

Quasi-experimentelle Untersuchung des Blickverhaltens von Autofahrern in Engstellen

Jonas IMBSWEILER¹, Barbara DEML¹,
Renáta PALYAFÁRI², Fernando PUENTE LEÓN²

¹ *Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation,
Karlsruher Institut für Technologie
Kaiserstraße 12, D-76131 Karlsruhe*

² *Institut für Industrielle Informationstechnik, Karlsruher Institut für Technologie
Hertzstraße 16, D-76131 Karlsruhe*

Kurzfassung: Die Einführung der automatischen Fahrzeugführung rückt immer näher. Bevor der Verkehr von automatisch geführten Fahrzeugen dominiert sein wird, ist allerdings ein Mischverkehr aus automatisch und manuell geführten Fahrzeugen zu erwarten. Viele innerstädtische Verkehrssituationen verlangen dabei eine Kooperation der Verkehrsteilnehmer. Eine Situation, die auf den beschriebenen Paragraphen zutrifft, ist beispielsweise eine gleichrangige Engstelle, bei der die beiden entgegenkommenden Verkehrsteilnehmer zeitgleich eintreffen. Mit Hilfe eines Experimentes wurden verschiedene Annäherungsweisen an eine Engstelle überprüft. Es konnte aufgezeigt werden, dass zwischen den verschiedenen Annäherungsweisen Unterschiede im Blickverhalten aufgetreten sind.

Schlüsselwörter: Kooperation, Eye-Tracking, Straßenverkehr, Kommunikation

1. Hintergrund

Die Einführung der automatischen Fahrzeugführung für die Stufe 3 und 4 nach der Klassifikation der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) (Gasser et al., 2012) wird in einem ersten Schritt dazu führen, dass es einen Mischverkehr zwischen automatisch geführten Fahrzeugen und von Menschen geführten Fahrzeugen geben wird. Die Stufen definieren den Grad der Automation. Die Stufen 0 und 1 sind definiert, dass der Fahrer dauerhaft Längs und Überführung übernimmt, die Abstufung erfolgt auf Grund des Vorhandenseins von Assistenzsystemen. Hingegen geht Stufe 2 davon aus, dass die Automation in bestimmten Szenarien Längs und Querführung übernehmen kann und der Fahrer gezwungen ist zu überwachen. Stufe 3 geht dabei von aus, dass der Fahrer nur in bestimmten Situationen übernehmen muss und Stufe 4 entspricht der Vollautomation. Auch in dem heutigen Verkehr in der sich nur Fahrzeuge auf einer Automationsstufe von Stufe 1 teilnehmen, entsteht Kooperationsbedarf zwischen Verkehrsteilnehmern. Kooperationsbedarf kann entstehen, wenn Verkehrsteilnehmer in eine Situation kommen, in der nach StVO § 11 (3) das Vorrangsrecht nicht klar geregelt ist, wie beispielsweise eine gleichrangige Engstelle. In dieser Situation müssen die Verkehrsteilnehmer sich verständigen und das Vorrangsrecht aushandeln. Um einen Verhandlungsprozess durchzuführen, müssen die Verkehrsteilnehmer miteinander kommunizieren. Dafür stehen die implizite Kommunikation und die explizite Kommunikation zur Verfügung (Risser,

1985). Unter impliziter Kommunikation wird das Fahrverhalten, wie beispielsweise das Beschleunigen, das Abbremsen oder die Positionierung auf der Fahrbahn verstanden. Unter expliziter Kommunikation versteht man Zeichen wie die Lichthupe, das Horn, den Fahrtrichtungsanzeiger oder Gesten.

Nach Benmimoun et al. (2004) werden in kooperativen Situationen nur 30% der Kooperationsangebote angenommen. In einer Beobachtungsstudie wurden verschiedene Annäherungsweisen, respektive Kooperationsangebote an eine gleichrangige Engstelle ermittelt, die im anschließenden Experiment verwendet wurden (Imbsweiler et al., 2016).

Das Blickverhalten ist für die Fahraufgabe dahingehend interessant, dass man zum einem Rückschlüsse auf die mentale Beanspruchung ziehen kann (Schwalm, 2009) und für die Untersuchung interessanter, ob spezifische Kooperationsangebote zu einem Blickverhalten führen, was für den Verkehr kritisch oder sinnvoll ist. Des Weiteren soll überprüft werden, welches Blickverhalten mit einer höheren wahrgenommenen Kooperationsbereitschaft einhergeht. Diese ist wichtig um die Akzeptanz einer automatischen Fahrzeugführung zu erhöhen.

Im Folgenden soll untersucht werden, welche Annäherungsweisen an eine gleichrangige Engstelle in Hinblick auf das Blickverhalten zu empfehlen sind.

Wenn eine automatische Fahrzeugführung in eine Situationen mit Kooperationsbedarf gelangt, muss der Gegenüber in der Lage sein, das Verhalten der Automation zu verstehen. Im Optimalfall wählt die Automation ein Kooperationsangebot, welches für den Kooperationspartner intuitiv zu verstehen ist.

2. Methode

Eine ausführliche Beschreibung der quasi-experimentellen Untersuchung ist in Imbsweiler et al. (in Druck) vorzufinden. Im Folgenden wird das Experiment beschrieben, um die nötigen Schritte nachzuvollziehen. Dieser Beitrag behandelt die Auswertung der AOs, in Imbsweiler et al. (in Druck) ist eine Auswertung für die verschiedenen Fragebogenparameter zu finden.

2.1 Stichprobe

An der Studie nahmen $N = 20$ Probanden teil. Das Durchschnittsalter betrug $M = 24,10$, $SD = 2,00$ Jahre. In einer normalen Woche legten die Probanden im Durchschnitt $M = 141,82$ Kilometer zurück.

2.2 Durchführung

Das Experiment wurde auf dem Verkehrsübungsplatz Knielingen durchgeführt. Dafür wurde eine gleichrangige Engstelle mit Hilfe von Tonnen simuliert.

Insgesamt waren drei Versuchsleiter (VL1, VL2, VL3) beteiligt. VL 1 saß im Fond des Versuchsfahrzeuges, VL 2 steuerte das entgegenkommende Fahrzeug und VL 3 überwachte die Gesamtsituation. Die Probanden waren angewiesen den Anweisungen von VL1 im Fond des Autos zu folgen.

Nach einer fünfminütigen Probefahrt startete das Experiment. Auf dem Übungsplatz befand sich VL 2 in einem Fahrzeug welches dem Probanden immer dann begegnete, wenn der Proband die Engstelle passieren wollte. VL 2 wurde dazu angehalten, sich verschieden an die Engstelle anzunähern. Das Verhalten basiert auf

sechs Drehbüchern mit der Mission „Halten“ (1. Markantes Stoppen, 2. Verlangsamten und Lichthupe, 3. Markantes Stoppen + Lichthupe) und der Mission „Durchfahren“ (4. Mit gleichbleibender Geschwindigkeit auf die Engstelle zu fahren, 5. Beschleunigen, 6. Verlangsamten), die im Rahmen einer Beobachtungsstudie (Imbsweiler et al., 2016) ermittelt wurden. Falls der Proband selbst die Kooperationsinitiative ergriff und sich deshalb ein Drehbuch nicht realisieren ließ, war VL 2 instruiert, zumindest die Mission „Halten“ beziehungsweise „Durchfahren“ umzusetzen. wendete die sechs verschiedenen Annäherungsweisen an, die bei der Beobachtungstudie von Imbsweiler et al. (2016) ermittelt worden sind.

Zwischen den verschiedenen Durchfahrten mussten die Probanden weitere Fahraufgaben bewältigen wie einen Slalomparkour, Seitwärts einparken, einen Rückwärtsfahrparkour sowie Anfahren am Berg, um den Fokus nicht auf die kooperativen Situationen zu lenken. Die möglichen Fahraufgaben wurden ebenso wie die Durchfahrten randomisiert. Jede Durchfahrt wurde randomisiert durchgeführt. Alle Durchfahrten wurden mit einer Gopro Modell Hero 2 aus Sicht des Egofahrzeuges aufgezeichnet

Am Ende des Experimentes mussten die Probanden mit einem dritten Versuchsleiter die aufgezeichneten Videoaufnahmen präsentiert und zu jeder Durchfahrt einen kurzen Fragebogen ausfüllen. Dieser beinhaltete auf einer sieben stufigen Likert-Skala die Sicherheit fahren zu dürfen oder nicht, die Einschätzung des Unfallrisikos, der Kooperationsbereitschaft des Gegenübers sowie als Aufzählung eine Liste mit zur Auswahl stehenden Verhaltensweisen des Gegenübers, die zu der Entscheidung, Vorrang zu gewähren oder nicht zu gewähren, geführt hat.

Danach mussten die Probanden noch einmal einen Post-Fragebogen mit demographischen Angaben sowie den Persönlichkeitsfragebogen Neo-FFI in der Kurzform Borkenau und Ostendorf (1993) ausfüllen.

2.3 Apparatur: Versuchsfahrzeug

Das eingesetzte Versuchsfahrzeug, indem sich der Proband befand, war ausgestattet mit der Möglichkeit des Abgreifens der CAN-Bus Daten, einem auf dem Dach angebrachten Lidarsensor (Velodyne VLP 16) zur späteren Erfassung der Umwelt sowie einem fest verbauten Blickerfassungssystem, im spezifischen SmartEye Pro 5.9 mit einer Aufzeichnungsrate von 30 Herz für die Feldkamera und fünf Kameras, die die Augen und Kopfposition erfassen, mit einer Aufzeichnungsrate von 60 Herz.

2.4 Design

Das dargestellte Experiment besteht aus einem messwiederholtes zweifaktoriellem Design (2 x 6 Design), mit den beiden Unabhängigen Variablen „Drehbüchern“ und „Messwiederholung“. Als abhängige Variablen fungieren die erfassten Einschätzungen in den Fragebögen sowie die Auswertungen des Blickverhaltens, die mit dem Blickerfassungssystem ermittelt worden sind. Folgende Area of Interests (AOIs) sind für die Untersuchung von Interesse: Die Fahrbahn, der Gegenüber im Auto sowie die Engstelle. Des Weiteren fungierten auch die CAN-Bus Daten als abhängige Daten erfasst, diese werden in einer späteren Ergebnispräsentation berücksichtigt.

2.5 Hypothesen

Folgende Haupthypothesen gilt es zu überprüfen:

H1.1 Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich der mittleren Fixationsdauer auf die Fahrbahn.

H1.2 Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich der mittleren Fixationsdauer auf den Gegenüber.

H1.3 Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich der mittleren Fixationsdauer auf das Hindernis.

H2.1 Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich der Anzahl der Fixationsdauer auf die Fahrbahn.

H2.2 Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich der Anzahl der Fixationsdauer auf den Gegenüber.

H2.3 Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich der Anzahl der Fixationsdauer auf das Hindernis.

3. Ergebnisse

Hypothese H1 (siehe Tabelle 1), dass es einen Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich der drei AOIs gibt für die Variable mittlere Fixationsdauer kann für die Unterhypothese H1.1 und H1.2 angenommen werden (siehe Abbildung 1). Hypothese H1.3 F (19, 5) muss verworfen werden.

Hypothese H 2 (siehe Tabelle 2), dass es einen Unterschied zwischen den Drehbüchern hinsichtlich der drei AOIs gibt für die Variable Anzahl der Fixationen kann für die Unterhypothese H2.1 sowie für die Unterhypothese H 2.2 angenommen werden (siehe Abbildung 1). Hypothese 2.3 muss verworfen werden, da der Effekt nur marginal signifikant ist.

Tabelle 1: Ergebnisse der ANOVA für die Abhängige Variable „mittlere Fixationsdauer“ hinsichtlich der Unabhängigen Variable „Drehbuch“.

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

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

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

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

Tabelle 2: Ergebnisse der ANOVA für die Abhängige Variable „Anzahl der Fixationen hinsichtlich der Unabhängigen Variable „Drehbuch“.

Sowohl für Mittlere Fixationsdauer als auch für die Anzahl der Fixationen ist eine gleiche Ausprägungshöhe für das AOI Fahrbahn und Gegenüber zu erkennen, welches für die Anzahl der Fixationen in Abbildung 1 exemplarisch dargestellt ist.

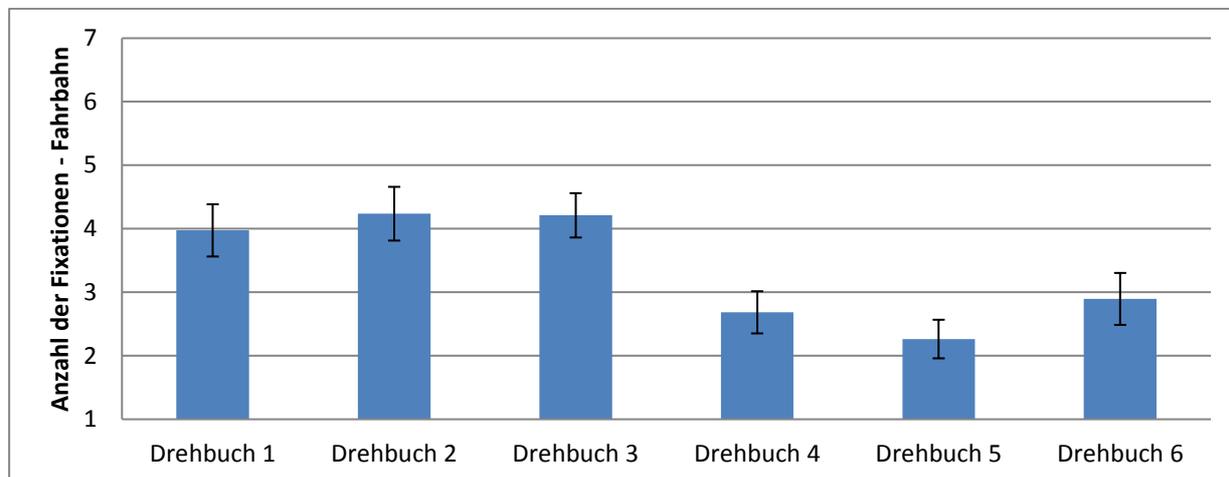


Abbildung 1: Balkendiagramm für die abhängige Variable Anzahl der Fixationen auf die Fahrbahn getrennt nach den einzelnen Drehbüchern.

Dieses Muster der Ausprägungshöhe findet sich auch in den Fragebogendaten für die Variable Kooperationsbereitschaft wieder, deswegen wurde explorativ eine Bravais-Pearson-Korrelation zwischen Variable „Anzahl der Fixationen auf die Fahrbahn“ sowie der Variable „Kooperationsbereitschaft mit dem Gegenüber“ aus dem Fragebogen gerechnet, welche hoch signifikant ist $r = ,394, p < ,000^{***}$.

4. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass es hinsichtlich der verschiedenen Kooperationsangeboten Unterschiede für die Anzahl der Fixationen sowie der mittlere Fixationsdauer für das AOI „Fahrbahn“ und „Gegenüber“ gibt, nicht aber für das Hindernis. Das impliziert, dass zwar in Abhängigkeit des Kooperationsangebotes der Gegenüber sowie die Fahrbahn unterschiedliche Blickmuster hervorrufen, das Hindernis, in diesem Fall die Engstelle aber gleich häufig betrachtet wird. Somit ist der Fokus entweder auf den Gegenüber oder der Fahrbahn gerichtet.

Des Weiteren ist auffällig, dass ein immer gleich auftretendes Muster in der Ausprägungshöhe existiert, welches auch mit den subjektiven Einschätzungen korreliert. Somit ist anzunehmen, dass Blickbewegungen wie auch die Fragebogenmaße das gleiche Konstrukt abbilden, was es näher zu untersuchen gilt.

Aufbauend auf den Daten wäre in Bezug einer Erhöhung der wahrgenommenen Kooperationsbereitschaft Drehbuch 2 und 3 zu empfehlen. Beide Drehbücher haben gemein, dass sie aus einem impliziten und expliziten Signal bestehen. Es gilt zu überprüfen, ob man auch eine offensivere Annäherungsweise entwickeln kann, die als kooperativer wahrgenommen wird, damit eine automatische Fahrzeugführung nicht immer gezwungen ist, Vorrang zu gewähren, da dies die Akzeptanz des

Nutzers senken könnte. Eine mögliche Variante wäre zum Beispiel mit gleichbleibender Geschwindigkeit zu fahren und den Blinker zu setzen.

Abschließend bleibt anzumerken, dass eine spezifischere Auswertung hinsichtlich der Unterschiede noch folgt und diese auch in Zusammenhang mit den CAN-Bus-Daten gebracht werden soll.

5. Literatur

- Benmimoun A, Neunzig D & Maag C (2004) Effizienzsteigerung durch professionelles/partnerschaftliches Verhalten im Straßenverkehr. FAT-Schriftreihe Nr. 181. Frankfurt/Main: Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.
- Borkenau P, Ostendorf P (1993) NEO-Fünf-Faktoren Inventar nach Costa und McCrae.: Handanweisung. Göttingen: Hogrefe. <http://dx.doi.org/10.1026//0012-1924.48.1.19>
- Gasser TM., Arzt C, Ayoubi M, Bartels A, Bürkle L, Eier J, Flemisch F, Häcker D, Hesse T, Huber W, Lotz C, Maurer M, Ruth-Schumacher S, Schwarz J & Vogt W (2012) Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung - Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe Bundesanstalt für Straßenwesen (bast), (F 83)
- 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, Palyafári, Deml B, Puente León F (in Druck) Untersuchung des Entscheidungsverhaltens in kooperativen Situationen am Beispiel einer Engstelle. Automatisierungstechnik. Sonderheft „Mensch und Fahrzeugautomatisierung“.
- Risser R (1985) Behavior in traffic conflict situations. *Accident, Analysis & Prevention*, 2(17), 179–197. [10.1016/j.sbspro.2014.12.211](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.12.211)
- Schwalm M (2009) Pupillometrie als Methode zur Erfassung mentaler Beanspruchungen im automotiven Kontext. Diss. Univ. Saarbrücken, 2009. Saarbrücken.

Danksagung: Diese Arbeit ist im Rahmen des Teilprojekts „Ereignisdiskrete Modellierung kooperativen Entscheidungsverhaltens in der automatischen Fahrzeugführung“ innerhalb des Schwerpunktprogrammes SP 1835 „Kooperativ interagierende Automobile“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG durchgeführt worden. Die Autoren bedanken sich bei der DFG für die Förderung.

