegen könnte. Des Weiteren gilt zu beachten, dass bei einer ANOVA die Verletzung der Normalverteilung nicht so relevant ist, da diese bei einer ausreichend großen Stichprobe ( $N > 20$ ) robust genug ist (Field et al., 2013, Bortz et al., 2006).

Es gilt zu beachten, dass gerade für faktorbasierte Auswertungen die Residualverteilung auch für die Bedingungen untersucht werden (Field et al., 2013).

Tabelle 21. Normalverteilung der Residuen der Fahrparameter für die Engstelle.

Fahrparameter	Statistik	df	p
ZERO	,987	120	,304
SDST	,968	120	,006
HFC	,981	120	,080
MB	,985	120	,217
ABD	,957	120	,001
DMM	,976	120	,028



Aufgrund der Streckenabhängigkeit der Parameter ZERO und SDST (Knappe, 2006) wurden alle Parameter mithilfe des CAN-Buses nur bis zu dem Zeitpunkt des Durchfahrens der Engstelle ausgewertet, ohne den Teil, an dem diese durchfahren wurde.

Hypothese 1-1 prüft die Frage, ob es einen Unterschied zwischen den Missionen in den Parametern gibt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22. t-test für Hypothese 1-1, Fragestellung B; Engstelle.

Paar	t	df	p	r
Zero defensiv – Zero offensiv	6,438	19	,000	,828
SDST defensiv – SDST offensiv	-3,204	19	,005	,593
HFC defensiv – HFC offensiv	4,866	19	,000	,745
MB defensiv – MB offensiv	-6,215	19	,000	,819
ABD defensiv – ABD offensiv	-6,798	19	,000	,842
DMM defensiv – DMM offensiv	-8,454	19	,000	,888

\*p < ,05, \*\* p < ,01, \*\*\* p < ,001

Es ist zu erkennen, dass für jeden Parameter die Hypothese angenommen werden kann und es einen signifikanten Unterschied zwischen den Missionen gibt. Das heißt die Parameter unterscheiden sich zwischen einer offensiven und defensiven Ausrichtung. Nach Cohen (1992) indiziert ein  $r$  zwischen 0 und 0,1 einen kleinen Effekt, ein  $r$  zwischen 0,1 und 0,3 einen mittleren Effekt und ab 0,5 einen starken Effekt. Für jeden Parameter kann von einem starken Effekt ausgegangen werden.

Hypothese 2-1-1 testet die Parameter auf einen Unterschied zwischen den Drehbüchern. Da der Manipulationscheck gezeigt hat, dass es keinen Unterschied zwischen dem ersten und zweiten Durchgang gibt, wird auf diesen Faktor verzichtet und eine einfaktorielle messwiederholte ANOVA berechnet. Bevor die ANOVA berechnet werden kann, muss eine Überprüfung der Sphärizität mit dem Mauchly-Test durchgeführt werden (Tabelle 23).

Die Parameter: ZERO, SDST sowie ABD verletzen die Annahme der Sphärität. Field et al. (2013) empfiehlt bei der Verletzung dieser Voraussetzung eine Anpassung der Freiheitsgrade über die Greenhouse-Geißer-Anpassung oder die Huhyn-Feldt-Anpassung. Die Greenhouse Geißer-Anpassung wird bei einem Epsilon im Bereich von  $.50 < \epsilon < .75$  verwendet und die Huhyn-Feld-Anpassung bei einem Epsilon im Wertebereich von  $.75 < \epsilon < 1$ . Für die Parameter war das Epsilon immer im Wertebereich der Greenhouse-Geißer-Anpassung (Feldberg, 2017). Aufgrund dessen wurde in der nachfolgenden Analyse die Greenhouse-Geißer-Anpassung berücksichtigt, sofern die Voraussetzung verletzt worden ist.

Tabelle 23. Überprüfung der Varianzhomogenität für die Fahrparameter; Engstelle.

Parameter	$\chi^2$	p
ZERO	28,45	,013**
SDST	25,08	,035**
HFC	19,11	,165
MB	20,30	,124
ABD	40,70	,000***
DMM	18,74	,179

\*p < ,05, \*\* p < ,01, \*\*\* p < ,001

Für eine bessere Übersicht werden die verschiedenen Parameter in der Tabelle 24 zusammengefasst und aufgezeigt.

Tabelle 24. Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA für die Fahrparameter; Engstelle.

Parameter	Faktor	df	Quadrat- summe	F	p	Partielles eta quadrat
Zero	Drehbuch	3,086	1783,594	16,767	,000***	,469
SDST	Drehbuch	3,413	2524,80	4,187	,007**	,181
HFC	Drehbuch	5	8249	10,249	,000***	,350
MB	Drehbuch	5	1360,716	8,216	,000***	,303
ABD	Drehbuch	3,184	4777,360	19,410	,000***	,505
DMM	Drehbuch	5	2199,030	21,318	,000***	,529

\*p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001

Alle sechs Parameter zeigen in der ANOVA hochsignifikante Unterschiede. Somit kann die Hypothese H2 angenommen und die Nullhypothese abgelehnt werden. Im Folgenden werden die Unterschiede zwischen den Drehbüchern dargelegt. Da diese nicht mehr Teil der eigentlichen Fragestellung sind, werden die paarweisen Vergleiche in Unterkapiteln vorgestellt.

#### 4.1.3.3.1 Fahrparameter Nulldurchgänge des Lenkwinkels

Für den Fahrparameter ZERO wurden noch einmal paarweise Vergleiche mit der Bonferroni-Korrektur durchgeführt (Abdi, 2007). In der nachfolgenden Tabelle sind alle signifikanten paarweisen Vergleiche beschrieben (Tabelle 25).

Tabelle 25. Paarweise Vergleiche mithilfe der Bonferroni-Korrektur für den Parameter ZERO; Engstelle.

Vergleichspaare	Mittelwertdifferenz	Standardfehler	p
Drehbuch 1 – Drehbuch 4	6,082	1,259	,002
Drehbuch 1 – Drehbuch 5	5,404	1,354	,012
Drehbuch 1 – Drehbuch 6	8,527	1,226	,000
Drehbuch 2 – Drehbuch 4	7,399	1,635	,003
Drehbuch 2 – Drehbuch 5	6,722	1,760	,017
Drehbuch 2 – Drehbuch 6	9,744	1,788	,000
Drehbuch 3 – Drehbuch 4	7,048	1,545	,003
Drehbuch 3 – Drehbuch 5	6,370	1,481	,006
Drehbuch 3 – Drehbuch 6	9,492	1,867	,001

Mithilfe von einem Balkendiagramm werden die Unterschiede noch einmal veranschaulicht (siehe Abbildung 39). Es wird ersichtlich, dass die Unterschiede aufgrund der Missionen offensiv (Drehbuch 4, 5, 1), defensiv (Drehbuch 1, 2, 3) zustande kommen.

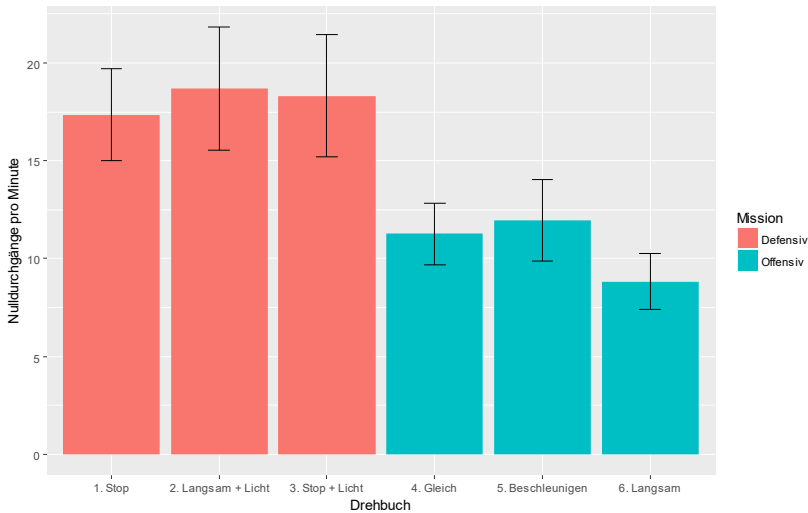


Abbildung 39. Balkendiagramm mit Standardabweichung für den Fahrparameter Zero; Engstelle.

#### 4.1.3.3.2 Fahrparameter Standardabweichung des Lenkwinkels

Der Fahrparameter SDST (siehe Tabelle 24) zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Drehbüchern. Die Ergebnisse können dem Anhang (Anhang C) entnommen werden. Aufgrund dessen wird der Fahrparameter nicht weiter in den Ergebnissen beachtet.

#### 4.1.3.3.3 Fahrparameter Hochfrequenz-komponenten des Lenksignals

Der Ergebnisse der paarweisen Vergleiche werden in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26. Paarweise Vergleiche mithilfe der Bonferroni-Korrektur für den Parameter HFC; Engstelle.

Vergleichspaare	Mittelwertdifferenz	Standardfehler	p
Drehbuch 1 – Drehbuch 4	,002	,000	,000
Drehbuch 2 – Drehbuch 4	,002	,000	,000
Drehbuch 2 – Drehbuch 5	,001	,000	,011
Drehbuch 2 – Drehbuch 6	,002	,000	,003

Des Weiteren wird zur besseren Übersicht ein Balkendiagramm präsentiert (Abbildung 40).

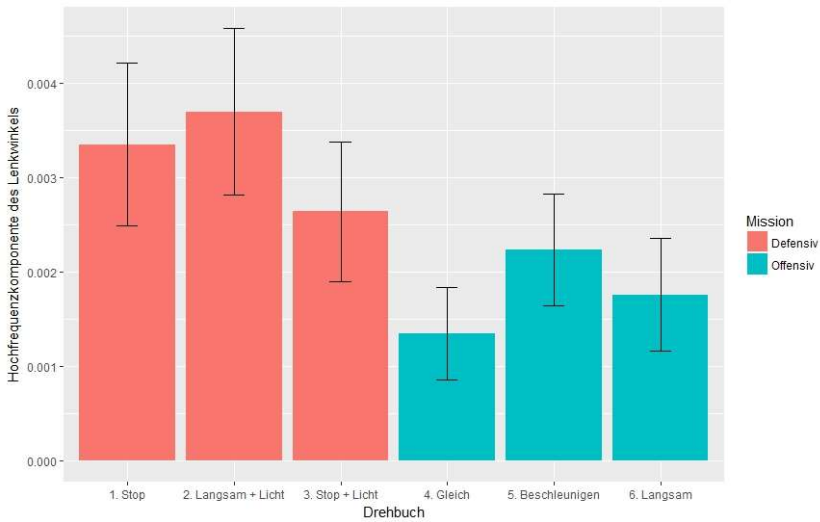


Abbildung 40. Balkendiagramm mit Standardabweichung für den Fahrparameter HFC; Engstelle.

Anhand der Ergebnisse wird ersichtlich, dass der Effekt insgesamt als sehr groß einzustufen ist und die Unterschiede zwischen den Drehbüchern nicht systematisch gehäuft auftreten, da die einzelnen Drehbücher eine große Standardabweichung aufweisen.

#### 4.1.3.3.4 Fahrparameter Maximale Bremsstärke

Die paarweisen Vergleiche für die maximale Bremskraft werden in Tabelle 27 dargestellt.

Tabelle 27. Paarweise Vergleiche mithilfe der Bonferroni-Korrektur für den Parameter MB; Engstelle.

Vergleichspaare	Mittelwertdifferenz	Standardfehler	p
Drehbuch 1 – Drehbuch 4	-7,109	2,061	,040
Drehbuch 1 – Drehbuch 5	-7,166	1,678	,006
Drehbuch 1 – Drehbuch 6	-7,375	1,472	,001
Drehbuch 2 – Drehbuch 4	-7,249	1,976	,024
Drehbuch 2 – Drehbuch 5	-7,306	1,521	,002
Drehbuch 2 – Drehbuch 6	-7,515	2,063	,026
Drehbuch 3 – Drehbuch 5	-5,128	1,208	,007

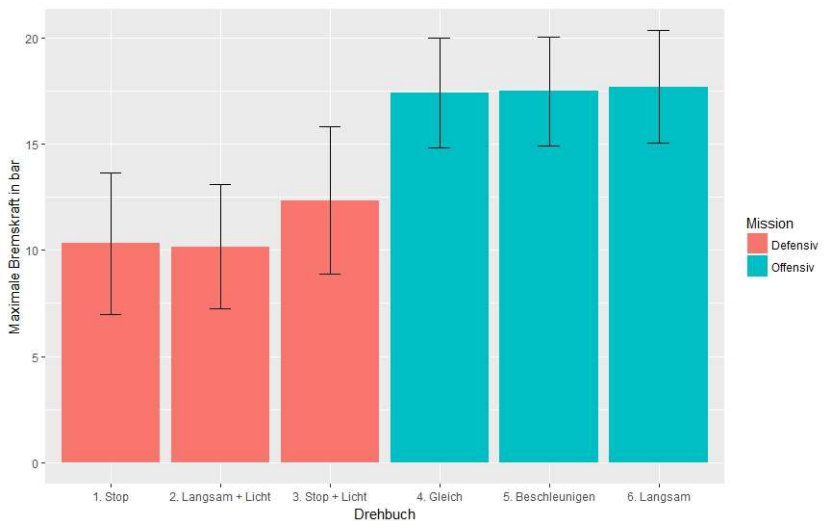


Abbildung 41. Balkendiagramm mit Standardabweichung für den Fahrparameter MB; Engstelle.

Anhand der Ergebnisse kann erkannt werden, dass der Parameter MB hauptsächlich zwischen den Missionen, nicht aber zwischen den Drehbüchern differenzieren kann.

#### 4.1.3.3.5 Fahrparameter Anteil der Bremsdauer

In Tabelle 28 werden die paarweisen Vergleiche für den Parameter ABD dargestellt. Des Weiteren sind in Abbildung 42 die Mittelwerte mit Standardabweichung dargestellt. Auch bei dem Parameter ABD wird deutlich, dass ein Großteil der Unterschiede auf den unterschiedlichen Missionen, nicht aber auf den Drehbüchern zurückzuführen ist.

Tabelle 28. Paarweise Vergleiche mithilfe der Bonferroni-Korrektur für den Parameter ABD; Engstelle.

Vergleichspaare	Mittelwertdifferenz	Standardfehler	p
Drehbuch 1 – Drehbuch 4	-10,983	2,353	,003
Drehbuch 1 – Drehbuch 5	-12,049	2,435	,001
Drehbuch 1 – Drehbuch 6	-14,670	2,417	,000
Drehbuch 2 – Drehbuch 4	-11,332	2,744	,009
Drehbuch 2 – Drehbuch 5	-12,398	2,662	,003
Drehbuch 2 – Drehbuch 6	-15,018	2,502	,000
Drehbuch 3 – Drehbuch 4	-10,157	2,110	,002
Drehbuch 3 – Drehbuch 5	-11,223	2,032	,000
Drehbuch 3 – Drehbuch 6	-13,843	2,268	,000

Abbildung 42. Balkendiagramm mit Standardabweichung für den Fahrparameter ABD; Engstelle.

#### 4.1.3.3.6 Fahrparameter Differenz aus Minimal- und Maximalgeschwindigkeit

Die paarweisen Vergleiche sind in Tabelle 29 abgebildet. In Abbildung 43 ist das Balkendiagramm mit Mittelwerten abgebildet.



Tabelle 29. Paarweise Vergleiche mithilfe der Bonferroni-Korrektur für den Parameter DMM; Engstelle.

Vergleichspaare	Mittelwertdifferenz	Standardfehler	p
Drehbuch 1 – Drehbuch 4	-9,502	1,538	,000
Drehbuch 1 – Drehbuch 5	-7,729	1,260	,000
Drehbuch 1 – Drehbuch 6	-10,734	1,532	,000
Drehbuch 2 – Drehbuch 4	-8,832	1,272	,000
Drehbuch 2 – Drehbuch 5	-7,058	1,231	,000
Drehbuch 2 – Drehbuch 6	-10,063	1,893	,001
Drehbuch 3 – Drehbuch 4	-6,924	1,093	,000
Drehbuch 3 – Drehbuch 5	-5,150	1,381	,021
Drehbuch 3 – Drehbuch 6	-8,155	1,904	,006

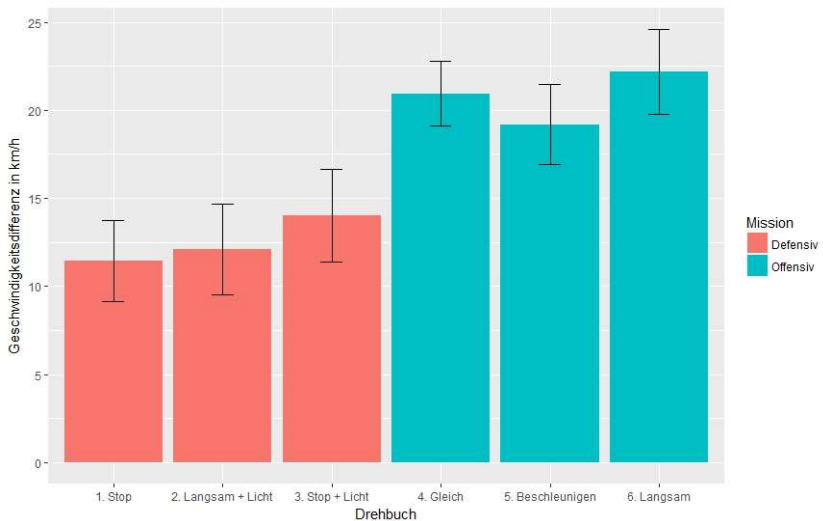


Abbildung 43. Balkendiagramm mit Standardabweichung für den Fahrparameter DMM; Engstelle.

In dem nachfolgenden Kapitel sind die explorativen Ergebnisse dargestellt, welche auffällig sind, nicht aber mit einer Hypothese untersucht worden sind.

## 4.1.3.3.7 Explorative Ergebnisse

In einer weiteren Analyse wurde untersucht, inwiefern die Parameter mit den subjektiven Einschätzungen zusammenhängen. Des Weiteren wurden die subjektiven Einschätzungen bezüglich der Kooperationsbereitschaft durch die Versuchsleiter sowie die Reihenfolge der Probanden in Zusammenhang gebracht. Dafür wurde der Korrelationskoeffizient nach Spearman verwendet, da dieser für Parameter unterschiedlicher Skalen am besten geeignet ist (Field et al., 2013). Die Ergebnisse sind in Tabelle 30 dargestellt. Es wurde ein Signifikanzniveau von  $p < ,05$  verwendet.

Tabelle 30. Spearman Korrelationskoeffizienten der subjektiven Einschätzungen mit den verschiedenen Fahrparametern; Engstelle.

	SDST	ZERO	HFC	MB	ABD	DMM
Sicherheit, zu fahren	-,167	,024	,105	-,136	-,154	-,126
Unfallrisiko	,043	-,258**	-,176	,281**	,242**	,290**
Fahrtreihenfolge	,185*	-,592**	-	,470**	,613**	,662**
			,402**			
Kooperationsbereitschaft des Gegenübers	-,274**	,395**	,306**	-,412**	-,505**	-,508**
Kooperationsintensität	-,267**	,302**	,289**	-,260**	-,335**	-,418**
Kooperationsbereitschaft des Probanden	-,048	-,046	-,067	-,099	-,192**	,034

Es ist zu erkennen, dass keiner der Parameter mit der Sicherheit, fahren zu dürfen korreliert. Ebenso verhält es sich mit den subjektiven Einschätzungen der Kooperationsbereitschaft von den Versuchsleitern. Das Unfallrisiko korreliert negativ mit dem Lenkwinkelparameter Zero ( $r_s = -0.258$ ,  $p < 0.01$ ) und positiv mit den Brems und Geschwindigkeitsparametern.

Die Bedeutung der Korrelationen wird in dem Fazit (Kapitel 4.1.4) näher diskutiert.

#### 4.1.3.4 Ergebnisse Fragestellung C

In Fragestellung C wurden die Eye-Tracking-Daten näher untersucht. Hypothese H1-1 untersuchte die Frage, ob es einen Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich der Anzahl der Fixationen gibt. Drehbuch 1 wird im Folgenden abgekürzt mit „1 = Stop“, Drehbuch 2 mit „2. Langsam + Licht“, Drehbuch 3 mit „3. Stop + Licht“, Drehbuch 4 mit „4. Gleich“, Drehbuch 5 „5. Beschleunigen“ und Drehbuch 6 mit „6. Langsam“. Die Anzahl der Fixationen ist dabei normiert auf Fixationen pro Sekunde, um die unterschiedlich langen Durchfahrten vergleichbar zu machen.

Hypothese H1-1 muss verworfen werden mit  $F(5,19) = 1,88$ , n.s., partielles  $\eta^2 = ,095$ . Sowohl der p-Wert als auch das partielle Eta-Quadrat weisen darauf hin, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern gibt. Abbildung 44 verdeutlicht die geringen Unterschiede zwischen den Drehbüchern.

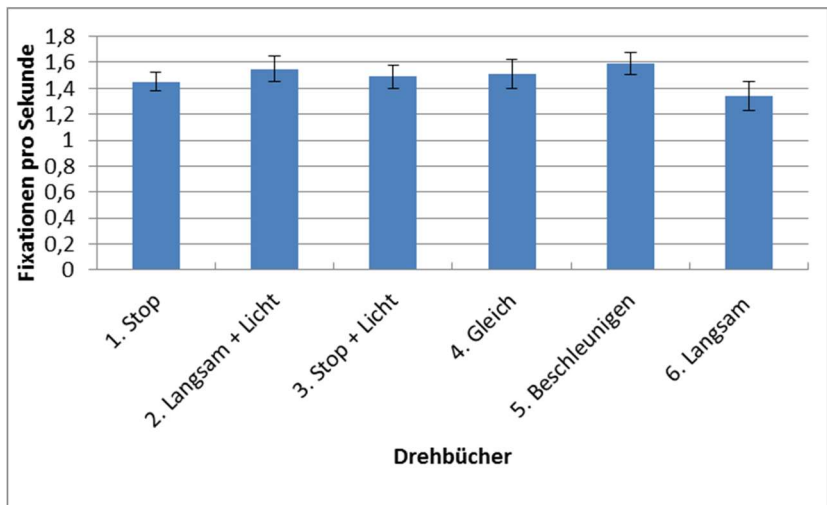


Abbildung 44. Mittelwertdiagramm für Fixationen pro Sekunde; Engstelle.

Hypothese H2-1 untergliedert sich in drei Unterhypothesen (H2.1, H2.2 und H2.3). Die Ergebnisse sind in Tabelle 31 zusammengefasst.

Tabelle 31. Ergebnisse der ANOVA für die AV „Anzahl der Fixationen“ hinsichtlich der UV „Drehbuch“; Engstelle.

Area of interest	df	F	p	partielles $\eta^2$
Fahrbahn	2,703	9,614	,000***	,348
Gegenüber	5,000	8,711	,000***	,326
Hindernis	5,000	1,982	,089.	,099

. p < ,1, \*p < .05, \*\* p < ,01, \*\*\* p < ,001

Auf Basis der Ergebnisse können Hypothese H 2.1 und H 2.2, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen Drehbüchern gibt, hinsichtlich der Anzahl der Fixationen auf die Fahrbahn und dem Gegenüber, angenommen werden. Die Hypothese 2-1 muss abgelehnt werden und die Nullhypothese angenommen werden. Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Drehbüchern hinsichtlich der Anzahl der Fixationen auf die Fahrbahn und dem Gegenüber.

Im Folgenden werden die paarweisen Vergleiche mit der Bonferroni-Korrektur in Tabelle 32 für die Fahrbahn und Tabelle 33 für den Gegenüber berichtet.

Tabelle 32. Paarweise Vergleiche zwischen den Drehbüchern für die Anzahl der Fixationen auf das AOI „Fahrbahn“ mithilfe der Bonferroni Post-Hoc-Tests. Anmerkung: Es werden nur statistisch signifikante Ergebnisse berichtet; Engstelle.

Vergleichspaare	SE	Mittlere Differenz	p
Drehbuch 1 – Drehbuch 4	,445	1,289	,01**
Drehbuch 1 – Drehbuch 5	,451	1,711	,001***
Drehbuch 1 – Drehbuch 6	,565	1,079	,072.
Drehbuch 2 – Drehbuch 4	,288	1,553	,000***
Drehbuch 2 – Drehbuch 5	,425	1,974	,000***
Drehbuch 2 – Drehbuch 6	,429	1,342	,006**
Drehbuch 3 – Drehbuch 4	,323	1,526	,000***
Drehbuch 3 – Drehbuch 5	,406	1,947	,000***
Drehbuch 3 – Drehbuch 6	,403	1,316	,004**
Drehbuch 5 – Drehbuch 6	,306	-,632	,053.

. p < ,1, \*p < ,05, \*\* p < ,01, \*\*\* p < ,001

Tabelle 33. Paarweise Vergleiche zwischen den Drehbüchern für Anzahl von Fixationen auf das AOI „Gegenüber“ mithilfe von Bonferroni Post-Hoc-Tests. Anmerkung: Es werden nur statistisch signifikante Ergebnisse berichtet; Engstelle.

Vergleichspaare	SE	Mittlere Differenz	p
Drehbuch 1 – Drehbuch 3	,410	-1,132	,013*
Drehbuch 1 – Drehbuch 4	,345	,789	,034*
Drehbuch 1 – Drehbuch 5	,323	1,474	,000***
Drehbuch 2 – Drehbuch 1	,409	,763	,078.
Drehbuch 2 – Drehbuch 4	,427	1,553	,002**
Drehbuch 2 – Drehbuch 5	,371	2,237	,000***
Drehbuch 3 – Drehbuch 4	,363	1,921	,000***
Drehbuch 3 – Drehbuch 5	,402	2,605	,000***
Drehbuch 3 – Drehbuch 6	,648	1,263	,067.
Drehbuch 4 – Drehbuch 5	,268	,684	,020*
Drehbuch 5 – Drehbuch 6	,461	-1,342	,009**

. p < ,1, \*p < ,05, \*\* p < ,01, \*\*\* p < ,001

Des Weiteren wird in Abbildung 45 das Balkendiagramm mit den Standardabweichungen für alle drei AOIs dargestellt.

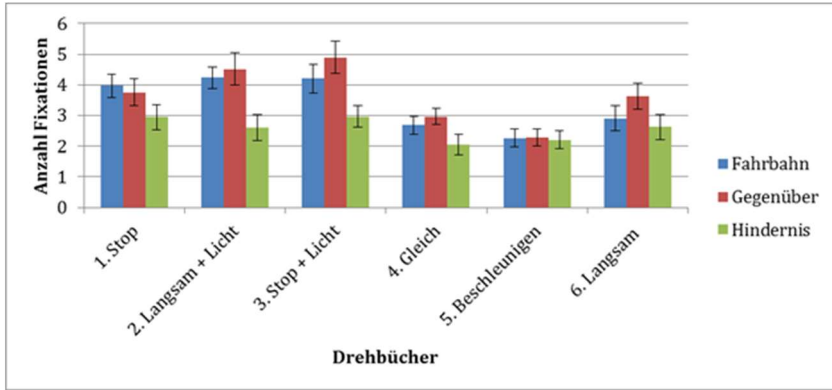


Abbildung 45. Mittelwertdiagramme für die Anzahl der Fixationen auf Gegenüber und Fahr-  
bahn; Engstelle.

Hypothese 3-1-1 kann ebenfalls wie Hypothese 2-1 in drei Unterhypothesen aufgeteilt werden (H 3-1.1, 3-1.2 und 3-1.3). Die Ergebnisse für die einfaktorielle ANOVA sind zusammengefasst in Tabelle 34 dargestellt.

Tabelle 34. Ergebnisse der ANOVA für die AV „mittlere Fixationsdauer“ hinsichtlich der UV  
„Drehbuch“; Engstelle.

Area of interest	df	F	p	Partielles $\eta^2$
Fahrbahn	5,000	5,425	,000***	,232
Gegenüber	3,154	3,528	,019*	,164
Hindernis	5,000	,467	,800	,025

$p < ,1$ , \* $p < ,05$ , \*\*  $p < ,01$ , \*\*\*  $p < ,001$

Auf Basis der Ergebnisse können die Hypothese H3-1.1 und 3-1.2 angenommen werden. Es gibt (hoch) signifikante Unterschiede zwischen den Drehbüchern für die AOIs „Fahrbahn“ und „Gegenüber“. Hypothese 3-1-1.3 muss abgelehnt und die Nullhypothese angenommen werden. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern für das AOI „Hindernis“.

Im Folgenden werden für Hypothese H 3-1.1 und 3-1.2 die marginal signifikanten paarweisen Vergleiche dargestellt. Diese sind in Tabelle 35 und Tabelle 36 abgebildet.

Tabelle 35. Paarweise Vergleiche zwischen den Drehbüchern für die Variable „mittlere Fixationsdauer“ auf das AOI „Fahrbahn“ mithilfe von Bonferroni Post-Hoc-Tests. Anmerkung: Es werden nur statistisch signifikante Ergebnisse berichtet; Engstelle.

Vergleichspaare	SE	Mittlere Differenz	p
Drehbuch 1 – Drehbuch 4	40,827	132,463	,067.
Drehbuch 2 – Drehbuch 4	50,252	166,136	,058.
Drehbuch 2 – Drehbuch 5	47,244	153,005	,068.

$p < ,1$ , \* $p < ,05$ , \*\*  $p < ,01$ , \*\*\*  $p < ,001$

Tabelle 36. Paarweise Vergleiche zwischen den Drehbüchern für die Variable „mittlere Fixationsdauer“ auf das AOI „Gegenüber“ mithilfe von Bonferroni Post-Hoc-Tests. Anmerkung: Es werden nur statistisch signifikante Ergebnisse berichtet; Engstelle.

Vergleichspaare	SE	Mittlere Differenz	p
Drehbuch 2 – Drehbuch 4	58,056	-193,855	,055.
Drehbuch 2 – Drehbuch 6	94,802	-317,412	,054.

$p < ,1$ , \* $p < ,05$ , \*\*  $p < ,01$ , \*\*\*  $p < ,001$

Des Weiteren sind in Abbildung 46 die Mittelwertunterschiede mithilfe eines Balkendiagrammes dargestellt. Die Implikationen die Ergebnisse werden in Kapitel 4.1.4 diskutiert.

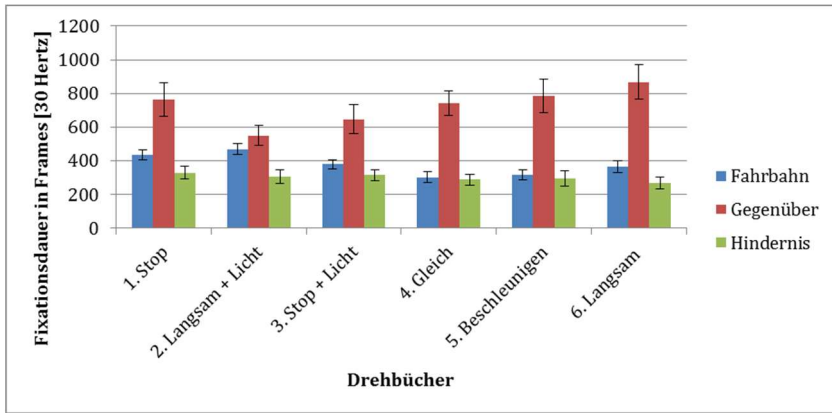


Abbildung 46. Mittelwertdiagramme für die Variable „mittlere Fixationsdauer“ auf „Fahrbahn“, „Gegenüber“ und „Hindernis“; Engstelle.

Die Fixationswechsel zur Überprüfung von Hypothese 4-1.1 wurden auf die Sekunde normiert, um eine vergleichbare Basis herzustellen.

Hypothese H4, dass es einen Unterschied zwischen den Missionen hinsichtlich der Fixationswechsel gibt, kann angenommen werden  $t(15) = -2,04, p < .05, r = 0,47$ . In offensiven Drehbüchern (4, 5, 6) gibt es signifikant weniger Fixationswechsel ( $M = 1,2, SD = 0,34$ ) als bei defensiven Drehbüchern (1, 2, 3) ( $M = 1,35, SD = 0,28$ ).

Der letzte Teil der Analyse der okularen Parameter erfolgt auf einer explorativen Basis. Die ermittelten okularen Parameter sind in Tabelle 37 dargestellt. Diese wurden in einem ersten Schritt mit einer  $2 \times 6$  messwiederholten ANOVA getestet.

Zur Vereinfachung der Ergebnisse sind diese in Tabelle 37 zusammengefasst. Der Alpha-Fehler wurde berücksichtigt und miteingerechnet.

Die Daten folgen keiner Normalverteilung, deswegen wurden Ausreißer  $\pm 2$  SDs aus dem Datensatz entfernt und durch den Mittelwert jeder Bedingung ersetzt, wie es von Field et al. (2013) empfohlen wird. Des Weiteren wurden



Daten mit einem ausgegebenen Qualitätsindex, welcher die Erkennungsrate der Pupille darstellt, der kleiner als 75% ist, entfernt. Im Anschluss wurden die Parameter mithilfe einer Box-Cox-Transformation (Box & Cox, 1964) transformiert und an eine Normalverteilung angepasst. Dafür wurde die Box-Cox Funktion aus dem „MASS“-Paket für die Statistiksoftware R-Studio verwendet (Ripley, Venables, Bates, Hornik, Gebhardt, & Firth, 2017).

Zur Vereinfachung werden nur die signifikanten Parameter dargestellt und in Tabelle 37 zusammengefasst.

Die Parameter maximaler Pupillendurchmesser, mittlerer Pupillendurchmessers, der Median des Pupillendurchmessers, die Amplitude des Pupillendurchmessers, die maximale Fixationsdauer sowie der Median, die Sakkaden-Geschwindigkeits-Metriken, der Sakkaden-Amplituden-Median, Median der Sakkadendauer, der Mittelwert der Sakkadendauer und das Maximum der Sakkadendauer zeigten keine signifikanten Effekte.

In einem nächsten Schritt wurden die Clusteranalysen berechnet. Um die Parameteranzahl zu reduzieren und nur die relevanten Parameter zu beachten, wurden nur Parameter mit einem partiellen Eta-Quadrat größer als 0,45 berücksichtigt. Bortz und Döring (2006) kategorisieren das partielle Eta-Quadrat als gering, wenn es kleiner 0,1 ist, als mittel, wenn es zwischen 0,10 und 0,25 liegt und als groß, wenn es größer als 0,4 ist.

Tabelle 37. Signifikante okulare Parameter; Engstelle.

Ka- tego- rie	Parameter	DF	SSn	F	p	partielle $\eta^2$
B	NNI	5	,476	2,674	<,05	,067
B	PERCLOS	5	2,401	10,002	<,05	,144
B	Blinzeldauer	5	5,602	7,860	<,05	,129
B	Blinzelrate	5	49,264	3,857	<,05	,069
PD	Durchmesser-Frequenz	5	141,528	2,604	<,05	,047
PD	Durchmesser-Scheitelwert	5	6,414	2,347	<,05	,048
FX	Fixationsdauer Mittelwert	5	4,884	2,459	<,05	,039
FX	Fixationsanzahl	5	,035	10,965	<,05	,234
FX	Fixation-Sakkaden-Verhältnis	5	1,378	2,377	<,05	,038
SC	Fixations-Sakkaden-Verhältnis Anzahl	5	1,836	2,544	<,05	,051
SC	Sakkaden-Amplituden Maximum	5	1,176	5,243	<,05	,089
SC	Sakkaden-Amplituden Mittelwert	5	,269	3,028	<,05	,014
SC	Sakkaden-Amplituden Median	5	547,416	3,069	<,05	,051
SC	Sakkaden Anzahl	5	,001	13,259	<,05	,235

Legende: B = Blinzelparame-ter, PD = Pupillendurchmesserparameter, FX = Fixationsparameter, SC = Sakkadenparameter.

Für die Clusteranalyse wurden folgende Variablen verwendet: der NNI, PERCLOS, die Blinzeldauer, die Blinzelrate, die Anzahl der Fixationen, das Fixations-Sakkaden-Verhältnis, das Sakkaden-Amplituden-Maximum, der Median der Sakkadendauer und die Anzahl der Sakkaden.

Zur Bestimmung der Anzahl der Cluster wurde die „pamk“-Funktion aus dem „fpc“ Paket verwendet (Henning, 2015). Diese basiert auf Arbeiten von Duda und Hart (Duda & Hart, 1973). In Kombination mit der theoretischen Überle-

gung, dass es drei verschiedene Arten von okularen Parametern gibt: Fixationen, Anzahl der Blinzler und Sakkaden, kann von drei Clustern ausgegangen werden.

Tabelle 38. Fuzzy-Analyse für okulare Parameter; Engstelle.

Parameter	Mitgliedkoeffizient 1	Mitgliedkoeffizient 2	Mitgliedkoeffizient 3
NNI	,99	,01	,00
Blinzeldauer	,97	,02	,01
Sakkaden-Amplituden Maximum	,96	,03	,01
PERCLOS	,08	,86	,07
Blinzelrate	,15	,73	,12
Sakkadendauer Median	,01	,89	,10
Sakkaden Anzahl	,01	,78	,21
Fixationen Anzahl	,00	,00	1
Fixations-Sakkadn Verhältnis	0	0	1

Basierend auf den Clusteranalysen wird eine charakteristische Abbildung präsentiert, welche das Muster des jeweiligen Clusters widerspiegelt. Cluster 1 ist ein Cluster mit verschiedenen Parametern und schwachen Effekten, Cluster 2 besteht aus den Sakkadenparametern mit mittlerer Effektstärken und Cluster 3 besteht aus Fixationsparametern mit schwachen Effekten. Die typischen Muster sind in der Abbildung 47 - Abbildung 49 dargestellt.

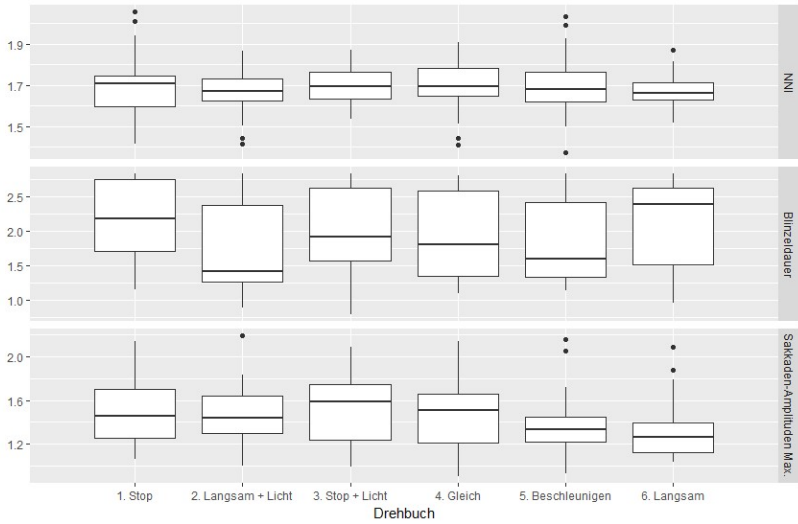


Abbildung 47. Mittelwertdiagramme von Cluster 1; Engstelle.

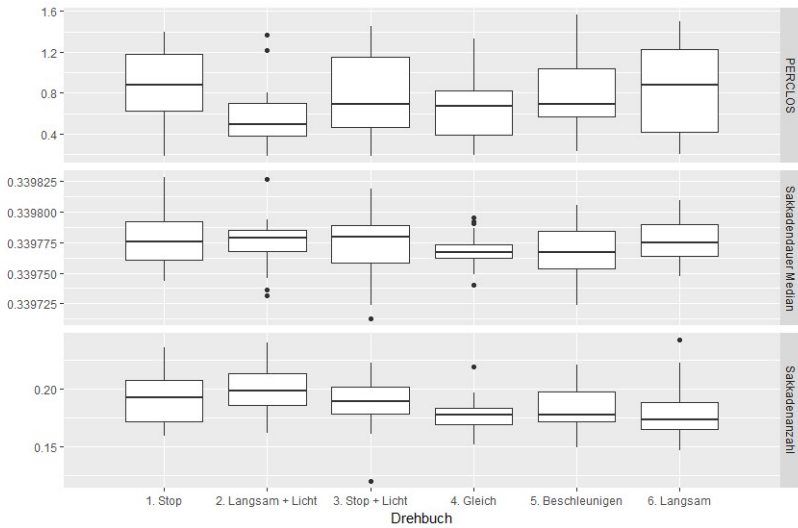


Abbildung 48. Mittelwertdiagramme von Cluster 2; Engstelle.

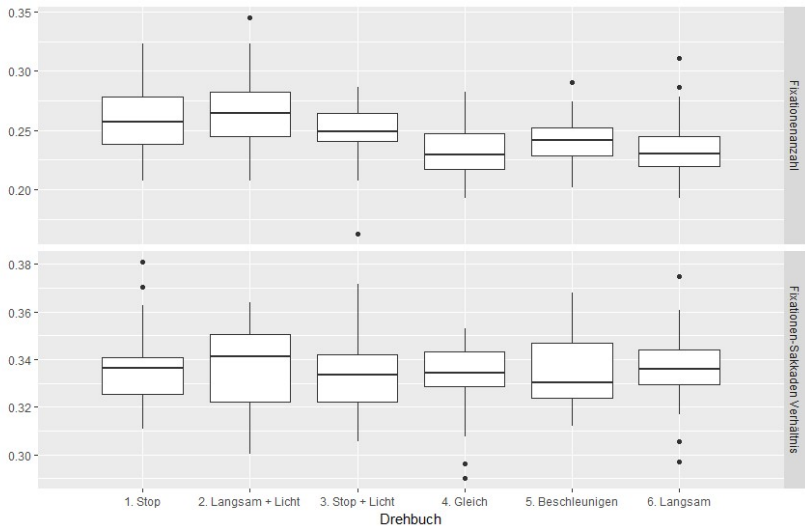


Abbildung 49. Mittelwertdiagramme von Cluster 3; Engstelle.

In einem letzten Schritt wurden in einer explorativen Untersuchung noch einmal die okularen Parameter mit den Fragebogendaten korreliert, um zu überprüfen, ob es einen Zusammenhang mit den subjektiven Einschätzungen gibt. Dafür wurde eine Bravais-Pearson-Korrelation mit zweiseitiger Testung aufgrund des explorativen Ansatzes verwendet.

Es kann gezeigt werden, dass die Variable „Sicherheit, fahren zu dürfen“ mit keinem Parameter korreliert. Die Einschätzung des Unfallrisikos korreliert positiv mit dem Durchmesser-Scheitelwert ( $r = ,146, p < ,05$ ), und dem Sakkaden-Amplituden-Maximum ( $r = -,157, p < ,05$ ). Die Variable „Kooperationsbereitschaft“ korreliert mit der Durchmesser-Frequenz ( $r = -,133, p < ,05$ ) und Durchmesser-Scheitelwert ( $r = -,222, p < ,05$ ) sowie der Anzahl der Fixationen ( $r = -,145, p < ,05$ ).

Tabelle 39. Korrelationstabelle zwischen okularen Parametern und subjektiven Einschätzungen; Engstelle.

	Sicherheit	Unfallrisiko	Kooperationsbereitschaft	Kooperationsintensität
NNI	-,140	-,128	,049	-,140
PERCLOS	,030	-,005	,138	-,130
Blinzeldauer	,072	,005	-,115	-,155
Blinzelrate	,037	-,053	,067	,095
Durchmesser-Frequenz	-,140	-,620	-0,133*	-,005
Durchmesser-Scheitelwert	-,077	,146*	-,222**	-,109
Fixationsdauer-MW	,108	-,760	,002	-,125*
Anzahl Fixationen	,059	-,089	,145*	,089
Fixations-Sakkaden-Verhältnis	-,640	,109	-,091	-0,179**
Fixations-Sakkaden-Verhältnis Anzahl	-,039	,074	-,016	-0,006
Sakkaden-Amplituden-Maximum	,103	-,157*	,005	,157*
Sakkaden-Amplituden-MW	-,120	,036	-,062	-,029
Sakkadendauer-Median	,037	-,032	,030	-,229**
Sakkaden Anzahl	-,530	-,140	-,700	-,106

$p < ,000$  \*\*\*,  $p < ,001$  \*\*,  $p < ,005$ \*,  $p < ,01$ .

In dem nachfolgenden Kapitel werden die Ergebnisse der drei Fragestellungen diskutiert und in die Theorie eingeordnet sowie Ableitungen für weitere Untersuchungen getroffen.

#### 4.1.4 Diskussion

Das abschließende Fazit erfolgt in Kapitel 4.3, welches die Ergebnisse von Experimentalreihe 1 und 2 miteinander vergleicht.

Der Manipulationscheck konnte zwei Punkte aufzeigen: Auf der einen Seite ist es möglich, mit identifizierten Verhaltensweisen aus Beobachtungen valide experimentelle Untersuchungen durchzuführen. Auf der anderen Seite konnte gezeigt werden, dass mithilfe des Videomaterials Intentionen untersucht werden können. Nach der ersten Analyse der Ergebnisse scheint diese Art des Vorgehens sinnvoll zu sein. Wie gut die experimentelle Methodik sich für weitere Untersuchungen hinsichtlich der Intention eignet, müssen weitere Experimente zeigen. Die Ergebnisse bezüglich des methodischen Vorgehens stehen im Einklang der Forschung (z. B. Ba et al., 2015).

Für Fragestellung A wurden die Hypothesen getestet, ob die defensiven Drehbücher (1, 2, 3) dazu führen, dass die Probanden vermehrt als erstes fahren und bei den offensiven Drehbüchern vermehrt als zweites fahren. Beide Hypothesen konnten angenommen werden. Die Odds Ratios zeigen sehr gut auf, dass alle sechs Drehbücher das gewünschte Verhalten erzeugten. Weiterhin ist anhand der Größe der Wechselwahrscheinlichkeiten zu erkennen, dass die defensiven Drehbücher Drehbuch 1 (markantes Stoppen) und Drehbuch 4 (mit gleichbleibender Geschw. auf die Engstelle zufahren) die höchsten Wahrscheinlichkeiten aufzeigten. Basierend darauf konnte auch gezeigt werden, dass es wichtig ist, dass die angewandten Verhaltensweisen als kooperativ empfunden werden müssen, um das gewünschte Verhalten zu provozieren. *Je höher die Kooperation des Gegenübers wahrgenommen wird, desto eher wird sich entschieden auf das Angebot einzugehen* (siehe Abbildung 33). Diese Eigenschaft von Kommunikationssignalen scheint ein Schlüsselement in dem kooperativen Prozess zu sein.

Fragestellung B untersuchte die CAN-Bus Daten. Dabei wurden die Parameter: ZERO, SDST, HFC, MB, ABD und DMM identifiziert und analysiert und auf die Unterschiede zwischen den Drehbüchern und den Missionen getestet.

Die Hypothese 1-1, welche testet, ob es Unterschiede zwischen den Missionen offensiv und defensiv gibt, kann für alle Parameter angenommen werden.

Hypothese 2-1-1 testet, ob es Unterschiede zwischen den Drehbüchern für die identifizierten Parameter gibt. Auch diese Hypothese kann für alle Parameter

angenommen werden. Auffällig ist, dass für den Parameter SDST keine Unterschiede in den Einzeltests gefunden werden. Dies kann auf die Bonferroni-Korrektur zurückgeführt werden, da diese sehr streng und somit konservativ getestet (Bortz et al., 2006). Trotzdem gibt es aufgrund der Ergebnisse keinen Grund, die SDST, weiterzuverfolgen.

Des Weiteren konnte anhand der Ergebnisse festgestellt werden, dass für alle Parameter, außer dem HFC, die signifikanten Unterschiede auf die Unterschiede zwischen den Missionen zurückzuführen sind. Das bedeutet, dass der Einfluss, ob man als erstes oder zweites gefahren hat, das Fahrverhalten so stark beeinflusst, dass keine Unterschiede zwischen den einzelnen Drehbüchern der gleichen Missionen aufgetreten sind. Dies wiederum führt dazu, dass der einzige Parameter, der nicht nur zwischen den Missionen, sondern auch den einzelnen Drehbüchern differenziert, der HFC ist, welcher die hochfrequenten Komponenten der Lenkwinkelaufzeichnungen untersucht.

In einer explorativen Untersuchung konnte weiterhin gezeigt werden, dass der HFC sehr hoch positiv mit der wahrgenommenen Kooperationsbereitschaft des Gegenübers korreliert sowie der Kooperationsintensität. Je mehr Anteile der hochfrequenten Lenkwinkel vorhanden sind, desto kooperativer wird der Gegenüber wahrgenommen und entsprechend der umgekehrte Zusammenhang, dass je kooperativer der Gegenüber wahrgenommen wird, die Anteile des HFC steigen. Des Weiteren besteht ein negativer Zusammenhang mit der Fahrtreihenfolge. Dieser Zusammenhang bedeutet, dass die hochfrequenten Lenkwinkel dann zunehmen, wenn als erstes gefahren wird und abnehmen, wenn als zweites gefahren wird und entsprechend ist das Äquivalent zu berücksichtigen. Da der HFC unabhängig vom Einfluss der Strecke ist, kann geschlossen werden, dass man anhand des HFCs ablesen kann, ob gefahren wird oder nicht. Somit kann der HFC zur Intentionserkennung genutzt werden.

Für weiterführende Untersuchungen muss geprüft werden, ob der HFC echtzeitfähig ist, weil er nur dann auch zur Intentionserkennung verwendet werden kann. Des Weiteren muss geprüft werden, ob sich der HFC innerhalb eines Probanden auf dem gleichen Niveau befindet oder sich an verschiedenen Tagen unterschiedlich verhält. Um dies zu prüfen, müsste der HFC bei den gleichen Probanden an unterschiedlichen Tagen gemessen werden.



Fragestellung C war in der Hypothesentestung zweigeteilt. Auf der einen Seite gab es die Hypothesen betreffend den Fixationen basierend auf der AOI-Analyse und auf der anderen Seite das explorative Testen von relevanten Parametern.

Hypothese H1-1, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern für die Anzahl der Fixationen gibt, musste verworfen werden. Hypothese H2-1 kann für die AOIs „Gegenüber“ und „Fahrbahn“ angenommen werden. Für das AOI „Hindernis“ muss die Nullhypothese angenommen werden. Dadurch kann nicht klar festgestellt werden, ob die Hypothese in der Gesamtheit angenommen oder verworfen werden muss. In diesem Fall wurde sich für ein konservatives Vorgehen entschieden und Hypothese H2-1 wurde abgelehnt. Dies bedeutet, dass die Anzahl der Fixationen sich zwar zwischen dem AOI „Gegenüber“ und „Fahrbahn“ unterscheidet, aber das „Hindernis“ in allen Drehbüchern gleich oft betrachtet wurde. Es ist zu erkennen, dass die Anzahl der Fixationen in den defensiven Drehbüchern höher ist als in den offensiven Drehbüchern. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Probanden bei den defensiven Drehbüchern aktiv werden mussten und selbst eine Spur durch die Engstelle wählen mussten. Somit ist der Parameter Anzahl der Fixationen, ähnlich wie der HFC, ein Parameter, der die Intention, zu fahren anzeigen kann.

Hypothese H3-1, dass es einen Unterschied zwischen den AOIs Hindernis, Gegenüber und Fahrbahn für die Dauer der Fixationen gibt, kann für die AOIs „Fahrbahn“ und „Gegenüber“ angenommen werden und muss für das AOI „Hindernis“ verworfen werden. Zwei Tendenzen sind auffällig. Für das AOI „Fahrbahn“ ist zu erkennen, dass dieses in den defensiven Drehbüchern länger betrachtet wird als in den offensiven Drehbüchern. Auch dies ist dadurch zu erklären, dass die Probanden fahren mussten. Diese Erklärung folgt der Empfehlung von Schweiger (2003), sich bei dem Passieren einer Engstelle auf die Verengung und der Planung der Trajektorie zu konzentrieren. Auf der anderen Seite ist zu erkennen, dass der Gegenüber in den offensiven Drehbüchern mehr betrachtet wird als in den defensiven Drehbüchern.

Dies wiederum lässt sich dadurch erklären, dass die Probanden in den offensiven Drehbüchern den VL fahren ließen bzw. dass das Verhalten der VL dazu führte, dass diese fahren konnten und somit der Fokus auf dem VL lag. Des

Weiteren zeigt das AOI „Gegenüber“ die höchste Ausprägung in der mittleren Fixationsdauer im Vergleich zu den anderen beiden AOIs. Unabhängig von dem Drehbuch obliegt dem Gegenüber, also dem Kooperationspartner, der Fokus der Probanden. Im Gegensatz zu der Anzahl der Fixationen ist bei der Fixationsdauer ein eindeutiger Aufmerksamkeitsmittelpunkt zu identifizieren.

Abschließend wurde in Hypothese 4-1-1 getestet, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen den Missionen in Hinblick auf die Fixationswechsel gibt. Die Hypothese kann angenommen werden. Die Fixationswechsel treten bei den defensiven Drehbüchern häufiger auf, als bei den offensiven Drehbüchern. Die Begründung ist ähnlich wie bei der Anzahl der Fixationen, denn bei den defensiven Drehbüchern waren die Probanden in der Situation, selbst zu fahren.

Basierend auf den Ergebnissen wird deutlich, dass bei einem aktiven Handeln der Probanden höhere Ausprägungen in der Fixationsdauer, Fixationswechsel, sowie Anzahl der Fixationen zu erkennen sind. Ähnlich, wie bei den Ergebnissen zu dem Lenkwinkelparameter HFC, lässt sich differenzieren zwischen der Intention zu fahren bzw. nicht zu fahren.

Als Einschränkung ist anzumerken, dass die Probanden mit instruierten VL gefahren sind und kooperiert haben. In folgenden Untersuchungen muss überprüft werden, ob diese Parameter ebenfalls einseitig höher ausfallen, wenn beispielsweise direkt im Feld gefahren wird, wie zum Beispiel bei einer „Naturalistic Driving Study“.

Neben der gezielten Überprüfung von Hypothesen wurde in einem weiteren explorativen Vorgehen versucht, relevante okulare Parameter zu identifizieren, da zu dem aktuellen Zeitpunkt wenig Wissen über das Blickverhalten in kooperativen Situationen vorlag.

Basierend auf dem partiellen Eta-Quadrat, also der Effektstärke, können als relevante Parameter PERCLOS, Blinzeldauer, die Anzahl der Fixationen sowie die Anzahl der Sakkaden identifiziert werden. Auffällig ist dabei, dass die Anzahl der Sakkaden und der PERCLOS dem gleichen Cluster zugeordnet werden konnten. Auf der eine Seite ist der Effekt sehr deutlich, auf der anderen

Seite würde man die beiden Parameter nicht unbedingt in einem Cluster vermuten, da das Lidschlussverhalten nicht mit den Sakkaden in direktem Zusammenhang steht. Interessant ist weiterhin, dass der PERCLOS in dem Drehbuch mit der höchsten Sicherheit, fahren zu dürfen (Drehbuch 2) die niedrigste Ausprägung aufweist. Die Anzahl der Sakkaden verhält sich ähnlich wie die Anzahl der Fixationen und ist in den defensiven Drehbüchern in der Ausprägung am größten. Dies liegt vermutlich daran, dass bei den defensiven Drehbüchern versucht wird zu fahren und somit das Blickverhalten deutlich aktiver ist. Dies erklärt weiterhin auch die gemeinsame Clusterzuordnung, welcher als „Fahren“ kategorisiert werden könnte.

Neben der direkten Auswahl der Parameter konnte gezeigt werden, dass sich die methodische Auswahl der Parameter mithilfe der Fuzzy-Cluster-Methode als geeignet herausgestellt hat.

Basierend auf den Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass sich die identifizierten Verhaltensweisen eignen, um das gewünschte kooperative Verhalten zu generieren.

Für eine automatische Fahrzeugführung sind insbesondere Drehbuch 2 (Verlangsamten + Lichthupe) sowie Drehbuch 5 (Beschleunigen) am geeignetsten. Diese Entscheidung kann anhand der subjektiven Einschätzungen aus der Sicherheit und Kooperationsbereitschaft getroffen werden und wird anhand der physiologischen Parameter bestätigt.

Allerdings wirft diese Auswahl auch Fragen auf. So funktioniert die Umsetzung von Drehbuch 2 sehr gut und wird auch als kooperativ empfunden. Die Umsetzung von Drehbuch 5 funktioniert ebenfalls sehr gut und die Sicherheit, zu fahren wird am höchsten eingeschätzt. Allerdings wird auch die Kooperationsbereitschaft am niedrigsten eingeschätzt. Dies wäre für eine automatische Fahrzeugführung nicht von Vorteil, da diese vermutlich als kooperativ wahrgenommen werden sollte, um akzeptiert zu werden (Färber, 2015). Es gilt zu untersuchen, mit welchen Kommunikationssignalen auch ein offensives Verhalten als kooperativ wahrgenommen werden kann. Eine der größten Auffälligkeiten ist, dass die identifizierten Verhaltensweisen nur aus impliziten Signalen bestehen. Vermutlich würde, unter der Voraussetzung, dass ein solch

explizites Signal entwickelt wird oder existiert, die wahrgenommene Kooperationsbereitschaft erhöht, wenn es mit den impliziten Signalen gekoppelt wird. So betonen, wie in der Theorie dargestellt, Lee und Sheppard (2016), dass die Kopplung von einem impliziten Signal und einem expliziten Signal am besten geeignet ist, um Intentionen in der Kooperation zu erkennen.

In dem nachfolgenden Kapitel wird die Experimentalreihe zur Testung des T-Kreuzungsszenarios näher vorgestellt.

## **4.2 Experiment II: T-Kreuzungsszenario**

Zunächst werden die Ziele näher erläutert, die Methode präsentiert und diskutiert. Das methodische Vorgehen und die Materialien sind dem Vorgehen aus Experiment I sehr ähnlich, deswegen werden Überschneidungen nicht berichtet und stattdessen auf das vorherige Kapitel verwiesen.

Ergebnisse zu dieser Experimentalreihe finden sich in der Publikation Imbsweiler et al. (2017b) und Imbsweiler, Ruesch, Weinreuter Peunte León & Deml (2018a).

### **4.2.1 Ziel**

Das Ziel des zweiten Experimentes war es, verschiedene Verhaltensweisen für ein spezifisches T-Kreuzungsszenario (siehe Abbildung 50) zu testen, um herauszufinden, welche Verhaltensweisen am besten geeignet sind, um die Intentionen fahren/nicht fahren für eine automatische Fahrzeugführung auszudrücken.

Ähnlich wie in Experiment I geht es darum, Kommunikationssignale zu verwenden, die mit den technischen Einrichtungen an den aktuellen Fahrzeugen möglich sind und keine neuen Signale zu entwickeln.

In der zweiten Experimentalreihe geht es vor allem darum, wie Verkehrsteilnehmer Pattsituationen lösen, in denen mehrere Kooperationspartner involviert sind. Auf diese Abbildung wird sich im Folgenden bezogen. Position 1 und

Position 2 stellen Linksabbiegerpositionen dar und Position 3 die Geradeausfahrposition. Da in dieser Situation jeder der Verkehrsteilnehmer vor dem rechten Teilnehmer fahren darf, ist nicht geregelt wer, als erstes fahren darf.

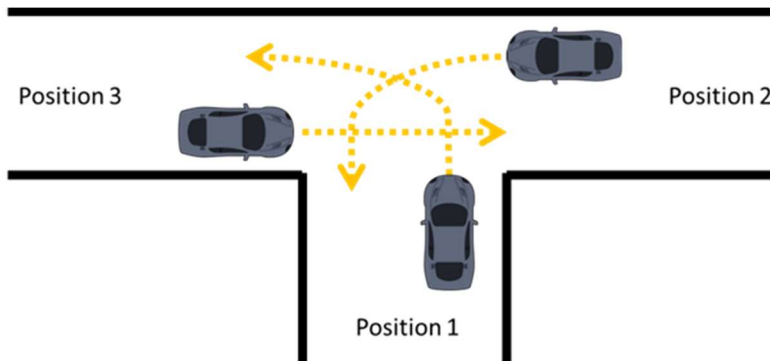


Abbildung 50. T-Kreuzungsszenario nach den verschiedenen Positionen aufgeschlüsselt.

In Kapitel 3 konnten mithilfe einer Beobachtungsstudie verschiedene Verhaltensweisen identifiziert werden. Diese werden in dem nachfolgenden Experiment zur Eignung als Intentionsvermittlung getestet. Die übergeordnete Fragestellung des Experimentes ist die Gleiche wie in Experiment I:

*Welche Verhaltensweisen sind für eine automatische Fahrzeugführung geeignet, um eine Intention in einer Pattsituation auszudrücken?*

Basierend auf der Fragestellung leiten sich folgende Teilfragestellungen ab:

- A) Wie schätzen Verkehrsteilnehmer die Verhaltensweisen ein, wenn sie mit diesen konfrontiert werden?
- B) Lassen sich mithilfe von Can-Bus-Daten Aussagen über das Kommunikationsverhalten für die Eignung zur Intentionsvermittlung treffen?
- C) Lassen sich mithilfe von Eye-Tracking-Daten Aussagen über das Kommunikationsverhalten für die Eignung zur Intentionsvermittlung treffen?

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen müssen verschiedene Auswertungen getroffen werden. Fragestellung A kann mit dem beschriebenen Modell aus Kapitel 2.6 beantwortet werden.

Für Fragestellung B und C müssen explizit Fahrparameter aus CAN-Bus- und Eye-Tracking-Daten ermittelt und analysiert werden.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Fragestellungen beantwortet. In einem ersten Schritt wird die Methode vorgestellt. In einem zweiten Schritt werden die Ergebnisse präsentiert.

## **4.2.2 Methode**

Das nachfolgende Experiment arbeitete mit der Methode eines Konföderierten als Versuchsleiter, deswegen werden die Informationen über die Versuchsleiter dargestellt, welche für das Experiment von Interesse sind und der Methode teil wird an diesen Stellen Versuchsleiter und Probanden separiert voneinander betrachten.

### **4.2.2.1 Stichprobe: Probanden**

An Experiment II haben insgesamt  $N = 20$  (18 männlich, 2 weiblich) Probanden mit einem Altersdurchschnitt von  $M = 23,35$  ( $SD \pm 3,51$  Jahre) Jahren teilgenommen. Durchschnittlich fahren die Probanden 139,25 km in der Woche ( $SD \pm 149,05$ ). Die Probanden fahren zu 40,9 % der Fahrzeit auf der Autobahn, 31,8 % in der Stadt und 18,20 % auf der der Landstraße.

### **4.2.2.2 Stichprobe: Versuchsleiter**

Insgesamt partizipieren  $N = 5$  Versuchsleiter (3 männlich, 2 weiblich) mit einem Altersdurchschnitt von 23,00 Jahren ( $SD \pm 2,24$  Jahre) an dem Experiment. Im Durchschnitt fahren die VL 44,00 km in der Woche ( $SD \pm 57,73$  km). Die VL fahren zu 80 % in der Stadt und zu 20 % auf der Autobahn.

### 4.2.2.3 Durchführung Allgemein

Die allgemeine Durchführung ähnelt der in Experiment I. Das Experiment wurde auf dem Gelände des Verkehrsübungsplatzes Karlsruhe-Knielingen durchgeführt. Dafür wurde die bereits vorhandene T-Kreuzung genutzt, welche in Abbildung 25 direkt neben der Engstelle zu finden ist. Der Aufbau der gleichrangigen Engstelle wurde entfernt und nicht verwendet. Der restliche Versuchsaufbau war identisch. Die Zone der Kooperation befand sich vom Mittelpunkt der Kreuzung ausgehend im Bereich von 25 Metern (Erklärung siehe Kapitel 4.1.2.3) der anknüpfenden Straßen. Der Versuchsplan wurde randomisiert durchgeführt. Es waren drei Fahrzeuge beteiligt: Die Fahrzeuge der beiden VL (VL 1 und VL2) sowie das Fahrzeug des Probanden. In dem Probandenfahrzeug saß der dritte VL (VL 3), welcher dem Probanden Anweisungen erteilte. Des Weiteren gab es noch einen VL 4, der die Probanden zum Abschluss des Experimentes befragte und den Ablauf überwachte. Die Instruktion war die gleiche wie in dem vorherigen Experiment und lautete, dass der Lidarsensor auf dem Dach des Versuchsfahrzeuges getestet werden sollte (Instruktion im Anhang C). Die Aufklärung der Probanden folgte im Anschluss an das Experiment. Der Beginn des Experimentes war identisch aufgebaut und bestand aus der Einverständniserklärung, Aufklärungen über den Umgang mit dem Versuchsfahrzeug, der Einstellung des Fahrersitzes und der Kalibrierung des Eye-Tracking-Systems, sowie der standardisierten Probefahrt. Die Fahraufgaben zur Lenkung des Aufmerksamkeitsfokus waren identisch und sind in Abbildung 25 dargestellt. Das Versuchsdesign ist in Abbildung 26 bereits präsentiert worden und bestand aus sechs verschiedenen Drehbüchern, die zweimal durchgeführt worden sind. Des Weiteren haben die Probanden, wie in Kapitel 4.2.1 dargestellt, vier Drehbücher in Position 1 und Position 2 (siehe Abbildung 50) und zwei Drehbücher in Position 3 eingenommen. Bei der künstlichen Engstelle (siehe Abbildung 25, Bereich 4), hinter dem Slalomparcours sowie in dem Verkehrskreisel waren Fixpunkte markiert, die, wenn der Proband diese überquerte, die Startpunkte für VL 1 und VL 2 darstellten. Bei Nicht-Realisierung eines gleichzeitigen Eintretens wurde sich an das Vorgehen aus Experiment I gehalten. Im Mittel dauerte eine Experimentalfahrt  $M = 43,25$  Minuten. Die Probanden legten im Durchschnitt  $M = 16,83$  km zurück. Das

Experiment insgesamt dauerte ca. 90 Minuten und wurde nach dem ifab-Stundensatz vergütet (7,50 Euro/Stunde).

4.2.2.3.1 Durchführung aus Sicht der Versuchsleiter VL 1 und VL 2

Die VL mussten sich an die aus der Beobachtungsstudie (

Tabelle 13) identifizierten Verhaltensweisen halten. Es wurden Instruktionen (siehe Anhang C) verfasst und Probedurchgänge durchgeführt. Die drei Drehbücher waren in die Mission „Anhalten“ und drei Drehbücher in die Mission „Durchfahren“ unterteilt. Des Weiteren waren vier Drehbücher für Position 1/2 und zwei Drehbücher für Position 3 ausgelegt. Die Drehbücher sind in Tabelle 40 dargestellt.

Tabelle 40. Drehbücher und Positionszuordnungen für das T-Kreuzungsszenario.

<b>Drehbuch</b>	<b>Position VL</b>	<b>Verhalten der VL</b>	<b>Offensives o-der Defensives Verhalten</b>
1	3	VL 1 bremst, stoppt und betätigt die Lichthupe	Defensives Verhalten
	1 oder 2	VL 2 betätigt Fahrtrichtungsanzeiger und stoppt	
2	3	VL 1 bremst und stoppt	Defensives Verhalten
	1 oder 2	VL 2 betätigt Fahrtrichtungsanzeiger und stoppt	
3	3	VL 1 bremst, kommt aber nicht zum Stillstand	Offensives Verhalten
	1 oder 2	VL 2 betätigt den Fahrtrichtungsanzeiger und bremst	
4	3	VL 1 hält Geschwindigkeit	Offensives Verhalten
	1 oder 2	VL 2 betätigt den Fahrtrichtungsanzeiger und bremst	
5	1 oder 2	VL 1 bremst und betätigt den Fahrtrichtungsanzeiger	Defensives Verhalten
	1 oder 2	VL 2 bremst, betätigt den Fahrtrichtungsanzeiger und betätigt die Lichthupe	
6	1 oder 2	VL 1 betätigt den Fahrtrichtungsanzeiger und bremst	Offensives Verhalten
	1 oder 2	VL 2 betätigt den Fahrtrichtungsanzeiger, bremst und betätigt dann eine Handgeste	



Nach dem Abschluss einer Durchfahrt musste VL1 mithilfe eines Diktiergerätes die Durchfahrt anhand folgender Variablen bewerten (Instruktion für VL1 siehe Anhang C):

- a) Umsetzung des Drehbuchs (Likert-Skala von 1 „überhaupt nicht“ bis 7 „sehr gut“);
- b) Kooperationsbereitschaft des Probanden (Likert-Skala von 1 „sehr niedrig“ bis 7 „sehr hoch“, orientierend an Renge (2000));
- c) Kooperationsintensität (Likert-Skala von 1 „sehr niedrig“ bis 7 „sehr hoch“).

Die Prozedur ist fast identisch zu der Engstelle gewesen (siehe Kapitel 4.1.2). Mit dem Unterschied, dass die Kooperationsbereitschaft auch für beide potenziellen Kooperationspartner, den direkt involvierten Versuchsleiter, eingeschätzt werden musste.

Durch die Einschätzung der Umsetzung konnten noch einmal gezielt nicht funktionierende Drehbücher gefiltert werden. Die Bewertung der Umsetzung erfolgte aufgrund der zeitlichen Abstimmung der Handlungen nach den entsprechenden Vorgaben. Die Bewertung der Umsetzung wurde anhand von Videoaufnahmen in den Probedurchgängen getestet.

Am Ende aller Durchfahrten mussten VL1, VL2 sowie VL3 einen Abschlussfragenbogen beantworten, zu einer zusätzlichen allgemeinen Einschätzung des Probanden im Allgemeinen und aller Durchfahrten (Fragebogen siehe Anhang C). In diesem Fragebogen mussten die VL1, 2 und 3 folgende Fragen beantworten:

- d) Kooperationsbereitschaft des Probanden (Likert-Skala von 1 „sehr niedrig“ bis 7 „sehr hoch“);
- e) Kooperationsintensität (Likert-Skala von 1 „sehr niedrig“ bis 7 „sehr hoch“);

- f) Fahrstil des Probanden (Likert-Skala 1 „unsportlich“ bis 7 „sehr sportlich“)

Nach dem Abschluss der Experimentalreihe mussten die VL einen finalen Fragebogen zu den demographischen Daten ausfüllen (siehe Anhang C), der Fragen zur Person (Alter, Geschlecht, Nationalität, Fahrerfahrung, wöchentlich gefahrene Kilometer, Fahrstil) sowie zur Persönlichkeit enthielt. Die Persönlichkeitseigenschaften wurden mit dem NEO-FFI in der Kurzform nach Borkenau und Ostendorf (1993) erfasst. Dieser Fragebogen wurde eingesetzt, um zu kontrollieren, ob die Persönlichkeitseigenschaften einen Einfluss auf das Kooperations- und Kommunikationsverhalten haben.

#### 4.2.2.3.2 Durchführung aus Sicht der Probanden

Die Durchführung aus der Sicht der Probanden unterscheidet sich nur geringfügig in der Gestaltung des Fragebogens zu dem aus Experiment I.

Nach dem Abschluss aller Durchfahrten wurde durch VL 4 den Probanden die Aufnahme präsentiert. Zu jeder Durchfahrt mussten die Probanden einen Fragebogen ausfüllen (Fragebogen siehe Anhang C, Beispiels der Durchführung siehe Abbildung 51):

- a) *Sind Sie als erstes, zweites oder drittes gefahren?*
- b) *Warum haben Sie sich entschieden, als erstes, zweites oder drittes zu fahren?* (verbunden mit einer Auflistung an möglichen Verhaltensweisen der beiden Gegenüber z. B.: Bremsen oder Lichthupe)
- c) *Wie sicher waren Sie sich in ihrer Entscheidung, als erstes, zweites oder drittes zu fahren?* (sieben-stufige Likert-Skala von 1 „überhaupt nicht sicher“ bis 7 „sehr sicher“)
- d) *Wann haben Sie sich entschieden?* (Markierung des Entscheidungszeitpunktes auf einer maßstabsgetreuen Zeichnung)
- e) *Wie hoch schätzen Sie das Unfallrisiko in der Situation ein?* (sieben-stufige Likert-Skala von 1 „kein Risiko“ bis 7 „sehr großes Risiko“)

- f) *Wie hoch schätzten Sie die Kooperationsbereitschaft des Gegenübers auf Position 1,2,3 sowie die Kooperationsintensität ein? (sieben-stufige Likert-Skala von 1 „sehr niedrig“ bis 7 „sehr hoch“)*
- g) *Kontrollfrage: Haben Sie sich aufgrund der Situation davor anders entschieden?*

Nach dem Bewerten der Durchfahrten mussten die Probanden den gleichen Abschlussfragebogen beantworten wie VL1 und VL2. Danach wurden die Probanden aufgeklärt und die Vergütung für das Experiment ausgehändigt. Für Rückfragen wurde eine Kontaktperson genannt.



Abbildung 51. Beispielbild der Durchführung. Auf Position 1 - VL 1, Position 2 Proband und Position 3 VL 2; T-Kreuzung.

#### 4.2.2.4 Messequipment und Umgebung

Das Messequipment und die Umgebung unterscheiden sich nicht von der aus Experiment I. Deswegen wird auf die Beschreibung des Versuchsfahrzeuges und des Verkehrsübungsplatzes verzichtet und auf Kapitel 4.1.2.4 verwiesen.

#### 4.2.2.5 Design und Hypothesen

Für die Ableitung der Hypothesen ist das Kapitel 2.6 die Grundlage, welche die Fragestellung näher skizziert.

Einen Teil der Auswertung der Daten findet sich in den Publikationen Imbsweiler et al. (2017b) sowie Imbsweiler et al. (2018a).

#### 4.2.2.5.1 Design und Hypothesen: Fragestellung A

Die Hauptfragestellung, welche Verhaltensweisen sich für eine automatische Fahrzeugführung eignen, leitet sich unter anderem aus der Beantwortung der Fragestellung A ab, wie die Probanden die Verhaltensweisen einschätzen, mit welchen sie konfrontiert werden.

Zur Testung des Modells wird eine logistische Regression berechnet mit dem Kriterium, ob als erstes oder zweites/drittes gefahren wurde und dem Prädiktor der Kooperationsbereitschaft und dem Faktor Drehbuch. Aus dem Design und den Fragestellungen ergeben sich folgende Hypothesen:

*H1-0: Die defensiven Drehbücher (1, 2, 5) führen nicht dazu, dass mit einer höheren Wahrscheinlichkeit als erstes gefahren wird.*

*H1-1: Die defensiven Drehbücher (1, 2, 5) führen dazu, dass mit einer höheren Wahrscheinlichkeit als erstes gefahren wird.*

*H2-0: Die offensiven Drehbücher (3, 4, 6) führen nicht dazu, dass mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit als erstes gefahren wird.*

*H2-1: Die offensiven Drehbücher (3, 4, 6) führen dazu, dass mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit als erstes gefahren wird.*

#### 4.2.2.5.2 Design und Hypothesen: Fragestellung B

Zur Testung von Fragestellung B müssen zunächst relevante Fahrparameter identifiziert und getestet werden. Bönsch (2017) hat unter wissenschaftlicher Anleitung des Autors eine Analyse der relevanten Fahrparameter durchgeführt. Die Daten wurden von dem Verfasser noch einmal berechnet. Im Folgenden findet eine Zusammenfassung der relevanten Fahrparameter auf Basis der Abschlussarbeit von Bönsch (2017) statt.

Es gilt zu beachten, dass für das T-Kreuzungsszenario andere Parameter berücksichtigt werden müssen, als für das Engstellenszenario, da hier auch Abbiegevorgänge auftreten. Dies liegt unter anderem daran, dass die verschiedenen Positionen unterschiedliche Anforderungen mit sich bringen und so mehr Parameter mit aufgenommen werden müssen. Die folgende Tabelle stellt eine Ergänzung zu der Tabelle aus Kapitel 4.1.2.5 dar und bezieht sich auf Tabelle 15.

Tabelle 41. Relevante Fahrparameter für das T-Kreuzungsszenario basierend auf Bönsch (2017).

<b>Name</b>	<b>Art</b>	<b>Beschreibung</b>
Maximale Laterale Beschleunigung ( <b>MLB</b> )	Geschwindigkeitsverhalten	Die maximale Beschleunigung
Wiederbeschleunigungszeitpunkt ( <b>WBZB</b> )	Geschwindigkeitsverhalten	Beschreibt den Zeitpunkt, wann das Ego-Fahrzeug wieder beschleunigt wird
Stillstandszeitpunkt ( <b>SSZP</b> )	Geschwindigkeitsverhalten	Den Zeitpunkt wann das Ego-Fahrzeug zum Stehen kommt
Stoppdauer ( <b>SD</b> )	Geschwindigkeitsverhalten	Zeit zwischen Stillstandszeitpunkt und Wiederbeschleunigungszeitpunkt
Rantasten ( <b>RT</b> )	Geschwindigkeitsverhalten	Rantasten zählt wie oft ein Proband komplett zum Stillstand kommt?

Des Weiteren muss für die Anwendung der Parameter zwischen den Positionen differenziert werden. Die Einordnung der Tauglichkeit für verschiedene Positionen ist in Tabelle 42 dargestellt.

Die in Tabelle 42 dargestellten Parameter sind auch die Parameter, welche genauer untersucht werden. Insgesamt stehen zwölf Parameter zur Auswahl.

Tabelle 42. Bewertung der Fahrparameter für unterschiedliche Positionen und die Mission; T-Kreuzung.

Parameter	Auswertbar für			
	Offen- siv	Defen- siv	Position 1/2	Position 3
Maximale Bremskraft (MB)	0/+	+	+	+
Maximale Laterale Beschleunigung	+	+	+	0
Stillstandszeitpunkt	0/+	+	+	+
Wiederbeschleunigungszeitpunkt	0/+	+	+	+
Stillstandsdauer	0/+	+	+	+
Stoppdauer	0/+	+	+	+
Rantasten	0/+	+	+	+
Bremszeitanteil	+	+	+	+
Standardabweichung des Lenkwinkels (SDST)	+	+	0/+	+
Nulldurchgänge des Lenkwinkels (ZERO)	+	+	+	+
Steering Wheel Reversal Rate (SRR)	+	+	+	+
Hochfrequenzanteil des Lenkwinkels (HFC)	+	+	+	+

Anmerkung: Mission 0 - ungeeignet, 0/+ - eventuell ungeeignet, + - geeignet;

In einem ersten Schritt müssen die Parameter dahingehend getestet werden, ob sie sich zwischen den Positionen 1 und 2 unterscheiden, um zu überprüfen, ob die Parameter anschließend nach Positionen getrennt betrachtet werden müssen.

In einem nächsten Schritt muss überprüft werden, ob die Parameter sich zwischen den Drehbüchern unterscheiden. Es wird dabei beachtet, dass Position 1/2 und Position 3 unterschiedliche Positionen sind, da es sich um zwei Linksabbiegerpositionen und eine Geradeausfahrposition handelt. Dazu lassen sich folgende Hypothesen ableiten, welche sich aufgrund der Vereinfachung auf jeden Parameter aus Tabelle 41 beziehen:

*H1-0: Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern.*

*H1-1: Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern.*

*H2-0: Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Durchgängen.*

*H2-1: Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Durchgängen.*

Durch die Randomisierung wurde Position 1 in Durchgang 1 getestet und Position 2 in Durchgang 2 und muss in dieser Form in der Auswertung Berücksichtigung finden.

Als Methode wird eine 2 x 6 messwiederholte ANOVA verwendet mit dem Faktor Durchgang (1 und 2) und dem Faktor Drehbuch (Drehbuch 1- 6). Die Hypothesen gelten für alle identifizierten Fahrparameter.

Um eine bessere Übersicht zu gewährleisten, werden die Parameter einzeln auf ihre Aussagefähigkeit für die Hypothesen geprüft. Die Beantwortung, ob die Hypothesen angenommen werden können, wird in der anschließenden Diskussion getätigt.

#### 4.2.2.5.3 Design und Hypothesen: Fragestellung C

Das Design und die Hypothesen entsprechen dem Design aus Experiment I. Da die Feldkamera einen sehr eingeschränkten Winkel aufweist und nur das Blickfeld im frontalen Bereich aufgenommen wird, konnte keine AOI-Analyse durchgeführt werden.

Aufgrund dessen steht in diesem Kapitel das explorative Vorgehen im Vordergrund mit dem Ziel, geeignete Blickparameter für kurze kooperative Situationen zu identifizieren. Dazu wird zunächst eine 2x6 messwiederholte ANOVA mit den Faktoren Durchgang und Drehbuch verwendet werden. Als AVs dienen die vorgestellten Parameter aus Kapitel 4.1.2.6, welche in Tabelle 16).

präsentiert werden. Wie bei der Auswertung zur Engstelle und der Beobachtungsstudie und in den Kapiteln 3.2 und 4.1, wird eine Fuzzy-Cluster-Analyse

(Hatzinger, Hornik & Nagel, 2011) gerechnet mit den signifikanten Parametern aus der ANOVA. Die Ergebnisse werden in dem Diskussionsteil erörtert und relevante okulare Parameter identifiziert.

In dem nachfolgenden Kapitel werden die Hypothesen geprüft. In einem ersten Schritt werden die Datenaufbereitung und die deskriptiven Ergebnisse beschrieben. Des Weiteren wird anhand der subjektiven Einschätzungen ein Manipulationscheck durchgeführt sowie die Gültigkeit der Videos mit einem zusätzlichen Experiment geprüft.

### **4.2.3 Ergebnisse**

In diesem Kapitel werden zunächst die experimentellen Voraussetzungen geprüft. Darunter fällt zum einem die Normalverteilung der Stichprobe sowie ein Manipulationscheck. Im Anschluss werden die Hypothesen geprüft.

#### **4.2.3.1 Experimentelle Voraussetzungen und Manipulationscheck**

Zur Testung der Daten muss geprüft werden, ob die experimentellen Voraussetzungen erfüllt wurden. Diese beinhalten die Annahme, dass die Persönlichkeitsausprägungen der Probanden und die Einschätzung des Fahrstils einer Normalverteilung folgen. Des Weiteren muss überprüft werden, ob die Wahl des Fahrzeuges einen Einfluss auf den Probanden hatte.

In einem weiteren Schritt wurde mit einem zusätzlichen Computereperiment die Validität der Videos geprüft. Dies wird in einem zusätzlichen Unterkapitel dargestellt.

In einem ersten Schritt wird geprüft, ob die Stichprobe hinsichtlich der Persönlichkeitsausprägungen normalverteilt ist. Nach Field et al. (2013) eignet sich dafür der Shapiro-Wilk Test, welcher die Alternativhypothese prüft, ob die Daten nicht normalverteilt sind.

Die fünf Persönlichkeitseigenschaften Extraversion, Neurotizismus, Offenheit, Gewissenhaftigkeit sowie Verträglichkeit zeigen folgende Ergebnisse:



- Extraversion ( $S-W = 0,877$ ,  $df = 22$ ,  $p < 0,01$ ),
- Neurotizismus ( $S-W = 0,931$ ,  $df = 20$ ,  $p = 0,211$ ),
- Offenheit ( $S-W = 0,956$ ,  $df = 20$ ,  $p = 0,538$ ),
- Gewissenhaftigkeit ( $S-W = 0,989$ ,  $df = 20$ ,  $p = 0,699$ ),
- Verträglichkeit ( $S-W = 0,921$ ,  $df = 20$ ,  $p = 0,278$ ).

Bis auf die Persönlichkeitsausprägung der Extraversion kann davon ausgegangen werden, dass Eigenschaften normalverteilt sind, was allerdings für eine Stichprobe, die auf Freiwilligkeit der Untersuchung beruht, als normal angesehen werden kann. Im Allgemeinen kann angenommen werden, dass die Persönlichkeitseigenschaften zwischen Probanden ausreichend streuen.

Ebenfalls wurde die Einschätzung des Fahrstils getestet. Dieser wurde auch mit dem Shapiro-Wilk Test getestet. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Fahrstil ( $M = 3,95$ ,  $SD = 0,339$ ) normalverteilt ist ( $S-W = 0,952$ ,  $df = 20$ ,  $p = 0,351$ ).

Der Einfluss der beiden Testfahrzeuge wurde mit einem t-Test für unabhängige Stichproben überprüft, indem die Variablen „Sicherheit, fahren zu dürfen“ und „Kooperationsbereitschaft“ als Testvariablen fungierten. Es konnte kein Unterschied zwischen Testfahrzeug 1 (VW Passat,  $M = 5,41$ ,  $SD = 1,211$ ) und Testfahrzeug 2 (Ford Fiesta,  $M = 5,56$ ,  $SD = 1,437$ ) gefunden werden  $T(263) = -1,202$ ,  $p = n. s.$  Für die Variable Kooperationsbereitschaft konnte kein Unterschied zwischen Testfahrzeug 1 ( $M = 4,34$ ,  $SD = 2,678$ ) und Testfahrzeug 2 ( $M = 4,50$ ,  $SD = 1,356$ ) gefunden werden  $T(264) = -.174$ ,  $p = n. s.$  Es kann davon ausgegangen werden, dass die Testfahrzeuge keinen Einfluss auf das Entscheidungsverhalten hatten.

Aufgrund der Messwiederholung und dem zusätzlichen Faktor Position ist es für den Manipulationscheck notwendig, eine Mehrebenenanalyse zu verwenden.

Als erstes wurde ein Nullmodell berechnet, welches mit den drei folgenden Modellen verglichen wird, die aus dem Design heraus abgeleitet werden können:

- Modell 1: Random-Intercept und dem Faktor „Drehbuch“ als fixer Prädiktor
- Modell 2: Random-Intercept und den Faktoren „Drehbuch“ und „Position“ als fixe Prädiktoren
- Modell 3: Random-Intercept und den Faktoren „Drehbuch“, „Position“ und „Durchgang“ als fixe Prädiktoren.

Als AVs dienen die Fragen „Sicherheit, fahren zu dürfen“, „Kooperationsintensität“ und „Unfallrisiko“. Die Variablen sind effektkodiert zum Gesamtmittelwert, da die Effektkodierung den Vorteil bietet, dass die Variablen zu einem Gesamtmittelwert verglichen werden können. Bei einer Dummykodierung wird ein Referenzwert ausgewählt und an diesem verglichen (Bortz et al., 2006, Field et al., 2013). Ein Referenzwert gibt es für diese Studie nicht. Deshalb wurde eine Effektkodierung gewählt. Diese werden in den folgenden Unterkapiteln separat getestet.

#### 4.2.3.1.1 Sicherheit, fahren zu dürfen

Zur Testung der Variable muss geprüft werden, ob die Residuen normalverteilt sind, da ein Mehrebenenmodell sehr anfällig ist gegenüber Verletzungen der Normalverteilung. Mithilfe des Shapiro-Wilk Test wurde überprüft, ob die Residuen normalverteilt sind. Es kann von einer Normalverteilung ausgegangen werden,  $S-W = 0,970$ ,  $df = 20$ ,  $p = 0,700$ .

In einem nächsten Schritt wird das Nullmodell gegen die drei verschiedenen Modelle und mit einer ANOVA verglichen, welches das Modell mit der effizientesten Varianzaufklärung ist (Field et al., 2013).

Tabelle 43. Vergleich der verschiedenen Modelle für die Variable „Sicherheit, fahren zu dürfen“; T-Kreuzung.

Modell	df	AIC	BIC	Devianz	$\chi^2$	df	p
Nullmodell	3	933,93	944,18	927,93			
1	8	881,75	909,08	865,75	621,776	5	,000***
2	10	880,52	914,68	860,52	52,316	2	,073.
3	11	882,51	920,08	860,51	0,0154	1	,0901

p <,000 \*\*\*, p <,001 \*\*, p <,005\*, p <,01.

Auf Basis der Ergebnisse konnte sich für Modell 2 entschieden werden, da dieses das geringste „Akaiques Informationskriterium“ (AIC) aufweist. Das AIC ist ein Kriterium für die Modelltestung, welches zeigt, wie ökonomisch ein Modell ist. Je niedriger der Wert ist, desto ökonomischer ist das Modell (Akaike, 1973). Es ist das Ziel, ein gutes ökonomisches Modell zu wählen (Field et al., 2013).

Als nächster Schritt wurde die Mehrebenenanalyse mit dem Modell 2 gerechnet und wird in Tabelle 44 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass das „Drehbuch“ und die „Reihenfolge“ signifikante Prädiktoren für die Variable „Sicherheit, zu fahren“ darstellen. In Abbildung 52 und Abbildung 53 werden die Boxplots getrennt nach „Drehbuch“ und „Reihenfolge“ dargestellt. Es wird deutlich, dass die Probanden sich in den offensiven Drehbüchern (3, 4, 6) in ihrer Entscheidung sicherer waren zu fahren als in den defensiven Drehbüchern (1, 2, 5). Zur Erinnerung: In den offensiven Drehbüchern haben die VL versucht als erstes zu fahren und in den defensiven Drehbüchern wurde versucht, zu kommunizieren, dass die Probanden als erstes fahren sollen.

Des Weiteren steigt die Sicherheit, fahren zu dürfen mit der steigenden Fahrreihenfolge, unabhängig von dem Drehbuch. An der letzten Stelle sind sich die Probanden am sichersten fahren zu dürfen.

Tabelle 44. Mehrebenenanalyse für Modell 2 mit der AV „Sicherheit, fahren zu dürfen“; T-Kreuzung.

	df	M	SD	t	p
Intercept	19,0700	5,345	0,185	28,962	,000***
Drehbuch 1	200,18	-1,049	0,243	-4,317	,000***
Drehbuch 2	199,73	-0,930	0,240	-3,866	,000***
Drehbuch 3	204,18	0,777	0,252	3,093	,002**
Drehbuch 4	203,69	0,552	0,256	2,161	,032*
Drehbuch 5	205,03	-0,130	0,259	-0,486	,0627
Drehbuch 6	204,10	0,632	0,261	2,567	,023*
Reihenfolge 1	216,82	-0,400	0,187	-2,155	,0322*
Reihenfolge 2	212,18	0,090	0,164	0,571	,0568

$p < ,000$  \*\*\*,  $p < ,001$  \*\*,  $p < ,005$ \*,  $p < ,01$ .

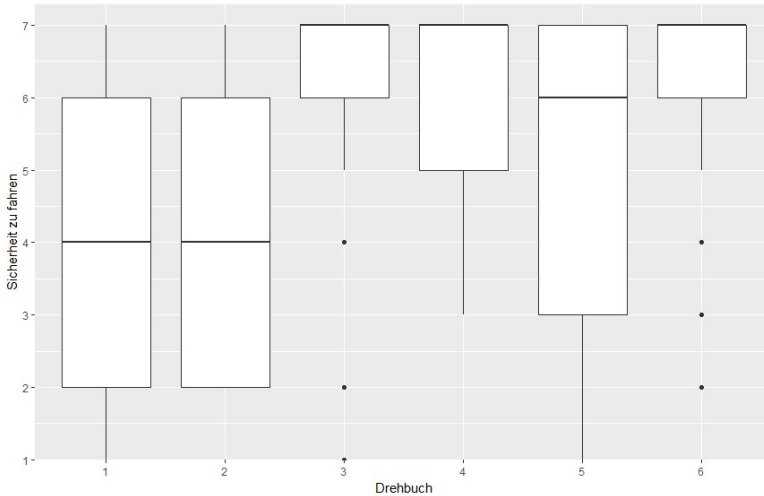


Abbildung 52. Boxplot für die Variable „Sicherheit, fahren zu dürfen“, getrennt nach dem Faktor Drehbuch; T-Kreuzung.

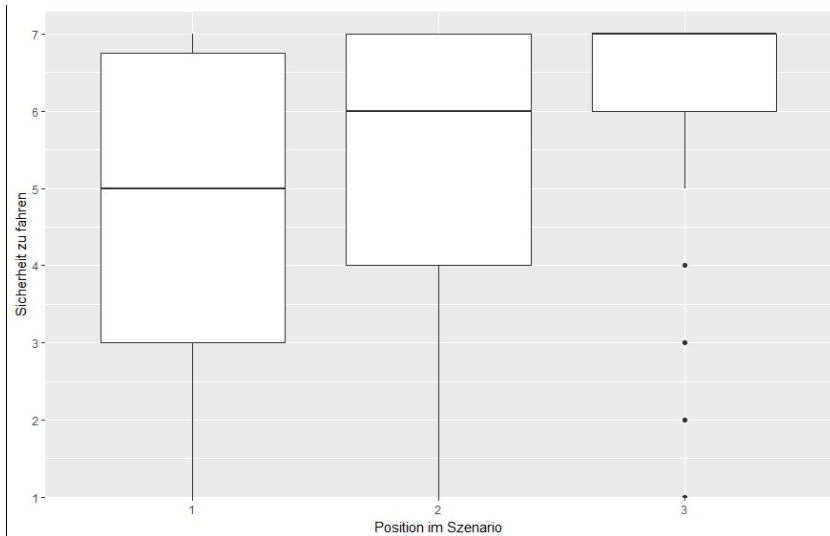


Abbildung 53. Boxplot für die Variable „Sicherheit, fahren zu dürfen“, getrennt nach dem Faktor Reihenfolge; T-Kreuzung.

Auf Basis der Variable „Sicherheit, fahren zu dürfen“ kann davon ausgegangen werden, dass die Manipulation erfolgreich war. Die Drehbücher haben unterschiedliche Intentionen bei den Probanden erzeugt.

#### 4.2.3.1.2 Kooperationsintensität

Für die Variable „Kooperationsintensität“ wurde das gleiche Vorgehen wie für die Variable „Sicherheit, zu fahren“ gewählt. In Tabelle 45 ist der Modellvergleich dargestellt.

Tabelle 45. Vergleich der verschiedenen Modelle für die Variable Kooperationsintensität; T-Kreuzung.

Modell	df	AIC	BIC	Devianz	$\chi^2$	df	p
Nullmodell	3	930,07	940,33	924,07			
1	8	888,17	915,53	872,17	5,190	5	,000***
2	10	889,60	923,80	869,60	2,569	2	,2767
3	11	890,56	928,18	868,56	1,0379	1	,3083

$p < ,000$  \*\*\*,  $p < ,001$  \*\*,  $p < ,005$ \*,  $p < ,01$ .

Auf Basis der ANOVA und dem Kriterium des niedrigsten AICs wurde sich für Modell 1 entschieden. Modell 1 war definiert als Random-Intercept mit dem fixen Prädiktor „Drehbuch“. Die Ergebnisse der Mehrebenenanalyse sind in Tabelle 45 dargestellt.

Der Prädiktor „Drehbuch“ (Tabelle 45, Abbildung 54) zeigt, dass es signifikante Unterschiede zwischen den Drehbüchern im Vergleich zu dem Gruppenmittelwert gibt. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse, dass der Faktor „Drehbuch“ einen signifikanten Prädiktor darstellt. Die offensiven Drehbücher (3, 4, 6) werden signifikant niedriger eingeschätzt in der wahrgenommenen Kooperationsintensität als die defensiven Drehbücher (1, 2, 5).

Tabelle 46. Mehrebenenanalyse für Modell 2 mit der AV „Kooperationsintensität“; T-Kreuzung.

	df	M	SD	t	p
Intercept	19,37	4,0243	0,2394	16813,0000	,000***
Drehbuch 1	201,83	0,9803	0,2332	4204,0000	,000***
Drehbuch 2	201,65	0,5711	0,2306	2477,0000	,0141*
Drehbuch 3	201,77	-1,0095	0,2331	-4,3310	,000***
Drehbuch 4	201,77	-1,1148	0,2331	-4,7830	,000***
Drehbuch 5	202,07	0,4250	0,2358	1,8030	,0729*
Drehbuch 6	202,07	,5321	,2781	1,6523	,0499*

$p < ,000$  \*\*\*,  $p < ,001$  \*\*,  $p < ,005$ \*,  $p < ,01$ .

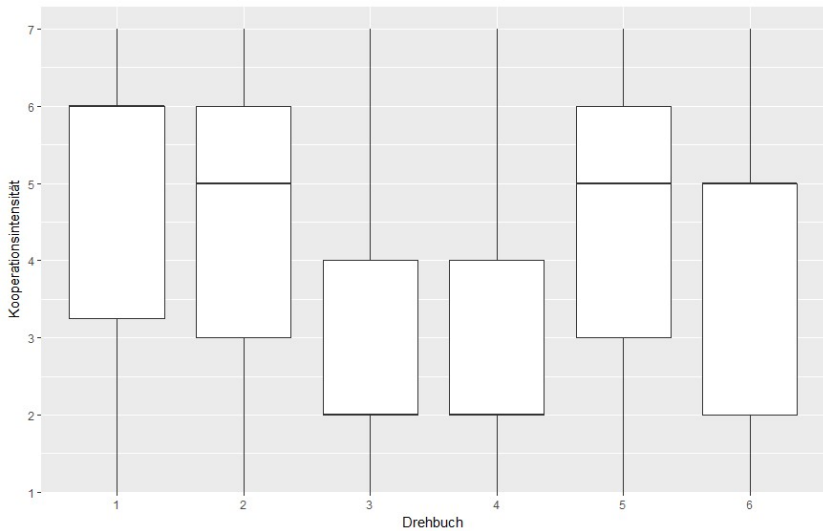


Abbildung 54. Boxplot für die Variable „Kooperationsintensität“; T-Kreuzung.

Auf Basis der Ergebnisse zu der Variablen Kooperationsintensität kann die Manipulation als erfolgreich angesehen werden. Es gibt Unterschiede zwischen den Drehbüchern.

#### 4.2.3.1.3 Unfallrisiko

Für die Variable „Unfallrisiko“ wurde das gleiche Vorgehen gewählt. In Tabelle 47 ist der Modellvergleich dargestellt.

Tabelle 47. Vergleich der verschiedenen Modelle für die Variable „Unfallrisiko“; T-Kreuzung.

Modell	df	AIC	BIC	Devianz	$\chi^2$	df	p
Nullmodell	3	597.53	607.77	591.53			
1	8	598.59	625.88	582.59	8.914	5	.111
2	10	596.80	630.92	576.80	5.790	2	.055
3	11	598.60	636.32	576.80	0.004	1	.945
4	20	600.27	668.50	560.27	17.456	9	.049*

p <,000 \*\*\*, p <,001 \*\*, p <,005\*, p <,01.

Auf der Basis der ANOVA wurde Modell 4 ausgewählt. Es wird ersichtlich, dass der AIC fast keinen Unterschied zwischen den Modellen zu erkennen lässt. In einem solchen Fall beschreibt Field et al. (2013) das Vorgehen, dass sich danach an der Signifikanz des Modelltests orientiert werden soll. In diesem Modelltest klärt Modell 4 signifikant mehr Varianz auf als das Nullmodell. Modell 4 besteht aus den Faktoren „Drehbuch“, „Reihenfolge“ und der Interaktion aus „Drehbuch und Reihenfolge“. In Tabelle 48 ist die Mehrebenenanalyse dargestellt.



Tabelle 48. Mehrebenenanalyse für Modell 2 mit der AV „Unfallrisiko“;T-Kreuzung.

	df	M	SD	t	p
Intercept	22,800	3,861	0,15642	24,689	,0000***
Drehbuch 1	188,110	0,05057	0,15529	0,326	0,7451
Drehbuch 2	189,510	0,12295	0,14747	0,834	0,4055
Drehbuch 3	189,590	-0,07117	0,16662	-0,427	0,6698
Drehbuch 4	190,640	0,09803	0,19142	0,512	0,6092
Drehbuch 5	190,080	-0,13063	0,17673	-0,739	0,4607
Drehbuch 6	190,120	-0,12541	,013289	-,831	,4976
Reihenfolge 1	197,180	0,11140	0,11680	0,954	0,3414
Reihenfolge 2	193,210	0,11900	0,10157	1,172	0,2428
Drehbuch 1 * Reihenfolge 1	190,610	0,06730	0,19700	0,342	0,7330
Drehbuch 2* Reihenfolge 1	191,130	-0,20094	0,19016	-1,057	0,2920
Drehbuch 3* P Reihenfolge 1	191,920	0,19102	0,29690	0,643	0,5207
Drehbuch 4* Reihenfolge 1	191,440	0,76733	0,34894	2,199	0,0291*
Drehbuch 5* Reihenfolge 1	191,630	-0,15335	0,21214	-0,723	0,4706
Drehbuch 1 * Reihenfolge 2	191,220	0,07127	0,20990	0,340	0,7346
Drehbuch 2* Reihenfolge 2	192,020	0,29440	0,20125	1,463	0,1451
Drehbuch 3* Reihenfolge 2	189,930	-0,09611	0,20078	-0,479	0,6327
Drehbuch 4* Reihenfolge 2	191,050	-0,39983	0,22384	-1,786	0,0756.
Drehbuch 5* Reihenfolge 2	191,240	-0,20092	0,29751	-0,675	0,5003

p < ,000 \*\*\*, p < ,001 \*\*, p < ,005\*, p < ,01,

Tabelle 48 zeigt, dass das Modell zwar signifikant mehr Varianz aufklärt als das Nullmodell, aber insgesamt nur ein signifikanter Prädiktor in dem Modell vorhanden ist. Drehbuch 4 \* Reihenfolge 1,  $p < .05$ . Abbildung 55 und Abbildung 56 zeigen das gleiche Ergebnis. Aufgrund dieses Resultates kann die Variable Unfallrisiko nicht weiter berücksichtigt werden.

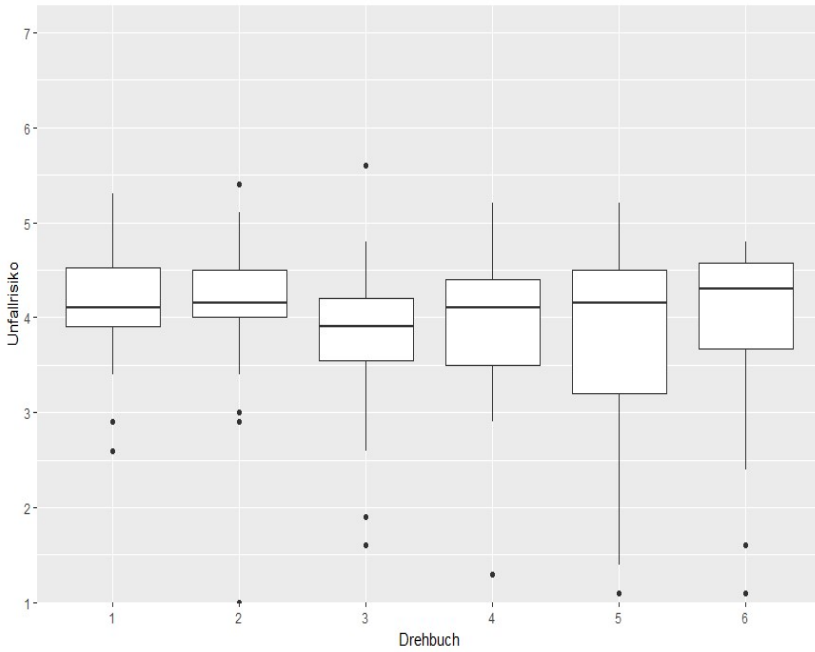


Abbildung 55. Boxplot für die Variable „Unfallrisiko“, getrennt nach dem Faktor Drehbuch; T-Kreuzung.

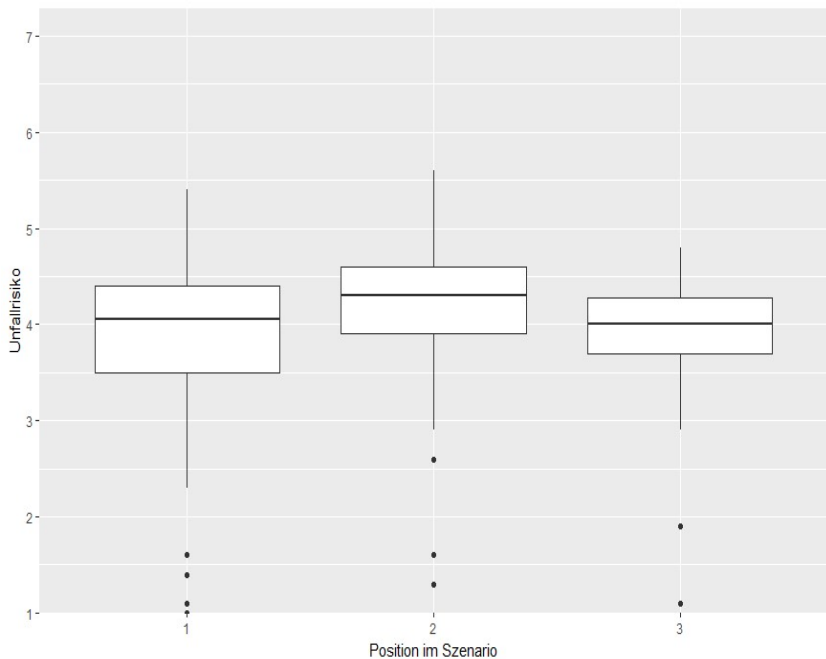


Abbildung 56. Boxplot für die Variable „Unfallrisiko“, getrennt nach dem Faktor Reihenfolge; T-Kreuzung.

Die Variable „Unfallrisiko“ zeigte keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Drehbüchern, deswegen kann der Manipulationscheck für die Variable nicht als gültig angesehen werden. Da die anderen beiden Variablen „Sicherheit, fahren zu dürfen“ und „Kooperationsintensität“ sehr gut zwischen den Drehbüchern differenzieren, kann eine Manipulation des Verhaltens durch die verschiedenen Drehbücher als gültig anerkannt werden. Die Manipulation hat funktioniert.

In dem nachfolgenden Kapitel werden die Videos hinsichtlich der Gültigkeit geprüft.

### 4.2.3.2 Überprüfung der Validität der Videos aus Experiment

Schmitt (2017) hat unter wissenschaftlicher Anleitung des Autors unter anderem die Validität der Videos überprüft. Die Daten der Abschlussarbeit wurden noch einmal von dem Autor neu berechnet.

Auf Basis der OpenSesame Experimentalstruktur (Version 3.1.2 Jazzy James) aus Kapitel 4.1.3.1 wurden in einem gleichen Vorgehen, die Videos mit einer Probandenstudie getestet. Die Probanden mussten die gleichen Einschätzungen wie in der Ursprungsstudie tätigen.

Zur besseren Übersicht wird die Studie in einer verkürzten Form dargestellt. Die vollständige Beschreibung findet sich in Schmitt (2017).

#### 4.2.3.2.1 Methode

Insgesamt haben an der Studie  $N = 21$  Probanden ( $N = 11$  weiblich,  $N = 10$  männlich) teilgenommen. Der Altersdurchschnitt betrug  $M = 23,26$  Jahre ( $SD = 3,4$ ). Die durchschnittliche Fahrtleistung betrug  $M = 143,00$  Kilometer ( $SD = 147,10$ ).

Das Experiment folgte dem gleichen Aufbau wie das beschriebene Experiment aus Kapitel 4.2.3.2.

Es wurden für jedes Drehbuch und jede Position je zwei charakteristische Videos herausgesucht und den Probanden präsentiert. Als Kriterium diente die Augenscheinvalidität und eine Bewertung der Umsetzung von dem VL  $> 5$  (Umsetzung war gut). Das Experiment war so aufgebaut, dass nach einer standardisierten Begrüßung (siehe Anhang C) der Proband instruktionsgeleitet durch das Experiment geführt wurde. Nach einem Testlauf wurde den Probanden das Video präsentiert und es mussten die gleichen Fragen, wie in Experiment II beantwortet werden. Die Videos stoppten kurz vor der Auflösung der Situation, sodass die Probanden entscheiden mussten, ob sie fahren wollen oder nicht (siehe Abbildung 57). Die Präsentation der Videos erfolgte in randomisierter Reihenfolge.

Nach den zwölf Videos wurden die Probanden gebeten, noch einen demographischen Fragebogen und den NEO-FFI in der Kurzform (Borkenau und Ostendorf, 1993) auszufüllen. Insgesamt dauerte das Experiment zwischen 20 und 30 Minuten.

Da es sich um andere Probanden handelt als in Experiment II, können die Daten nicht direkt miteinander verglichen werden (Bortz et al., 2006). Somit werden die Ergebnisse nur qualitativ miteinander verglichen und überprüft, ob die Daten ähnliche Muster aufzeigen.



Abbildung 57. Screenshot aus dem Experiment zur Prüfung der Validität der Videos; T-Kreuzung.

#### 4.2.3.2.2 Ergebnisse

Die Daten der doppelten Videos wurden durch Mittelwertbildung zusammengefügt, da es keine signifikanten Unterschiede gab (nachzulesen in Schmitt, 2017). Es wurden die Variablen „Sicherheit, fahren zu dürfen“ und „Unfallrisiko“ für die Validitätsüberprüfung verwendet.

Auf eine Aufschlüsselung nach Fahrtreihenfolge und Position wurde zur Reduzierung des Aufwandes in einem ersten Schritt verzichtet. In Abbildung 58 sind die Mittelwerte für die Variable „Sicherheit, fahren zu dürfen“ abgebildet.

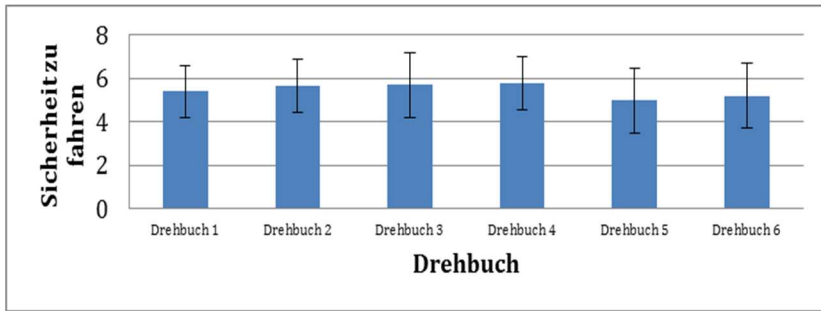


Abbildung 58. Mittelwertdiagramm für die Variable „Sicherheit, zu fahren“ in der Validitätsüberprüfung; T-Kreuzung.

Anhand der Abbildung ist zu erkennen, dass das Muster für die Drehbücher 1-4 einem ähnlichen Verlauf folgt (siehe Abbildung 58). Für die Drehbücher 5-6 ist das Muster exakt umgekehrt, da hier die Sicherheit signifikant geringer ausfällt. Dies ist dadurch zu erklären, dass in den Videoaufnahmen Position 1 aus Position 3 schwieriger zu erkennen ist, als wenn ein Proband es real erlebt hat. Es kann allerdings auch sein, dass die Probanden aufgrund der Verkehrssituation tatsächlich weniger sicher waren. Deswegen kann eine Gültigkeit der Videos im Allgemeinen nur für die Drehbücher 1 - 4 ausgesprochen werden.

In Abbildung 59 ist das Mittelwertdiagramm für die Variable „Unfallrisiko“ abgebildet. Verglichen mit Abbildung 34 aus Kapitel 4.2.3.1.3 ist zu erkennen, dass das Muster sehr ähnlich ist. Aufbauend darauf lässt sich schlussfolgern, dass die Videos für die Variable „Unfallrisiko“ eine Gültigkeit aufweisen.

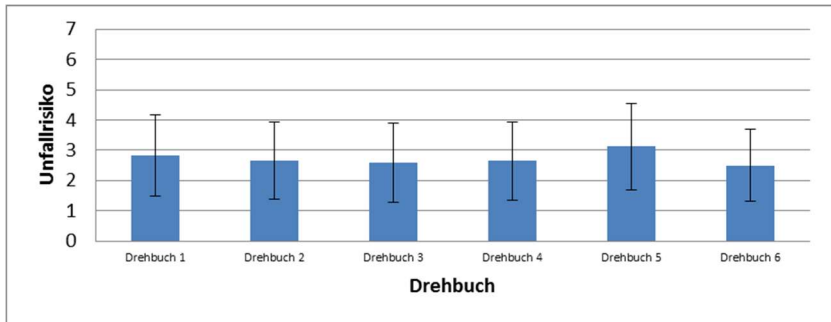


Abbildung 59. Mittelwertdiagramm für die Variable „Unfallrisiko“ in der Validitätsüberprüfung; T-Kreuzung.

#### 4.2.3.2.3 Einordnung der Ergebnisse

Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass die Videos als valide betrachtet werden können. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Drehbücher 5 - 6 schwieriger einzuordnen sind, da der Blickwinkel durch das Fischaugenobjektiv verzerrt ist. Für weitere Untersuchungen mit Videoaufnahmen für das T-Kreuzungsszenario muss dieser Effekt berücksichtigt werden. In den nachfolgenden Kapiteln werden die Fragestellungen A - C überprüft und abschließend diskutiert.

In dem nachfolgenden Kapiteln werden die Ergebnisse zu den drei Fragestellungen präsentiert.

#### 4.2.3.3 Ergebnisse Fragestellung A

Für Fragestellung A wurde eine multinomiale logistische Regression berechnet. Aufgrund der Komplexität und zu einer besseren Übersicht werden die Ergebnisse in Tabelle 49 dargestellt.

In Tabelle 50 sind die Wahrscheinlichkeiten an welcher Position man fahren wird für jedes Drehbuch abgetragen.

Tabelle 49. Übersicht multinomiale Regression; T-Kreuzung.

Index Pre-kasi*		B	Std. Fehler	z-Wert	df	sig
< 2	Intercept	3,24	5,278	-6,670	1	
	Drehbuch 1	-0,693	0,370	-1,878	1	0,061.
	Drehbuch 2	0,087	0,515	0,169	1	0,866
	Drehbuch 3	2,539	0,723	3,513	1	0,000***
	Drehbuch 4	2,890	0,832	3,475	1	0,000***
	Drehbuch 5	-1,540	0,711	-2,167	1	0,030*
	Drehbuch 6	0,6931	0,564	1,23	1	0,219
<2=3	Intercept	-2,150	4,230	4,564	1	
	Drehbuch 1	-1,481	0,500	-2,991	1	0,003**
	Drehbuch 2	0,000	0,701	0,006	1	0,100
	Drehbuch 3	3,155	0,801	3,941	1	0,000***
	Drehbuch 4	3,679	0,900	4,110	1	0,000***
	Drehbuch 5	0,095	0,651	0,146	1	0,030*
	Drehbuch 6	1,792	0,635	2,822	1	0,219

\*Referenzkategorie, Position 1, p < ,000 \*\*\*, p < ,001 \*\*, p < ,005\*, p < ,01,

Tabelle 50. Wahrscheinlichkeit zu fahren, in Abhängigkeit der Kommunikationssets und Reihenfolge; T-Kreuzung.

Kommunikationsset	Wahrscheinlichkeit als erstes/zweites/drittes zu fahren		
	1	2	3
1	0,579	0,290	0,131
2	0,052	0,470	0,474
3	0,564	0,308	0,128
4	0,079	0,500	0,421
5	0,737	0,079	0,184
6	0,297	0,297	0,405

Die Vorhersagegüte liegt bei 87,60%. Des Weiteren liegen die Pseudomaße in einem sehr hohen Bereich:

- Cox & Snell Index: ,540
- Nagelkerke Index: ,743



- Mc Fadden's  $R^2$ : ,568

Damit kann die Vorhersage als sehr gut eingestuft werden. Des Weiteren wird anhand der Wahrscheinlichkeiten ersichtlich, dass die beiden defensiven Drehbücher 1 (Wahrscheinlichkeit = 0,579) und 5 (Wahrscheinlichkeit = 0,737) dazu führen, dass mit einer höheren Wahrscheinlichkeit als erstes gefahren wird. Drehbuch 2 weist eine deutlich geringere Wahrscheinlichkeit auf (Wahrscheinlichkeit = 0,052). Hier sind die Probanden entweder als zweites oder drittes gefahren. Die offensiven Drehbücher 3 (Wahrscheinlichkeit = 0,564), 4 (Wahrscheinlichkeit = 0,079) und 6 (Wahrscheinlichkeit = 0,297) führen dazu, dass die Probanden mit großer Wahrscheinlichkeit nicht als erstes fahren, sondern als zweites oder drittes.

Aufgrund der signifikanten Ergebnisse (Tabelle 49) und Wahrscheinlichkeiten (Tabelle 50) kann Hypothese 1-1, dass die defensiven Drehbücher dazu führen, dass als erstes gefahren wird, nur teilweise angenommen werden. Da Drehbuch 2 den entgegengesetzten Effekt erzielte. Hypothese 2-1-1, dass die offensiven Drehbücher dazu führen, dass als zweites gefahren wird, kann aufgrund Ergebnisse angenommen werden. Bei den offensiven Drehbüchern wird als Zweites oder Drittes gefahren.

#### **4.2.3.4 Ergebnisse Fragestellung B**

In dem folgenden Kapitel wird Fragestellung B getestet. Zur besseren Übersicht werden die einzelnen Fahrparameter in Unterkapiteln überprüft. Am Ende jedes Unterkapitels wird eine Zusammenfassung der Hypothesen präsentiert. Die Ergebnisse der ANOVA werden nicht nur anhand des Signifikanzniveaus analysiert, sondern auch nach der Effektstärke des partiellen  $\eta^2$ . Nach Cohen liegt ein kleiner Effekt zwischen 0,01 und 0,06 vor, ein mittlerer Effekt liegt zwischen 0,06 und 0,14 und ein großer Effekt liegt  $> 0,14$  vor. Kleine Effekte werden im weiteren Vorgehen nicht weiter berücksichtigt.

##### **4.2.3.4.1 Fahrparameter Maximale Bremskraft**

Die Voraussetzungen zur Überprüfung von Hypothese 2-1-1 sind erfüllt, der Mauchly-Test auf Sphärizität ist nicht signifikant,  $W = 0.056$ ,  $p > 0.05$ . Die Ergebnisse der messwiederholten ANOVA sind in Tabelle 51 dargestellt.

Tabelle 51. Messwiederholte ANOVA für den Parameter MB; T-Kreuzung.

Effekt	df1	df2	Quadratsumme	F	p	partielles $\eta^2$
(Intercept)	1	10	26381,027	122,197	0,000***	0,847
Drehbuch	5	50	275,974	1,589	0,180	0,055
Durchgang	1	10	111,298	5,573	0,040*	0,023
DB:DG	5	50	100,131	1,519	0,201	0,021

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der Offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission

Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern,  $F(50,5) = 1,589$ ,  $p = n.s.$ . Des Weiteren gibt es einen signifikanten Haupteffekt zwischen den Durchgängen. Basierend auf der geringen Effektstärke,  $\eta^2 = ,023$  kann dieser Effekt vernachlässigt werden.

Aufgrund der Ergebnisse können Hypothese H1 und H2 verworfen werden und die Nullhypothesen angenommen werden.

#### 4.2.3.4.2 Fahrparameter maximale laterale Beschleunigung

Die Voraussetzungen für die messwiederholte ANOVA sind erfüllt, der Mauchly Test auf Sphärizität ist nicht signifikant,  $W = 0.099$ ,  $p > 0.1$ . Die Ergebnisse der messwiederholten ANOVA sind in Tabelle 52 dargestellt.

Tabelle 52. Messwiederholte ANOVA für den Parameter Maximale laterale Beschleunigung; T-Kreuzung.

Effekt	df1	df2	Quadratsumme	F	p	partielles $\eta^2$
(Intercept)	1	10	436,775	1064,293	0,000***	0,959
Drehbuch	5	50	62,991	82,152	0,000***	0,771
Durchgang	1	10	2,187	16,466	0,002**	0,105
DB:DG	5	50	1,690	3,034	0,018*	0,083

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission

Anhand der Ergebnisse ist zu erkennen, dass sowohl die Haupteffekte als auch der Interaktionseffekt signifikant sind. Wenn ein Interaktionseffekt signifikant ist, dürfen die Haupteffekte nicht isoliert betrachtet werden (Field et al., 2013).

Um den Interaktionseffekt besser zu verstehen, eignen sich Kontrastanalysen (Bortz et al., 2006). Diese werden in Tabelle 53 dargestellt und zur besseren Übersicht wird zusätzlich ein Mittelwertdiagramm präsentiert (Abbildung 60).

Tabelle 53. Kontrastanalyse für die messwiederholte ANOVA zur Analyse des Parameters laterale Beschleunigung; T-Kreuzung.

Kontraste	b	SE	DF	t	p	r
Intercept	1,819	0,056	60	32,624	0,000***	0,973
DB LinksGerade	0,483	0,024	50	20,047	0,000***	0,943
DB Links OffDef	-0,017	0,042	50	-0,412	0,682	0,058
DB 1vs2	0,065	0,059	50	1,099	0,277	0,154
DB 3vs4	0,127	0,059	50	2,158	0,036*	0,292
DB 5vs6	0,099	0,059	50	1,681	0,099.	0,231
Durchgang (DG)	-0,129	0,030	60	-4,362	0,000***	0,491
DB LinksGerade:DG	-0,073	0,021	60	-3,495	0,001**	0,411
DB Links OffDef:DG	-0,003	0,036	60	-0,070	0,944	0,009
DB 1vs2:DG	0,016	0,051	60	0,318	0,752	0,041
DB 3vs4:DG	-0,059	0,051	60	-1,155	0,253	0,148
DB 5vs6:DG	0,052	0,051	60	1,021	0,311	0,131

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission

Die Kontrastanalyse zeigt einen hoch signifikanten Effekt zwischen Linksabbieger und Geradeausfahrpositionen ( $t(50) = 20.047$ ,  $p < 0.001$ ), sowie zwischen Drehbuch 3 und Drehbuch 4 ( $t(50) = 2.158$ ,  $p < 0.05$ ) und zwischen den Durchgängen ( $t(50) = -4,362$ ,  $p < 0.000$ ). Des Weiteren zeigt diese einen Interaktionseffekt zwischen den Drehbüchern für die Linksabbiegerpositionen und der Geradeausfahrposition sowie Durchgängen 1 und 2 ( $t(60) = -3.495$ ,  $p < 0.001$ ).

Aufgrund der Ergebnisse kann Hypothese 1-1 angenommen werden, es gibt einen Unterschied zwischen den Drehbüchern. Des Weiteren kann Hypothese

2-1 angenommen werden, es gibt einen Unterschied zwischen den Durchgängen. Die Bedeutung des Interaktionseffekts wird in der Diskussion noch einmal aufgegriffen.

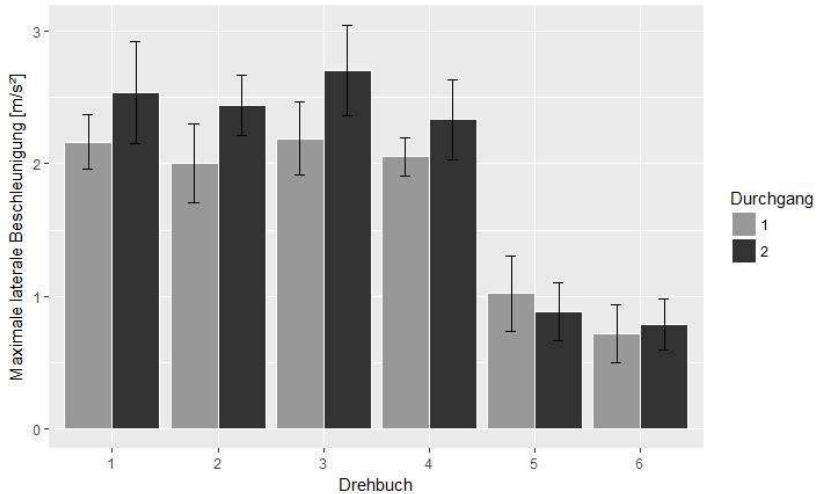


Abbildung 60. Mittelwertdiagramm mit Standardabweichung für die Variable Maximale laterale Beschleunigung; T-Kreuzung.

#### 4.2.3.4.3 Fahrparameter Stillstandszeitpunkt

Die Annahme der Sphärizität wird für den Faktor Drehbuch nicht verletzt,  $W = 0,292$ ,  $p > 0,1$ . Die Ergebnisse der messwiederholten ANOVA sind in Tabelle 54 dargestellt.

Tabelle 54. Messwiederholte ANOVA für den Parameter Stillstandszeitpunkt; T-Kreuzung.

Effekt	df1	df2	Quadratsumme	F	p	partielles $\eta^2$
(Intercept)	1	10	1486,265	61,033	0,000***	0,569
Drehbuch	5	50	71,461	1,440	0,226	0,060
Durchgang	1	10	224,977	60,012	0,000***	0,166
DB:DG	5	50	210,394	6,000	0,000***	0,157

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission

$p < 0,001$ \*\*\*,  $p < 0,01$ \*\* ,  $p < 0,05$ \* ,  $p < 0,1$ .

In Tabelle 55 wird ersichtlich, dass es einen signifikanten Interaktionseffekt zwischen dem Drehbuch und dem Durchgang gibt,  $F(50,5) = 6,000$ ,  $p < .000$ ,  $\eta^2 = ,157$ . Dieser wird in Tabelle 55 mittels einer Kontrastanalyse weiter analysiert.

Tabelle 55. Kontrastanalyse für die messwiederholte ANOVA zur Analyse des Parameters Stillstandszeitpunkt; T-Kreuzung.

Kontraste	b	SE	df	t	p	r
Intercept	3,356	0,430	60	7,812	0,000***	0,710
DB LinksGerade	0,117	0,194	50	0,602	0,550	0,085
DB Links OffDef	0,241	0,336	50	0,719	0,475	0,101
DB 1vs2	-0,599	0,475	50	-1,261	0,213	0,176
DB 3vs4	-0,581	0,475	50	-1,222	0,227	0,170
DB 5vs6	-0,855	0,475	50	-1,799	0,078.	0,247
Durchgang (DG)	1,306	0,221	60	5,897	0,000***	0,606
DB LinksGerade:DG	0,742	0,157	60	4,741	0,000***	0,522
DB Links OffDef:DG	-0,359	0,271	60	-1,324	0,191	0,168
DB 1vs2:DG	0,982	0,383	60	2,560	0,013*	0,314
DB 3vs4:DG	-0,297	0,383	60	-0,775	0,442	0,100
DB 5vs6:DG	0,409	0,383	60	1,065	0,291	0,136

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission

In der Kontrastanalyse wird ersichtlich, dass der Interaktionseffekt dadurch zustande kommt, dass es einen Unterschied zwischen Drehbuch 1 und Drehbuch 2 in den verschiedenen Durchgängen gibt (siehe Abbildung 61). Des Weiteren gibt es einen hoch signifikanten Unterschied zwischen Position 1/2 und Position 3,  $t(60) = 4,741$ ,  $p < 0,001$ . Die anderen getesteten Kontraste sind nicht signifikant.

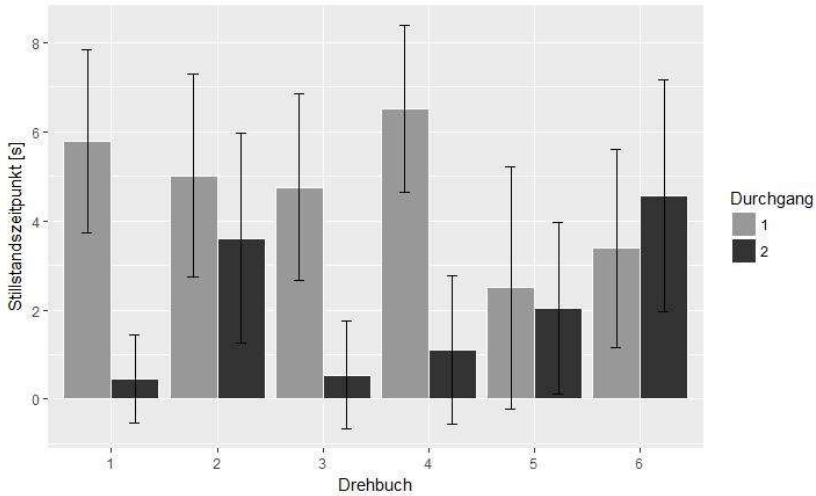


Abbildung 61. Mittelwertdiagramm mit Standardabweichung für die Variable Stillstandszeitpunkt; T-Kreuzung.

Auf Basis der Ergebnisse lässt sich sagen, dass Hypothese 1-1 abgelehnt werden muss und die Nullhypothese angenommen werden kann. Es gibt keine Unterschiede zwischen den Drehbüchern. Hypothese 2-1 kann auf Basis des Interaktionseffektes angenommen werden. Es gibt signifikante Unterschiede zwischen den Positionen bzw. Durchgängen.

#### 4.2.3.4.4 Fahrparameter Wiederbeschleunigungszeitpunkt

Die Voraussetzungen für die messwiederholte ANOVA sind in Bezug auf die Sphärizität nicht erfüllt,  $W = 0.056$ ,  $p > 0.05$ . Aufgrund dessen wird für die ANOVA eine Greenhouse-Geiser Korrektur angewendet. In Tabelle 56 sind die Ergebnisse der messwiederholten ANOVA abgebildet.



Tabelle 56. Messwiederholte ANOVA für den Parameter Wiederbeschleunigungszeitpunkt; T-Kreuzung.

Effekt	df1	df2	Quadratsumme	F	p	partielles $\eta^2$
(Intercept)	1	10	6273,485	32,344	0,000***	0,500
Drehbuch	5	50	423,615	1,411	0,237	0,063
Durchgang	1	10	1115,195	37,265	0,000***	0,151
DB:DG	5	50	561,895	5,467	0,000***	0,082

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission,

P-Wert nach Green-House Geißer korrigiert,  
 $p < 0,001$ \*\*\*,  $p < 0,01$ \*\*\*,  $p < 0,05$ \*,  $p < 0,1$ .

Aus Tabelle 56 wird ersichtlich, dass ein hoch signifikanter Interaktionseffekt aufgetreten ist. Dieser wird in Tabelle 57 mittels einer Kontrastanalyse näher untersucht.

Tabelle 57. Kontrastanalyse für die messwiederholte ANOVA zur Analyse des Parameters Wiederbeschleunigungszeitpunkt; T-Kreuzung.

Kontraste	b	SE	DF	t	p	r
Intercept	6,894	1,212	60	5,687	0,000***	0,592
DB LinksGerade	0,075	0,477	50	0,157	0,876	0,022
DB Links OffDef	1,696	0,826	50	2,053	0,045*	0,279
DB 1vs2	-1,543	1,168	50	-1,321	0,193	0,184
DB 3vs4	-0,987	1,168	50	-0,845	0,402	0,119
DB 5vs6	-0,697	1,168	50	-0,596	0,554	0,084
Durchgang (DG)	2,907	0,409	60	7,101	0,000***	0,676
DB LinksGerade:DG	1,211	0,289	60	4,185	0,000***	0,475
DB Links OffDef:DG	0,147	0,501	60	0,293	0,771	0,038
DB 1vs2:DG	1,926	0,709	60	2,717	0,009**	0,331
DB 3vs4:DG	-0,420	0,709	60	-0,592	0,556	0,076
DB 5vs6:DG	0,187	0,709	60	0,264	0,793	0,034

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission

$p < 0.001$ \*\*\*,  $p < 0.01$ \*\* ,  $p < 0.05$ \* ,  $p < 0.1$ .

Aus Tabelle 57 wird ersichtlich, dass der Interaktionseffekt dadurch zustande kommt, dass es einen hoch signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern 1 und 2 sowie Positionen 1 und 2 gibt,  $t(60) = 2.717$ ,  $p < 0.01$ . Des Weiteren zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Linksabbiegerpositionen und den Missionen „Defensiv“ und „Offensiv“,  $t(50) = 2.053$ ,  $p < 0.05$ . Anhand der Daten kann gezeigt werden, dass Hypothese 1-1 abgelehnt werden und die Nullhypothese angenommen werden kann. Es gibt keinen Unterschied zwischen den Drehbüchern. Hypothese 2-1 kann aufgrund des Interaktionseffektes angenommen werden, es gibt einen Unterschied zwischen den Positionen.

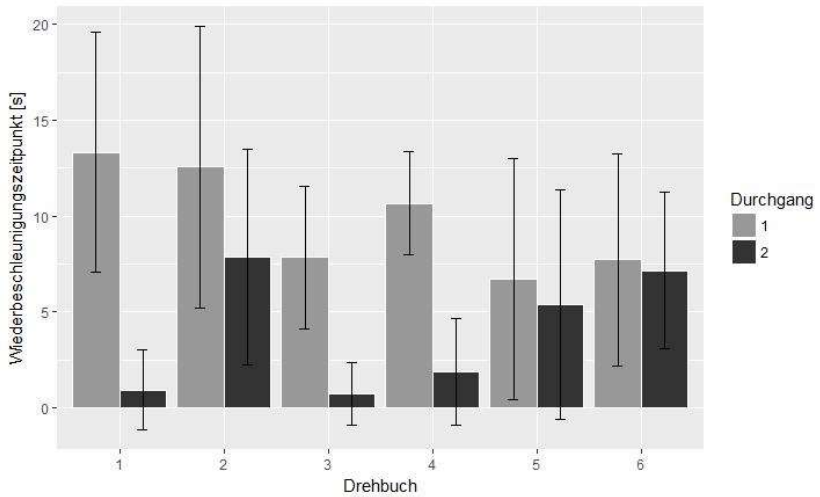


Abbildung 62. Mittelwertdiagramm mit Standardabweichung für die Variable Wiederbeschleunigungszeitpunkt; T-Kreuzung.

#### 4.2.3.4.5 Fahrparameter Stillstandsdauer

Die Annahme der Sphärizität wird verletzt,  $W = 0,018$ ,  $p < 0,01$ . Aufgrund dessen wird die Greenhouse-Geisser-Korrektur in den weiteren Schritten verwendet. In Tabelle 58 sind die Ergebnisse der messwiederholten ANOVA dargestellt.

Tabelle 58. Messwiederholte ANOVA für den Parameter Stillstandsdauer; T-Kreuzung.

Effekt	df1	df2	Quadratsumme	F	p	partielles $\eta^2$
(Intercept)	1	10	1542,926	18,117	0,002**	0,342
Drehbuch	4,65	46,54	226,655	1,631	0,169	0,071
Durchgang	1	10	307,001	11,964	0,006**	0,094
DB:DG	5	50	135,769	2,868	0,024*	0,044

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission,

P-Wert nach Green-House Geißer korrigiert,  
 $p < 0,001$ \*\*\*,  $p < 0,01$ \*\* ,  $p < 0,05$ \* ,  $p < 0,1$ .

Die messwiederholte ANOVA zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern,  $p < .169$ . Der signifikante Interaktionseffekt ( $F(5,50) = 2,868$ ,  $p < 0,05$ ,  $\eta^2 = ,044$ ) ist auf Basis des  $\eta^2$  als klein einzuordnen, deswegen wird dieser Effekt nicht weiter berücksichtigt. Weiterhin dürfen Haupteffekte nicht weiter berücksichtigt werden, wenn es einen Interaktionseffekt gibt. Hypothese 1-1 und Hypothese 2-1 müssen abgelehnt werden. Es gibt keine Unterschiede zwischen den Drehbüchern und Durchgängen.

#### 4.2.3.4.6 Fahrparameter Stoppdauer

Die Annahme der Sphärizität wird für den Parameter Stoppdauer verletzt,  $W = 0,023$ ,  $p < 0,01$ , deswegen wird die Greenhouse-Geißer Korrektur weiterverwendet.

Tabelle 59. Messwiederholte ANOVA für den Parameter Stoppdauer; T-Kreuzung.

Effekt	df1	df2	Quadratsumme	F	p	partielles $\eta^2$
(Intercept)	1	10	1652,685	18,536	0,002**	0,337
Drehbuch	4,65	46,54	234,240	1,503	0,206	0,067
Durchgang	1	10	338,387	13,631	0,004**	0,094
DB:DG	5	50	122,697	2,240	0,065	0,036

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission,

P-Wert nach Green-House Geißer korrigiert,  
 $p < 0,001$ \*\*\*,  $p < 0,01$ \*\* ,  $p < 0,05$ \* ,  $p < 0,1$ .

In Tabelle 59 zeigt sich, dass es keinen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Drehbuch gibt,  $F(4,65, 46,54) = 1,503$ ,  $p = n.s.$ ,  $\eta^2 = ,067$ . Der Haupteffekt für den Faktor Durchgang zwischen Position 1 ( $M = 5.567$ ,  $SE = 0.970$ ) und Position 2 ( $M = 1.426$ ,  $SE = 0.510$ ) ist signifikant  $F(1,10) = 13,631$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = ,094$ . In Position 1 ist die Stoppdauer im Durchschnitt deutlich länger als in Position 2. Dies kann dadurch erklärt werden, dass, wenn die Situation geklärt ist, Position 1 als Letztes fahren darf und Position 2 als Zweites.

Aufgrund der Ergebnisse muss Hypothese 1-1 abgelehnt werden. Es gibt keinen Unterschied zwischen den Drehbüchern. Die Nullhypothese muss angenommen werden. Hypothese 2-1 kann angenommen und die Nullhypothese verworfen werden. Es gibt einen Unterschied zwischen den Durchgängen.

#### 4.2.3.4.7 Fahrparameter Rantasten

Die Voraussetzungen der Sphärizität sind für den Parameter „Rantasten“ erfüllt,  $W = 0,145$ ,  $p > n.s.$ . Die Ergebnisse der messwiederholten ANOVA sind Tabelle 60 dargestellt.

Tabelle 60. Messwiederholte ANOVA für den Parameter Rantasten; T-Kreuzung.

Effekt	df1	df2	Quadratsumme	F	p	partielles $\eta^2$
(Intercept)	1	10	36,068	43,203	0,000***	0,555
Drehbuch	5	50	1,523	1,212	0,317	0,050
Durchgang	1	10	4,735	46,642	0,000***	0,141
DB:DG	5	50	3,765	5,390	0,000***	0,115

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission,

P-Wert nach Green-House Geißer korrigiert,  
 $p < 0,001$ \*\*\*,  $p < 0,01$ \*\* ,  $p < 0,05$ \* ,  $p < 0,1$ .

Aus der Tabelle 61 ist zu erkennen, dass es einen signifikanten Interaktionseffekt gibt,  $F(5,50) = 5,390$ ,  $p < ,000$ . Aufgrund dessen dürfen die anderen beiden Haupteffekte nicht weiter berücksichtigt werden. Des Weiteren ist der Effekt mit einem partiellen  $\eta^2 = 0,115$  als sehr groß einzuordnen. In Tabelle 61 wird die Kontrastanalyse präsentiert.

Tabelle 61. Kontrastanalyse für die messwiederholte ANOVA zur Analyse des Parameters Rantasten; T-Kreuzung.

Kontraste	B	SE	DF	t	p	r
Intercept	0,523	0,080	60	6,573	0,000***	0,647
DB LinksGerade	0,000	0,031	50	0,000	1,000	0,000
DB Links OffDef	0,045	0,053	50	0,851	0,399	0,119
DB 1vs2	-0,114	0,076	50	-1,504	0,139	0,208
DB 3vs4	-0,068	0,076	50	-0,902	0,371	0,127
DB 5vs6	-0,114	0,076	50	-1,504	0,139	0,208
Durchgang (DG)	0,189	0,032	60	5,959	0,000***	0,610
DB LinksGerade:DG	0,106	0,022	60	4,719	0,000***	0,520
DB Links OffDef:DG	-0,045	0,039	60	-1,168	0,248	0,149
DB 1vs2:DG	0,114	0,055	60	2,064	0,043*	0,258
DB 3vs4:DG	-0,023	0,055	60	-0,413	0,681	0,053
DB 5vs6:DG	-0,023	0,055	60	-0,413	0,681	0,053

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission,

P-Wert nach Green-House Geißer korrigiert,  
 $p < 0,001$ \*\*\*,  $p < 0,01$ \*\*\*,  $p < 0,05$ \*,  $p < 0,1$ .

In der Kontrastanalyse zeigen sich drei signifikante Effekte: Auf der einen Seite gibt es den signifikanten Haupteffekt zwischen den beiden Durchgängen,  $t(60) = 5,959$ ,  $p < 0,000$ . Auf der anderen Seite gibt es einen hoch signifikanten Effekt zwischen Linksabbieger- und Geradeausfahrpositionen zu den beiden Durchgängen  $t(60) = 4,719$ ,  $p < 0,000$  und einen signifikanten Effekt zwischen Drehbuch 1 und 2 sowie Position 1 und 2  $t(60) = 2,064$ ,  $p < 0,05$ .

In Abbildung 63 sind die Unterschiede noch einmal verdeutlicht.

Hypothese 1-1 muss abgelehnt werden. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern und die Nullhypothese muss angenommen werden. Hypothese 2-1 kann angenommen und die Nullhypothese verworfen werden. Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Durchgängen.

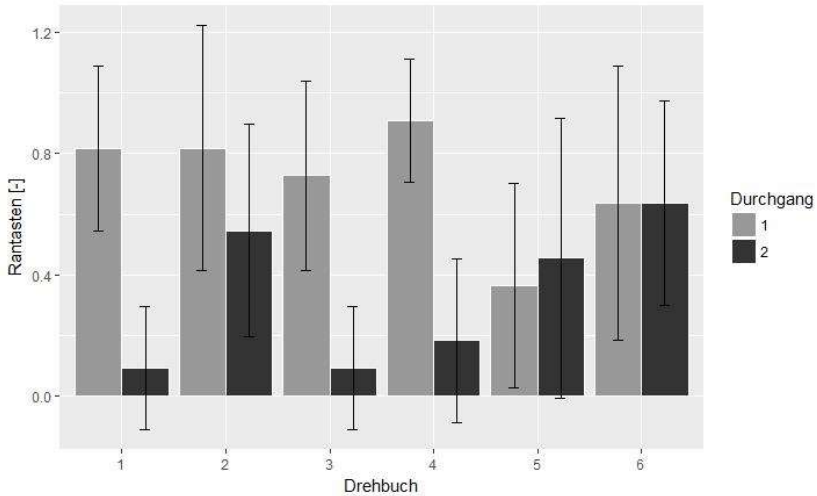


Abbildung 63. Mittelwertdiagramm mit Standardabweichung für die Variable Rantasten; T-Kreuzung.

#### 4.2.3.4.8 Fahrparameter Bremszeitanteil

Die Annahme der Sphärizität,  $W = 0,007$ ,  $p < 0,001$  wird verletzt und es wird die Greenhouse-Geisser Korrektur angewendet. In Tabelle 62 sind die Ergebnisse der messwiederholten ANOVA präsentiert.



Tabelle 62. Messwiederholte ANOVA für den Parameter ABD; T-Kreuzung.

Effekt	df1	df2	Quadratsumme	F	p	partielles $\eta^2$
(Intercept)	1	10	19,594	154,493	0,000	0,853
Drehbuch	4,65	46,54	0,541	4,224	0,003**	0,138
Durchgang	1	10	0,081	2,952	0,117	0,023
DB:DG	4,65	46,54	0,125	2,273	0,061.	0,036

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission,

P-Wert nach Green-House Geißer korrigiert,  
 $p < 0,001$ \*\*\*,  $p < 0,01$ \*\*,  $p < 0,05$ \*,  $p < 0,1$ .

Anhand der Tabelle 62 ist zu erkennen, dass es einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Drehbuch gibt,  $F(4,65; 46,54) = 4,224$ ,  $p < .000$ ,  $\eta^2 = ,138$ . Der Haupteffekt für den Durchgang ist nicht signifikant. Der Effekt ist als sehr groß einzuordnen.

Mithilfe von Post-Hoc-Tests nach der Bonferroni-Korrektur wurden die Unterschiede zwischen den Drehbüchern analysiert. Es ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen Drehbuch 1 und Drehbuch 5,  $p < .05$  sowie Drehbuch 2 und Drehbuch 5,  $p < .01$ . In Abbildung 64 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen abgetragen. Anhand der Ergebnisse kann Hypothese 1-1 angenommen und die Nullhypothese verworfen werden. Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern. Hypothese 2-1 muss verworfen und die Nullhypothese beibehalten werden. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Durchgängen.

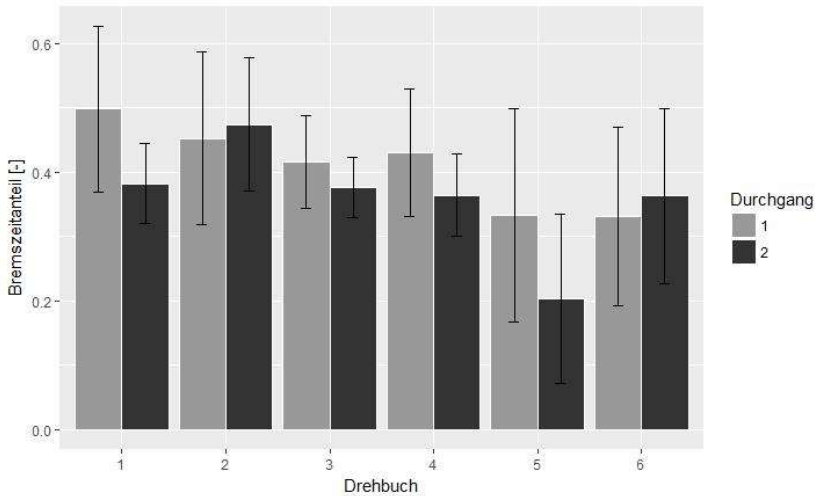


Abbildung 64. Mittelwertdiagramm mit Standardabweichung für die Variable Bremszeitanteil; T-Kreuzung.

#### 4.2.3.4.9 Fahrparameter Standardabweichung des Lenkwinkels

Für den Parameter SDST werden die Annahmen der Sphärizität nach dem Mauchly-Test verletzt. Es wird die Greenhouse-Geisser-Korrektur angewendet. In Tabelle 63 sind die Ergebnisse der messwiederholten ANOVA dargestellt.

Es tritt ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Drehbuch und Durchgang ein  $F(4,65; 46,54) = 2,515$ ,  $p < .05$ , partielles  $\eta^2 = ,070$ . Der Effekt ist als mittlerer Effekt einzuordnen.

Tabelle 63. Messwiederholte ANOVA für den Parameter SDST; T-Kreuzung.

Effekt	df1	df2	Quadratsumme	F	p	partielles $\eta^2$
(Intercept)	1	10	1068596,155	1249,340	0,000***	0,958
Drehbuch	4,65	46,54	308660,332	175,313	0,000***	0,868
Durchgang	1	10	2603,212	3,914	0,076.	0,053
DB:DG	4,65	46,54	3528,141	2,515	0,042*	0,070

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission,

P-Wert nach Green-House Geißer korrigiert,  
 $p < 0,001$ \*\*\*,  $p < 0,01$ \*\* ,  $p < 0,05$ \* ,  $p < 0,1$ .

Aufgrund des signifikanten Interaktionseffektes wird der Haupteffekt nicht weiter berücksichtigt. In Tabelle 64 ist die Kontrastanalyse dargestellt. Anhand dieser wird ersichtlich, dass der Interaktionseffekt dadurch zustande kommt, dass es einen höchst signifikanten Effekt zwischen Drehbüchern betreffend Position 1/2 und Position 3  $t(50) = 29,351$ ,  $p < 0,000$ , einen hoch signifikanten Effekt zwischen den Drehbüchern der Positionen 1/2 betreffend der defensiven und offensiven Missionen  $t(50) = -3,504$ ,  $p < 0,01$ , einen hoch signifikanten Effekt zwischen den Durchgängen  $t(60) = -2,748$ ,  $p < 0,01$  und einen hoch signifikanten Effekt zwischen den Drehbüchern betreffend der Position 1/2 und Position 3 zwischen den Durchgängen gibt  $t(60) = -2,751$ ,  $p < 0,01$ . In Abbildung 65 sind die Mittelwertdiagramme dargestellt.

Tabelle 64. Kontrastanalyse für die messwiederholte ANOVA zur Analyse des Parameters SDST; T-Kreuzung.

Kontraste	B	SE	DF	t	p	r
Intercept	89,975	2,546	60	35,346	0,000***	0,977
DB LinksGerade	33,897	1,155	50	29,351	0,000***	0,972
DB Links OffDef	-7,009	2,000	50	-3,504	0,001**	0,444
DB 1vs2	3,448	2,829	50	1,219	0,229	0,170
DB 3vs4	3,198	2,829	50	1,130	0,264	0,158
DB 5vs6	0,663	2,829	50	0,234	0,816	0,033
Durchgang (DG)	-4,441	1,616	60	-2,748	0,008**	0,334
DB LinksGerade:DG	-3,143	1,143	60	-2,751	0,008**	0,335
DB Links OffDef:DG	-2,329	1,979	60	-1,177	0,244	0,150
DB 1vs2:DG	0,161	2,799	60	0,057	0,954	0,007
DB 3vs4:DG	1,959	2,799	60	0,700	0,487	0,090
DB 5vs6:DG	2,490	2,799	60	0,890	0,377	0,114

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission,

P-Wert nach Green-House Geißer korrigiert,  
 $p < 0,001$ \*\*\*,  $p < 0,01$ \*\* ,  $p < 0,05$ \* ,  $p < 0,1$ .

Aufgrund der Ergebnisse muss Hypothese 1-1 abgelehnt und Nullhypothese beibehalten werden. Es gibt keinen Unterschied zwischen den Drehbüchern. Hypothese 2-1 kann aufgrund der Kontrastanalyse angenommen werden. Es gibt einen Unterschied zwischen den Durchgängen.

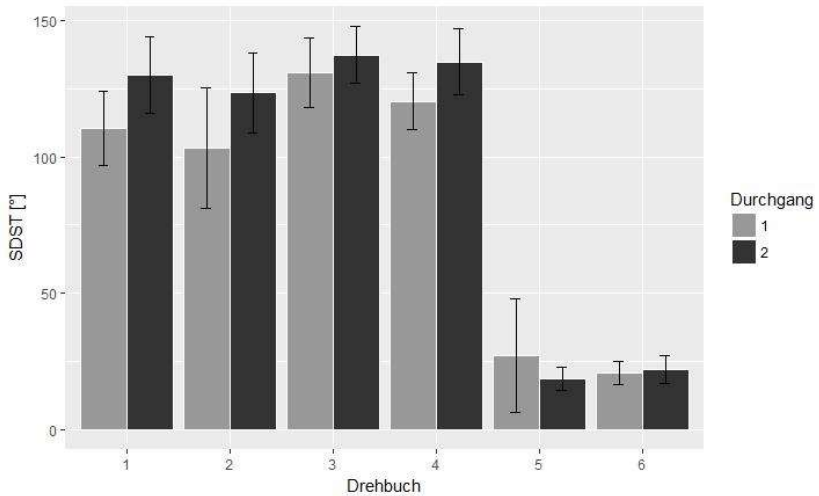


Abbildung 65. Mittelwertdiagramm mit Standardabweichung für die Variable SDST; T-Kreuzung.

#### 4.2.3.4.10 Fahrparameter Nulldurchgänge des Lenkwinkels

Die Annahmen der Sphärizität werden für den Parameter Zero erfüllt,  $W = 0,124$ ,  $p > 0,1$ . In Tabelle 65 werden die Ergebnisse der messwiederholten ANOVA dargestellt. Anhand der Ergebnisse ist zu erkennen, dass es weder einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Drehbuch  $F(5, 50) = 1,704$ ,  $p > n.s.$  noch für den Faktor Durchgang gibt  $F(1, 10) = 1,727$ ,  $p > n.s.$  Die Effektstärken sind als sehr klein einzuordnen. Hypothese 1-1 und 2 müssen abgelehnt und die Nullhypothesen beibehalten werden. Es gibt keine Unterschiede zwischen den Drehbüchern oder Durchgängen.

Tabelle 65. Messwiederholte ANOVA für den Parameter Zero; T-Kreuzung.

Effekt	df1	df2	Quadratsumme	F	p	partielles $\eta^2$
(Intercept)	1	10	585,485	267,975	0,000***	0,732
Drehbuch	5	50	15,970	1,704	0,151	0,069
Durchgang	1	10	2,455	1,727	0,218	0,011
DB:DG	5	50	11,727	1,386	0,245	0,052

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission,

P-Wert nach Green-House Geißer korrigiert,  
 $p < 0,001$ \*\*\*,  $p < 0,01$ \*\* ,  $p < 0,05$ \* ,  $p < 0,1$ .

#### 4.2.3.4.11 Fahrparameter Steering Wheel Reversal Rate

Die Annahme der Sphärizität werden für die messwiederholte ANOVA verletzt,  $W = 0,025$ ,  $p < 0,05$ . Im Folgenden wird die Greenhouse-Geisser-Korrektur verwendet. In Tabelle 66 sind die Ergebnisse der messwiederholten ANOVA dargestellt.

Tabelle 66. Messwiederholte ANOVA für den Parameter Zero; T-Kreuzung.

Effekt	df1	df2	Quadratsumme	F	p	partielles $\eta^2$
(Intercept)	1	10	30718,904	162,241	0,000***	0,799
Drehbuch	5	50	149,632	0,566	0,726	0,019
Durchgang	1	10	210,763	3,487	0,091.	0,027
DB:DG	5	50	105,611	0,406	0,842	0,013

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission,

P-Wert nach Green-House Geißer korrigiert,  
 $p < 0,001$ \*\*\*,  $p < 0,01$ \*\* ,  $p < 0,05$ \* ,  $p < 0,1$ .

Für den Parameter SRR ergeben sich keine signifikanten Haupteffekte. Des Weiteren sind die Effektstärken als klein einzuordnen. Hypothese 1-1, dass es Unterschiede zwischen den Drehbüchern gibt, muss abgelehnt werden. Die Nullhypothese kann beibehalten werden. Hypothese 2-1 kann verworfen werden. Es gibt keine Unterschiede zwischen den Durchgängen.

#### 4.2.3.4.12 Fahrparameter Hochfrequenzkomponenten des Lenksignals

Die Voraussetzungen der Sphärizität werden für den HFC verletzt,  $W = 0,001$ ,  $p < 0,000$ . Aufgrund dessen wird die Greenhouse-Geisser-Korrektur angewendet. In Tabelle 67 sind die Ergebnisse der messwiederholten ANOVA dargestellt.

Tabelle 67. Messwiederholte ANOVA für den Parameter HFC; T-Kreuzung.

Effekt	df1	df2	Quadratsumme	F	p	partielles $\eta^2$
(Intercept)	1	10	0,093	170,297	0,000***	0,643
Drehbuch	4,65	46,54	0,006	3,045	0,018*	0,101
Durchgang	1	10	0,001	0,987	0,344	0,011
DB:DG	4,65	46,54	0,002	1,009	0,422	0,039

Anmerkung: DB = Drehbuch; DG = Durchgang; Links = Position 1 und Position 2, Gerade = Position 3, Off = Drehbücher der offensiven Mission, Def = Drehbücher der defensiven Mission,

P-Wert nach Green-House Geißer korrigiert,  
 $p < 0,001$ \*\*\*,  $p < 0,01$ \*\* ,  $p < 0,05$ \* ,  $p < 0,1$ .

Anhand der Ergebnisse wird ersichtlich, dass es einen signifikanten Effekt zwischen den Drehbüchern gibt,  $F(4,65; 46,54) = 3,045$ ,  $p < 0,05$ , partielles  $\eta^2 = ,101$ . Die Effektstärke ist als mittlerer Effekt einzuordnen. Die Post-Hoc-Tests nach der Bonferroni-Korrektur zeigen hoch signifikante Unterschiede zwischen den Drehbüchern 6 und 1 ( $p < ,01$ ), 2 ( $p < ,01$ ) und 4 ( $p < ,01$ ). In Abbildung 66 sind die Mittelwertdiagramme für die einzelnen Drehbücher abgebildet und können noch einmal nachvollzogen werden.

Aufgrund der Ergebnisse kann Hypothese 1-1 angenommen werden. Es gibt Unterschiede zwischen den Drehbüchern. Hypothese 2-1 muss abgelehnt und die Nullhypothese beibehalten werden. Es gibt keine Unterschiede zwischen den Durchgängen. Die Nullhypothese wird beibehalten.

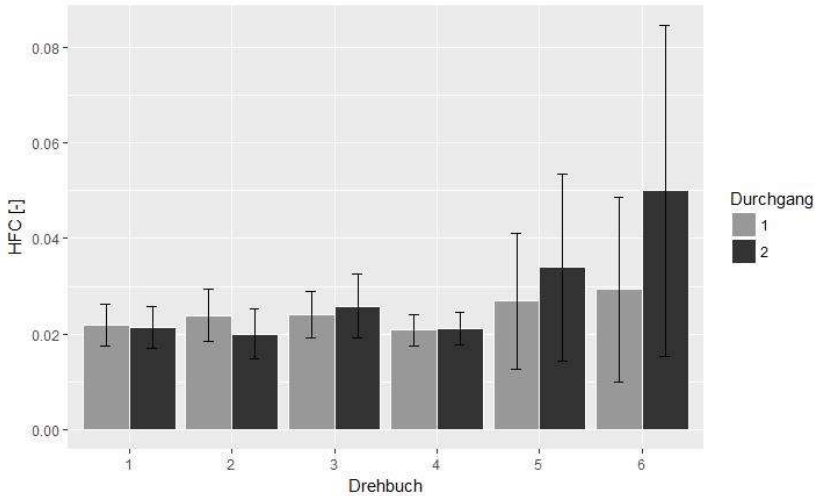


Abbildung 66. Mittelwertdiagramm mit Standardabweichung für die Variable HFC; T-Kreuzung.

#### 4.2.3.4.13 Zusammenfassung der Ergebnisse

Für einen besseren Überblick werden die Parameter noch einmal hinsichtlich der Prüfung der Hypothesen in Tabelle 68 zusammengefasst. Eine Diskussion der Ergebnisse findet in Kapitel 4.2.4 statt.



Tabelle 68. Übersicht der Fahrparameter bezüglich der Hypothesenprüfung; T-Kreuzung.

Parameter	Hypothese 1-1	Hypothese 2-1
Maximale Bremskraft (MB)	Abgelehnt	Abgelehnt
Maximale Laterale Beschleunigung	Angenommen	Angenommen
Stillstandszeitpunkt	Abgelehnt	Angenommen
Wiederbeschleunigungszeitpunkt	Abgelehnt	Angenommen
Stillstandsdauer	Abgelehnt	Angenommen
Stoppdauer	Abgelehnt	Angenommen
Rantasten	Abgelehnt	Angenommen
Bremszeitanteil	Angenommen	Abgelehnt
Standardabweichung des Lenkwinkels (SDST)	Angenommen	Angenommen
Nulldurchgänge des Lenkwinkels (ZERO)	Abgelehnt	Abgelehnt
Steering Wheel Reversal Rate (SRR)	Abgelehnt	Abgelehnt
Hochfrequenzanteil des Lenkwinkels (HFC)	Angenommen	Abgelehnt

Aufgrund der unterschiedlichen Signifikanzniveaus lässt sich für Hypothese 1-1 und Hypothese 2-1 keine allgemeingültige Aussage treffen. Die erwünschten Aussagen müssen auf Basis der einzelnen Ergebnisse abgeleitet werden.

Für Hypothese 1-1 zeigt sich, dass die Parameter betreffend des Heranfahrens und dem Verhalten in der Kreuzung keine Unterschiede aufweisen. Somit sind diese im Allgemeinen für verschiedene Verhaltensweisen nicht relevant. Dafür zeigen diese Parameter, dass sie sensitiv für Veränderungen betreffend der Positionen sind. Insbesondere Position 3 zeigt im Vergleich zu Position 1/2 große Unterschiede in den Parameterausprägungen. Somit sind diese Parameter in der Tendenz dazu geeignet das Verhalten, an verschiedenen Positionen zu untersuchen. Des Weiteren zeigt sich, dass zwei Hypothesen betreffend der Lenkparameter angenommen werden konnten. Ähnlich wie bei den Ergebnissen aus dem Engstellenszenario sind sowohl der SDST, als auch der HFC Indikatoren

für Verhaltensunterschiede. Da der SDST eine Vorstufe in der Berechnung für den HFC darstellt, sollte der HFC in weiteren Studien verwendet werden.

Die Interpretation der Ergebnisse wird in Kapitel 4.2.4 durchgeführt. In dem nachfolgenden Kapitel werden die Ergebnisse betreffend Fragestellung C dargestellt.

#### **4.2.3.5 Ergebnisse Fragestellung C**

Die Auswertungsprozedur in diesem Kapitel entspricht dem Vorgehen der explorativen Analyse der okularen Parameter aus Kapitel 4.1.2.6 und kann in Imbsweiler et al. (2017b) nachvollzogen werden.

Es wurde eine 2 x 4 messwiederholte ANOVA durchgeführt mit den Faktoren Durchgang und Drehbuch. Auf die Drehbücher 5-6 betreffend der Position 3 wurde verzichtet, da das Abbiegen andere Anforderungen an die Fahraufgabe stellt und somit die Unterschiede in den Augenbewegungen das Ergebnis verzerren würde. Da die okularen Parameter keiner Normalverteilung folgten, wurden Ausreißer  $\pm 2$  SDs aus dem Datensatz entfernt und eine Box-Cox-Transformation (Box & Cox, 1964) angewendet.

Die Ergebnisse sind zusammengefasst in Tabelle 69 dargestellt. Nicht signifikante Parameter (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 21, 23; Erklärung siehe Tabelle 16) werden nicht dargestellt.

Tabelle 69. Signifikante Ergebnisse der messwiederholten ANOVA für die okularen Parameter; T-Kreuzung.

Kategorie	Parameter	DF	SSn	F	p	Partielles $\eta^2$
FX	NNI (1)	3	2,836	2,929	,05	.005
FX	Fixation-Dauer-MW (12)	3	6,175	2,920	,05	.029
FX	Anzahl Fixationen (14)	3	1,608	3,532	,05	.038
FX	Fixations-Sakkaden Verhältnis (15)	3	,001	2,907	,05	.029
FX	Fixations-Sakkaden Verhältnis – Anzahl (16)	3	,020	2,956	,05	.045
SC	Sakkaden-Amplituden Maximum (20)	3	1,462	5,535	,05	.074
SC	Sakkaden-Amplituden -MW (21)	3	,291	3,043	,05	.031
SC	Sakkaden-Dauer-MW (22)	3	,002	1,716	,05	.056
SC	Sakkaden-Dauer- Median (23)	3	,006	3,275	,05	.043
SC	Sakkaden-Geschw. Maximum (17)	3	,002	5,489	,05	.066
SC	Sakkaden-Geschw. Median (18)	3	,009	2,893	,05	.020
SC	Anzahl Sakkaden (26)	3	6,157	3,768	,05	.040

$p < 0,001^{***}$ ,  $p < 0,01^{**}$ ,  $p < 0,05^*$ ,  $p < 0,1$ .

Legende: B = Blinzelparame- ter, PD = Pupillendurchmesserparameter, FX = Fixationsparameter, SC = Sakkadenparameter.

Basierend auf den Ergebnissen der ANOVA wurden Parameter mit einem partiellen  $\eta^2 < 0,45$  nicht weiterverwendet. Mithilfe der „pam“-Funktionsanalyse (Kapitel 4.1.2.6) wurde eine zwei Clusterlösung identifiziert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 70 dargestellt. Die Boxplotdiagramme werden, sortiert nach Clustern, in Abbildung 67 und Abbildung 68 präsentiert.

4.2 Experiment II: T-Kreuzungsszenario

Tabelle 70. Ergebnisse der Clusteranalyse bei zwei angenommenen Clustern; T-Kreuzung.

Parameter	Mitgliedkoeffizient 1	Mitgliedkoeffizient 2
Sakkaden-Amplituden Maximum	1,00	,00
Fixations-Sakkaden Verhältnis – Anzahl	,29	,71
Sakkaden-Dauer-MW	,00	1
Sakkaden-Dauer- Median	,01	,99
Sakkaden-Geschw. Maximum	,02	,098
Anzahl Sakkaden	,00	1.00

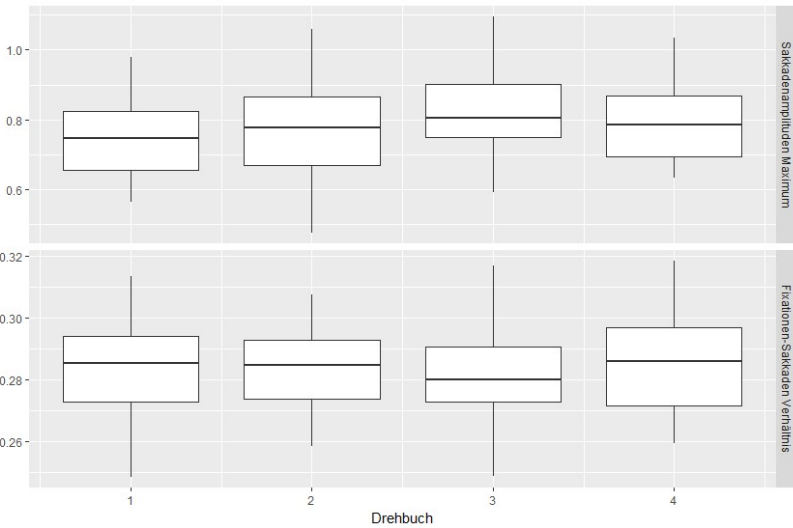


Abbildung 67. Boxplotdiagramm für die Cluster 1; T-Kreuzung.

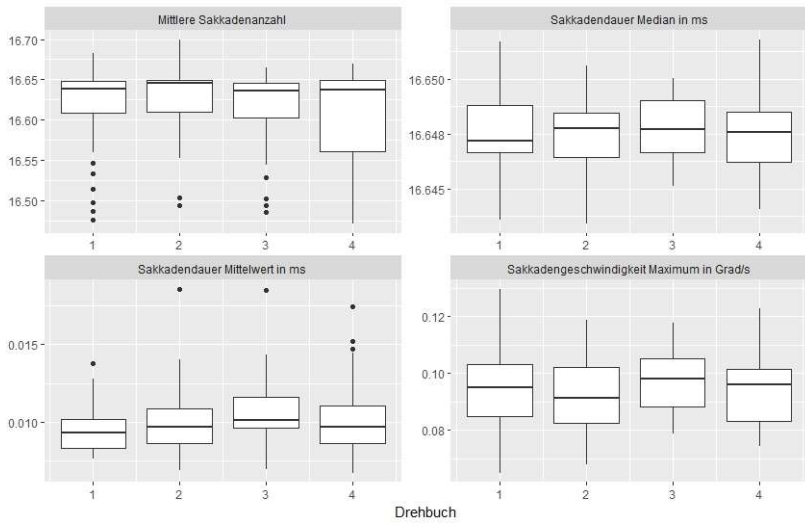


Abbildung 68. Boxplotdiagramm für die Cluster 2; T-Kreuzung.

Des Weiteren werden die Korrelationen mit den subjektiven Einschätzungen in Tabelle 71 präsentiert. Der Berechnung liegt eine Bravias-Pearson Korrelation zugrunde.

Tabelle 71. Korrelationsmatrix der signifikanten okularen Parameter mit den subjektiven Einschätzungen; T-Kreuzung.

Kategorie	Parameter	Sicherheit	Unfallrisiko	Kooperationsbereitschaft Position 1	Kooperationsbereitschaft Position 2	Kooperationsbereitschaft Position 3	Kooperationsintensität	
FX	NNI	,013	,031	-,152	,061	-,110	-,833**	
FX	Fixation-Dauer-MW	,025	,000	-,88	,030	-,070	-,201**	
FX	Anzahl Fixationen	-,125	-,320	,027	,096	-,040	,091	
FX	Fixations-Sakkaden Verhältnis	-,077	,051	,012	,248**	-,120	-,085	
FX	Fixations-Sakkaden Verhältnis – Anzahl Sakkaden	-,027	-,085	,087	,077	-,020	,154*	
SC	Amplituden Maximum	-	,155*	,083	,088	,184*	-,009	,085
SC	Sakkaden-Amplituden -MW	,066	,100	,026	,173	-,207	,060	
SC	Sakkaden-Dauer-MW	,168*	,035	,053	,050	-,108	,032	
SC	Sakkaden-Dauer-Median	,144*	,057	,105	,020	-,060	,085	
SC	Sakkaden-Geschw. Maximum	,054	-,053	-,044	-,149	,057	,210	
SC	Sakkaden-Geschw. Median	,044	,013	,100	,074	-,060	,052	
SC	Anzahl Sakkaden	,086	-,078	,125	,055	,037	,141*	

p <,000 \*\*\*, p <,001 \*\*, p <,005\*, p <,01.

### 4.2.3.6 Explorative Ergebnisse: Rechts-vor-Links-Effekt

Während der Analyse der Daten ist ein auffälliger Effekt in den Fokus gerückt, der nicht als Hypothese bedacht wurde. Dieser wird in dem folgenden Kapitel kurz dargestellt. Bei der Analyse der Daten, welche expliziten Kommunikati-

onssignale die Probanden verwendet haben, ist aufgefallen, dass diese expliziten Signale in der Tendenz dem Kooperationspartner zu ihrer Rechten gegolten haben. Um diesen Effekt zu quantifizieren, wurde ein nicht parametrischer  $\chi^2$ -Test gerechnet.

Insgesamt wurde nur in  $N = 42$  Fällen ein explizites Signal von den Probanden verwendet. Insgesamt wurde in 57,1 % der Fälle das Signal zu dem rechten Kooperationspartner gegeben. In 13,63 % der Fälle war die Richtung des Signals nicht zu identifizieren. Um diesen Effekt explorativ zu testen, wurde folgende Alternativ Hypothese angenommen:

*Die Signalrichtungen weisen unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten auf.*

Die Richtungen waren rechts, links und unklar. Die Ergebnisse zeigen, dass die Wahrscheinlichkeiten nicht gleich verteilt sind  $\chi^2 (2, N = 42) = 13, p = 0,02$  und weisen einen hoch signifikanten Effekt auf. Wenn die nicht zu differenzierbaren Signale ( $N = 5$ ) aus der Analyse genommen werden, zeigt sich nur noch ein signifikanter Effekt  $\chi^2 (1, N = 37) = 4,67, p = 0,045$ . Die Signale in Handgeste oder Lichthupe aufzuteilen, erzeugen die gleichen Ergebnisse und klären keine Unterschiede auf. Die Ergebnisse zeigen, dass es eine Tendenz gibt, dem Kooperationspartner rechts von sich Vorrang zu gewähren. Diese Tendenz wird im folgenden Rechts-vor-Links-Effekt genannt.

#### 4.2.4 Diskussion

In der Diskussion werden in einem ersten Schritt die Ergebnisse der Hypothesenprüfung zusammengefasst und diese dann in einen Zusammenhang gebracht.

Die Ergebnisse des Manipulationschecks haben zwei Erkenntnisse erbracht: Auf der einen Seite konnte gezeigt werden, dass die Manipulation der Intention über Verhaltensweisen für die Konstrukte „Sicherheit, fahren zu dürfen“ und „Kooperationsintensität“ funktioniert hat. Die Einschätzung des Unfallrisikos blieb konstant und zeigte wenig Unterschiede. Somit scheint das zu erwartende Unfallrisiko für das T-Kreuzungsszenarios nicht relevant zu sein. Dies kann

unter anderem daran liegen, dass es in vielen Durchfahrten zu einem Stillstand kam, sodass die gefahrene Geschwindigkeit sehr gering war.

Auf der anderen Seite konnte mit den subjektiven Einschätzungen gezeigt werden, welche Verhaltensweisen die Probanden bevorzugten. So waren die Einschätzungen für die Sicherheit zu fahren, in den Drehbüchern mit einer defensiven Mission, geringer als in denen mit einer offensiven Mission. Des Weiteren steigt die Sicherheit zu fahren, je später in der Rangfolge gefahren wird. Das bedeutet, dass die Probanden sich am sichersten waren zu fahren, wenn sie an der letzten Position gefahren sind. Die Ergebnisse der Kooperationsintensität zeigen das Gegenteil. Hier sind die Einschätzungen für die offensiven höher als bei den defensiven Drehbüchern. Zusammengefasst bedeutet dies:

*In dem T-Kreuzungsszenario bevorzugen es Probanden, wenn einer der Kooperationspartner zuerst fährt, da dies die Sicherheit in der Situation deutlich erhöht und als kooperativer wahrgenommen wird.*

In Fragestellung A wurde das Entscheidungsverhalten betreffend der verschiedenen übergeordneten Missionen untersucht. Die Hypothesen wurde dahingehend geprüft, ob die defensiven Kommunikationssets dazu führen, dass die Probanden die Entscheidung treffen, zu fahren bzw. ob die offensiven Kommunikationssets dazu führen, dass die Probanden die Entscheidung treffen, nicht zu fahren. Beide Hypothesen konnten angenommen werden. Insbesondere Kommunikationsset 1 und 5 (siehe Tabelle 7) haben in der Umsetzung sehr gut funktioniert und die gewünschte Intention des Probanden erzeugt. Kommunikationsset 2 hat nicht funktioniert und führt nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 5,2 % dazu, dass die Probanden als erstes fahren. Der entscheidende Unterschied zu Kommunikationsset 1 und 6 ist, dass eine der beiden Positionen ein explizites Kommunikationszeichen, in Form einer Lichthupe, verwendete und so den Prozess einleitete. Ein reines Stoppen als implizites Signal ist offensichtlich nicht ausreichend. In einem nächsten Schritt müsste untersucht werden, welches Stoppen dazu geführt hat, dass Probanden doch als erstes gefahren sind und die identifizierten Fahrparameter für den Gegenüber prüfen, wie z. B. die Bremsstärke.



Hypothese 2-1 konnte ebenfalls belegt werden. Hier zeigen alle Kommunikationssets die erwartete Richtung. Defensive Kommunikationssets führen dazu, dass die Probanden als erstes gefahren sind und die offensiven Kommunikationssets führen dazu, dass die Probanden als zweites oder später gefahren sind. Die erhöhte Wahrscheinlichkeit bei Kommunikationsset von 29,7 % als erstes zu fahren, kann dadurch erklärt werden, dass mehrere Probanden Probleme hatten, die Situation zu verstehen, weil sie dachten, dass sie auf einer Hauptstraße seien und fahren dürften. Interessanterweise sind sie bei der Linksabbiegerposition 2 nicht davon ausgegangen. Der Hauptstraßeneffekt wird auch von Björklund und Åberg (2005) beschrieben und ist nicht unüblich. Eine automatische Fahrzeugführung muss je nach Position also davon ausgehen, dass der Kooperationspartner die Situation nicht erkennt.

In Fragestellung B wurden die verschiedenen Fahrparameter hinsichtlich ihrer Tauglichkeit zur Untersuchung von kooperativen Szenarien getestet. In einer groben Unterteilung können die Fahrparameter in Verhalten in der Kreuzung, Lenkwinkel und Beschleunigungsverhalten aufgeteilt werden.

Hypothese 1-1 prüfte dabei, ob es Unterschiede zwischen den Positionen gibt. Hypothese 2-1 prüft, ob es Unterschiede zwischen den Drehbüchern gibt. Hypothese 1-1 betreffend den Positionen konnte nur teilweise und je nach Parameter angenommen werden. In Tabelle 19 findet sich ein Überblick. Die Hypothese musste betreffend der Parameter, die das Verhalten in der Kreuzung charakterisierten, abgelehnt werden. Dies betraf die Parameter: MB, Stillstandszeitpunkt, Wiederbeschleunigungszeitpunkt, Stillstandsdauer und Stoppdauer. Des Weiteren mussten zwei Lenkwinkelparameter (ZERO und SRR) abgelehnt werden. Auch der Lenkwinkelparameter Zero, der die Nulldurchgänge zählt, beschreibt in seiner Ausführung in der Tendenz das Verhalten in der Kreuzung, wie das allgemeine Lenkverhalten, da dieser, durch das Zählen der Überschreitungen eines festgelegten Nullpunktes, sehr sensibel für Abbiegevorgänge ist. Das bedeutet, dass für das T-Kreuzungsszenario zum Analysieren von verschiedenen Verhaltensweisen diese Parameter nicht geeignet sind, bzw. keine Unterschiede aufzeigen.

Das allgemeine Verhalten spiegelt sich vor allem in dem Beschleunigungsverhalten (maximale laterale Beschleunigung und Bremszeitanteil) sowie dem

Lenkverhalten (SDST und HFC) wieder. Die maximale laterale Beschleunigung ist trotz des Hauptstraßeneffektes nicht in den Drehbüchern 5 - 6 am höchsten, in welchen Position 3 besetzt wurde, sondern in den Drehbüchern der Linksabbiegerposition. Dies kann dadurch erklärt werden, dass in diesem Fall spontane Entscheidungen getroffen werden, die sich in einer hohen maximalen lateralen Beschleunigung äußern, unabhängig von dem Verhalten des Gegenübers. Weitere Untersuchungen sollten die Ergebnisse noch einmal prüfen. Die Drehbücher als solche hatten keinen Einfluss.

Bei dem Bremszeitanteil zeigt sich, dass dieser in den defensiven Drehbüchern höher ist. Dies ist dahingehend von Interesse, da diese eine Intention zum Fahren des Probanden auslösen sollten. Erklärt werden kann dies dadurch, dass ein erhöhter Bremszeitanteil mit einer höheren Unsicherheit verknüpft sein kann. Aus den Ergebnissen der subjektiven Einschätzungen wurde wie bereits erklärt ersichtlich, dass sich die Probanden in den defensiven Drehbüchern unsicherer waren als in den offensiven Drehbüchern. Aufgrund dessen stieg der Anteil der Bremszeit. Weiterhin zeigt sich für diesen Parameter, dass die beiden Drehbücher 5 und 6 den geringsten Anteil aufzeigen. Verknüpft mit dem Ergebnis der maximalen lateralen Beschleunigung, welche auch dort am geringsten ausfiel, zeigt sich wieder der Hauptstraßeneffekt. Die Probanden sind auf dem einfachsten Weg durch die Situation gefahren, deswegen gibt es weder hohe Ausschläge in der Beschleunigung noch in dem Verzögerungsverhalten.

Bezüglich des SDST und des HFCs muss zunächst erwähnt werden, dass der SDST die Grundlage zu der weiteren Auswertung des HFCs darstellt, deswegen ist es ausreichend, wenn die Ergebnisse des HFCs diskutiert werden. Dieser zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern. Der größte Unterschied liegt zwischen Drehbuch 5/6 und den Drehbüchern 1/2/3/4, also zwischen der Geradeausfahrposition und Linksabbiegerposition. Die Kontrastanalyse belegt diese Interpretation. Des Weiteren sind die Ausschläge in Drehbuch 6 am höchsten, welches zum Ziel hatte, dass die Probanden fahren sollen. Somit lässt sich schlussfolgern, dass der HFC ein Indikator für die Intention zu fahren darstellt.

Hypothese 2-1 prüfte die Unterschiede zwischen den verschiedenen Positionen. Hier zeigt sich ein umgekehrtes Bild zu Hypothese 1-1. Die Parameter:

maximale Bremskraft, Bremszeitanteil sowie die Lenkwinkelparameter zeigten keine Unterschiede. Hingegen zeigten die Parameter, die das Verhalten in der Kreuzung charakterisieren, Unterschiede zwischen den Positionen.

Die maximale laterale Beschleunigung ist für die Position 3 am geringsten und für Position 1/2 am höchsten. Dieser Unterschied konnte schon für den Effekt in Hypothese 1-1 nachgewiesen werden. Weiterhin zeigt der Interaktionseffekt zwischen Position 1/2 und Position 3, dass die maximale laterale Beschleunigung in Position 2 am höchsten ausfällt. Zwar hatte der beschriebene Hauptstraßeneffekt keinen Einfluss auf das Entscheidungsverhalten, aber er könnte sich in der maximalen lateralen Beschleunigung widerspiegeln, da sich Position 2 auf der vermeintlichen Hauptstraße befindet.

Der Stillstandszeitpunkt zeigte in der Kontrastanalyse große Unterschiede zwischen den Positionen 1 und 2. So ist der Stillstandszeitpunkt für Position 1 deutlich später wie für Position 2. Hier halten die Probanden früher, unabhängig vom Drehbuch. Eine Erklärung für diesen Effekt könnte sein, dass durch die Anordnung der T-Kreuzung die Probanden in Position 2 einen besseren Überblick hatten und nicht so weit in die Kreuzung reinfahren mussten. Der Effekt sollte in weiteren Experimenten analysiert werden.

Für den Parameter Wiederbeschleunigungszeitpunkt zeigen sich ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Positionen. Die Ergebnisse sind äquivalent zu dem Stillstandszeitpunkt. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass je später angehalten wurde, später auch wieder beschleunigt wurde. Diesen Effekt gilt es ebenfalls wiederholt zu untersuchen.

Die Stillstandsdauer zeigt für Hypothese 2-1 Unterschiede zwischen den Positionen, die äquivalent zu dem Mustern des Wiederbeschleunigungszeitpunktes und des Stillstandszeitpunktes sind.

Des Weiteren zeigen die Parameter Stoppdauer und Rantasten, die gleichen Unterschiede. In Position 2 wird sicherer gefahren wie in Position 1. Dort wird sich der Situation vorsichtiger genähert, da alle Parameter ausschlagen.

Wenn die Ergebnisse betrachtet werden, wird ersichtlich, dass alle Parameter, die das Verhalten in der Kreuzung beschreiben, das gleiche Muster aufweisen, dass Position 3 zu Position 1/2 abfällt und Position 2 deutlich niedrigere Ausschläge zeigt wie Position 1. Basierend auf den Effektstärken sollte sich an dem Stillstandszeitpunkt orientiert werden, da dieser die höchste Federstärke ( $p\text{-}\eta^2 = ,166$ ) aufweist, welcher nach Cohen (1972) und Field et al. (2013) als sehr großer Effekt beschrieben werden kann.

In Fragestellung C wurde untersucht, ob mögliche relevante okulare Parameter identifiziert werden konnten. Dafür wurden mittels Varianzanalysen und Clusterverfahren relevante Parameter ermittelt.

Durch die Clusteranalyse mit dem Fuzzy-Ansatz zeigte sich, dass sich zwei Cluster aufgetan haben, welche beide die Kategorie der Sakkaden beinhalten. Cluster 1 besteht aus dem Maximum der Sakkadenamplitude und dem Verhältnis von Fixationen und Sakkaden. Die Ergebnisse zeigen, dass die defensiven Drehbücher hier deutlich geringere Ausschläge erzeugen wie die offensiven Drehbücher. Dies ist dadurch zu erklären, dass bei den offensiven Drehbüchern für die Probanden mehr Objekte zur Informationsaufnahme fixiert werden mussten, da sie nicht selbst gefahren sind, sondern einer der VL. Aufgrund der fehlenden Möglichkeit einer AOI-Analyse sollte dies in Folgeuntersuchungen durchgeführt werden.

Der zweite Cluster beinhaltet den Mittelwert und Median der Sakkadendauer, das Maximum der Sakkadengeschwindigkeit und die Anzahl der Sakkaden. Die Sakkadendauer zeigt ähnliche Muster und unterscheidet sich zwischen Drehbuch 3 und 4 nicht. Auch hier wird durch die Mission der Drehbücher, der Aufmerksamkeitsfokus auf die anderen beiden Verkehrsteilnehmer gelenkt. Das Maximum der Sakkadengeschwindigkeit und die Anzahl der Sakkaden zeigen ein gleiches Muster im Vergleich zwischen defensiven und offensiven Drehbüchern. Dieses Muster sollte in Folgeuntersuchungen weiter analysiert werden, um zu prüfen, ob dieser Effekt Bestand hat.

Weiterhin zeigen die Ergebnisse der Korrelationsanalyse einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Sicherheit zu fahren und der Sakkadendauer. Je länger die Sakkade ist, desto sicherer sind sich die Probanden. Es scheint so,

als ob die Probanden sich sicherer sind, eine Entscheidung zu treffen, wenn sie mehr Zeit haben von der Fixation des einen Objektes zu der nächsten Fixation zu wechseln. Damit deckend, gibt es einen negativen Zusammenhang zwischen der Sicherheit zu fahren und dem Maximum der Sakkadenamplitude, welche die Erklärung unterstreicht.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass die Ergebnisse für die T-Kreuzung zeigen, dass es Verkehrsteilnehmer in dieser Pattsituation bevorzugen, wenn einer der Kooperationspartner zuerst fährt. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse des Entscheidungsverhaltens, dass ein Hauptstraßeneffekt für die Geradeausfahrposition vorliegen könnte, da hier die Probanden vermehrt als erstes gefahren sind. Diesen Effekt gilt es zu untersuchen.

Neben dem Entscheidungsverhalten konnte gezeigt werden, dass insbesondere Lenkparameter wie der HFC und die maximale laterale Beschleunigung geeignete Parameter darstellen. Diese können allerdings nicht gut zwischen den einzelnen Positionen in der Situation differenzieren. Hierfür eignen sich Parameter, die das Verhalten in der Kreuzung beschreiben. Als ein relevanter Parameter konnte der Stillstandszeitpunkt identifiziert werden.

Darüber hinaus zeigte die Analyse der okularen Parameter, dass vor allem sakkadenbezogene Auswertungen sinnvoll sein können, da diese die größten Unterschiede zwischen den Drehbüchern aufzeigten. Insbesondere die Dauer einer Sakkade steht in einem positiven Zusammenhang mit der Sicherheit zu fahren. Je mehr Zeit ein Verkehrsteilnehmer zwischen den Fixationen hat, desto sicherer ist er in seiner Entscheidung.

In dem nachfolgenden Kapitel werden die Ergebnisse bezüglich Experiment I und Experiment II vergleichend diskutiert, um Unterschiede und Gemeinsamkeiten aufzuzeigen.

## 4.3 Vergleich von Experiment I und II

In Experiment I und II wurde das Entscheidungsverhalten von Verkehrsteilnehmern in kooperativen Situationen getestet. Gemein hatten beide Experimente, dass im Vorfeld Verhaltensweisen identifiziert und diese anschließend experimentell getestet wurden. Dabei wurde in Experiment I eine gleichrangige Engstelle untersucht, in der es zu einer Pattsituation kommt. In Experiment II wurde ein T-Kreuzungsszenario untersucht (siehe Abbildung 1), dessen wesentliches Element ebenfalls eine Pattsituation war. Beide Experimente gingen drei Hauptfragestellungen nach: Fragestellung A untersuchte das Entscheidungsverhalten unter der Manipulation der verschiedenen Kommunikationssets. Fragestellung B überprüfte verschiedene Fahrparameter in kooperativen Situationen und Fragestellung C versuchte, relevante okulare Parameter zu identifizieren.

In Fragestellung A konnte für beide Experimente nachgewiesen werden, dass die verschiedenen Kommunikationssets funktioniert haben und von einer automatischen Fahrzeugführung angewendet werden könnten. Zieht man die subjektiven Einschätzungen mit in den Vergleich hinein, entsteht ein interessantes sich widersprechendes Ergebnis. In der Engstelle präferierten die Probanden es als erstes zu fahren. Wenn Ihnen, mit einem entsprechenden Kommunikationsset des Kooperationspartners, dies ermöglicht wurde, stuften sie das Verhalten als kooperativer ein und waren sich in ihrer Entscheidung sicherer, wie wenn der Kooperationspartner versuchte als erstes zu fahren. Für das T-Kreuzungsszenario zeichnet sich ein exakt umgekehrtes Bild ab. Hier wurde es von den Probanden präferiert nicht als erstes zu fahren. Wenn sie den Kooperationspartner aufforderten zu fahren und nicht umgekehrt, wurde dies als kooperativer empfunden. Weiterhin waren sie sich in ihrer Entscheidung sicherer. Die Sicherheit der Entscheidung stieg mit der absteigenden Rangfolge. Das bedeutet, dass sich die Probanden am sichersten waren als letztes zu fahren.

Offensichtlich ändern sich die Sicherheit der Entscheidung und die wahrgenommene Kooperationsbereitschaft zu fahren oder nicht zu fahren mit der Situation. Entscheidender Unterschied beider Situationen ist die Komplexität.

Die Engstelle ist eine vergleichsweise simple Situation, da hier nur ein Kooperationspartner berücksichtigt werden muss und durch die Verengung auch nur eine Fahrspur vorhanden ist. Das T-Kreuzungsszenario beinhaltet zwei Kooperationspartner und die gesamte Fahrbahn. Die zu verarbeitende Menge an Informationen ist deutlich größer. Als Fazit zu Fragestellung A kann gesagt werden:

*Mit steigender Komplexität einer kooperativen Situation wird es von den Verkehrsteilnehmern präferiert nicht zu fahren. Somit wird der Kooperationspartner als kooperativer und die Entscheidung als sicherer empfunden.*

In Fragestellung B wurden die verschiedenen Fahrparameter untersucht. Experiment I zeichnete sich dadurch aus, dass alle Fahrparameter signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Drehbüchern aufzeigten. Die Parameter die das Heranfahren an die Kreuzung charakterisieren (MB, ADB und DMM) zeigen vor allem, dass diese in den defensiven Drehbüchern deutlich niedriger ausfallen, wie in den offensiven Drehbüchern. Hingegen zeichnete sich bei den Lenkwinkeldaten vor allem der HFC als zuverlässiger Indikator aus, ob gefahren wird oder nicht, Die Ergebnisse können nur bedingt mit der T-Kreuzung verglichen werden, da sich die Fahrparameter in den Ergebnissen unterscheiden. So wurden für das T-Kreuzungsszenario (wie in Kapitel 4.1 beschrieben) verschiedene Parameter entwickelt. Parameter, die sich zwischen den Drehbüchern unterscheiden, waren der Parameter MB und HFC. Hier ähneln sich die Ergebnisse zu der Engstelle. Der Parameter MB ist in den defensiven Drehbüchern deutlich niedriger, wie in den offensiven Drehbüchern. Weiterhin eignet sich der HFC auch für das T-Kreuzungsszenario als Intentionmarker, ob gefahren werden soll oder nicht. In den Durchfahrten in denen gefahren wurde, schlug dieser höher aus.

Entscheidender Unterschied zu der Engstelle ist allerdings, dass nicht nur das konfrontierte Verhalten des Kooperationspartners eine Rolle spielt, sondern auch die Position. Es gab Unterschiede zwischen Position 1 und Position 2 in den Parametern, die das Verhalten in der Kreuzung kennzeichnen, obwohl es weder im Entscheidungsverhalten noch in den subjektiven Einschätzungen Unterschiede zwischen den Positionen gab. Dies ist ein Effekt, der für die Eng-

stelle nicht eingetroffen ist. Hier macht auch die andere Position keinen Unterschied. Festzuhalten bleibt, dass vor allem der HFC ein interessanter Parameter darstellt, um die Intention zu fahren, abzuleiten. Der HFC sollte in weiteren Studien zum Thema Kooperationsverhalten untersucht werden. Entscheidender Unterschied zu der Engstelle ist allerdings, dass nicht nur das konfrontierte Verhalten des Kooperationspartners eine Rolle spielt, sondern auch die Position. Es gab Unterschiede zwischen Position 1 und Position 2 in den Parametern, die das Verhalten in der Kreuzung kennzeichnen, obwohl es weder im Entscheidungsverhalten noch in den subjektiven Einschätzungen Unterschiede zwischen den Positionen gab. Dies ist ein Effekt, der für die Engstelle nicht eingetroffen ist. Hier macht auch die andere Position keinen Unterschied. Festzuhalten bleibt, dass vor allem der HFC ein interessanter Parameter darstellt, um die Intention zu fahren, abzuleiten. Der HFC sollte in weiteren Studien zum Thema Kooperationsverhalten untersucht werden.

In Fragestellung C wurden relevante okulare Parameter für kurze kooperative Situationen versucht zu identifizieren.

Der größte Unterschied zwischen Experiment I und Experiment II ist, dass in der T-Kreuzung die Probanden bei Position 1 und Position 2 links abbiegen und sich auf zwei Kooperationspartner konzentrieren mussten. Dies führt dazu, dass die Durchfahrten in Experiment II deutlich länger ausfallen wie in Experiment I. Der Unterschied spiegelt sich in den relevanten okularen Parametern wieder. Basierend auf den Clusteranalysen sind für die Engstelle die Fixationsparameter relevanter wie die Sakkaden. Für das T-Kreuzungsszenario wurden ausschließlich Parameter identifiziert, die sich auf die Sakkaden beziehen.

Interessant ist aber, dass sich die unterschiedlichen Parameter, trotz der Unterschiede auf einer höheren Ebene gleich verhielten. So können sowohl die Fixationsparameter, wie auch die Sakkaden Hinweise dazu liefern, ob die Intention zu fahren oder nicht zu fahren vorlag. In beiden Experimenten lieferten die unterschiedlichen Parameter höhere Ausschläge, wenn der Proband die Intention hatte zu fahren. Somit eigenen sich okulare Parameter dazu, die Intention zu fahren aufzuzeigen. Ähnliche Hinweise zeigen sich auch in den Ergebnissen von Sakita et al. (2004), in der die Intention in der Mensch-Roboter Interaktion mittels okulärer Parameter nachgewiesen werden konnten.



Die Experimente I und II konnten sehr gut zeigen, wie Verkehrsteilnehmer in kooperativen Situationen handeln und sich auf das Entscheidungsverhalten auswirkt. Weiterhin konnten relevante Fahr- sowie okulare Parameter identifiziert werden. Ein Punkt der nicht untersucht werden konnte, sind die Erwartungen an das gezeigte Kommunikationsverhalten in kooperativen Situationen. Dies wurde in einem weiteren Schritt mit einer Fragebogenuntersuchung in dem nachfolgenden Kapitel untersucht.



---

## 5 Fragebogenuntersuchung

In diesem Kapitel wird es um die Erwartungshandlung von Verkehrsteilnehmern gehen. In aktuellen Untersuchungen, die im theoretischen Teil vorgestellt wurden, sowie in den eigens durchgeführten Experimenten, wurde das Verhalten untersucht, nicht aber die Erwartungen. Teile der Ergebnisse können in den Publikationen Imbsweiler et al. (2018d) und Imbsweiler et al. (2018b) im Detail nachgelesen werden.

### 5.1 Ziel

Zur Ermittlung von Erwartungen in kooperativen Verkehrssituationen im innerstädtischen Verkehr gibt es nach dem Stand des Autors keine aktuellen Untersuchungen.

In einer Untersuchung von Björklund und Åberg (2005) wurde das Nachgebenverhalten in interaktiven Situationen mittels Fragebogenverfahren untersucht, welche in dem Theorieteil (Kapitel 2.4.2.3) näher vorgestellt wurden. Anhand der Studie ist zu erkennen, dass es möglich ist, Erwartungen betreffend Verkehrssituationen zu erheben.

Erwartungen im Straßenverkehr spielen eine sehr wichtige Rolle (Bauer et al. 1980, Merten, 1977a, Färber 2015) und sollten deswegen untersucht werden, um Ableitungen für eine automatische Fahrzeugführung treffen zu können. Ein automatisches System muss sowohl das Verhalten des Kooperationspartners nachvollziehen können, wie auch ein Verhalten anwenden mit welchem die Verkehrsteilnehmer auch rechnen können.

Ziel des nachfolgenden präsentierten Fragebogens ist es nicht das tatsächliche Verhalten, sondern Erwartungen zu erfassen. Dies wird in den nachfolgenden Unterkapiteln vorgestellt.

Die übergeordnete Fragestellung der Fragebogenerhebung ist folgende:

*Welche Erwartungen haben Verkehrsteilnehmer in kooperativen Situationen hinsichtlich des eigenen Kommunikationsverhaltens und das des potenziellen Kooperationspartners.*

Die Fragestellung wird im Folgenden untersucht.

## **5.2 Methode**

In dem nachfolgenden Kapitel wird die Methode näher vorgestellt. Die Grundlage stellt dabei die Untersuchung von Björklund und Åberg (2005) dar. Des Weiteren wurde in einer von dem Autor betreuten Abschlussarbeit (Drollinger, 2017) festgestellt, dass es bei Untersuchungen von kooperativen Verhalten mittels Fragebogen von Vorteil ist, wenn die Abbildungen animiert sind und nicht statisch, wie in der Untersuchung von Björklund und Åberg (2005).

### **5.2.1 Durchführung**

Die Untersuchung wurde mit dem Onlinetool „Limesurvey“ durchgeführt, welcher über soziale Medien und der ifab-Probandendatenbank verbreitet wurde. Es konnten sechs Amazon-Gutscheine im Wert von 25 Euro gewonnen werden, welche per Zufall unter allen Teilnehmenden ausgelost wurden. Insgesamt wurden sechs verschiedene Verkehrssituationen ausgewählt und analysiert (Abbildung 69). Die Situationen a), b) und c) stellen kooperative Situationen dar, welche anhand des diskutierten StVO-Paragraphs dazu führen, dass ausgehandelt werden muss, wer zuerst fahren darf. Situation d) und f) gelten zur Überprüfung des von Björklund und Åbergs (2005) beschriebenen Hauptstraßeneffektes, welche aufzeigte, dass eher nachgegeben wird, wenn die Straßen gleich breit sind im Gegensatz dazu, wenn die Straßen nicht gleich breit sind. Situation e) wurde als Überprüfung eingeführt, ob es an dem Hindernis selbst oder dem beidseitigen Hindernis liegt, wie Verkehrsteilnehmer kommunizieren wollen.

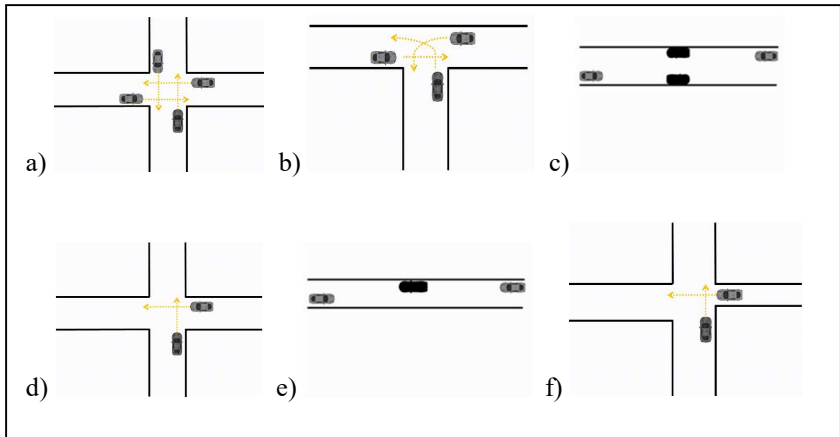


Abbildung 69. Die sechs verschiedenen Verkehrssituationen. Beginnend von links: a) X-Kreuzungsszenario, b) T-Kreuzungsszenario, c) Gleichrangige Engstelle, d) Rechts vor links mit gleich breiten Straßen, e) Einseitige Engstelle f) Rechts vor links, nicht gleich.

Die Reihenfolge der Fragen war randomisiert über die verschiedenen Situationen. Des Weiteren wurden für die Situationen a) und c) jeweils nur eine Perspektive abgefragt und es erfolgte mit einer randomisierten Zuteilung. Die Situationen b), d) und f) erfassten alle Perspektiven. Jeder Fragenblock zu jeder Situation hatte die gleiche Reihenfolge:

Als erstes wurde die Situation mit einer GIF-Animierung präsentiert;

- Frage 1: An welcher Position wollen Sie fahren?
- Frage 2: Mit welchem Kooperationspartner würden Sie in Kontakt treten?
- Frage 3: Welche Kommunikationssignale würden Sie verwenden?
  - o Implizit (Beschleunigen, Verlangsamen, Geschw. Halten, Stoppen;

- Explizit (Fahrtrichtungsanzeiger, Handgeste, Lichthupe, Horn).
- Frage 4: Welche Kommunikationssignale erwarten Sie anhand Ihrer Handlung von dem Gegenüber? Auflistung der gleichen Signale
- Wie sicher sind Sie sich in Ihrer Entscheidung? Likert-Skala von 1 „überhaupt nicht sicher“ bis 7 „sehr sicher“;
- Wie oft waren Sie bereits in so einer Situation? Likert-Skala von 1 „ständig“ bis 5 „noch nie“;

Nach der Abfrage der Situationen wurden den Probanden alle Situationen wiederholt präsentiert und abgefragt, welcher Verkehrsteilnehmer Vorrang in der jeweiligen Situation hat. Abschließend wurde ein deskriptiver Fragenblock präsentiert. Dieser beinhaltete die Einstellung zum Fahren nach Benmimoun et al. (2004). Dabei werden vier Fragen auf einer Likert-Skala von 1 = „Stimme überhaupt nicht zu“ bis 5 = „Stimme auf jeden Fall zu“ zu vier Kategorien beantwortet:

1. Altruistisch: „Ein Fahrer sollte auf die Vorfahrt verzichten, damit ein anderer schneller vorankommt.“
2. Systemisch: „Ein Fahrer sollte anderen Fahrern die Vorfahrt lassen, wenn dies dem Verkehrsfluss dient.“
3. Egoistisch: „Ein Fahrer sollte an seiner Vorfahrt festhalten, damit er sein Ziel schneller erreicht.“
4. Rivalistisch: „Ein Fahrer sollte auf seiner Vorfahrt beharren, denn jeder ist im Verkehr auf sich allein gestellt.“

Am Ende wurden noch demografische Daten erhoben, welche das Alter, Nationalität, Geschlecht, Fahrerlaubnis und Fahrstil erfassten.

Insgesamt haben  $N = 281$  (weiblich = 88, männlich = 183) von  $N = 597$  Befragten den Fragebogen komplett ausgefüllt. Des Weiteren wurden nur deutsche Staatsangehörige berücksichtigt, um kulturelle Verzerrungen auszuschließen. Der Altersdurchschnitt lag bei 26,04 Jahre ( $SD = 8,4$ ). Die Führerscheinbesitzdauer unterteilte sich wie folgt: 3,2 % besaßen den Führerschein kürzer als zwei Jahre, 47,5 % besaßen den Führerschein zwischen 2-6 Jahre, 38,5 % besaßen den Führerschein zwischen 7-15 Jahre und 10,4 % besaßen den Führerschein länger als 15 Jahre (durchschnittlich  $M = 2,56$ ,  $SD = ,723$ ). Die Befragten fahren im Durchschnitt zwischen 50 und 200 km die Woche und beschreiben ihren Fahrstil als durchschnittlich,  $M = 1,96$  ( $SD = ,61$ ). Die eigenen Fahrfähigkeiten schätzen die Probanden als „gut“ ein  $M = 3,99$  ( $SD = ,70$ ). Im Vergleich zu anderen Verkehrsteilnehmern der gleichen Altersgruppe schätzen die Gefragten ihre Fähigkeiten als vergleichbar ein,  $M = 2,28$  ( $SD = ,63$ ). Die Einstellung zum Fahren wird in Abbildung 70 präsentiert:

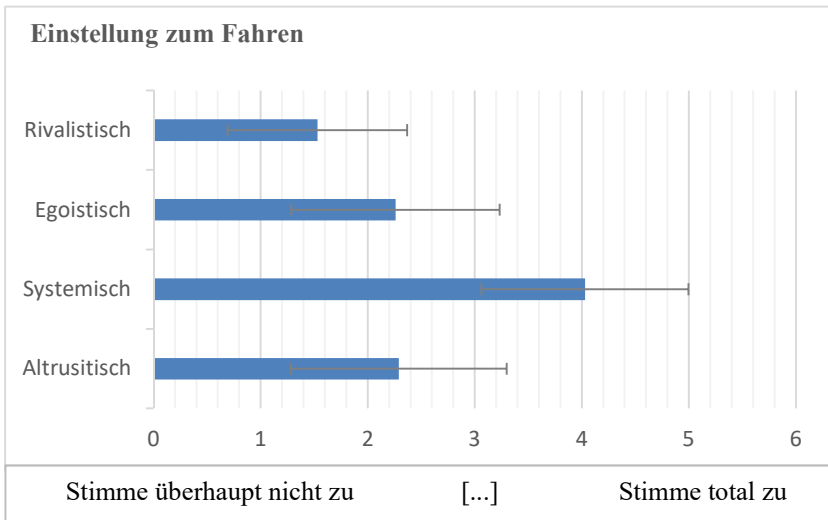


Abbildung 70. Fahreinstellungen der Befragten.

Das Verständnis der Situationen konnte zeigen, dass die Probanden als Fazit die Verkehrssituationen verstanden haben. So ergaben sich folgende Beurteilungen für die verschiedenen Situationen bei der Frage, wer zuerst fahren darf:

1. **X-Kreuzung:** *Rechts* kommend = 1,1 %, *Von unten* kommend = 1,1 %, *Kein Fahrzeug* = 97,8%;
2. **T-Kreuzung:** *Von links* kommend = 21,2 %, *Von unten* kommend = 3,2 %, *Von rechts* kommend = 42,2 %, *Kein Fahrzeug* = 33,1 %;
3. **Engstelle gleichrangig:** *Von links* kommend = 0,4 %, *Kein Fahrzeug* = 99,6 %;
4. **Rechts vor Links gleichbreit:** *Von rechts* kommend = 1,4 %, *Kein Fahrzeug* = 97,8%, *von unten* kommend = 0,7%;
5. **Engstelle einseitig:** *Hindernis* auf der Seite = 1,25 %, *Kein Hindernis* = 98,75 %;
6. **Rechts vor links schmal:** *Von rechts* kommend = 93,2 %, *Von unten* kommen = 6,5 %, *Kein Fahrzeug* = 0,4 %.

### 5.2.1.1 Hypothesen und Datenanalyse

Zur Untersuchung der Fragestellung, welche Erwartungen die Verkehrsteilnehmer in kooperativen Situationen haben und welche Kommunikationssignale verwendet werden, können zwei Hypothesen abgeleitet werden:

*H 1-0: Anhand der verwendeten Kommunikationssignale kann die Fahrtreihenfolge nicht vorhergesagt werden.*

*H 1-1: Anhand der verwendeten Kommunikationssignale kann die Fahrtreihenfolge vorhergesagt werden.*

Um Hypothese 1-1 zu testen, wird eine logistische Regression mit kategorialen Prädiktoren verwendet. Das Kriterium ist dichotom mit 0 = nicht fahren und 1 = fahren. Die Prädiktoren sind die verschiedenen Verhaltensweisen. Zur besseren Übersicht wird nur das Modell, in dem alle Situationen vorhanden sind,



vorgestellt. Im Anhang können die einzelnen Modelle für jede Situation nachvollzogen werden.

*H2-0: Es gibt keinen Zusammenhang zwischen den Kommunikationssignalen, die verwendet werden würden und den Kommunikationssignalen, die erwartet werden.*

*H2-1: Es gibt einen Zusammenhang zwischen den Kommunikationssignalen, die verwendet werden würden und den Kommunikationssignalen, die erwartet werden.*

Für die Korrelation wird eine Bravais-Pearson-Korrelation verwendet werden. Des Weiteren wird sich orientierend an der Beobachtungsmethode aus Kapitel 3 an dem Fuzzyclusterverfahren orientiert, um explorative Zusammenhänge zwischen den Kommunikationssignalen aufzudecken.

Des Weiteren soll mithilfe des Fragebogens der „Rechts vor Links“ Effekt weiter untersucht werden, welcher in Experiment II identifiziert werden konnte.

*H3-0: Die Befragten tendieren nicht dazu, vermehrt mit dem rechten Kooperationspartner Kontakt aufzunehmen.*

*H3-1: Die Befragten tendieren dazu, vermehrt mit dem rechten Kooperationspartner Kontakt aufzunehmen.*

*H3.1-0 Die Befragten tendieren nicht dazu, vermehrt in Situation a) mit dem rechten Kooperationspartner Kontakt aufzunehmen.*

*H3.1-1 Die Befragten tendieren dazu, vermehrt in Situation a) mit dem rechten Kooperationspartner Kontakt aufzunehmen.*

*H3.2-0 Die Befragten tendieren nicht dazu, vermehrt in Situation b) mit dem rechten Kooperationspartner Kontakt aufzunehmen.*

*H3.2-1 Die Befragten tendieren dazu, vermehrt in Situation b) mit dem rechten Kooperationspartner Kontakt aufzunehmen.*

Zur Testung dieser Hypothese wird nicht ein nicht-parametrischer Chi-quadrat Test angewendet werden, da es sich um bivariat-ausgeprägte Daten handelt (Field et al., 2013).

Hypothese 4-1 dient als Überprüfung des entdeckten Effektes von Björklund und Åberg (2005), welche herausgefunden haben, dass die Probanden bei einer engeren Straße weniger nachgeben.

*H 4-0: In Situation f) wird nicht häufiger als erstes gefahren wie in Situation d).*

*H 4-1: In Situation f) wird häufiger als erstes gefahren wie in Situation d).*

Zur Prüfung der Hypothese wird ein nicht parametrischer Chi-quadrat Test angewendet werden.

## **5.3 Ergebnisse**

In einem ersten Schritt werden deskriptive Ergebnisse dargestellt. Betreffend den Fragebogen ist es am interessantesten wie häufig welches Signal verwendet wurde. Dies ist in Tabelle 72 dargestellt. In der Tabelle wird nach Situation getrennt, da allgemeingültige Muster gefunden werden sollen.

Tabelle 72. Übersicht der Häufigkeit der verwendeten Signale über alle Situationen.

Kommunikationszeichen	Anzahl	Anteil an Gesamtzahl in %	Anteil an expliziten Signalen in %	Anteil an impliziten Signalen in %
Horn	10	2	5	
Lichthupe	424	9	22,4	
Fahrtrichtungsanzeiger	440	9,3	23,2	
Handgeste	1021	21,6	49,4	
<b>Summe Explizit Gesamt</b>	<b>1895</b>	<b>40,1</b>		
Bremsen	1237	26,1		43,6
Beschleunigen	98	20,7		34,5
Geschw. halten	261	5,5		9,2
Stoppen	1240	26,2		43,7
<b>Summe Implizit Gesamt</b>	<b>2836</b>	<b>59,9</b>		

Es ist zu erkennen, dass in 40 % der Fälle ein explizites Signal verwendet werden würde. Des Weiteren ist zu sehen, dass das am meisten verwendete Signal eine Handgeste (21,6%) ist. Das Horn kann als nicht relevant betrachtet werden, da es nur in 2 % der Fälle verwendet wird. Die impliziten Signale sind bis auf „Geschw. halten“ in einem ähnlichen Bereich, sodass keine direkten Schlüsse gezogen werden können. In der nachfolgenden Tabelle 73 sind prozentualen Verteilungen für jede Situationen hinsichtlich der Fahrtreihenfolge abgetragen.

Tabelle 73. Prozentuale Verteilung für jede Situation hinsichtlich als erstes oder später fahren zu wollen.

<b>Situation</b>	<b>Erster</b>	<b>Zweiter oder Später</b>
Situation a) X-Kreuzung	12,46 %	87,54 %
Situation b) T-Kreuzung	30,22 %	69,78 %
Situation c) Gleichrang. Engstelle	88,49 %	11,51 %
Situation d) Rechts vor Links: Gleich	47,12 %	52,88 %
Situation e) 1. Einseitige Engstelle Mit Vorfahrt	93, 52%	6,48 %
Situation e) 2. Einseitige Engstelle: Ohne Vorfahrt	1,44 %	98,56 %
Situation f) Rechts vor Links: Ungleich	45,32 %	54, 68 %

In dem nachfolgenden Kapitel wird die Hypothesenprüfung vorgestellt.

### 5.3.1 Hypothesenprüfung

Hypothese 1-1 prüfte die Frage, ob anhand der Kommunikationssignale die Fahrtreihenfolge vorhergesagt werden kann. Dafür wurde eine logistische Regression verwendet. Das logistische Kriterium besteht aus 0 = als erstes fahren und 1 = zweites oder später fahren. Die Prädiktoren stellen die verschiedenen Kommunikationssignale dar.

In einem ersten Schritt muss dafür das Nullmodell gegen das zu überprüfende Modell getestet werden.

Tabelle 74. Modelltest zur Überprüfung von Hypothese 1-1. Fragebogenerhebung.

Modell	df	AIC	Devianz	Residual df	Residual Devianz	Chi-quadrat	p
Nullmodell	3	2597,4	2595,4	2223	2295		
1	8	1462	1133	2215	1462	1132,9	,000***

p <,000 \*\*\*. p <,001 \*\*. p <,005\*. p <,01.

Tabelle 74 zeigt, dass sich das Modell 1 höchst signifikant von dem Nullmodell unterscheidet, Chi-quadrat = 1132,9,  $p < ,000$ . Des Weiteren ist der AIC deutlich geringer und stellt somit ein ökonomisches Modell dar. In dem nachfolgenden Abschnitt wird das zu testende Modell weiter analysiert. Anhand von Tabelle 75 kann die durchgeführte logistische Regression nachvollzogen werden.

Tabelle 75. Logistische Regression zur Überprüfung von Hypothese 1-1. Fragebogenerhebung.

	<b>B (SD)</b>	<b>95% KI für Odds Ratio</b>		
		<b>2,5 %</b>	<b>Odds ratio</b>	<b>97,5 %</b>
Konstante	0,575*** (0,174)	,237	1,777	,920
Handgeste	0,714*** (0,143)	,435	2,043	,997
Beschleunigen	-2,625*** (0,377)	-3,409	,072	-1,922
Stoppen	1,971*** (0,147)	1,697	7,177	2,263
Bremsen	-0,476*** (0,159)	-,794	,621	-,168
Geschw. Halten	-3,794*** (0,342)	-4,516	,022	-3,164
Hupe	-1,742** (0,842)	-3,540	,175	-,166
Lichthupe	0,924*** (0,200)	,054	2,519	1,329
Fahrtrichtungsanzeiger	0,152 (0,174)	-,184	1,164	,480

Anmerkung: McFadden-Pseudo<sup>2</sup> = ,437 ; Observations 2,224; Log Likelihood -731.241; Akaike Inf. Crit. 1480,481, \*\*\* $p < ,01$ , \*\* $p < ,05$

Zur Bewertung der Modellgüte kann McFaddens Pseudo  $R^2$  berechnet werden (McFadden, 1974). Für dieses Modell beträgt das McFaddens Pseudo  $R^2 = ,437$ . Dies kann nach Field et al. (2013) als sehr hoch angesehen werden. Des Weiteren kann in Abbildung 71 die Positiv/Falsch Rate zur Falsch-Positiv Rate analysiert werden. Auch diese ist nach einer optischen Analyse als sehr gut einzustufen. Somit können aufgrund der Modellgüte die Ergebnisse verwendet werden.

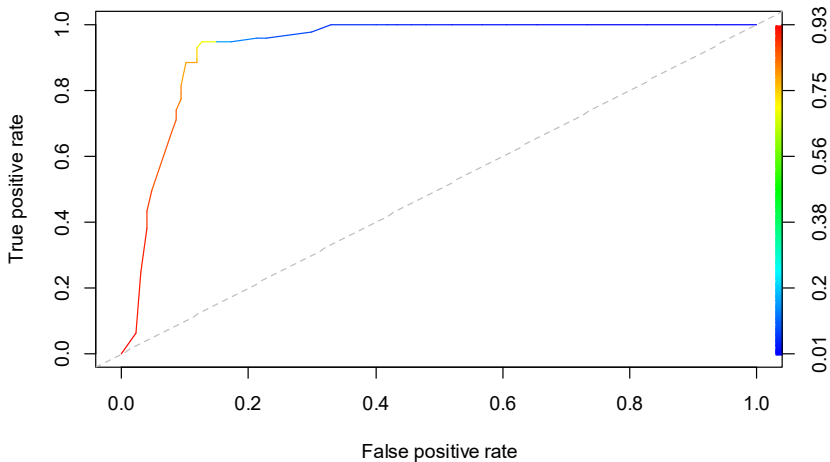


Abbildung 71. ROC-Kurve für Modell 1 zur Überprüfung von Hypothese 1-1. Fragebogenerhebung.

Hypothese 1-1 kann angenommen und die Nullhypothese verworfen werden. Die gewählten Kommunikationssignale können die Fahrtreihenfolge vorhersagen. Es kann gezeigt werden, dass der Einsatz einer Handgeste (Wahrscheinlichkeit = 0,714), Eindeutiges Stoppen (Regressionskoeffizient = 1,971\*\*\*) oder das Betätigen der Lichthupe (Regressionskoeffizienten = ,924\*\*\*) die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass als zweites oder später gefahren wird. Beschleunigen (Regressionskoeffizienten = - 2,625\*\*\*) Verlangsamen (Regressionskoeffizienten = - ,426\*\*\*) Geschw. Halten (Regressionskoeffizienten = - 3,794\*\*\*) und Verwendung des Horns (Regressionskoeffizienten = - 1,742\*\*), erhöhen die Wahrscheinlichkeit als erstes zu fahren.

Hypothese 2-1 wird in einem ersten Schritt mit einer Korrelationsanalyse geprüft. In Tabelle 76 sind die Ergebnisse zu erkennen.

Tabelle 76. Bravais-Pearson Korrelation zwischen gewähltem und erwartetem Verhalten zur Prüfung von Hypothese 2-1. Fragebogenuntersuchung.

Gewählt/Erwartet	Ge- schw. halten	Beschleu- nigen	Ver- lang- sa- men	Stopp	Horn	Licht- hupe	Fahrt- rich- tungs- anzei- ger	Hand-geste
Horn	,014	,005	,009	,034	,002	,016	,042	,002
Lichthupe	,013	,268*	,55*	,198	,062*	,218*	,098*	,167*
Fahrtrich- tungsanzeiger	,083*	,057*	,039	,012	,06*	,051*	,163*	,036*
Verlangsamten	,197*	,052*	,051*	,199	,003	,058*	,053*	,142*
Beschleuni- gen	,073*	,081*	,119*	,227	,006	,015	,045*	,068*
Geschw. hal- ten	,2*	,223*	,208*	,496	,013	,016	,001	,223*
Stopp	,267*	,094*	,072*	,291	,028	,004	,031	,145*
Handgeste	,174*	,213*	,026	,186	,032	,041	,098	,452*

p < ,000 \*\*\*, p < ,001 \*\*, p < ,005\*, p < ,01.

In Tabelle 76 ist zu erkennen, dass es viele Korrelationen zwischen den Signalen gibt und somit kann Hypothese 2-1 angenommen werden. Anhand der Ergebnisse ist es nicht möglich, zwischen Gruppierungen von Verhaltensweisen zu unterscheiden. Dafür wurde, wie in den Analysen zuvor, ein Fuzzyclusteransatz gewählt. Die Ergebnisse werden im Folgenden für die drei Kooperationsituationen vorgestellt.

In Tabelle 77 - Tabelle 80 sind die Ergebnisse für die X-Kreuzung, die T-Kreuzung sowie die gleichrangige Engstelle präsentiert. Der Dunn-Koeffizient für die Analyse der X-Kreuzung beträgt  $F_k(U) = ,87$  und ist damit als sehr hoch einzuordnen.

Tabelle 77. Fuzzyanalyse für die X-Kreuzung. Fragebogenuntersuchung.

<b>Signal</b>	<b>Cluster 1</b>	<b>Cluster 2</b>	<b>Cluster 3</b>
G - Horn	1	0	0
G - Lichthupe	0,98	0,02	0
G - Fahrtrichtungsanzeiger	1	0	0
G - Beschleunigen	1	0	0
G - Geschw, halten	1	0	0
E - Geschw, halten	0,93	0,06	0,01
E - Beschleunigen	0,67	0,19	0,14
E - Horn	1	0	0
E - Lichthupe	0,99	0	0
E - Fahrtrichtungsanzeiger	1	0	0
C - Verlangsamten	0,03	0,86	0,11
E - Verlangsamten	0,03	0,94	0,03
E - Stopp	0,35	0,54	0,11
C - Stopp	0,02	0,10	0,89
C - Handgeste	0	0,02	0,97
E - Handgeste	0,02	0,08	0,90

G = gewähltes Verhalten, E = erwartetes Verhalten

Die T-Kreuzung wurde in die Linksabbiegerposition und die Geradeausfahrposition aufgeteilt. Hinsichtlich der Linksabbiegerposition ist der Dunn-Koeffizient als sehr hoch einzuordnen  $F_k(U) = ,74$ .



Tabelle 78. Fuzzyanalyse für die T-Kreuzung: Ohne Geradeausfahrposition, Fragebogenuntersuchung.

Signal	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
C - Horn	1	0	0	0
C - Lichtthupe	0,05	0,92	0,02	0,01
C - Fahrtrichtungsanzeiger	0,97	0,02	0	0,
C - Verlangsamen	0,05	0,06	0,76	0,14
C - Beschleunigen	0,99	0,01	0	0
C - Geschw, halten	0,93	0,05	0,01	0,01
C - Stopp	0,04	0,07	0,71	0,17
C - Handgeste	0,01	0,02	0,04	0,93
E - Geschw, halten	0,69	0,23	0,05	0,02
E - Beschleunigen	0,05	0,91	0,02	0,02
E - Verlangsamen	0,21	0,12	0,53	0,13
E - Stopp	0,55	0,15	0,20	0,10
E - Horn	1	0	0	0
E - Lichtthupe	0,93	0,05	0,01	0,01
E - Fahrtrichtungsanzeiger	0,04	0,06	0,83	0,07
E - Handgeste	0,01	0,02	0,03	0,94

G = gewähltes Verhalten, E = erwartetes Verhalten

Die Fuzzyanalyse ist hinsichtlich des Dunn-Koeffizienten als sehr hoch einzuordnen  $F_k(U) = ,76$ .

Tabelle 79. Fuzzyanalyse für die T-Kreuzung: Ohne Linksabbiegerposition, Fragebogenuntersuchung.

Signal	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
C - Horn	1	0	0	0
C - Lichthupe	0,97	0,02	0	0
C - Fahrtrichtungsanzei- ger	0,99	0,01	0	0
C - Beschleunigen	0,93	0,05	0,01	0,01
C - Geschw, halten	0,69	0,23	0,05	0,02
E - Geschw, halten	0,55	0,15	0,20	0,10
E - Beschleunigen	1	0	0	0
E - Horn	0,93	0,05	0,01	0,01
E - Lichthupe	0,05	0,92	0,02	0,01
E - Fahrtrichtungsanzei- ger	0,05	0,91	0,02	0,02
C - Verlangsamten	0,05	0,06	0,76	0,14
E - Verlangsamten	0,04	0,07	0,71	0,17
E - Stopp	0,21	0,12	0,53	0,13
C - Stopp	0,04	0,06	0,83	0,07
C - Handgeste	0,01	0,02	0,04	0,93
E - Handgeste	0,01	0,02	0,03	0,94

G = gewähltes Verhalten, E = erwartetes Verhalten

Des Weiteren ist der Dunn-Koeffizient für die Analyse zu der gleichrangigen Engstelle als sehr hoch einzuordnen  $F_k(U) = ,76$ .

Tabelle 80. Fuzzyanalyse für die T-Kreuzung: Gleichrangige Engstelle Fragebogenuntersuchung.

Signal	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
C - Horn	1	0	0	0	0
C - Lichthupe	0,99	0	0	0	0
C - Fahrtrichtungsanzeiger	0,99	0	0	0	0
C - Beschleunigen	0,71	0,06	0,12	0,05	0,05
C - Geschw. halten	0,78	0,02	0,14	0,02	0,03
E - Geschw. halten	1	0	0	0	0
E - Beschleunigen	0,83	0,02	0,11	0,02	0,02
E - Horn	0,01	0,88	0,02	0,05	0,03
E - Lichthupe	0,04	0,86	0,03	0,03	0,04
E - Fahrtrichtungsanzeiger	0,06	0,01	0,90	0,01	0,01
C - Verlangsamten	0,15	0,05	0,56	0,13	0,11
E - Verlangsamten	0,04	0,05	0,81	0,05	0,04
E - Stopp	0,01	0,03	0,03	0,89	0,04
C - Stopp	0,01	0,04	0,04	0,84	0,06
C - Handgeste	0,02	0,03	0,04	0,05	0,87
E - Handgeste	0,01	0,03	0,03	0,04	0,88

G = gewähltes Verhalten, E = erwartetes Verhalten

Die Interpretation der Ergebnisse folgt in dem Diskussionskapitel.

Hypothese 3-1 teilt sich in zwei Unterhypothesen auf, um Situation a) und c) zu testen. Hypothese 3-1-1 bezüglich Situation a) kann angenommen werden. In der X-Kreuzung wurde in 43 % der Fälle ein explizites Signal gegeben. In 63,5 % der Fälle wurde das Signal zu dem rechten Kooperationspartner gegeben. Die getesteten Richtungen waren, links, rechts und gegenüber. Die Ergebnisse zeigen, dass die Wahrscheinlichkeiten nicht gleich verteilt sind  $\chi^2(3, N = 278) = 16, p = 0,000$ .

Hypothese 3-1-2 kann ebenfalls angenommen werden. Für das T-Kreuzungsszenario wurde in 47 % der Fälle ein explizites Signal gegeben. In 56,70 % der Fälle wurde das Signal zu dem rechten Kooperationspartner gegeben. Die getesteten Richtungen waren links und gerade aus. Die Ergebnisse zeigen, dass die Wahrscheinlichkeiten nicht gleichverteilt sind,  $\chi^2(2, N = 245) = 14, p = 0,000$ . Auf Basis der Ergebnisse kann Hypothese 3-1 angenommen werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Rechts-vor-Links Effekt auch für subjektive Befragungen gilt.

Hypothese 4-1 bezüglich der Frage, ob in Situation f) häufiger als erstes gefahren wird als in Situation d), muss abgelehnt werden, In Situation f) wurde sich in 131 Fällen dazu entschieden als erstes zu fahren und in Situation d) in 126 Fällen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Wahrscheinlichkeiten gleich verteilt sind  $\chi^2(2, N = 278) = 3, p = \text{n.s.}$ .

## 5.4 Diskussion

Die Ergebnisse zur Hypothesenprüfung zeigen, dass Hypothese 1-1 angenommen werden kann. Die unterschiedlichen Verhaltensweisen können aufzeigen, welche Intention sich hinter der Entscheidung verbirgt. Nach dem Wissen des Autors existiert zu dem damaligen Zeitpunkt keine Übersicht, welche Kommunikationssignale für kooperative innerstädtische Szenarien, welche Bedeutung haben. Als Kommunikationssignale, die ein defensives Verhalten nahelegen, also für die Intention als zweites oder später fahren können: Handgeste, Lichthupe und Stoppen betrachtet werden. Für offensive Signale fungieren: Horn, Verlangsamern und Beschleunigen. Der Fahrtrichtungsanzeiger kann nicht aufzeigen, welche Intention hinter der Entscheidung steht. Diese Signale konnten sowohl in der Beobachtungsstudie, wie auch in den Experimenten I und II gefunden werden.

Das Signal „Verlangsamern“ ist auf den ersten Blick intuitiv, da eine Verzögerung stattfindet. Beachtet werden muss, dass, trotz der Verzögerung, auf den Kooperationspartnern zugefahren wird. Somit steht hinter der Verzögerung vermutlich ein abwartendes, offensives Signal. Die Prüfung von Hypothese 1-

1 untersuchte nicht das Auftreten von gemeinsamen Verhaltensweisen. Dies wurde in Hypothese 2-1 geprüft.

Hypothese 2-1 konnte ebenfalls angenommen werden. Mithilfe von Korrelations- und Clusteranalysen konnte aufgezeigt werden, dass es verschiedene Verknüpfungen zwischen erwarteten und angegebenen Kommunikationssignalen gibt. Wenn alle Clusteranalysen verglichen werden, kann gezeigt werden, dass es ein starkes Cluster gibt. Wenn Probanden eine Handgeste machen, erwarten Sie dies auch von dem Gegenüber. Des Weiteren zeigen die Cluster eine Wechselwirkung zwischen offensiven und defensiven Signalen. So zeigt sich ein wiederkehrendes Muster für die T-Kreuzung und die Engstelle aus angegebener Beschleunigung und erwarteter Lichthupe und umgekehrt. Des Weiteren zeigt in jeder Situation jedes Cluster ein Merkmal in dem Entscheidungsprozess: Eine erfolgreiche Kooperation ist immer mit einem expliziten Kommunikationssignal verbunden. Es spielt dabei keine Rolle, ob es für eine offensive oder defensive Intention verwendet wird. Dabei scheint es für die Probanden wichtig zu sein, dass einer der Kooperationspartner ein explizites Signal zur Quittierung oder Einleitung verwendet.

Hypothese 3-1 prüfte, ob der „Rechts-vor-Links Effekt“ auch in einer Fragebogenuntersuchung auftritt. Die Hypothese 3-1 konnte sowohl für die T-Kreuzung als auch für die X-Kreuzung angenommen werden. Dies bedeutet, dass Verkehrsteilnehmer in kooperativen Situationen, wenn sie die Intention haben, dazu tendieren dem Kooperationspartner zur Rechten Seite Vorrang gewähren. Das Problem an dieser Lösung ist, wie in Kapitel 4.2.4 beschrieben, dass die Lösung nur verschoben wird. Eine schnelle Lösung der Situation wäre, dem Partner links von sich Vorrang zu gewähren. Dieser Effekt konnte sowohl in Experiment II als auch in der Fragebogenuntersuchung nachgewiesen werden. In einem nächsten Schritt sollte dieser Effekt auch in einer Feldbeobachtung geprüft werden.

In Hypothese 4-1 wurde der gezeigte Effekt von Björklund und Åberg (2005) geprüft. Die Hypothese musste abgelehnt werden. Somit konnte der Effekt nicht repliziert werden. Die Probanden sind nicht vermehrt als erstes gefahren, wenn sich der von rechts kommende Verkehrsteilnehmer auf einer kleineren Straße befindet. Zu diskutieren ist, ob es an der veränderten Darstellung lag,

da in der aktuellen Fragebogenuntersuchung animierte Abbildungen verwendet wurden und in der Untersuchung von Björklund und Åberg (2005) waren es statische Bilder. Drollinger (2017) verwendete in der Fragebogenuntersuchung statische Bilder und konnte diesen Effekt ebenfalls nicht replizieren.

Des Weiteren wurde eine größere Stichprobe angesprochen und diese stammte noch aus einem anderen Kulturkreis. Basierend auf den Ergebnissen kann gesagt werden, dass dieser Effekt nicht für deutsche Verkehrsteilnehmer gilt.

Die deskriptiven Ergebnisse konnte zusätzlich zeigen, dass die Probanden deutlich mehr explizite Kommunikation erwarten und auch selbst anwenden (40,10 %) würden. Im Vergleich dazu konnten de Ceunynck et al. (2013) nur 27 % explizite Signale beobachten. Einschränkend muss gesagt werden, dass explizite Signale noch den Fahrtrichtungsanzeiger umfassten und die Situationen vermutlich interaktiver Natur waren. In der Beobachtungsstudie (Kapitel 1) konnten für die T-Kreuzung 45 % explizite Signale und für die X-Kreuzung 34, % beobachtet werden. Wird der Einsatz des Fahrtrichtungsanzeigers herausgerechnet, können für die T-Kreuzung 2,8 % und für die X-Kreuzung 3,1 % beobachtet werden. Somit scheint ein Unterschied zwischen angegeben Verhalten und tatsächlichem Verhalten zu existieren.

Ebenfalls konnte für die deskriptiven Ergebnisse gezeigt werden, dass sich in kooperativen Situationen die Entscheidung als erster oder zweiter (drittes, viertes) zu fahren in Abhängigkeit *der Komplexität* verändert. So wollen ca. 90 % der Probanden bei der gleichrangigen Engstelle als erstes fahren, bei der T-Kreuzung ca. 30 % und bei der X-Kreuzung ca. 12 %. Es scheint als ob die Komplexität, dargestellt über die Anzahl der Verkehrsteilnehmer auch in nicht direkt erlebten Situationen einen Einfluss hat.

Basierend auf den Ergebnissen wird im nachfolgenden Kapitel ein Fazit gezogen.

### 5.4.1 Fazit

Die Ergebnisse der Fragebogenuntersuchung führen zu folgenden Schlussfolgerungen:

Auf der einen Seite muss bei der Gestaltung einer automatischen Fahrzeugführung bedacht werden, dass Verkehrsteilnehmer von einem höheren Einsatz von expliziten Signalen ausgehen und diesen auch erwarten.

Auf der anderen Seite ist es durch die Befragung möglich gewesen, für innerstädtische kooperative Szenarien die Kommunikationssignale der dahinterliegenden offensiven und defensiven Intention zuzuordnen. Nach dem Wissen des Autors gibt es hierzu noch keinen Überblick. Dieser konnte mit der Befragung geschaffen werden.

Neben der Häufigkeit und Zuordnung der expliziten Kommunikationssignale helfen die Ergebnisse, die Rolle der expliziten Kommunikation zu definieren: Die Rolle der expliziten Kommunikation ist der eines Stillstandsauflösers. Explizite Signale werden ins Besondere dann eingesetzt, wenn es zu einem Stillstand kommt. Sie werden in der Tendenz weniger eingesetzt, um einen flüssigen Ablauf zu gewährleisten. Dies liegt allerdings auch in der Natur der Verteilung. Aktuell gibt es nur explizite Signale, welche die Intention vermitteln können, den Kooperationspartner fahren zu lassen. Offensive explizite Signale konnten auch in der Fragebogenuntersuchung nicht gefunden werden. Hier müssen weitere Untersuchungen angesetzt werden, welche die Möglichkeit einer offensiven Intentionsvermittlung gewährleisten.

Des Weiteren zeigte die Verteilung der Wunschposition zu fahren einen ähnlichen Effekt wie in Experiment I und II. Je komplexer eine Situation ist, desto eher wollen die Verkehrsteilnehmer nicht die führende Rolle übernehmen. In dieser Erhebung sind nur drei kooperative Situationen vorhanden. In nachfolgenden Untersuchungen sollte versucht werden, einen Grenzwert zu ermitteln, wann der Wechsel in der Präferenz zu fahren oder nicht zu fahren, stattfindet. An diesem Punkt könnte eine automatische Fahrzeugführung ansetzen und in weniger komplexen Situationen dem menschlichen Kooperationspartner die Führung überlassen und in komplexen Situationen selbst fahren. Als offene

Frage bleibt bestehen, wie sich dieses Nutzererlebnis auf den Passagier in dem automatischen Fahrzeug auswirkt. Weitere Studien sollten diese Wechselwirkung untersuchen.

### **5.4.2 Limitationen**

Die Limitation der Fragebogenuntersuchung, die subjektive Einschätzung, ist auch gleichzeitig die Stärke, da es um Erwartungen von Verkehrsteilnehmern ging. Insgesamt ist die Stichprobe relativ jung ( $M = 26,04$  Jahre) sowie 281 Probanden sind nicht repräsentativ, um ein Bild von allen deutschen Verkehrsteilnehmern abzudecken.

### **5.4.3 Ausblick**

Nachfolgende Fragebogenuntersuchungen sollten die gleichen Fragen verwenden, um die Erwartungen an eine automatische Fahrzeugführung abzudecken. Hier wäre vor allem interessant, ob Verkehrsteilnehmer die Automation als erstes fahren lassen wollen oder später. Des Weiteren sollte eine ältere Stichprobe sowie andere Kulturkreise untersucht werden.



---

## **6 Diskussion**

Basierend auf den verschiedenen Studien werden im Folgenden die unterschiedlichen Ergebnisse der Studie zusammengeführt und verglichen sowie auf den theoretischen Hintergrund bezogen.

### **6.1 Zusammenführung der Ergebnisse**

Zur Zusammenführung der Ergebnisse werden kurz die wesentlichen Erkenntnisse der einzelnen Unteruntersuchungen noch einmal zusammengefasst, um diese dann in einem größeren Zusammenhang zu diskutieren.

#### **6.1.1 Zusammenfassung**

In Kapitel 3 wurde die Entwicklung einer Beobachtungsmethode vorgestellt und verschiedene Kreuzungen untersucht. Das wesentliche Ziel war es, Verhaltenssequenzen zu identifizieren und die Möglichkeit einer Abschätzung der Anwendungshäufigkeit von impliziten und expliziten Kommunikationszeichen zu erlangen. Für die Beobachtung der X-Kreuzung konnte gezeigt werden, dass deutlich mehr implizite Signale als explizite Signale verwendet werden. Des Weiteren konnte aufgezeigt werden, dass Verhaltenssequenzen nicht aus vielen, sondern wenigen, in der Regel zwei, Verhaltensweisen bestehen. Die Ergebnisse für die T-Kreuzung sind sehr ähnlich, sodass die gleichen Schlussfolgerungen gezogen werden können.

Bei beiden Kreuzungsszenarien kann gesehen werden, dass unterschiedliche Varianten von Abbiegeverhaltensweisen defensive und offensive Intentionen erzeugen. So ist das Linksabbiegen eher mit einer defensiven Intention verknüpft und das Rechtsabbiegen mit einer offensiven Intention. Geradeausfahren ist sehr situationsabhängig und nicht mit einer speziellen Intention verbunden.

Die Untersuchung, mittels Beobachtung der Engstelle konnte zeigen, dass die meisten Situationen mit impliziten Signalen gelöst werden. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass bei einer einseitigen Engstelle die Verkehrsteilnehmer sich an geltendes Recht gehalten haben.

Zusammenführend mit den Ergebnissen der gleichrangigen Engstelle kann zu dem Fazit gekommen werden, dass die Einsatzhäufigkeit von expliziter Kommunikation als eher gering einzuschätzen ist, die meisten Verhaltenssequenzen bestehen aus zwei Verhaltensweisen, des Weiteren wird der Fahrtrichtungsanzeiger nur bedingt eingesetzt und das am meisten verwendete explizite Signal ist die Lichthupe. Die Ergebnisse bezüglich des Fahrtrichtungsanzeigers sind somit konsistent zu den Ergebnissen von Sullivan et al. (2015) und Faw (2013). Das Horn und die Handgeste konnten nicht als relevante explizite Signale identifiziert werden.

In Kapitel 1 wurden zwei Experimente durchgeführt. Ein Experiment untersuchte das Engstelleszenario und ein Experiment untersuchte das T-Kreuzungsszenario. Die Ergebnisse bezüglich des Experimentes I zur Engstelle konnten zeigen, dass der gezielte Einsatz von Verhaltensweisen, sogenannten Kommunikationssets, die Intention der anderen Verkehrsteilnehmer beeinflussen kann. Offensive Kommunikationssets führen dazu, dass der Kooperationspartner nicht fährt und defensive Kommunikationssets führen dazu, dass der Kooperationspartner als erstes fahren möchte. Es konnte gezeigt werden, dass die Probanden präferieren, als erstes fahren zu können und das Verhalten des Gegenübers dann als kooperativer empfinden.

Des Weiteren wurde untersucht, welche Fahrparameter sich für kurze kooperative Situationen eignen. Die Parameter betreffend der Verzögerung (MB, DMM, ABD) eignen sich um die Intention fahren oder nicht fahren zu untersuchen, nicht aber für detaillierte Untersuchungen. Als besonders relevanter Fahrparameter kann der HFC extrahiert werden. Dieser zeigte Zusammenhänge zu der Sicherheit zu fahren sowie der wahrgenommenen Kooperationsbereitschaft. Für nachfolgende Untersuchungen soll der HFC verwendet werden. Die Analyse der Eye-Tracking-Daten zeigte in Bezug auf die AOI-Analysen, dass sich die Gesamtanzahl der Fixationen zwischen den Drehbüchern unterschied aber nicht zwischen den einzelnen AOIs. In den defensiven

Drehbüchern betrachteten die Probanden vermehrt die Fahrbahn während in den offensiven Drehbüchern der Kooperationspartner im Fokus stand. Die Fixationsdauer lieferte mehr Hinweise hinsichtlich des Aufmerksamkeitsfokus. So wurde in den defensiven Drehbüchern die Fahrbahn länger betrachtet und in den offensiven Drehbüchern der Gegenüber. Die Daten zeigen ein ähnliches Muster wie der Fahrparameter HFC auf, in Bezug auf Ausschläge zwischen den verschiedenen Bedingungen. Für das explorative Vorgehen zur Identifizierung von relevanten Parametern konnten der PERCLOS, die Blinzeldauer, die Anzahl der Fixationen sowie die Anzahl der Sakkaden herausgestellt werden. Die Anzahl der Sakkaden zeigt das gleiche Muster wie die Anzahl der Fixationen und hat die größte Ausprägung in den offensiven Drehbüchern.

Die Ergebnisse zu Experiment II bezüglich des T-Kreuzungsszenarios zeigen, dass die verschiedenen Kommunikationssets dazu beitragen, die gewünschte Intention hervorzurufen. Allerdings müssen Einschränkungen bezüglich der defensiven Kommunikationssets angenommen werden, welche in Kapitel 4.2.4 diskutiert wurden. Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass Probanden das Verhalten des Gegenübers als kooperativer empfinden, wenn der Gegenüber als erstes fährt.

Für die Analyse der Fahrparameter zeigte sich, dass hier zwischen Parametern unterschieden werden muss, die sich je nach Kooperationsverhalten unterscheiden und den Parametern, die sich zwischen den Positionen unterscheiden. Die Parameter betreffend der allgemeinen Verhaltensweisen sind ins Besondere der HFC. Für die Unterschiede in den Positionen sind vor allem die Parameter, die das Heranfahren betreffen, sensitiv.

In der letzten Fragestellung für die T-Kreuzung wurde untersucht, welche okularen Parameter für kurze kooperative Situationen relevant sein könnten. Als besonders sensitiv für Veränderung scheinen die sakkadenbezogenen Parameter zu sein, welche in kooperativen, kurzen Situationen Unterschiede aufzeigen.

Durch eine zusätzliche explorative Analyse konnte der „Rechts-vor-Links“ Effekt aufgezeigt werden, der zeigt, dass die Probanden in der Regel explizite

Signale zu dem rechten Kooperationspartner gegeben haben, obwohl der linke die logischere Lösung darstellt.

Die Fragebogenuntersuchung konnte zeigen, dass die Teilnehmer der Befragung in den angegebenen wie auch erwarteten Verhaltensweisen einen höheren Anteil an expliziten Kommunikationszeichen aufwiesen, gegenüber der Beobachtung und den Experimenten. Im Allgemeinen konnte festgestellt werden, dass es die Probanden mit steigender Komplexität einer kooperativen Situation präferieren, nicht als erstes zu fahren.

Des Weiteren konnte eine Aufteilung in offensive und defensive Kommunikationssignale getätigt werden. So können die Lichthupe, Stoppen und Handgeste als defensive Signale klassifiziert werden und Bremsen, Geschwindigkeit halten sowie Hupen als offensive Signale klassifiziert werden. Der Fahrtrichtungsanzeiger wies keine Bedeutung auf.

In einer weiteren Hypothesenprüfung konnte gezeigt werden, dass der Rechtsvor-Links Effekt auch in der Befragung bestehen blieb.

## **6.1.2 Zusammenführung**

Für alle vier Untersuchungen standen verschiedene Fragestellungen im Vordergrund. Übergeordnetes Ziel der Untersuchung war es das Entscheidungsverhalten von Verkehrsteilnehmern in kooperativen Situationen zu untersuchen. Basierend auf der theoretischen Einordnung ist es daher von Interesse zu wissen, wie Verkehrsteilnehmer in kooperativen Situationen kommunizieren, welche Einflüsse auf das Entscheidungsverhalten bestehen und wie sich diese physiologisch äußern, sowie welche Erwartungen an kooperative Situationen bestehen.

### **6.1.2.1 Kommunikationssignale: Implizite und explizite Kommunikation**

Die Frage, wie Verkehrsteilnehmer in kooperativen Situationen kommunizieren, können alle vier Untersuchungen beantworten. Andere Autoren konnten in ihren Studien einige Implikationen aufzeigen. So konnte de Ceunynck et al.

(2013) zeigen, dass in interaktiven Situationen vor allem die impliziten Kommunikationssignale eine große Rolle spielen. Dies konnten Kauffmann et al. (2017) für das Spurwechselszenario bestätigen. Hier schätzen die Probanden die impliziten Signale als am wichtigsten ein. Kitazaki und Mhyre (2015) sowie Lee & Sheppard (2016) konnten in Videountersuchungen zeigen, dass Intentionen dann besser erkannt werden, wenn diese mit einem gültigen Signal verbunden sind, wie zum Beispiel der Fahrtrichtungsanzeiger. Dabei unterscheiden sie nicht, ob ein gültiges Signal zu den formellen oder informellen Regeln zählt. In den untersuchten Situationen besteht der Unterschied, dass es keine, im eigentlichen Sinne, „gültigen Signale“ gibt, da die Situationen nicht geregelt sind.

Sowohl in der Beobachtungsstudie als auch in den Experimenten I und II konnte festgestellt werden, dass die implizite Kommunikation eine deutlich größere Rolle spielt als aus der Literatur angenommen werden konnte (Bauer et al., 1980). Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die explizite Kommunikation die Funktion eines Kommunikationsverstärkers einnimmt. Dieser ist nicht immer nötig, wenn das implizite Verhalten eindeutig genug ist. Ist das implizite Verhalten nicht eindeutig genug, kann ein explizites Kommunikationssignal unterstützend wirken. Dass implizite Kommunikationssignale eindeutig und ausreichend sind, konnte auch in der Fahrer-Fußgänger-Interaktion festgestellt werden und wird u. a. von Witzlack et al. (2016) und (2018) diskutiert. Damit nimmt die Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich der expliziten Kommunikation eine andere Rolle ein, da Merten (1977a) noch davon ausging, dass ohne explizite Kommunikation keine Kommunikation im Straßenverkehr möglich ist.

Diese beschriebene Verstärkung für kooperative Situationen ist die Verbindung zu den Ergebnissen Lee & Sheppard (2016) sowie Ba et al. (2015), welche festgestellt haben, dass Fahrer es präferieren, wenn ein explizites Signal in interaktiven Szenarien verwendet wird. In diesem Kontext des Verstärkers einer Intention weisen die durchgeführten Studien aber auch auf ein Problem hin: In allen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass kein explizites Signal existiert, welches die Intention vermittelt zu fahren und somit keine Ver-

stärkung für eine offensive Intention existiert. Dies stellt sowohl für das Engstellenszenario als auch für das T-Kreuzungsszenario ein Problem dar. Für eine defensiv ausgerichtete Intention kann insbesondere die Lichthupe fungieren. Das allerdings führt dazu, dass diese technische Einrichtung schon für ein defensives Signal „besetzt“ ist. Ein explizites Signal, welches die Intention „fahren“ vermittelt, muss noch gefunden werden. Auch in der Fragebogenuntersuchung konnte kein explizites Signal gefunden werden, welches von Verkehrsteilnehmern als offensives Signal verwendet werden würde. Unter dieser Problematik stellt sich die Frage, warum kein offensives explizites Kommunikationssignal für kooperative Situationen existiert? Auf der einen Seite könnte es sein, dass, wie weiter oben beschrieben, alle technischen Einrichtungen besetzt sind, wie z. B. die Lichthupe oder diverse Handgesten bzw. Kombinationen von technischen Einrichtungen zu kompliziert sind, wie z. B. Warnblinklicht + Horn. Auf der anderen Seite kann es sein, dass kein Signal existiert, weil es nicht passend ist. Dafür spricht, dass ein explizites Signal zusätzliche kognitive Ressourcen bindet bei der Durchführung der Fahraufgabe. In den AOI-Analysen konnte gezeigt werden, dass bei dem Durchfahren der Engstelle der Aufmerksamkeitsfokus auf der Fahrbahn liegt und ein zusätzliches Abgeben eines Signals zu viel Aufmerksamkeit des Fahrers erfordert. Die Begründung gilt allerdings in Teilen auch für den Einsatz von defensiven Signalen. Weitere Untersuchungen sollten prüfen, ob die mentale Beanspruchung bei einer defensiven oder offensiven Aktion höher ist. Trotz der Gründe für ein fehlendes explizites Signal sollte die potenzielle Verwendung von neuen Kombinationen und oder Entwicklungen geprüft werden.

Neben der Rolle der expliziten Kommunikation, konnte durch die Studien eine Einordnung der impliziten Kommunikationssignale getätigt werden, an denen sich zukünftige Untersuchungen und Gestaltungsrichtlinien für automatische Fahrzeuge orientieren können. Interessant ist, dass sowohl in der Beobachtung, als auch in der Fragebogenuntersuchung, die gleichen Schlussfolgerungen gezogen werden können. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass das Verlangsamten des Fahrzeuges ein offensives Signal darstellt. Dies hängt damit zusammen, dass zwar eine Verzögerung in der lateralen Ausrichtung des Fahrzeuges stattfindet, dieses sich aber trotzdem nach vorne bewegt. Ein nach vorne bewegen wird von den Verkehrsteilnehmern als offensive Intention interpretiert.

Basierend auf den Ergebnissen konnte die Frage beantwortet werden, wie kommuniziert wird. Die direkten Einflüsse auf das Entscheidungsverhalten sind damit noch nicht geklärt, diese werden im folgenden Absatz diskutiert.

### **6.1.2.2 Entscheidungsverhalten**

Das Entscheidungsverhalten und dessen Einflüsse können unter zwei verschiedenen Gesichtspunkten untersucht werden: Auf der einen Seite das Verhalten des Kooperationspartners und den Einfluss auf die Intention, auf der anderen Seite die Umgebung, in der die Entscheidung stattfindet.

Mit dem beschriebenen Modellansatz (Abbildung 10) wurde untersucht, ob das Verhalten des Kooperationspartners einen Einfluss auf das Entscheidungsverhalten hat. Die dahinterliegende Fragestellung kann bestätigt werden. Das Verhalten des Kooperationspartners hat einen großen Einfluss auf die Intention. Dies liegt vor allem in der Natur der kurzen kooperativen Situationen, bei denen die Kooperationspartner keinen großen zeitlichen Horizont zum Abwägen verschiedener Optionen haben. Das dargestellte Modell konnte für Experiment I und II darlegen, dass das Verhalten des Kooperationspartners in der Regel eine gegenteilige Reaktion bei dem Gegenüber auslöst. Wird ein Verhalten gezeigt, dass die Intention vermittelt, fahren zu wollen, zeigten die Probanden die Reaktion nicht zu fahren. Gleiches gilt für die umgekehrte Intention. Was bedeuten diese eindeutigen Ergebnisse? Aus anderen spieltheoretischen Überlegungen (Elvik, 2014) oder Beschreibungen von kooperativem Verhalten (Haar, 2015; Benmimoun et al. 2004; Merten, 1977a) wird davon ausgegangen, dass es ein sehr dynamisches Wechselspiel zwischen den Kooperationspartnern gibt, bis eine Situation und die damit verbundene Lösung ausgearbeitet ist. Basierend auf den hier erlangten Ergebnissen ist es vielmehr so, dass drei verschiedene Zustände möglich sind und diese eine kooperative Situation beschreiben können. Der erste Zustand ist, dass der Kooperationspartner durch ein Verhalten zeigt, dass er fahren möchte; der zweite Zustand ist, dass der Kooperationspartner durch ein Verhalten zeigt, dass er nicht fahren möchte. Auf diese beiden Verhaltensweisen kann eingegangen werden und entsprechend wird angehalten oder gefahren. Bei dem dritten Zustand zeigt zwar der Kooperationspartner ein Verhalten, aber es wird nicht auf die Intention des Kooperationspartners eingegangen und abgewartet. Im Falle des Abwartens

kann es zu diesem beschriebenen Wechselspiel kommen. Dies wiederum ist aber eine neue Situation und zwar eine *tatsächliche* Pattsituation. Wird auf das Verhalten entsprechend reagiert, gibt es nur eine potenzielle Pattsituation. Eine *potenzielle* Pattsituation ist nicht problematisch, da diese gelöst werden kann. Erst eine tatsächliche Pattsituation kann zu einem Problem führen, da ein Absprechen der Verkehrsteilnehmer zu langen Verzögerungen führen könnte.

Ziel ist es aber, dass es nicht zu diesem dritten Zustand kommt, sondern immer ein eindeutiges Kommunikationsverhalten gezeigt wird, was den Gegenüber zu einem abwartenden Verhalten leitet und es somit nicht zu einer tatsächlichen Pattsituation kommen kann. Unabhängig davon, dass in den ersten drei Untersuchungen die Intention der Probanden nicht untersucht wurde, sondern anhand der Entscheidung auf diese geschlossen wurde, kann festgehalten werden, dass mit dem potenziellen Verhalten des Kooperationspartners die Intention des Gegenübers bestimmt werden kann. Da die Annahme eines solchen Angebotes, in Bezug auf Durchlaufzeiten, im Sinne von Hoc (2001) immer mit einer besseren Lösung verbunden ist, kann eine Situation gelöst werden, indem die eigene Intention als erstes und eindeutig übermittelt wird. Basierend auf Experiment I und II konnte gezeigt werden, dass ein Teil der Kommunikationssets sich dafür sehr gut eignen.

Neben dem Verhalten des Kooperationspartners spielt auch die Umgebung, in der sich die Verkehrsteilnehmer aufhalten, eine Rolle. Björklund und Åberg (2005) beschreiben, dass auf das Entscheidungsverhalten in Rechts-vor-Links Situationen die Architektur der Straße einen Einfluss hat, also wie breit, schmal etc., diese gestaltet ist. Die eigene durchgeführte Fragebogenuntersuchung konnte zeigen, dass je komplexer eine Kreuzung ist (Engstelle = simpel bis X-Kreuzung = sehr komplex) die Probanden sich in ihrer Entscheidung unsicherer fühlen.

Ein ähnlicher Einfluss konnte auch durch die Untersuchungen gezeigt werden, sowohl auf einer Makroebene, als auch auf einer Mikroebene. Auf der Makroebene gibt es einen Einfluss auf das Entscheidungsverhalten im Vergleich zwischen der Engstelle und dem T-Kreuzungsszenario. Zwar wurde das Entscheidungsverhalten hauptsächlich durch das Verhalten der Kooperationspartner



determiniert, aber wie die eigene Entscheidung wahrgenommen wird, unterscheidet sich. In der Engstelle präferierten die Probanden es selbst, als erste zu fahren und das entsprechende Verhalten der Kooperationspartner wurde dann auch als kooperativer eingestuft. Bei der T-Kreuzung war das Ergebnis gespiegelt. Hier präferierten es die Probanden nicht als erstes zu fahren und bewerteten das Verhalten des Kooperationspartners als kooperativer, wenn diese als erstes fahren wollten. Hier ist ein Unterschied zwischen den Situationen und somit der direkten Umgebung zu erkennen. Der entscheidende Unterschied ist in der Komplexität der Situation zu finden, wie in Kapitel 4.2.4 näher beschrieben. Dieser Effekt der Präferenz findet sich auch in der Fragebogenuntersuchung wieder, welcher zeigte, dass die Probanden mit steigender Komplexität der Situation, mit einer niedrigeren Wahrscheinlichkeit als erstes fahren wollten.

Auf der Mikroebene finden sich ebenfalls Unterschiede. Diese konnten allerdings nur in Experiment II näher untersucht werden, da es hier Positionsunterschiede gibt, welche in dem vorherigen Kapitel ausführlich diskutiert wurden und deswegen an dieser Stelle nur kurz genannt werden.

So konnte gezeigt werden, dass sich das Heranfahren an eine Kreuzung zwischen den Positionen unterscheidet. Eben diese Positionsunterschiede konnte in der Fragebogenstudie ebenfalls aufgezeigt werden. Nicht nur die Position, sondern auch die gewünschte Trajektorie kann einen Unterschied erzeugen. So konnte in der Beobachtungsstudie explorativ gezeigt werden, dass beispielsweise Radfahrer das Handzeichen zum Abbiegen nur bei Links-Abbiegevorgängen, nicht aber bei Rechts-Abbiegevorgängen geben. Die Einflüsse auf der Mikroebene sind nur begrenzt beschreibbar, da nur zwei Situationen sehr detailliert analysiert worden sind.

### **6.1.2.3 Erwartungen**

Als dritte Unterfrage fungierte die Frage nach den Erwartungen der Verkehrsteilnehmer in kooperativen Situationen. Diese Frage ist dahingehend schwer zu beantworten, da nur in einer Fragebogenuntersuchung diese direkt abgefragt worden sind.

Dass das gezeigte Verhalten mit den verbundenen Erwartungen übereinstimmen muss, beschreibt Färber (2015). Diese Teilfrage wurde mit den Untersuchungen von Hess (2016) und Schmitt (2017) überprüft. In den Experimenten konnte gezeigt werden, dass die identifizierten Verhaltensweisen hinsichtlich der gewünschten Intention richtig erkannt worden sind. Dadurch konnte gezeigt werden, dass es auch in unregelmäßigen kooperativen Situationen mit Probanden, die nicht aktiv in der Situation gewesen sind, möglich ist, Intentionen an die Situation zu erkennen. Dies ist auch dahingehend von Interesse, da es die Einschätzungen von Ba et al., (2015), Kitazaki und Mhyre (2015) sowie Lee & Sheppard (2016) bestätigt, dass Intentionen im Straßenverkehr mit Videosexperimenten untersucht werden können.

In der Fragebogenuntersuchung wurde nach dem Verhalten gefragt, welches die Probanden zeigen wollen und welches die Probanden daraufhin von dem Kooperationspartner erwarten würden. Die Analyse der Erwartungen konnte zeigen, dass im Falle der Anwendung von offensiven Signalen, defensive Signale erwartet werden, genauso wie bei der Anwendung von defensiven Signalen offensive Signale erwartet werden. Diese Einschätzung der Befragten spricht für das Fazit in den oberen Absätzen, dass Kooperationsverhalten immer aus einem Einstiegsverhalten besteht, welches erkannt wird oder nicht. In einer nächsten Untersuchung sollte erfragt werden, ob die Probanden bei dem Anwenden dieser Verhaltensweisen eine zufriedenstellende Lösung erwarten. Es wurde zwar die Sicherheit der Entscheidung abgefragt, nicht aber die eben beschriebene Erwartung. Das Maß zur Güte einer Lösung muss noch gefunden werden.

In dem nachfolgenden Kapitel werden Implikationen zur Gestaltung einer automatischen Fahrzeugführung sowie Implikationen für weitere Studien abgeleitet.

## **6.2 Gestaltungsempfehlungen für AVs**

Wie in Kapitel 2.5.1.2 dargelegt, gibt es weder eine Regelung für kooperative Situationen, noch kann exakt gesagt werden, wie diese gelöst werden können.

Die durchgeführten Studien geben erste Hinweise, wie kooperative Situationen gelöst werden können. Daraus können Gestaltungsempfehlungen abgeleitet werden. Dafür muss auf der einen Seite zwischen dem allgemeinen Kooperationsverhalten und dem spezifischen in den Situationen unterschieden werden.

Für die Engstelle kann als Gestaltungsempfehlung abgeleitet werden, dass sich als Einsatz von expliziten Kommunikationszeichen die Lichthupe eignet. Diese sollte immer dann eingesetzt werden, wenn die automatische Fahrzeugführung ein defensives Verhalten umsetzen will. Des Weiteren bietet es sich an, stark zu verzögern und so schnell wie möglich zu stoppen. Ein moderates Verlangsamen führt bei dem Gegenüber in der Tendenz zu Unsicherheit. Der Einsatz des Fahrtrichtungsanzeigers muss zwar bedacht werden, die Intentionserkennung der automatischen Fahrzeugführung muss aber so ausgelegt sein, dass dies kein entscheidendes Signal des Gegenübers darstellt, wie in den Experimenten gezeigt werden konnte. Ebenfalls muss bedacht werden, dass es der Kooperationspartner präferiert, in solchen Situationen selbst als erstes zu fahren, deswegen sollte versucht werden, dass der Kooperationspartner in dem Engstellenszenario als erstes fährt.

Anders verhält es sich für die T-Kreuzung: Hier kann als Gestaltungsempfehlung abgeleitet werden, dass sich der Einsatz von expliziten Signalen weniger eignet. Bei einer defensiven Fahrweise kann überlegt werden, ob die Lichthupe eingesetzt wird. Des Weiteren sollte der Fokus bei der T-Kreuzung auf dem als erstes Fahren liegen. Die Intentionserkennung wird hier vor eine besondere Herausforderung gestellt, denn nicht jeder Verkehrsteilnehmer ist sich bewusst, dass dies ein kooperatives Szenario mit unklarer Regelung darstellt. Dieser Punkt muss mit in die Gestaltung übernommen werden. Wenn der Teilnehmer denkt, es wäre eine normale Rechts-vor-Links Situation, wird sich dieser anders verhalten. Hier muss das Fahrzeug zweigleisig agieren: Wenn eine Unsicherheit detektiert wird, kann die automatische Fahrzeugführung als erstes fahren, da die Unsicherheit dafürsteht, dass der Kooperationspartner die Situation erkannt hat. Wird allerdings wie an eine „normale“ Kreuzung herangefahren, kann davon ausgegangen werden, dass der Proband die Situation nicht erkannt hat.

Basierend auf den Ergebnissen lassen sich für das allgemeine Kooperationsverhalten grundsätzliche Gestaltungsempfehlungen ableiten. Die einen beziehen sich auf das Verhalten in verschiedenen kooperativen Situationen. Anhand der Ergebnisse konnte gezeigt werden, dass eine automatische Fahrzeugführung in komplexen Situationen selbst fahren sollte und in weniger komplexen Situationen dem menschlichen Kooperationspartner Vorrang gewähren sollte. Explizite Zeichen sollten reduziert und dezidiert eingesetzt werden. Insgesamt bietet es sich an, ein explizites Signal zur Bestätigung der Intention zu verwenden. Dieses sollte nach und nicht vorgelagert sein, um keine Verwirrung zu erzeugen.

Weiterhin muss für eine automatische Fahrzeugführung ein explizites Signal entwickelt werden, welches eine offensive Intention darstellt, aber nicht den Straßenverkehr aufhält und mit der StVO vereinbar ist. Zu untersuchen gilt auch, ob bestehende technische Einrichtungen genutzt werden können oder ein neues Signal entwickelt werden muss.

In der Beobachtungsstudie konnte gezeigt werden, dass kooperative Situationen spontan entstehen und es zu einem Patt kommt. Bei der Untersuchung des T-Kreuzungsszenarios wurde ersichtlich, dass nicht jeder Verkehrsteilnehmer verstanden hat, dass es sich um eine nicht geregelte kooperative Situation handelt. Es wäre denkbar, ein zusätzliches lichtbasiertes Signal, z. B. ein kleine Led-Lampe, an das Fahrzeug anzubringen, welches signalisiert, dass es sich um eben eine solche Situation handelt. Somit wären die Verkehrsteilnehmer über die Situation informiert und könnten sich auch auf das nicht vorhersehbare Verhalten des Fahrzeuges einstellen.

Die vorgeschlagenen Gestaltungsempfehlungen basieren auf den Ergebnissen der Studie, wie sich menschliche Verkehrsteilnehmer verhalten. Aktuell kann noch nicht abgeschätzt werden, wie und ob sich der Verkehr verändert, wenn eine automatische Fahrzeugführung am Mischverkehr partizipiert. Die Erfahrungen im Umgang mit technischen Neuerungen haben gezeigt, dass Menschen sehr schnell adaptieren und neue Verhaltensmuster entwickeln können (Birbaumer & Schmidt, 2010). Somit sind die Gestaltungsempfehlungen nur eine Erleichterung für eine Einführung zur Verbesserung von Akzeptanz und

Vertrauen. Wie sich automatische Fahrzeuge nach einer Einführung verhalten sollen, muss in einem Folgeschritt durch die Beobachtung von Verhaltensadaptionen der menschlichen Verkehrsteilnehmer beurteilt werden.

### **6.3 Implikationen für weitere Studien**

Basierend auf den Ergebnissen lassen sich weitere Studien ableiten, die insgesamt drei Gebiete umfassen.

Das erste Gebiet ist die des Passagiers: Die Wahrnehmung von kooperativen Situationen wurde bis jetzt aus Fahrerperspektive untersucht. In einem nächsten Schritt müssten die Experimentalreihen wiederholt und überprüft werden, ob die gefundenen Effekte auch gelten, wenn der Verkehrsteilnehmer nur Passagier ist oder ob diese dann anders wahrgenommen werden. Wenn es keinen Unterschied zwischen Passagier und Fahrer gibt, lassen sich die getroffenen Gestaltungsempfehlungen weiter beibehalten. Ist die Wahrnehmung allerdings eine andere, müssen diese neu formuliert werden.

Das zweite Gebiet ist das der automatischen Fahrzeugführung. Wenn sich auf Basis der Ergebnisse eine automatische Fahrzeugführung ähnlich wie die identifizierten guten Lösungen verhält, muss überprüft werden, ob die Ergebnisse repliziert werden können und somit auch für den Umgang mit automatisierten Systemen gelten oder nur mit menschlichen Verkehrsteilnehmern. In einem ersten Schritt könnte man dies mit Studien im Fahrsimulator näher untersuchen, da hier die Kooperationspartner per se als „Roboter“ wahrgenommen werden.

Das dritte Gebiet umfasst die Wahrnehmung von kooperativen Situationen. Damit eine automatische Fahrzeugführung adäquat reagieren und die Situation vorab bewerten kann, muss ein Gütemaß für die Lösung einer kooperativen Situation entwickelt werden. Das Gütemaß kann dann wiederum auf ein weiteres Teilgebiet der Komplexität bezogen werden. Die Ergebnisse konnten zeigen, dass es dort einen Unterschied gibt. Wie sich die Wahrnehmung der Komplexität im Straßenverkehr zusammensetzt, muss näher untersucht werden.

Wenn die einzelnen Komponenten identifiziert wurden, sollte ein Maß zur Bewertung der Komplexität einer Situation abgeleitet werden. Auf Basis dessen kann ein Grenzwert gefunden werden, bis wann dem menschlichen Kooperationspartner Vorrang gewährt wird.

*„RWGWGWARAHHHHWWRGGWRWRW“*

- Chewbacca -



---

## Literaturverzeichnis

- Abdi, H. (2007). Bonferroni and Sidak corrections for multiple comparisons. In N. J. Salkind (Hrsg.), *Encyclopedia of Measurement and Statistics*. Thousand, Oaks, CA: Sage.
- ADAC Bußgeldkatalog, 17. Auflage 2017: *Ratgeber*. (2017). München: ADAC.
- Akaike, H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In B. Petrov (Hrsg.), *Proceedings of the Second International Symposium on Information Theory*. Akademiai Kiado.
- Altendorf, E., Baltzer, M., Kienle, M., Meier, S., Weißgerber, T., Heesen, M., et al. (2015). H-Mode 2D. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz, & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (S. 1123-1138). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Argyle, M. (1977). *Bodily communication* (2. Ausg.). New York: Internat. Univ. Press. <https://doi.org/10.4324/9780203753835>
- Argyle, M. (1979). Non-Verbal Communication in human social interaction. In R. A. Hinde (Hrsg.), *Non-verbal communication* (S. 234-269). Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Argyle, M., & Schmidt, C. (2005). *Körpersprache & Kommunikation: Das Handbuch zur nonverbalen Kommunikation* (9. Ausg.). Paderborn: Junfermann.
- Axelrod, R., & Hamilton, W. D. (1981). The Evolution of Cooperation. *Science* (New York, N.Y.), 211, 1390-1396. DOI: 10.1126/science.7466396

- Ba, Y., Zhang, W., Reimer, B., Yang, Y., & Salvendy, G. (2015). The effect of communicational signals on drivers' subjective appraisal and visual attention during interactive driving scenarios. *Behaviour & Information Technology*, 34, 1107-1118.  
<https://doi.org/10.1080/0144929X.2015.1056547>
- Bauer, T., Risser, R., Soche, P., Teske, W., & Vaughan, C. (1980). Kommunikation im Straßenverkehr: Literaturstudie aus juridischem, kommunikationstheoretischem und psychologischen Blickwinkel: 1. Zwischenbericht. Wien.
- Bauernhansl, T., Hompel, M. t., & Vogel-Heuser, B. (Hrsg.). (2014). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien, Migration*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Beggiato, M., Hartwich, F., Schleinitz, K., Krems, J., Othersen, I., & Petermann-Stock, I. (2015). What would drivers like to know during automated driving? Information needs at different levels of automation. 7. *Tagung VDI\_ Fahrerassistenz*.
- Beggiato, M., Witzlack, C., Springer, S., & Krems, J. F. (2017). The Right Moment for Braking as Informal Communication Signal between Automated Vehicles and Pedestrians in Crossing Situations. *Advances in Human Aspects of Transportation*. Cham: Springer.
- Benjamin, T. (Hrsg.). (1990). Driving behaviour in a social context. *Proceedings of an Internati&al Symposium*. Caen: Paradigme.
- Benmimoun, A., Neunzig, D. & Maag, C. (2004). Effizienzsteigerung durch professionelles/partnerschaftliches Verhalten im Straßenverkehr. *FAT-Schriftenreihe Nr. 181*. Frankfurt/Main: Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.
- Bentele, G., Brosius, H.-B., & Jarren, O. (Hrsg.). (2006). *Lexikon Kommunikations- und Medienwissenschaft* (1. Ausg.). Wiesbaden: Springer VS.



- Berger, C. R., Roloff, M. E., & Roskos-Ewoldsen, D. R. (Hrsg.). (2010). *The handbook of communication science* (2. Ausg.). Los Angeles: Sage.
- Bierhoff, H.-W., Frey, D., & Bengel, J. (Hrsg.). (2006). *Handbuch der Sozialpsychologie und Kommunikationspsychologie* (Bd. 3). Göttingen: Hogrefe.
- Birbaumer, N., & Schmidt, R. F. (2010). *Biologische Psychologie* (7., überarb. u. erw. Ausg.). Berlin, Heidelberg and s.l.: Springer Berlin Heidelberg.
- Björklund, G., & Åberg, L. (2005). Driver behaviour in intersections: Formal and informal traffic rules. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8, 239-253.  
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2005.04.006>
- Bjørnskau, T., & Elvik, R. (1992). Can road traffic law enforcement permanently reduce the number of accidents? *Accident, Analysis & Prevention*, 24, 507-520.
- Bockelmann, W. D. (1987). *Auge-Brille-Auto: Besser sehen - Sicher fahren* (2 Ausg.). Berlin, Heidelberg: New York: Springer.
- Borkenau, P., & Ostendorf, P. (1993). NEO-Fünf-Faktoren Inventar nach Costa und McCrae. *Handanweisung*. Göttingen: Hogrefe.
- Bortz, J., & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Botthof, A., & Hartmann, E. (Hrsg.). (2015). *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin: Springer Vieweg.
- Box, G. E., & Cox, D. R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, 26, 211-252.  
<https://www.jstor.org/stable/2984418>

- Brilon, W., & Weinert, A. (2001). *Ermittlung aktueller Grenz- und Folgezeitlücken für Außerortsknoten ohne Lichtsignalanlagen* (Bd. 828). Bonn: Bundesministerium für Verkehr Bau- und Wohnungswesen.
- Bubb, H. (Hrsg.). (2015). *Automobilergonomie*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Burgoon, J. K., Floyd, K., & Guerrero, L. K. (2010). Nonverbal Communication Theories of Interaction Adaptation. In C. R. Berger, M. E. Roloff, & D. R. Roskos-Ewoldsen (Hrsg.), *The handbook of communication science* (S. 93-108). Los Angeles: Sage.
- Bönsch, J. (2017). *Analyse von Fahrparametern in kooperativen Situationen am Beispiel eines T-Kreuzung-Szenarios*. Bachelorarbeit. Karlsruhe: ifab
- Castelfranchi, C. (1998). Modelling social action for AI agents. *Artificial Intelligence*, 103, 157-182. [https://doi.org/10.1016/S0004-3702\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0004-3702(98)00056-3)
- Ceunynck, T., Polders, E., Daniels, S., Hermans, E., Brijs, T., & Wets, G. (2013). Road Safety Differences Between Priority-Controlled Intersections and Right-Hand Priority Intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2365, 39-48. <https://doi.org/10.3141/2365-06>
- Ceunynck, T., Polders, E., Stijn, D., Laureshyn, E. H., & Brijs, T. G. (2012). *Behavioural analysis of vehicle interactions at priority-controlled and right-hand priority intersections*. Diepenbeek, Belgien.
- Cialdini, R. B., & Trost, M. R. (1998). Social influence: social norms, conformity, and compliance. In S. T. Fiske, D. T. Gilbert, & G. Lindzey (Hrsg.), *Handbook of social psychology* (S. 151-192). Boston: McGraw-Hill.

- Cohen, A. S. (1976). Augenbewegungen des Autofahrers beim Vorbeifahren an unvorhersehbaren Hindernissen und auf freier Strecke. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 22, 68-76. <http://worldcat.org/issn/00443654>
- Cohen, A. S. (1998). Visuelle Orientierung im Strassenverkehr: Eine empirische Untersuchung zur Theorie des visuellen Abtastens: *bfu-Report* Nr. 34. (Bern, Hrsg.)
- Cohen, J. (1968). Weighted kappa: Nominal scale agreement provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin*, 70, 213-220. <http://dx.doi.org/10.1037/h0026256>
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Meth. Psychol.*, 112, 155-159.
- Crandall, J. W., Goodrich, M. A., Olsen Jr., D. R., & Nielsen, C. W. (2005). Validating Validating human-robot interaction schemes in multi-tasking environments. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 4, 438-449. [10.1109/TSMCA.2005.850587](http://dx.doi.org/10.1109/TSMCA.2005.850587)
- Das, D., Hoque, M. M., Kobayashi, Y., & Kuno, Y. (2013). Attention control system considering the target person's attention level. *Proceedings of the 8th ACM* (S. 111-112). Piscataway: IEEE Press. [10.1109/HRI.2013.6483526](http://dx.doi.org/10.1109/HRI.2013.6483526)
- De La Puente, J. A. (Hrsg.). (2016). *Proceedings of the 13th IFAC Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems HMS 2016*. Elsevier, IFAC.
- Dilling, J. (1973). Fahrverhalten von Kraftfahrzeugen auf kurvigen Strecken. *Straßenbau und Verkehrstechnik*, 151, 1-35.
- Drollinger, C. J. (2017). *Analyse des Kommunikationsverhaltens von Autofahrern im Straßenverkehr anhand einer Fragebogenstudie*. Karlsruhe: ifab.

- Donges, E. (2009). Fahrerhaltensmodelle. In G. Wolf, H. Winner, & S. Hakuli (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (S. 17-26). s.l.: Vieweg+Teubner (GWV).
- Duda, R. O., & Hart, P. E. (1973). *Pattern Classification and Scene Analysis*. New York: Wiley.
- Duffy, B. R., & Joue, G. (2001). Embodied Mobile Robots. *1st International Conference on Autonomous Minirobots for Research and Edutainment*.
- Eid, M., Gollwitzer, M., & Schmitt, M. (2015). *Statistik und Forschungsmethoden: Mit Online-Materialien* (4., überarb. u. erw. Ausg.). Weinheim: Beltz.
- Ellis, C. A., Gibbs, S. J., & Rein, G. (1991). Groupware: Some issues and experiences. *Communications of the ACM*, 34, 39-58.  
[10.1145/99977.99987](https://doi.org/10.1145/99977.99987)
- Elvik, R. (2014). A review of game-theoretic models of road user behaviour. *Accident, analysis and prevention*, 62, 388-396.  
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.06.016>
- Fahr, A. (2006). Nonverbale Kommunikation. In G. Bentele, H.-B. Brosius, & O. Jarren (Hrsg.), *Lexikon Kommunikations- und Medienwissenschaft* (S. 199-200). Wiesbaden: Springer VS.
- Färber, B. (2015). Kommunikationsprobleme zwischen autonomen Fahrzeugen und menschlichen Fahrern. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz, & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren* (S. 128-146). Berlin: Springer Vieweg.
- Fekete, S., Vollrath, M., Huemer, A. K., & Salchow, C. (2015). Interaktionen im Straßenverkehr: Kooperation und Konflikt. *7. Tagung Fahrerassistenz*, (S. 325-338).

- Feldberg, R. (2017). *Analyse von Fahrparametern in kooperativen Situationen am Beispiel einer Engstelle*. Bachelorarbeit. Karlsruhe: ifab.
- Field, A., Miles, J., & Field, Z. (2013). *Discovering statistics using R* (Reprint Ausg.). Los Angeles, Calif.: Sage.
- Fiske, S. T., Gilbert, D. T., & Lindzey, G. (Hrsg.). (1998). *Handbook of social psychology* (4. Aufl.). Boston: McGraw-Hill.
- Flemisch, O., Adams, A., Conway, S. R., Goodrich, K. H., Palmer, M. T., & Schutte, P. C. (2003). The H-Metaphor as a Guideline for Vehicle Automation and Interaction: *Technical Report NASA/TM-2003-212672*. Hampton, VA:NASA.
- Forgas, J. P. (2014). *Soziale Interaktion und Kommunikation: Eine Einführung in die Sozialpsychologie* (4. Aufl.). s.l.: Beltz.
- Fuest, T., Sorokin, L., Bellem, H., & Bengler, K. (2017). Taxonomy of Traffic Situations for the Interaction between Automated Vehicles and Human Road Users. In N. A. Stanton (Hrsg.), *Proceedings of the AHFE 2017. International Conference on Human Factors in Transportation*. 597. Springer International Publishing.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1\\_68](https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1_68)
- Gasser, T. M. (2015). Grundlegende und spezielle Rechtsfragen für autonome Fahrzeuge. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz, & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren* (S. 543-574). Berlin: Springer Vieweg.
- Gerking, S. (2017). *Analyse des Blickverhaltens von Autofahrern in Engstellen*. Masterarbeit. Karlsruhe: ifab
- Gkikas, N. (2012). *Automotive ergonomics: Driver-vehicle interaction*. Boca Raton and London and New York: CRC Press Taylor & Francis Group.

- Goffman, E. (1956). *The presentation of self in everyday life*. New York: Garden City.
- Gold, C., Körber, M., Hohenberger, C., Lechner, D., & Bengler, K. (2015). Trust in Automation -- Before and After the Experience of Take-over Scenarios in a Highly Automated Vehicle. *Procedia Manufacturing*, 3, 3025-3032.  
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.847>
- Gonzalez, C., Ben-Asher, N., Martin, J. M., & Dutt, V. (2015). A cognitive model of dynamic cooperation with varied interdependency information. *Cognitive science*, 39, 457-495. [10.1111/cogs.12170](https://doi.org/10.1111/cogs.12170)
- Goodrich, M. A., & Schultz, A. C. (2007). Human-Robot Interaction: A Survey. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 1, 203-275. DOI: 10.1561/11000000005
- Grice, P. H. (1975). Logic and Conservation. In J. L. Peter Cole (Hrsg.), *Speechacts (=Synta and Semmantics)* (S. 41-58). New York: Academic Press.
- Grislin-Le Strugeon, E., & Millot, P. (1999). Specifying artificial cooperative agents through a synthesis of several models of cooperation. *Proceedings of the 7th European conference on cognitive science approaches to process control (CSAPC'99)*, (S. 73-78).  
[https://doi.org/10.1007/978-3-540-85640-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-540-85640-5_1)
- Guimón, J. (Hrsg.). (1997). *The Body in Psychotherapy: International Congress, Geneva, February 1996*. Basel: S. Karger.
- Guo, C., Sentouh, C., Popieul, J.-C., Haué, J.-B., Langlois, S., Loeillet, J.-J., et al. (2017). Cooperation between driver and automated driving system: Implementation and evaluation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, In Druck.

- Haar, A., Kleen, A., Albrecht, L., Schmettow, M., & Verwey, W. B. (2016). Intentionen wahrnehmen und Umfeld verstehen: Kognitive Prozesse in der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern. 32. VDI/VW-Gemeinschaftstagung Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren 2016.
- Hackstein, R., Heeg, F.-J., & Below, F. v. (Hrsg.). (1986). *Arbeitsorganisation und Neue Technologien: Impulse für eine weitere Integration der traditionellen arbeitswissenschaftlichen Entwicklungsbereiche*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). *Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research*.
- Hartwich, F., .Beggiato, M., Dettmann, A., & Krems, J. F. (2015). Drive me Comfortable: Individual Customized Automated Driving Styles for Younger and Older Drivers. In V. D. GmbH (Hrsg.), *Der Fahrer im 21 Jahrhundert* (S. 271-283). Düsseldorf: VDI-Verl.
- Hatzinger, R., Hornik, K., & Nagel, H. (2011). *Einführung durch angewandte Statistik* (1 Ausg.). Pearson Deutschland GmbH.
- Stephanidis, C. (Hrsg.). (2014). *HCI International 2014 - Posters' Extended Abstracts*. Cham: Springer International Publishing.
- Helbing, D., & Lozano, S. (2010). Phase transitions to cooperation in the prisoner's dilemma. *Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics*, 81, 57102. [10.1103/PhysRevE.81.057102](https://doi.org/10.1103/PhysRevE.81.057102)
- Heller, M., & Haynal, V. (1997). The doctor's face: A mirror of his patient's suicidal projects. In J. Guimón (Hrsg.), *The Body in Psychotherapy*. Basel: S. Karger.
- Henning, C. (2015). Flexible Procedures for Clustering. *R Foundation for Statistical Computing*. Wien, Österreich.

- Henrich, D., Fischer, M., Gecks, T., & Kuhn, S. (2008). Sichere Mensch/Roboter-Koexistenz und Kooperation. *Robotik 2008*. 2012, CD-ROM, S. 251-254. Düsseldorf: VDI-Verl.
- Henrich, J., Ensminger, J., McElreath, R., Barr, A., Barrett, C., Bolyanatz, A., et al. (2010). Markets, religion, community size, and the evolution of fairness and punishment. *Science (New York, N.Y.)*, 327, 1480-1484. [10.1126/science.1182238](https://doi.org/10.1126/science.1182238)
- Hess, J. (2016). *Analyse des Annäherungsverhaltens von Autofahrer an Engstellen*. Bachelorarbeit. Karlsruhe: ifab.
- Higgins, E. E., & Kruglanski, A. (Hrsg.). (1996). *Social Psychology: Handbook of Basic Principles*. Guilford.
- Hinde, R. A. (Hrsg.). (1979). *Non-verbal communication*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Hjorthol, R., Assum, T., & Solheim, T. (1984). *Sosiologi i transportforskning*. Oslo.
- Hoc, J. M. (2001). Towards a cognitive approach to human-machine cooperation in dynamic situations. *International Journal of Human-Computer Studies*, 54, 509-540. <https://doi.org/10.1006/ijhc.2000.0454>
- Hoffman, M. W., Grimes, D. B., Shon, A. P., & Rao, R. P. (2006). A probabilistic model of gaze imitation and shared attention. *Neural networks : the official journal of the International Neural Network Society*, 19, 299-310. [10.1016/j.neunet.2006.02.008](https://doi.org/10.1016/j.neunet.2006.02.008)
- Hölzel, A.: *Unterscheidung von formeller und informeller Kommunikation im Straßenverkehr*. Diplomarbeit, Wien (2008)
- Hutchby, I. (2016). Technologies, Texts and Affordances. *Sociology*, 35, 441-456. <https://www.jstor.org/stable/42856294>



- Huttenrauch, H., & Eklundh, K. S. (2004). Investigating socially interactive robots that give the right cues and make their presence felt. *In Proceedings of the CHI 2004 Workshop on Shaping Human-Robot Interaction* (S. 17-20).
- Imbsweiler, J., Ruesch, M., Palyafári, R., Deml, B. & Puente León, F. (2016). Entwicklung einer Beobachtungsmethode von Verhaltensströmen in kooperativen Situationen im innerstädtischen Verkehr. In *32. VDI/VW-Gemeinschaftstagung Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren*, Wolfsburg, 8-9 November 2016.
- Imbsweiler, J., Linstedt, K., Palyafári, P., Weinreuter, H., Puente León, F. & B. Deml (2017a). Quasi-experimentelle Untersuchung des Blickverhaltens und der Fahrparameter von Autofahrern in Engstellen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 71(4), 242-251.  
<https://doi.org/10.1007/s41449-017-0083-6>
- Imbsweiler, J., Palyafári, R., Puente León, F. & Deml, B. (2017b). Untersuchung des Entscheidungsverhaltens in kooperativen Verkehrssituationen am Beispiel einer Engstelle. *at - Automatisierungstechnik*, 65, 477-488. <https://doi.org/10.1515/auto-2016-0127>
- Imbsweiler, J., Bachmann, J., Braun, J., Weyer, T., & Deml, B. (2018c). Assessment tool for measuring a driver's willingness of interaction. *In Abstracts of the 60th Conference of Experimental Psychologists*. Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Imbsweiler, J., Ruesch, M., Weinreuter, P. L., & Deml, B. (2018a). Cooperation behavior of road users in t-intersections during deadlock situations. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 665-677.  
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.07.006>

- Imbsweiler, J., Stoll, T., Baumman, M., & Deml, B. (2018b). Insight into cooperation processes for traffic scenarios: Modeling with Naturalistic Decision Making. *Cognition, Technology & Work*, 20(4), 621-635. [10.1007/s10111-018-0518-7](https://doi.org/10.1007/s10111-018-0518-7)
- Janssen, W. H., Van Der Horst A. R., A., Bakker, P., & Broeke, W. t. (1988). Auto-auto and auto-bicycle interactions in priority situations. In T. Rothengatter (Hrsg.), *Road user behaviour* (S. 639-644). Assen: van Gorcum.
- Johanning, V., & Mildner, R. (Hrsg.). (2015). *Car IT kompakt: Das Auto der Zukunft - Vernetzt und autonom fahren*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Jones, N. A., Ross, H., Lynam, T., Perez, P., & Leitch, A. (2016). Mental Models: An Interdisciplinary Synthesis of Theory and Methods. *Ecology and Society*, 16(1). <http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art46/>
- Juhlin, O. (2001). Traffic behavior as social interaction: implications for the design of artificial drivers. *Sociologisk Arbok*, 1-20.
- Kaber, D. B., Endsley, M. R., & Kaber, D. B. (2004). The effects of level of automation and adaptive automation on human performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 5, 113-153.
- Kauffmann, N., Naujoks, F., Winkler, F., & Kunde, W. (2018). Learning the "Language" of Road Users - How Shall a Self-driving Car Convey Its Intention to Cooperate to Other Human Drivers? In I. L. Nunes (Hrsg.), *Advances in Human Factors and Systems Interaction* (S. 53-63). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-60366-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-60366-7_6)
- Kauffmann, N., Raeth, E., Winkler, F., & Vollrath, M. (2017). Entwicklung einer kooperativen Bremsstrategie als Reaktion auf Einscherer

- im dichten Verkehr auf der Autobahn. In V. D. GmbH (Hrsg.), 9. *VDI Tagung Der Fahrer im 21. Jahrhundert*, (S. 1-14). Braunschweig.
- Kauffmann, N., Winkler, F., & Vollrath, M. (2018). What Makes an Automated Vehicle a Good Driver? Proceedings of the 2018 *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, (S. 1-9).  
[10.1145/3173574.3173742](https://doi.org/10.1145/3173574.3173742)
- Kita, H. (1999). A merging--giveway interaction model of cars in a merging section: A game theoretic analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33, 305-312.  
[https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(98\)00039-1](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(98)00039-1)
- Kitazaki, S., & Myhre, N. J. (Hrsg.). (2015). *Effects of Non-Verbal Communication Cues on Decisions and Confidence of Drivers at an Uncontrolled Intersection*. Utah.
- Klaus, G. (1969). *Wörterbuch der Kybernetik*. Frankfurt am Main: Fischer Handbücher.
- Knappe, G., Keinath, A., & C. (2006). Empfehlungen für die Bestimmung der Spurhaltegröße im Kontext der Fahrsimulation. *MMI-Interaktiv*, 11, 3-13.
- Knoflacher, H. (2006). Fortschritt vom Fahrzeug zum Gezeug. In *Spurwechsel* (S. 104-109). Wien: Brandstätter.
- Köhler, L., Mergl, C., Blaese, D., & Bengler, K. (2013). Fahrerbeanspruchung im urbanen Raum: Erhebung der subjektiven Beanspruchung des Fahrers bei einer Kreuzungsüberquerung. In *7. VDI-Tagung Der Fahrer im 21. Jahrhundert* (Bd. 2205). Düsseldorf: VDI-Verl.

- Krauss, R., & Kruglanski, A. (1996). Social psychological models of interpersonal communication. In E. E. Higgins, & A. Kruglanski (Hrsg.), *Social Psychology* (S. 655-701). Guilford.
- Krotz, F. (2007). *Mediatisierung: Fallstudien zum Wandel von Kommunikation*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Krummheuer, A. (2010). *Interaktion mit virtuellen Agenten? Realitäten zur Ansicht: Zur Aneignung eines ungewohnten Artefakts* (Bd. 11). München, Wien: De Gruyter Oldenbourg.
- Lee, Y. M., & Sheppard, E. (2016). The effect of motion and signalling on drivers' ability to predict intentions of other road users. *Accident, analysis and prevention*, 95, 202-208.  
[10.1016/j.aap.2016.07.011](https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.07.011)
- Lehsing, C., Benz, T., & Bengler, K. (2016). Insights into Interaction - Effects of Human-Human Interaction in Pedestrian Crossing Situations using a linked Simulator Environment. In J. A. De La Puente (Hrsg.), *Proceedings of the 13th IFAC Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems HMS 2016*. 49, S. 138-143. Elsevier, IFAC. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.475>
- Lewis, J. P., & Parke, F. I. (1987). Automated lip-synch and speech synthesis for character animation. *ACM SIGCHI Bulletin*, 18, 143-147.  
[10.1145/1165387.30874](https://doi.org/10.1145/1165387.30874)
- Liu, Y., & Ozguner, U. (2007). *2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium: Final programme, book of abstracts*.
- Locey, M. L., & Rachlin, H. (2012). Commitment and self-control in a prisoner's dilemma game. *Journal of the experimental analysis of behavior*, 98, 89-103. [10.1901/jeab.2012.98-89](https://doi.org/10.1901/jeab.2012.98-89)

- Lurie, L. H. (Hrsg.). (1968). A review and discussion of available literature. *Sociology and road safety*
- Lundgren, V. M., Habibovic, A., Andersson, J., Lagström, T., Nilsson, M., Sirkka, A., et al. (2017). Will There Be New Communication Needs When Introducing Automated Vehicles to the Urban Context? In N. A. Stanton, S. Landry, G. Di Bucchianico, & A. Valli-cellini (Hrsg.), *Advances in Human Aspects of Transportation* (S. 485-497). Cham: Springer International Publishing.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-41682-3\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41682-3_41)
- MacKay, D. M. (1972). Formal analysis of communicative processes. In *Non-verbal communication* (S. xiii, 443). Oxford, England: Cambridge U. Press.
- Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M., & Hornik, K. (2015). *Cluster Analysis Basics and Extensions: R package version 2.0. 1.*
- Martin, J. M., Gonzalez, C., Juvina, I., & Lebiere, C. (2013). A Description-Experience Gap in Social Interactions: Information about Interdependence and Its Effects on Cooperation. *Journal of Behavioral Decision Making*, 24, 349-362.  
<https://doi.org/10.1002/bdm.1810>
- Maurer, M., Gerdes, J. C., Lenz, B., & Winner, H. (Hrsg.). (2015). *Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin: Springer Vieweg.
- McFadden, D. (1973). Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. *Frontiers in Econometrics*, 105-142.
- McGurk, H., & MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 264, 746-748.
- Melis, A. P., & Semmann, D. (2010). How is human cooperation different? *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series*

*B, Biological sciences*, 365, 2663-2674.

<https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0157>

Merten, K. (1977a). *Kommunikation: Eine Begriffs- und Prozeßanalyse* (Bd. 35). Opladen: Westdt. Verl.

Merten, K. (1977b). Kommunikationsprozess im Straßenverkehr, Klassifikation und Beurteilung von Verkehrssituationen. *Unfall- und Sicherheitsforschung*, 115-126.

Merten, K. (1981). Informelle Zeichengebung im Strassenverkehr: *Bericht zum Forschungsprojekt 7521*. Köln.

Nickerson, R. C. (1997). A taxonomy of collaborative applications. Proceedings of the Association for Information Systems (AIS) 1997 Conference.

Noelle-Neumann, E. (Hrsg.). (2009). *Massenkommunikation* (1. Aufl. Ausg., Bd. 18192). Frankfurt am Main: Fischer-Taschenbuch.

Obeid, H., Abkarian, H., Abou-Zeid, M., & Kaysi, I. (2017). Analyzing driver-pedestrian interaction in a mixed-street environment using a driving simulator. *Accident, analysis and prevention*, 108, 56-65. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.08.005>

Ortlepp, J., & Mühlenbruch, I. (2010). Verhaltensbeobachtungen als Bestandteil von kommunalen Verkehrssicherheitsanalysen. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 56, 59-65. <http://worldcat.org/issn/00443654>

Östlund, J., Nilsson, L., Carsten, O., Merat, H., Jamson, S., Mouta, S., et al. (2004). *Deliverable 2: HMI and Safety-Related Driver Performance: Human Machine Interface and the safety of traffic in europe*.

- Pacaux, M.-P., Godin, S. D., Rajaonah, B., Anceaux, F., & Vanderhaegen, F. (2011). Levels of automation and human-machine cooperation: Application to human-robot interaction. *IFAC Proceedings Volumes*, 44, 6484-6492. <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.00312>
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 30, 286-297. [10.1109/3468.844354](https://doi.org/10.1109/3468.844354)
- Parkin, J., Clark, B., Clayton, W., Ricci, M., & Parkhurst, G. (2016). Understanding interactions between autonomous vehicles and other road users: *A literature review: Technical Report*. Bristol.
- Peter Cole, J. L. (Hrsg.). (1975). *Speechacts (=Syntax and Semantics)*. New York: Academic Press.
- Petrov, B. .. (Hrsg.). (1973). *Proceedings of the Second International Symposium on Information Theory*. Akademiai Kiado.
- Piechulla, W. (2004). Ambulantes psychophysiologisches Monitoring im Straßenverkehr. In T. Rammsayer, S. Grabianowski, & S. Troche (Hrsg.), 44. *Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie*. Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Pratesi, A., Cecchi, F., Beani, E., Sgandurra, G., Cioni, G., Laschi, C., et al. (2015). A new system for quantitative evaluation of infant gaze capabilities in a wide visual field. *Biomedical engineering online*, 14, 83. [10.1186/s12938-015-0076-7](https://doi.org/10.1186/s12938-015-0076-7)
- Rapoport, A., & Chammah, M. (1965). *Prisoner's dilemma: A study in conflict and cooperation*. Ann Arbor: MI: University of Michigan Press.

- Rasouli, A., Kotseruba, I., & Tsotsos, J. K. (2018). Understanding Pedestrian Behavior in Complex Traffic Scenes. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 3, 61-70. [10.1109/TIV.2017.2788193](https://doi.org/10.1109/TIV.2017.2788193)
- Renge, K. (2000). Effect of driving experience on drivers' decoding process of roadway interpersonal communication. *Ergonomics*, 43, 27-39. [10.1080/001401300184648](https://doi.org/10.1080/001401300184648)
- Renge, K., Weller, G., Schlag, B., Peräaho, M., & Keskinen, E. (2004). Comprehension and evaluation of road users' signaling - an international comparison between Finland, Germany and Japan. In T. Rothengatter, & R. D. Huguenin (Hrsg.), *Traffic and Transport Psychology* (S. 91-100). Oxford: UK: Elsevier.
- Ripley, B., Venables, B., Bates, D. M., Hornik, K., Gebhardt, A., & Firth, D. (2017). *Support Functions and Datasets for Venables and Ripley's MASS*: R Foundation for Statistical Computing. Wien, Österreich.
- Risser, R. (1985). Behavior in traffic conflict situations. *Accident, Analysis & Prevention*, 2, 179-197.
- Risser, R. (1988). *Kommunikation und Kultur des Strassenverkehrs* (1. A-Ausg.). Wien: Literas-Univ.-Verl.
- Risser, Z. W. (1991). *Handbuch zur Erhebung von Verkehrskonflikten mit Anleitungen zur Beobachterschulung* (1. Ausg., Bd. 28). Wien: Literas-Univ.-Verl.
- Robins, B., Dautenhahn, K., & Dickerson, P. (2009). From Isolation to Communication: A Case Study Evaluation of Robot Assisted Play for Children with Autism with a Minimally Expressive Humanoid Robot. In *Second International Conferences on Advances in Computer-Human Interactions*. [10.1109/ACHI.2009.32](https://doi.org/10.1109/ACHI.2009.32)



- Rogers, C. R. (1991). *Partnerschule: Zusammenleben will gelernt sein; das offene Gespräch mit Paaren und Ehepaaren* (Bd. 42236). Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch-Verl.
- Rothengatter, T. (Hrsg.). (1988). *Road user behaviour: Theory and research*. Assen: van Gorcum.
- Rothengatter, T., & Huguenin, R. D. (Hrsg.). (2004). *Traffic and Transport Psychology: theory and application: Proceedings of the ICTTP 2000*. Oxford: UK: Elsevier.
- Rumar, K. (1990). The basic drive error: late detection. *Ergonomics*, 36, 1281-1290. [10.1080/00140139008925332](https://doi.org/10.1080/00140139008925332)
- Ryeng, E. O. (2012). The effect of sanctions and police enforcement on drivers' choice of speed. *Accident, analysis and prevention*, 45, 446-454. [10.1016/j.aap.2011.08.010](https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.08.010)
- SAE. (2014). *Levels of Driving Automation Are Defined In New SAE International Standard J3016*.
- Sakita, K., Ogawara, K., Murakami, S., Kawamura, K., & Ikeuchi, K. (Hrsg.). (2004). Flexible cooperation between human and robot by interpreting human intention from gaze information -, 2004. (IROS 2004). *Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Confer. 4. IEEE*. [10.1109/IROS.2004.1389458](https://doi.org/10.1109/IROS.2004.1389458)
- Salkind, N. J. (Hrsg.). (2007). *Encyclopedia of Measurement and Statistics*. Thousand, Oaks, CA: Sage.
- Scherer, S., Dettmann, A., Hartwich, F., Pech, T., Bullinger, A. C., & Waniewlik, G. (2015). How the Driver Wants to Be Driven: Modelling Driving Styles in Highly Automated Driving. *7. Tagung Fahrerassistenz*.

- Schmidt, S. J. (2005). Die Nobilitierung der Reflexivität und die Folgen. In E. Wienand, J. Westerbarkey, & A. Scholl (Hrsg.), *Kommunikation über Kommunikation* (S. 15-34). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Scholtz, J. (2003). Theory and evaluation of human robot interactions. In IEEE (Hrsg.), *Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, (S. 1-10). Big Island, HI, USA. [10.1109/HICSS.2003.1174284](https://doi.org/10.1109/HICSS.2003.1174284)
- Schulz, W. (2009). Kommunikationsprozess. In E. Noelle-Neumann (Hrsg.), *Massenkommunikation* (Bd. 18192, S. 169-199). Frankfurt am Main: Fischer-Taschenbuch.
- Schulz, W. (2009). *Politische Kommunikation: Theoretische Ansätze und Ergebnisse empirischer Forschung* (2., überarbeitete Auflage). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden.
- Schmitt (2017). *Analyse der Wahrnehmung von verschiedenen Annäherungsverhaltensweisen für ein spezifisches T-Kreuzungsszenario*. Bachelorarbeit. Karlsruhe: ifab.
- Schweigert, M. (2003). *Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben*. Dissertation, Technische Universität München.
- Segato, N., Krogsgager, A., Jensen, D. G., & Rehm, M. (2014). The Role of Physical Embodiment of Humanoid Robot Interaction: Focusing on Backchannel Head Nods in Danish First Meeting Encounters. In C. Stephanidis (Hrsg.), *HCI International 2014 - Posters' Extended Abstracts* (S. 583-587). Cham: Springer International Publishing.
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana Champaign: University of Illinois Press.

- Shibata, T., & Tanie, K. (2000). Influence of a priori knowledge in subjective interpretation and evaluation by short-term interaction with mental commit robot. In IEEE (Hrsg.), *Proceedings. 2000 IEEE/RSJ* (S. 169-174). IEEE Press. [10.1109/IROS.2000.894600](https://doi.org/10.1109/IROS.2000.894600)
- Smari, W. W., McQuay, W., & Nygård, M. (Hrsg.). (2015). *Proceedings of the 2015 International Conference on Collaboration Technologies and Systems: June 1-5, 2015, the Westin Atlanta Airport Hotel, Atlanta, Georgia*. Piscataway: IEEE.
- Stanton, N. A. (2018). *Advances in Human Aspects of Transportation: Proceedings of the AHFE 2017 International Conference on Human Factors in Transportation, July 17-21, 2017, The Westin Bonaventure Hotel, Los Angeles, California, USA* (Bd. 597). Cham: Springer International Publishing and Imprint: Springer.
- Strohner, H. (2006). *Kommunikation: Kognitive Grundlagen und praktische Anwendungen* (Vollst. überarb. u. systemat. erw. Version d. Erstaussg. v. 2001 Ausg.). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Šucha, M. (2014). Road users' strategies and communication: driver-pedestrian interaction. In: *Transport Research Arena (TRA) 2014 Proceedings* (2014)
- Suchman, L. (1987). *Plans and situated actions: The problem of human-machine communication*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sullivan, J. M., Bao, S., Goudy, R., & Konet, H. (2015). Characteristics of turn signal use at intersections in baseline naturalistic driving. *Accident; analysis and prevention*, 74, 1-7.  
[10.1016/j.aap.2014.10.005](https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.10.005)
- Svensson, A., & Hydén, C. (2006). Estimating the severity of safety related behaviour. *Accident, analysis and prevention*, 38, 379-385.  
[10.1016/j.aap.2005.10.009](https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.10.009)

- Takada, M., Fukuda, Y., & Iwamiya, S.-i. (2013). Questionnaire survey on vehicle horn use and its effects on drivers and pedestrians. *Acoustical Science and Technology*, 34, 187-196.  
<https://doi.org/10.1250/ast.34.187>
- Tay, R. (2002). The prisoner's dilemma and vehicle safety: Some policy implications. *Journal of Transport Economics and Policy*, 491-495. <https://www.jstor.org/stable/20053916>
- Traut-Mattausch, E., & Frey, D. (2006). Kommunikationsmodelle. In H.-W. Bierhoff, D. Frey, & J. Bengel (Hrsg.), *Handbuch der Sozialpsychologie und Kommunikationspsychologie* (Bd. 3, S. 537-544). Göttingen: Hogrefe.
- Vanderhaegen, F., Chalmé, S., Anceaux, F., & Millot, P. (2006). Principles of cooperation and competition: Application to car driver behavior analysis. *Cognition, Technology & Work*, 8, 183-192.  
<https://doi.org/10.1007/s10111-006-0037-9>
- Vollrath, M., Kreams, J. F., Hasselhorn, M., Heuer, H., & Rösler, F. (2011). Verkehrspsychologie: *Ein Lehrbuch für Psychologen, Ingenieure und Informatiker* (1. Ausg.). s.l.: Kohlhammer Verlag.
- Watzlawick, P. (2004). *Wie wirklich ist die Wirklichkeit? Wahn, Täuschung, Verstehen* (30. Ausg.). München and Zürich: Piper.
- Watzlawick, P., Beavin, J. H., & Jackson, D. D. (2011). *Menschliche Kommunikation: Formen, Störungen, Paradoxien* (12. unveränd. Aufl.). Bern: Huber.
- Weil, P. (1982). *About face, computergraphic synthesis and manipulation of facial imagery*. Dissertationsschrift, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.

- West, R., French, D., Kemp, R., & Elander, J. (1993). Direct observation of driving, self reports of driver behaviour, and accident involvement. *Ergonomics*, 36, 557-567. [10.1080/00140139308967912](https://doi.org/10.1080/00140139308967912)
- Wienand, E., Westerbarkey, J., & Scholl, A. (Hrsg.). (2005). *Kommunikation über Kommunikation*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Wilde, J. S. (1976). Social Interaction Patterns in Driver Behavior: An Introductory Review. *Human Factors*, 18, 477-492.
- Winner, H., Hakuli, S., Lotz, F., & Singer, C. (Hrsg.). (2015). *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (3., überarb. und erg. Aufl. Ausg.). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Witzlack, C., Beggiato, M., & Krems, J. (2016). Interaktionssequenzen zwischen Fahrzeugen und Fußgängern im Parkplatzszenario als Grundlage für kooperativ interagierende Automatisierung. In VDI (Hrsg.). *Fahrerassistenz und automatisiertes Fahren, VDI-Berichte 2288* (S. 323-336). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Witzlack, C., Beggiato, M., Schubert, S., & Krems, J. (2017). Kommunikation zwischen Fußgängern und automatisierten Fahrzeugen - eine explorative Studie zur Untersuchung verschiedener HMI-Lösungen. In M. Vollrath & Deutsche Gesellschaft für Psychologie (Hrsg.), *Immer mehr Technik - von Smartphone zu Automaten: Abstracts 2. Kongress Fachgruppe Verkehrspsychologie, Bergisch Gladbach, 14.-16.2.2017* (S. 30). Universitätsbibliothek Braunschweig.
- Witzlack, C., Bluhm, L.-F., Schubert, S., Beggiato, M., & Krems, J. F. (2018). Untersuchung expliziter und impliziter Kommunikationsformen zwischen Fußgängern und automatisierten Fahrzeugen. In A. C. Schütz, A. Schubö, D. Endres, & H. Lachnit (Hrsg.) *Abstracts of the*

*60th Conference of Experimental Psychologists* (S. 296). Lengerich, Germany: Pabst Science Publishers.

Wolf, G., Winner, H., & Hakuli, S. (Hrsg.). (2009). *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (1. Aufl.). s.l.: Vieweg+Teubner (GWV).

Yanco, H., & Drury, J. (2004). Classifying human-robot interaction: an updated taxonomy. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, SMC'04. [10.1109/ICSMC.2004.1400763](https://doi.org/10.1109/ICSMC.2004.1400763)

Zademach, M., Mergl, C., B. F. (2013). Analyse des Fahrerverhaltens im Kreuzungsbereich: Ableitung einer Verhaltensprognose. In *7. VDI-Tagung Der Fahrer im 21. Jahrhundert* (Bd. 2205). Düsseldorf: VDI-Verl.

Zaidel, D. M. (1992). A modeling perspective on the culture of driving. *Acciden., Analysis & Prevention*, 24, 585-597.

Zhang, J., Vinkhuyzen, E., & Chefkin, M. (2017) Evaluation of an Autonomous Vehicle External Communication System Concept: A Survey Study. In Stanton, N. (2017) (Hrsg). *AHFE 2017, Advances in Intelligent Systems and Computing*, 597, 650-661. Springer Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1\\_63](https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1_63)

Zimmermann, M., Fahrmeier, L., & Bengler, K. (2015). A Roland for an Oliver? Subjective Perception of Cooperation During Conditionally Automated Driving. CTS 2015, *International Conference on Collaboration Technologies and Systems* (S. 57-63). IEEE XPLORE. [10.1109/CTS.2015.7210400](https://doi.org/10.1109/CTS.2015.7210400)

# Anhang

## Anhang A Theorie

Tabelle A 1. Synthese der verschiedenen Taxonomien der Automatisierungsgrade nach Paxcau et al. (2011) S. 6485. M steht für Mensch, A für Automatisierung. Die Stufen von Kaber und Endsley (2004) sind in Klammern.

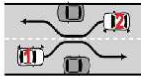
	Automatisierungsgrad	Kriterien für die Aufgabenzuordnung	Informati- onssamm- lung	Informa- tionsana- lyse	Ent- schei- dungs- und Hand- lungs- auswahl	Handlungs- implemen- tierung
1 (1)	Keine Assis- tenz		M	M	M	M
2	Auswahl an Entscheidun- gen		M/A	A	M	M
3	Auswahl von ausgewählten Entscheidun- gen		M/A	A	M	M
4	Auswahl ei- ner Entschei- dung		M/A	A	M	M
(2)	Handlungs- unterstützung		M/A	M	M	M & A
(3)	Batch-verar- beitung	Explizite Zu- ordnung von Handlungen	M/A	M	M	A
(4)	Geteilte Kontrolle	Explizite Zu- ordnung von Handlungen	M/A	M & A	M	M & A
(5)	Entschei- dungsunter- stützung	Explizite Zu- ordnung von Handlungen	M/A	M & A	M	A

5	Ausführung einer Lösung	Mensch stimmt zu, ob Assistenzsystem die Ausführung übernimmt	M/A	A	M	M/A
(6)	Gemischte Entscheidungsfindung	Explizite Zuordnung von Handlungen für jeden Schritt	M/A	M & A	M oder A	A
6	Ausführung einer Lösung	Wenn Mensch kein Veto einlegt, gemessen an einem festgelegten Limit	M/A	A	M/A	M/A
(7)	Starres System	Explizite Zuordnung von Handlungen	M/A	A	M	A
(8)	Automatisierte Entscheidungsfindung	Implizite Zuordnung von Aufgaben	M/A	M & A	A	A
(9)	Aufsichtskontrolle	Implizite Zuordnung von Aufgaben	M/A	M & A	A	A
6,5	Ausführung einer Lösung	Feedback nur über die automatisierte Handlungsimplementierung	M/A	A	A	A
7	Ausführung einer Lösung	Feedback nur über die automatisierte Hand-	M/A	A	A	A



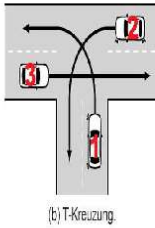
		lungsimple- mentierung, implizit				
8	Ausführung einer Lösung	Feedback nur über die automati- sierte Hand- lungsimple- mentierung, explizit	M/A	A	A	A
9	Ausführung einer Lösung	Feedback nur über die automati- sierte Hand- lungsimple- mentierung, bewertet	M/A	A	A	A
10 (10)	Vollautoma- tisierung		A	A	A	A

## Anhang B Beobachtungsstudie

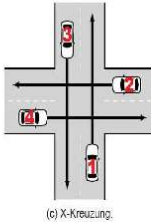


(a) Eingabefeld.

N		N° Car		N° Car		N° Car		N° Car	
Situation		1	2	1	2	1	2	1	2
2		1	2	1	2	1	2	1	2
Driving	Left								
	Forward								
	Right								
Implicit	Aceleration	a>0	a>0	a>0	a>0	a>0	a>0	a>0	a>0
	Desaceleration	a<0	a<0	a<0	a<0	a<0	a<0	a<0	a<0
	Stop								
	Hold	a=0	a=0	a=0	a=0	a=0	a=0	a=0	a=0
Explicit	Horn								
	Lichlupe								
	Blinker								
	Handgeste								
	Other								
Driving Sequence	Arrival								
	Departure								



Situation		Car Number							
2									
N									
Driving	Left								
	Forward								
	Right								
Implicit	Acceleration	a>0	a>0	a>0	a>0	a>0	a>0	a>0	a>0
	Desacceleration	a<0	a<0	a<0	a<0	a<0	a<0	a<0	a<0
	Stop								
	Hold	a=0	a=0	a=0	a=0	a=0	a=0	a=0	a=0
Explicit	Horn								
	Lichlupe								
	Blinker								
	Handgeste								
	Other								
Driving Sequence	Arrival								
	Departure								



Situation		Car Number							
3									
N									
Driving	Left								
	Forward								
	Right								
Implicit	Acceleration	a>0	a>0	a>0	a>0	a>0	a>0	a>0	a>0
	Desacceleration	a<0	a<0	a<0	a<0	a<0	a<0	a<0	a<0
	Stop								
	Hold	a=0	a=0	a=0	a=0	a=0	a=0	a=0	a=0
Explicit	Horn								
	Lichlupe								
	Blinker								
	Handgeste								
	Other								
Driving Sequence	Arrival								
	Departure								

# Anhang C Experiment

## Instruktion Experiment

### Instruktionen

#### Instruktionen Begrüßung

Herzlich Willkommen bei unserer Untersuchung. Bevor die Untersuchung startet, würde ich Sie bitten, wenn Sie es noch nicht getan haben, dass Sie sich die folgen Formulare durchlesen und wenn Sie einverstanden sind, unterschreiben.

Das Merkblatt für Unfälle ist für unsere Untersuchung nicht relevant, da wir auf Privatgelände die Untersuchung durchführen.

[...]

Das ist das Versuchsauto. Mithilfe des Lasers und den Canbus-Daten können wir Fahrprofile erzeugen, die später in ein Modell einfließen werden.

Es ist wichtig, dass Sie den Sitz vorher einstellen auf Ihre Körpergröße. *#Vormachen#*

Auf Folgendes achten:

Sitz

Rückspiegel

Lenkrad

Nun werden wir das Eye-Tracking-System auf Sie abstimmen.

Wichtig ist, wenn wir Sie bitten auf etwas zu schauen, dass Sie nicht blinzeln.

Das erfordert etwas Übung.

Wenn der Versuch startet, werden Sie Instruktionen vom Versuchsleiter erhalten. Wir bitten Sie darum sich an die Instruktionen zu halten.

Ein Ziel ist Überprüfung der Online-Fähigkeit des Lasers. Das bedeutet wir wollen schauen, ob Online-Hindernisse erkannt werden. Hindernisse können statisch sein, aber können auch bewegende Objekte sein. Eine Aufgabe wird sein, dass sie z.B. überprüfen, ob der Laser das Hindernis erkennt und ein entgegenkommendes Auto gleichzeitig erkennen kann. Damit das funktioniert wäre es optimal, wenn sie zeitgleich mit dem anderen Auto eintreffen. Im Vordergrund steht aber immer, dass Sie so normal wie möglich fahren.

Da wir unterschiedliche Einstellungen des Lasers testen wollen, kann es sein, dass wir während der Fahrt den Laser neu einstellen müssen wie z.B. die Winkel oder die Reichweite.

Bevor wir die Untersuchung starten, werden wir eine kleine Probefahrt machen, damit Sie mit dem Fahrzeug vertraut sind.

Es ist wichtig, dass Sie auf dem Verkehrsübungsplatz nicht schneller als 30 km/h fahren dürfen.

Folgende Elemente sollen dabei durchgeführt werden:

Anfahren

Bremsen

Geschwindigkeiten bei 30 km/h halten.

Eine Runde mit 30 km/h um den Verkehrsübungsplatz

Blinken

Lichthupe

Die Engstelle aus beiden Richtungen durchfahren. Aber erst am Ende

## **Instruktionen Evaluation**

Vielen Dank für die Teilnahme an der Fahrt, wir würden Sie bitten, dass Sie anschließend noch an unserer Abschlussbefragung teilnehmen.

Folgen Sie mir dazu bitte in unseren Besprechungsraum.

[###]

Ich werde Ihnen jetzt ein paar Situationen vorspielen und Ihnen dazu ein paar Fragen stellen. Versuchen Sie sich dabei noch einmal in die Situation zurückzusetzen.

## **Verabschiedung**

Vielen Dank für die Teilnahme, wenn Sie noch Fragen haben, können Sie diese jederzeit gerne stellen.

## **Einverständniserklärung**

### **Information und Einverständniserklärung für Versuchspersonen**

Wir laden Sie ein, an einer experimental-psychologischen Untersuchung freiwillig als Versuchsperson teilzunehmen. In dem folgenden Experiment soll das Fahrverhalten in kooperativen Situationen untersucht werden. Dabei werden die anderen Verkehrsteilnehmer versuchen auf verschiedene Art und Weise mit Ihnen zu kommunizieren und Ihnen somit zu signalisieren, ob Sie fahren sollen oder der Verkehrsteilnehmer selber fahren soll.

Es wichtig, dass Sie versuchen auf die Kommunikationssignale zu reagieren, aber selbst keine geben. Das heißt bitte nicht mit Lichthupe/Hupe etc. reagieren.

#### **Ihre Rechte:**

Selbstverständlich können Sie vor und jederzeit während der Studie weitere Informationen über Zweck, Ablauf, etc. der Studie von den studierendurchführenden Personen erfragen. Gerne werden Sie auch nach Ende der Studie über die Ergebnisse der Untersuchung informiert. Sie können die Untersuchung jederzeit, auch ohne Angabe von Gründen, abbrechen.

#### **Kosten und Entgelt:**

Neben Ihrer Zeit entstehen Ihnen keine Kosten. Wenn Sie zur vereinbarten Zeit pünktlich erscheinen und an dem kompletten Experiment teilnehmen, bekommen Sie am Ende des Experiments ein Teilnahmeentgelt von ###€ direkt bar ausbezahlt.



**Datenschutz:**

Sämtliche Ihre Person betreffenden Daten werden getrennt von den erhobenen Daten aufbewahrt, sodass Ihre Anonymität gewahrt bleibt. Die Daten werden nur den am Experiment mitwirkenden wissenschaftlichen Mitarbeitern zugänglich sein. Es ist geplant, die im Rahmen der Untersuchung erhobenen Daten in einer wissenschaftlichen Zeitschrift oder auf einer wissenschaftlichen Konferenz zu veröffentlichen.

**Einverständniserklärung:**

Durch Ihre Unterschrift bestätigen Sie, die Versuchspersoneninformation gelesen und verstanden zu haben. Sie erklären sich mit der Teilnahme an der Studie sowie der Analyse Ihrer Daten durch befugte Personen einverstanden.

Name: \_\_\_\_\_

Geboren am: \_\_\_\_\_ in: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_ Unterschrift: \_\_\_\_\_

# Pflichten des Fahrers



Karlsruher Institut für Technologie  
Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation



## Merkblatt: Pflichten des Fahrers

### **für Fahrten mit dem Forschungsfahrzeug, polizeiliches Kennzeichen KA-IT 213, am Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation**

1. Fahrten dürfen nur mit Zustimmung der Institutsleiterin des Instituts für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation oder des Fahrzeugverantwortlichen im Rahmen von Forschungsprojekten oder Versuchsfahrten durchgeführt werden.
2. Der Fahrer verpflichtet sich, das Fahrzeug pfleglich entsprechend der Betriebsanleitung zu behandeln, in verkehrssicherem Zustand zu erhalten und zu keinem anderen als dem vorbezeichneten Gebrauch zu verwenden, sowie das Fahrzeug stets ordnungsgemäß zu verschließen.
3. Fahrer haften für Schäden am Fahrzeug nur bei Vorsatz und grober Fahrlässigkeit.
4. Nur eine Person, die im Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis der Klasse B und fahrtüchtig im Sinne der StVO ist, ist berechtigt, das Forschungsfahrzeug zu fahren. Fahrer des Forschungsfahrzeugs müssen mit dem Inhalt der aktuell gültigen Straßenverkehrsordnung (StVO) vertraut sein.
5. Vor Antritt der Fahrt hat sich der Fahrer davon zu überzeugen, dass das Fahrzeug verkehrs- und betriebssicher ist.
6. Das Fahrtenbuch des Forschungsfahrzeugs ist bei jeder Fahrt mitzuführen. Die Eintragungen in das Fahrtenbuch sind durch den Versuchsleiter vorzunehmen. Jede Fahrt ist gesondert aufzuführen. Beteiligte Versuchspersonen bestätigen die Richtigkeit der Eintragung durch Unterschrift. Bei Fahrerwechsel während der Fahrt ist das Fahrtenbuch von jedem Fahrer gesondert auszufüllen und zu unterzeichnen.
7. Schäden am Forschungsfahrzeug, auch soweit sie ohne eigenes oder fremdes Verschulden eingetreten sind, einschließlich erkennbarer Verschleißerscheinungen, sind im Fahrtenbuch zu vermerken und dem Fahrzeugverantwortlichen schriftlich zu erläutern.

Abbildung C. Pflichten des Fahrers 1

## Beispiel Randomisierung



Karlsruher Institut für Technologie  
**Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation**  
 Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml



Altes Maschinenbaugebäude  
 Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe  
 Telefon (0721) 608-44250  
 Telefax (0721) 608-47935  
 E-Mail [info@ifab.kit.edu](mailto:info@ifab.kit.edu)

Proband 1: Reihenfolgeplan: 6 1 4 2 5 3 II1 5 2 4 3 6

Start: Probandenauto kommt von links

a. Drehbuch 6: Mission Durchfahren                      Kürzel = 6

**Zusammenfassung:** Verlangsamen der Geschwindigkeit vor der Engstelle.

b. Drehbuch 1: Mission Halten                              Kürzel = 1

**Zusammenfassung:** Schnelles markantes Stoppen vor der Engstelle.

c. Drehbuch 4: Mission Durchfahren                      Kürzel= 4

**Zusammenfassung:** Auf die Engstelle mit gleichbleibender Geschwindigkeit zuzufahren.

LEERFAHRT    Kürzel= L

d. Drehbuch 2: Mission Halten                              Kürzel= 2

**Zusammenfassung:** Gezielte Reduzierung der Geschwindigkeit mit anschließender Lichtthupe.

e. Drehbuch 5: Mission Durchfahren                      Kürzel = 5

**Zusammenfassung:** Kurzes Beschleunigen vor der Engstelle.

f. Drehbuch 3: Mission halten                              Kürzel= 3

**Zusammenfassung:** Schnelles markantes Stoppen vor der Engstelle mit anschließender Lichtthupe.

**RICHTUNGSWECHSEL**

**SEITE BITTE UMDREHEN!**

# Instruktion Versuchsleiter Drehbücher



Karlsruher Institut für Technologie  
**Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation**  
Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml



Altes Maschinenbaugebäude  
Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe  
Telefon (0721) 608-44250  
Telefax (0721) 608-47935  
E-Mail [info@ifab.kit.edu](mailto:info@ifab.kit.edu)

## Missionen und Drehbücher für Versuchsleiter - Instruktion -

Liebe(r) Versuchsleiter(in),

in den folgenden Abschnitten wird das Konzept von Missionen und Drehbüchern in Bezug auf Ihre Rolle als Versuchsleiter erläutert sein. Es soll kurz erläutert werden, was die beiden Begriffe für das Experiment bedeuten.

In dem Experiment, bei dem Sie als Versuchsleiter agieren werden, sollen Sie zwei unterschiedliche *Missionen* erfüllen. Für jede Mission bieten wir Ihnen unterschiedliche Möglichkeiten an, um die *Mission* erfolgreich zu bewältigen. Diese Möglichkeiten werden *Drehbücher* genannt.

Bitte beachten Sie, dass die Drehbücher nur für die Eröffnung der Situation gedacht sind, um in die Situation adäquat einzusteigen. Wenn sich die Situation auf Grund der Interaktion mit dem Probanden anders zu entwickeln scheint, gehen Sie bitte auf die Kooperation mit dem Probanden ein. Das Drehbuch dient nur als Unterstützung zur Erfüllung der Mission.

Bevor Ihre Mission startet, versuchen Sie sich in die Situation hineinzusetzen, dass Sie sich in einer normalen alltäglichen Situation befinden. Es ist wichtig, dass Sie trotz des Verkehrsübungsplatzes und der unterschiedlichen Drehbücher Ihren normalen Fahrstil beibehalten. Versuchen Sie also bitte die Mission und die darauffolgenden Drehbücher auf Ihre eigene Weise umzusetzen.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung und viel Erfolg!

### Missionen

Der folgende Abschnitt erläutert Ihnen kurz die Mission bzw. die dazugehörigen Drehbücher. Die beiden Missionen beziehen sich auf die Situation „Engstelle“ im innerstädtischen Verkehrsbereich. Die Hindernisse sind austauschbar und können im alltäglichen Straßenverkehr auch zwei Autos oder eine Baustelle sein.

#### Mission „Halten“:

Die folgende Mission bedeutet für Sie als Versuchsleiter, dass Sie versuchen sollen an der Engstelle zu halten und dem Probanden Vorrang zu gewähren.

Falls der Proband mit Ihnen in Kontakt tritt, lassen Sie sich auf die Kooperation ein, auch wenn dies bedeuteten könnte, dass der Proband Ihnen Vorrang gewähren wird.

#### Drehbuch 1:

Versuchen Sie sich in die folgende Situation hineinzusetzen: Sie haben das Ziel bei der nächsten auftretenden Engstelle zu halten. Das Drehbuch beginnt damit, dass Sie mit 30 km/h das Warndreieck zu Ihrer rechten Seite überschritten haben. Versuchen Sie die Geschwindigkeit gezielt zu reduzieren und bleiben Sie vor der Engstelle stehen, damit der Proband passieren kann.

**Zusammenfassung:** Schnelles markantes Stoppen vor der Engstelle.



Karlsruher Institut für Technologie  
**Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation**  
 Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml



Altes Maschinenbaugebäude  
 Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe  
 Telefon (0721) 608-44250  
 Telefax (0721) 608-47935  
 E-Mail [info@ifab.kit.edu](mailto:info@ifab.kit.edu)

## Missionen und Drehbücher für Versuchsleiter - Instruktion -

Liebe(r) Versuchsleiter(in),

in den folgenden Abschnitten wird das Konzept von Missionen und Drehbüchern in Bezug auf Ihre Rolle als Versuchsleiter erläutert sein. Es soll kurz erläutert werden, was die beiden Begriffe für das Experiment bedeuten.

In dem Experiment, bei dem Sie als Versuchsleiter agieren werden, sollen Sie zwei unterschiedliche *Missionen* erfüllen. Für jede Mission bieten wir Ihnen unterschiedliche Möglichkeiten an, um die *Mission* erfolgreich zu bewältigen. Diese Möglichkeiten werden Drehbücher genannt.

Wichtig ist, dass die Drehbücher nur für den Anfang da sind, um in die Situation adäquat einzusteigen. Wenn sich die Situation auf Grund der Interaktion mit dem Probanden ander zu entwickeln scheint, gehen Sie bitte auf die Kooperation mit dem Probanden ein. Das Drehbuch dient nur als Unterstützung zur Erfüllung der Mission.

Des Weiteren werden Sie mit dem anderen Versuchsleiter zusammenarbeiten müssen, um das Drehbuch umzusetzen. Versuchen Sie sich so gut es geht abzustimmen, um die Mission gemeinsam zu erfüllen.

Das bedeutet allerdings nicht, dass Sie beide als Versuchsleiter ein Team sind, was gegen den Probanden arbeitet. Unter Zusammenarbeit versteht sich hier eine gemeinsame „Choreographie“. Wenn der Proband mit einem von Ihnen in Kooperation tritt, gehen Sie wie im alltäglichen Straßenverkehr darauf ein.

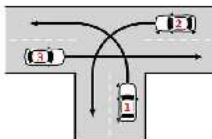
Bevor Ihre Mission startet, versuchen Sie sich in die Situation hineinzusetzen, dass Sie sich in einer normalen alltäglichen Situation befinden. Es ist wichtig, dass Sie trotz des Verkehrungsplatzes und der unterschiedlichen Drehbücher Ihren normalen Fahrstil beibehalten. Versuchen Sie also bitte die Mission und die darauffolgenden Drehbücher auf Ihre eigene Weise umzusetzen.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung und viel Erfolg!

### Missionen

Der folgende Abschnitt erläutert Ihnen kurz die Mission bzw. die dazugehörigen Drehbücher. Die beiden Missionen beziehen sich auf die Situation „T-Kreuzung“ im innerstädtischen Verkehrsbereich.

Entscheidend in dieser Situation ist, dass theoretisch keiner der drei Verkehrsteilnehmer Vorrang hat und das Vorrangsrecht ausgehandelt werden muss.



## Fragebogen VL Durchfahrt



VP: \_\_\_\_\_



Karlsruher Institut für Technologie  
**Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation**  
Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml

Altes Maschinenbaugebäude  
Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe  
Telefon (0721) 608-44250  
Telefax (0721) 608-47935  
E-Mail [info@ifab.kit.edu](mailto:info@ifab.kit.edu)

**Bitte bewerten Sie nach jeder Durchfahrt wie gut Sie Ihrer Meinung nach die Vorgaben umsetzen konnten.**

### Drehbuch Nummer: 1

1. Auf einer Skala von (1) überhaupt nicht bis (10) sehr gut, wie gut konnten Sie Ihrer Meinung nach das Drehbuch umsetzen?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

überhaupt ← → sehr gut  
nicht

2. Auf einer Skala von (1) sehr niedrig bis (7) sehr hoch, wie schätzen Sie die Kooperationsbereitschaft des Probanden in dieser Durchfahrt ein?

1 2 3 4 5 6 7

sehr niedrig ← → sehr hoch

3. Auf einer Skala von (1) sehr niedrig bis (7) sehr hoch, wie schätzen Sie die Kooperationsintensität der Situation ein?

1 2 3 4 5 6 7

sehr niedrig ← → sehr hoch

## Abschlussfragebogen Durchfahrt



VP: \_\_\_\_\_



Karlsruher Institut für Technologie  
**Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation**  
 Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml

Altes Maschinenbaugebäude  
 Kalsenstr. 12, 76131 Karlsruhe  
 Telefon (0721) 608-44250  
 Telefax (0721) 608-47935  
 E-Mail [info@ifab.kit.edu](mailto:info@ifab.kit.edu)

Zum Abschluss der Durchfahrten machen Sie bitte allgemeine Angaben zu den Durchfahrten insgesamt.

1. Auf einer Skala von (1) ruhig bis (7) sehr sportlich, wie schätzen Sie den Fahrstil des Probanden ein?

1 2 3 4 5 6 7

ruhig ←—————→ sehr sportlich

2. Auf einer Skala von (1) sehr niedrig bis (7) sehr hoch, wie schätzen Sie die Kooperationsbereitschaft des Probanden im Allgemeinen ein?

1 2 3 4 5 6 7

sehr niedrig ←—————→ sehr hoch

3. Auf einer Skala von (1) sehr niedrig bis (7) sehr hoch, wie schätzen Sie Ihre Kooperationsbereitschaft im Allgemeinen ein?

1 2 3 4 5 6 7

sehr niedrig ←—————→ sehr hoch

4. Auf einer Skala von (1) sehr niedrig bis (7) sehr hoch, wie schätzen Sie die Kooperationsintensität aller ein?

1 2 3 4 5 6 7

sehr niedrig ←—————→ sehr hoch

# Abschlussfragebogen VL/Proband



VP: \_\_\_\_\_



Karlsruher Institut für Technologie  
**Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation**  
Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml

Altes Maschinenbaugebäude  
Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe  
Telefon (0721) 609-44250  
Telefax (0721) 608-47935  
E-Mail [info@ifab.kit.edu](mailto:info@ifab.kit.edu)

Vielen Dank für Ihre Unterstützung als Proband. Bitte beantworten Sie dazu noch ein paar abschließende Fragen.

1. Alter (Jahre): .....
  2. Geschlecht:  m  w
  3. Nationalität: .....
  4. Beruf:  Student  Berufstätig  Sonstiges
  5. Wie oft fahren Sie durchschnittlich selbst Auto in der Woche?  
 jeden Tag  
 3- 4-mal in der Woche  
 Einmal in der Woche  
 Alle 2 Wochen  
 Einmal im Monat  
 Einmal im halben Jahr  
 Weniger als einmal im halben Jahr  
 Nie
  7. Wie viele Kilometer fahren Sie durchschnittlich selbst pro Woche?  
Auto (ca.)?  
.....
  8. Welche Art von Straße befahren Sie am meisten in der Woche?  
 Stadt  
 Landstraße  
 Autobahn
  9. Mit welcher Art von Schaltung sind Sie am meisten vertraut?  
 Automatik  
 Handschaltung  
 Halbautomatik
  10. Bitte schätzen Sie ihren Fahrstil von ruhig (1) bis sehr sportlich (7)?
- 1...sehr  
ruhig 2 3 4 5 6 7...sehr sportlich



## Abschlussfragebogen VL/Proband



VP: \_\_\_\_\_



Karlsruher Institut für Technologie  
**Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation**  
 Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml

Altes Maschinenbaugebäude  
 Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe  
 Telefon (0721) 608-44250  
 Telefax (0721) 608-47935  
 E-Mail [info@ifab.kit.edu](mailto:info@ifab.kit.edu)

Bedingung: .....

Durchfahrt der Situation als erster, zweiter oder dritter Verkehrsteilnehmer

- erstes  
 zweites  
 drittes

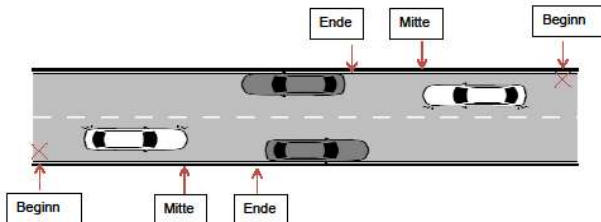
1. Warum haben Sie sich entschieden als erstes/zweites/drittes Fahrzeug zu fahren

.....

2. Auf einer Skala von überhaupt nicht sicher (1) bis sehr sicher (7) wie sicher waren Sie sich in dieser Situation als erstes/zweites/drittes Fahrzeug fahren zu dürfen?

1 2 3 4 5 6 7  
 ← überhaupt nicht sicher → sehr sicher

3. Wann genau haben Sie sich entschieden als erstes/zweites/drittes fahren zu dürfen?





VP: \_\_\_\_\_

Karlsruher Institut für Technologie  
**Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation**  
 Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml



Altes Maschinenbaugebäude  
 Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe  
 Telefon (0721) 608-44250  
 Telefax (0721) 608-47935  
 E-Mail info@ifab.kit.edu

1. Auf einer Skala von (1) kein Risiko bis (7) sehr großes Risiko, wie groß war das Risiko für einen Unfall in dieser Situation?

1 2 3 4 5 6 7  
 kein Risiko ←————→ sehr großes Risiko

2. Auf einer Skala von (1) sehr niedrig bis (7) sehr hoch, wie schätzen Sie die Kooperationsbereitschaft des Gegenüber in dieser Durchfahrt ein?

1 2 3 4 5 6 7  
 sehr niedrig ←————→ sehr hoch

3. Auf einer Skala von (1) sehr niedrig bis (7) sehr hoch, wie schätzen Sie die Kooperationsintensität der Situation ein?

1 2 3 4 5 6 7  
 sehr niedrig ←————→ sehr hoch

4. Haben Sie sich auf Grund der vorangegangenen Situation anders entschieden

ja  
 nein

## Ergebnisse SDST

Tabelle C 1. Ergebnisse zu SDST.

Effekt	df1	df2	Quadratsumme	F	p	partielles $\eta^2$
(Intercept)	1	10	1068596,155	1249,340	0,000***	0,958
Drehbuch	5	50	308660,332	175,313	0,000***	0,868
Durchgang	1	10	2603,212	3,914	0,076.	0,053
DB:DG	5	50	3528,141	2,515	0,042*	0,070