

Der Einfluss von Fußgängern auf die wahrgenommene Übersichtlichkeit und das Kooperationsverhalten von Autofahrern an T-Kreuzungen

Nadine-Rebecca STRELAU¹, Hannes WEINREUTER²,
Michael HEIZMANN², Barbara DEML¹

*¹ Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation
Karlsruher Institut für Technologie
Engler-Bunte-Ring 4, D-76131 Karlsruhe*

*² Institut für Industrielle Informationstechnik, Karlsruher Institut für Technologie
Hertzstraße 16, D-76187 Karlsruhe*

Kurzfassung: In einer Online-Studie wurde das Kooperationsverhalten von Autofahrern in einer Patt-Situation an einer T-Kreuzung untersucht. 30 Probanden sahen Videos einer T-Kreuzung aus den drei Anfahrtspositionen mit unterschiedlicher Anzahl an Fußgängern. Nach jedem Video sollten sie ihr eigenes Verhalten, die wahrgenommene Schwierigkeit sowie Übersichtlichkeit angeben. Die Anfahrtsposition hat einen signifikanten Einfluss auf das Kooperationsverhalten, die Anwesenheit von Fußgängern allerdings nicht. Auf die Schwierigkeit haben weder Anfahrtsposition noch Fußgänger einen Einfluss, beide wirken allerdings auf die Übersichtlichkeit. Ein klarer Zusammenhang zwischen Übersichtlichkeit und Kooperationsverhalten kann nicht gezeigt werden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Patt-Situation nicht richtig erkannt wird.

Schlüsselwörter: Fahrer-Fahrzeug-Interaktion, Kooperation, Fahrverhalten, Patt-Situationen, Fußgänger

1. Theoretischer Hintergrund

Die Entwicklung autonomer Fahrzeuge schreitet stetig voran und es wird in den nächsten Jahren immer mehr dieser Fahrzeuge auf den Straßen geben. Dieser Mischverkehr aus autonomen Fahrzeugen und menschlichen Fahrern bietet neue Herausforderungen. Autonome Fahrzeuge müssen sich so verhalten, dass sowohl die Passagiere in diesen Fahrzeugen als auch die manuellen Fahrer das Verhalten der autonomen Fahrzeuge verstehen und akzeptieren. Besonders in uneindeutigen Situationen, in denen Verkehrsteilnehmer miteinander kooperieren müssen, ist dies von Relevanz. Eine uneindeutige Situation nach der deutschen Straßenverkehrsordnung ist eine T-Kreuzung mit Rechts-vor-Links-Vorfahrtsregelung, an der drei Fahrzeuge in einer bestimmten Konstellation zur selben Zeit ankommen (Abbildung 1). Hier müssen die Verkehrsteilnehmer untereinander vereinbaren, wer zuerst durch die Kreuzung fährt. Imbsweiler et al. (2018) untersuchten das Kooperationsverhalten in uneindeutigen Situationen. Sie fanden heraus, dass Autofahrer es bei Patt-Situationen bevorzugen, wenn ein anderer Fahrer zuerst die Situation auflöst. Im Gegensatz dazu bevorzugen sie es bei gleichrangigen Engstellen, wenn sie selbst zuerst fahren. Die Autoren schlussfolgerten daraus, dass die Komplexität der Situation einen Einfluss auf das eigene Verhalten hat.

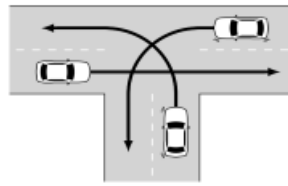


Abbildung 1: T-Kreuzung mit drei gleichzeitig ankommenden Fahrzeugen. In diesem Fall ist die Vorfahrt nicht eindeutig geregelt.

Das task-capability-model von Fuller (2011) eignet sich, um den Einfluss von Schwierigkeit auf das Verhalten von Autofahrern zu erklären. Nach ihm wird die Aufgabenschwierigkeit durch den relativen Anteil von Aufgabenanforderung an die Fähigkeit definiert. Die Aufgabenschwierigkeit ist also umso höher, je höher die Aufgabenanforderung bei gleichbleibender Fähigkeit ist. Bei einer erhöhten Schwierigkeit, die über der individuell akzeptierten Schwelle liegt, wenden Fahrer Maßnahmen an, um die Schwierigkeit wieder zu verringern. Eine Möglichkeit dafür ist, das eigene Verhalten anzupassen, indem abgebremst wird. Bei einer erhöhten Schwierigkeit in der Patt-Situation an der T-Kreuzung sollten Autofahrer demnach eher anhalten und nicht als erstes durch die Kreuzung fahren.

Zu den Aufgabenanforderungen zählen neben dem eigenen Verhalten eine Vielzahl an Faktoren, wie der Fahrumgebung, anderen Verkehrsteilnehmern und Charakteristiken des Fahrzeugs (Fuller 2011). In einer vorherigen Studie (Strelau et al. 2021) wurde der Einfluss von anderen Verkehrsteilnehmern in Form von weiteren Fahrzeugen untersucht. Ein vorausfahrendes Fahrzeug erhöhte dabei die Wahrscheinlichkeit, dass die Probanden in der Patt-Situation als erstes fuhren. In der hier vorgestellten Studie soll der Fokus auf einen anderen Teil von Verkehrsteilnehmern gelegt werden: Fußgänger, die auf dem Bürgersteig an der Kreuzung gehen. Für innerstädtische Patt-Situationen wurde dieser Einfluss nach Wissen der Autoren in Studien bisher noch nicht untersucht. Nach Fullers (2011) Modell wird erwartet, dass Fußgänger die Aufgabenanforderungen erhöhen und die Situation deshalb als schwieriger empfunden wird. Demzufolge sollte die Anwesenheit von Fußgängern auch das Kooperationsverhalten in dieser Situation beeinflussen.

Das Konzept der Übersichtlichkeit (eng. visual clutter) ist eng verwandt mit dem der Schwierigkeit und wurde deshalb in der vorliegenden Studie zusätzlich betrachtet. Nach Edquist (2008) stellen Fußgänger andere Verkehrsteilnehmer dar, die für sicheres Fahren beachtet werden müssen. Sie können somit zu einer unübersichtlicheren Situation beitragen, was wiederum das Fahrverhalten beeinflusst. Analog zur Schwierigkeit wurde für die hier durchgeführte Studie erwartet, dass die Anwesenheit von Fußgängern an der Kreuzung einen Einfluss auf die wahrgenommene Übersichtlichkeit der Situation hat.

2. Methode

2.1 Stichprobe

An der Studie nahmen $N = 30$ Probanden (15 männlich) im Alter von 22 bis 83 Jahren ($M = 36.63$, $SD = 17.01$) teil. Alle Probanden waren im Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis, die sie im Durchschnitt seit 18.67 Jahren ($SD = 16.51$) besaßen.

2.2 Durchführung und Material

In der Studie wurden den Probanden Videos von Anfahrten an eine T-Kreuzung vorgespielt. Diese wurden mit der Fahrsimulationssoftware „Silab 6.5“ erstellt. Die Videos zeigen eine 50 m lange Anfahrt an eine Kreuzung aus Sicht des Fahrers. Die Geschwindigkeit betrug 30km/h, nach 25m bremste das eigene Fahrzeug gleichmäßig ab. Aus den anderen beiden Anfahrtspositionen der T-Kreuzung kam jeweils ein Fahrzeug angefahren, das das gleiche Verhalten zeigte, wie das der Ego-Perspektive. Alle drei Fahrzeuge kamen somit zur selben Zeit an der Kreuzung an. Eine Sekunde bevor die Fahrzeuge stehen blieben, wurden die Videos abgeschnitten, so dass die Situation noch nicht aufgelöst war. Den Probanden wurde mittels eines eingeblendeten Pfeils angezeigt, in welche Richtung sie an der Kreuzung abbiegen würden.

Als Baseline sahen die Probanden ein Video, in dem nur die beiden anderen Kooperationsfahrzeuge zu sehen sind. Für die Fußgänger wurden zwei unabhängige Variablen mit jeweils zwei Ausprägungen verwendet. Zum einen wurde die Anzahl der Fußgänger variiert (viele vs. wenige Fußgänger). Des Weiteren wurde variiert, in welchem Bereich des Gehsteiges die Fußgänger laufen, nah an der Häuserfront oder nah an der Straße. Zusätzlich zu den Fußgängern wurde als weitere unabhängige Variable eine Absperrung eingeführt, die den Gehweg von der Straße trennt.

Jedes dieser Szenarios wurde aus allen drei möglichen Anfahrtsrichtungen der T-Kreuzung gezeigt. Jeder Proband sah jedes mögliche Szenario, so dass sich ein 2x2x2x3-within-Design (zuzüglich Baseline-Video) mit insgesamt 25 Videos ergab. Die Reihenfolge der Videos wurde randomisiert. Abbildung 2 zeigt beispielhaft zwei Screenshots von gezeigten Videos. Die Studie wurde als Onlinestudie mittels der Software „LimeSurvey“ durchgeführt.



Abbildung 2: Der linke Screenshot aus einem Video zeigt die Anfahrt aus Anfahrtsposition links mit vielen Fußgängern, die nah an der Straße laufen und einer Absperrung. Der rechte Screenshot aus einem Video zeigt die Anfahrt links ohne Absperrung mit wenigen Fußgängern, die nah an der Straße laufen.

Nach jedem Video gaben die Probanden mit Hilfe eines Schiebereglers auf einer Skala von 0 bis 100 an, wie wahrscheinlich es ist, dass sie in dieser Situation als erstes durch die Kreuzung fahren würden. Danach bewerteten sie anhand einer siebenstufigen Likertskala die Schwierigkeit und Übersichtlichkeit der Situation.

2.3 Datenanalyse

Die statistische Auswertung erfolgte mittels des Programms „R 4.0.4“ und den Paketen lmerTest, modelbased, RVAideMemoire und ordinal. Zur Auswertung der Wahrscheinlichkeit als erstes zu fahren wurde eine hierarchische lineare Regression gerechnet. Für die Auswertung der Übersichtlichkeit und Schwierigkeit wurde jeweils eine hierarchische ordinale Regression gerechnet.

3. Ergebnisse

3.1 Kooperationsverhalten

Die eingeschätzte Wahrscheinlichkeit als erstes zu fahren wurde über alle Situationen hinweg durchschnittlich mit 24% angegeben ($SD = 30$).

Die Anfahrtsposition an der Kreuzung (siehe Abbildung 3) hat einen signifikanten Effekt auf die Wahrscheinlichkeit als erstes zu fahren, $F(2,776) = 64.35$, $p < .001$. Bonferroni-korrigierte Post-hoc-Tests zeigen, dass bei der Anfahrt von unten jeweils eine signifikant geringere Wahrscheinlichkeit angegeben wurde im Vergleich zu der Anfahrt von links ($t(776) = 5.02$, $p < .001$) und rechts ($t(776) = 11.32$, $p < .001$). Zwischen den Anfahrten von links und rechts zeigt sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied ($t(776) = -6.3$, $p < .001$).

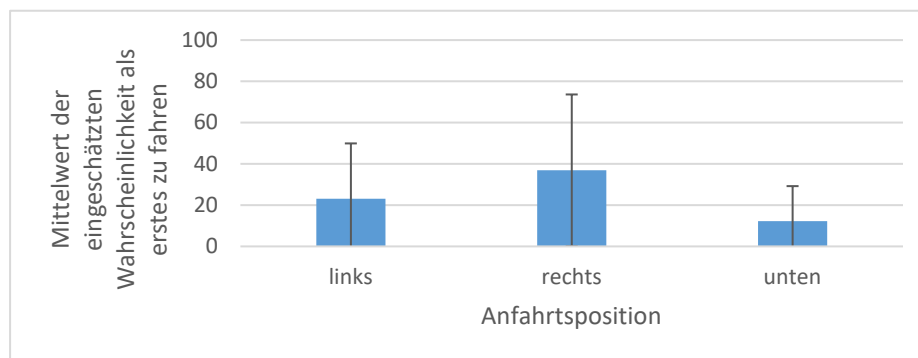


Abbildung 3: Mittlere eingeschätzte Wahrscheinlichkeit als erstes über die Kreuzung zu fahren aufgeteilt nach den drei Anfahrtspositionen.

Die Wahrscheinlichkeit als erstes zu fahren wurde für Situationen ohne Fußgänger mit durchschnittlich 27.26% ($SD = 32.98$) etwas höher angegeben als mit wenigen ($M = 23.82\%$, $SD = 29.69$) und vielen ($M = 23.48\%$, $SD = 29.09$) Fußgängern. Keiner dieser Unterschiede ist signifikant, $F(2,776) = 0.83$, $p = 0.437$.

Ob die Fußgänger nah an der Straße ($M = 23.08\%$, $SD = 28.81$) oder an den Hausfronten ($M = 24.23$, $SD = 29.95$) liefen, hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit als erstes zu fahren, $F(1,688) = 0.33$, $p = .566$. Eine Absperrung hatte ebenso keinen Einfluss, $F(1,688) = 0.33$, $p = .564$ (mit Absperrung: $M = 23.07$, $SD = 29.04$; ohne Absperrung: $M = 24.24$, $SD = 29.72$).

3.2 Schwierigkeit und Übersichtlichkeit

Die Mittelwerte und Standardabweichungen für Schwierigkeit und Übersichtlichkeit sind in Tabelle 1 abgebildet. Die eingeschätzte Schwierigkeit unterscheidet sich nicht zwischen den Anfahrtspositionen ($\chi^2(2) = 1.18$, $p = .553$) oder der Anzahl an Fußgängern ($\chi^2(2) = 5.23$, $p = .073$). Auch die Zone, in der die Fußgänger laufen ($\chi^2(1) = 0.02$, $p = .881$) sowie die Anwesenheit einer Absperrung ($\chi^2(1) = 3.38$, $p = .066$) hat keinen signifikanten Effekt auf das angegebene Verhalten.

Für die Übersichtlichkeit zeigt sich ein signifikanter Effekt der Anfahrtsposition, $\chi^2(2) = 13.58$, $p = .001$. Die Anfahrt von links wird übersichtlicher bewertet als die Anfahrt von rechts ($z = 2.96$, $p = .009$) oder unten ($z = 3.39$, $p = .002$). Zwischen den Anfahrtspositionen rechts und unten zeigt sich kein signifikanter Unterschied ($z = 0.43$, $p = .904$).

Auch die Anzahl der Fußgänger hat einen signifikanten Effekt auf die Übersichtlichkeit, $\chi^2(2) = 13.23, p = .001$. Die Szenarien mit vielen Fußgängern werden weniger übersichtlich bewertet als die Szenarien ohne Fußgänger ($z = 3.28, p = .003$). Zwischen den Szenarien mit wenigen Fußgängern und keinen Fußgängern ($z = 1.70, p = .05$) sowie den Szenarien mit vielen und wenigen Fußgängern zeigen sich dagegen keine signifikanten Unterschiede ($z = 2.52, p = .031$).

Die Zone, in der die Fußgänger laufen, hat auf die Übersichtlichkeit keinen Einfluss ($\chi^2(1) = 3.34, p = .068$), ebenso nicht eine Absperrung ($\chi^2(1) = 0.08, p = .931$).

Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichungen für die eingeschätzte Schwierigkeit und Übersichtlichkeit.

	Schwierigkeit M (SD)	Übersichtlichkeit M (SD)
Anfahrtsposition		
links	3.86 (1.52)	4.26 (1.50)
rechts	3.93 (1.45)	4.03 (1.46)
unten	3.87 (1.46)	4.00 (1.47)
Anzahl an Fußgängern		
keine	3.82 (1.53)	4.37 (1.49)
wenige	3.81 (1.50)	4.19 (1.45)
vielen	3.98 (1.44)	3.94 (1.50)
Laufzone		
an Straße	3.88 (1.43)	3.98 (1.55)
an Hausfronten	3.90 (1.51)	4.15 (1.40)
Absperrung		
Absperrung	3.83 (1.45)	4.06 (1.49)
Keine Absperrung	3.95 (1.49)	4.07 (1.47)

4. Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde die wahrgenommene Schwierigkeit und Übersichtlichkeit sowie das Kooperationsverhalten von Autofahrern in einer Patt-Situation an einer T-Kreuzung in Abhängigkeit der Anwesenheit von Fußgängern untersucht. Autofahrer zeigten tendenziell eine geringe Bereitschaft als erstes Fahrzeug durch die Kreuzung zu fahren. Die Anfahrtsposition an der Kreuzung hat dabei einen signifikanten Effekt auf die Wahrscheinlichkeit als erstes zu fahren. Für die Anfahrt von unten an die T-Kreuzung ergaben sich geringere Wahrscheinlichkeiten als für die beiden anderen Anfahrtspositionen. Bei der Anfahrt von rechts wurden zudem signifikant höhere Wahrscheinlichkeiten angegeben als erstes zu fahren als von links. Diese Ergebnisse unterscheiden sich teilweise von den Ergebnissen von Strelau et al. (2021). Hier wurde die Wahrscheinlichkeit als erstes zu fahren für die untere Anfahrtsposition geringer bewertet als für die beiden anderen Positionen. Zwischen den Anfahrtspositionen links und rechts zeigte sich allerdings kein Unterschied. Die Autoren schlussfolgerten, dass die Situation nicht richtig erkannt wurde und die durchgehende Straße möglicherweise als Vorfahrtsstraße interpretiert wurde. Dieser Hauptstraßeneffekt an T-Kreuzungen konnte schon von Björklund & Åberg (2005) gezeigt werden. Dass die Probanden in der vorliegenden Studie allerdings von der Anfahrtsposition rechts eher als erstes durch die Kreuzung fahren würden als von links, widerspricht der Annahme einer Hauptstraße. Das Verständnis der Patt-Situation sollte in weiteren Studien untersucht werden.

Die Anwesenheit von Fußgängern, die Zone, in der diese laufen sowie eine weitere Absperrung zwischen Bürgersteig und Straße haben keinen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit als erstes zu fahren.

Keine der unabhängigen Variablen hat auf die wahrgenommene Schwierigkeit einen Einfluss. Die Übersichtlichkeit wird für die Anfahrtspositionen unterschiedlich bewertet. Die Position links wird übersichtlicher eingeschätzt als die anderen beiden Positionen. Dieses Ergebnis entspricht nicht den Erwartungen. Aufgrund des Konzepts der Übersichtlichkeit nach Edquist (2008) wurde erwartet, dass Autofahrer bei einer wenig übersichtlichen Situation eine geringere Wahrscheinlichkeit zeigen als erstes über die Kreuzung zu fahren. Die Anfahrtspositionen rechts und unten wurden weniger übersichtlich bewertet als links. Für die Position unten zeigt sich eine geringere Wahrscheinlichkeit als erstes zu fahren, für die Position rechts dagegen eine höhere Wahrscheinlichkeit als erstes zu fahren als für die Position links. Auch hier könnte das fehlende Verständnis für die Patt-Situation für diese Ergebnisse als Erklärung dienen. Sowohl Schwierigkeit als auch Übersichtlichkeit scheinen deshalb nicht geeignet zu sein, um das Kooperationsverhalten in Patt-Situationen vorhersagen zu können.

Die Anwesenheit von vielen Fußgängern verringerte die wahrgenommene Übersichtlichkeit der Situation im Gegensatz zu wenigen oder keinen Fußgängern. Da die Fußgänger allerdings keinen Einfluss auf das Kooperationsverhalten hatten, kann auch hier angenommen werden, dass es bei Patt-Situationen kein Zusammenhang zwischen Verhalten und Übersichtlichkeit gibt.

Autonome Fahrzeuge müssen nach diesen Ergebnissen die Anwesenheit von Fußgängern für das Verhalten in Patt-Situationen nicht beachten. Die Anfahrtsposition sollte allerdings für das eigene Verhalten herangezogen werden. Um diese und vor allem das Verständnis der Patt-Situation, auch in Abhängigkeit der Position, besser zu verstehen, ist weitere Forschung notwendig.

5. Literatur

- 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>.
- Edquist J (2008) The Effects of Visual Clutter on Driving Performance. Dissertation. Monash University.
- Fuller R (2011) Driver Control Theory: From Task Difficulty Homeostasis to Risk Allostasis. In: B. E. Porter (Ed.) *Handbook of traffic psychology*. London, Waltham, MA: Academic Press.
- Imbsweiler J, Ruesch M, Weinreuter H, Puente León F, Deml B (2018) Cooperation behaviour 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>.
- Strelau N-R, Weinreuter W, Heizmann M, Deml B (2021) Patt-Situationen im Stadtverkehr - Der Einfluss von Verkehrsaufkommen auf die wahrgenommene Schwierigkeit und das Kooperationsverhalten an T-Kreuzungen. In: GfA, Dortmund (Hrsg) *Tagungsband 67. GfA-Frühjahrskongress Arbeit HUMAINE gestalten*, Beitrag C.3.3, Bochum 03.03.-05.03.2021.

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



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten

68. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und
Fabrikautomatisierung IFF, Magdeburg

02. – 04. März 2022

GfA-Press

Bericht zum 68. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 02. – 04. März 2022

Otto-von Guericke-Universität Magdeburg;

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2022

ISBN 978-3-936804-31-7

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin**

Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2022 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de