

Schlussbericht des Projekts

Einfluss kinästhetischer und immersiver Parameter im Fahrsimulator: Entwicklung eines wissenschaftlichen Modells zur Vorhersage und Gestaltung ökologisch valider Fahrsimulationsumgebungen (Innikip)



DFG-Geschäftszeichen: STA 1112/23-1

Antragsteller: Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark

Fachgebiet: Technische Universität Berlin,
Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Fachgebiet Industrielle Informationstechnik

Förderungszeitraum insgesamt: 15.02.2017 - 15.08.2021

1. Zusammenfassung

Fahrversuche in Fahrsimulatoren werden unter anderem dazu verwendet Innenraumkonzepte und Bedienelemente frühzeitig hinsichtlich der MMI¹ zu untersuchen. Dazu ist es erforderlich, dass die erhobenen Daten vergleichbar zu denen einer Realfahrt sind, um eine Übertragbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen. Solche ökologisch validen Daten sollen anhand einer speziellen Dual-Task Fahraufgabe, dem Lane Change Task, auf einer dreispurigen Autobahn sowie parallelen Navigationseingaben erhoben werden.

Fahrsimulatoren können durch unterschiedliche Parameter beeinflusst oder gestaltet werden. Dabei stellt sich die Fragen welche Gestaltungsparameter welchen Einfluss auf die menschliche Wahrnehmung und damit auch auf die Validität der Daten haben. Aufbauend auf bestehenden beschreibenden Modellen der Zusammenhänge zwischen Gestaltungsparametern der Fahrsimulatoren sowie den erhobenen Daten der Fahrleistung und Wahrnehmung wurde in diesem Forschungsprojekt ein um subjektive Messgrößen, zusätzliche Gestaltungsparameter sowie Zusammenhänge zwischen den Größen erweitertes Modell basierend auf empirischen Daten aufgestellt.

Dazu wurde im Innikip Projekt zunächst untersucht welchen Einfluss die Bewegungsintensität des Simulators auf die mentale Arbeitslast, das Blickverhalten, eine potentielle Simulationsübelkeit sowie das Fahrverhalten und die Performance der Sekundäraufgabe (Navigation) hat. Hierbei konnte gezeigt werden, dass moderate Beschleunigungen (abgeschwächt gegenüber der Realität), entgegen der initial postulierten Hypothese, eine bessere Wahrnehmung der Fahraufgaben ermöglicht. Um Einflüsse aus der singulären Einstellung *eines* Fahrsimulators zu reduzieren, wurde eine Vergleichsstudie durchgeführt. Hier wurden die Tendenzen in leicht abweichender Form grundlegend bestätigt.

Weiterhin wurde untersucht, ob sich durch eine Kombination von variierten kinästhetisch, akustisch und visuell dargebotenen Reizen eine Auswirkung auf das Präsenzerleben nachweisen lässt. Der Einfluss der akustischen Simulation auf das Präsenzerleben wurde signifikant nachgewiesen, die Kombination der weiteren Parameter Bewegungsanregung und Visualisierung konnte tendenziell, jedoch nicht statistisch signifikant nachgewiesen werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Immersion und das Präsenzerleben von weiteren, sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren abhängen.

Im Rahmen der Forschung konnte gezeigt werden, dass die Methode zur Erfassung der Immersion nicht tauglich ist. Folglich wurde ein neuer Fragebogen erstellt, erprobt und im Rahmen der Untersuchungen eingesetzt. Für die Bildung des intendierten deskriptiven Modells wurden die einflussnehmenden Parameter gegenüber bestehenden Modellen deutlich erweitert. Zur sukzessiven Erweiterung der Wissensbasis wird eine Adaption weiterer übertragbarer Szenarien angestrebt, um eine Angliederung dieser Szenarien und virtuellen Nachweisführung für Zulassungsverfahren nutzbar zu machen.

2. Ausgangslage und Zielsetzung des Projekts

Stärken von Versuchen im Fahrsimulator sind beispielsweise die Standardisierung, die Reproduzierbarkeit oder geringe Kosten im Vergleich zur Realfahrt. Jedoch ist die konkrete Ansprache des Sinnesapparates des Menschen durch die technologischen Gestaltungsparameter eines Simulators wie beispielsweise die 3D-Sicht, Surround-Sound oder die Bewegungsanregung theoretisch nicht präzise

¹ MMI: Mensch Maschine Interface

untersucht (Reich 2017). Für die Untersuchung von Fahrzeuginnenräumen werden Dual-Task Aufgaben eingesetzt (Vollrath & Rataj, 2004, Genuit & Fiebig, 2014), bei denen neben der Fahrt zusätzliche sekundäre oder tertiäre Aufgaben durch die Probanden erledigt werden. Die hier eingesetzten High-Fidelity Fahrsimulatoren verfügen über eine umfangreiche Bewegungssimulation mit sechs Freiheitsgraden und können einen 360°-Sichtwinkel simulieren, zudem sind sie mit Stereo Soundsystemen und Force-Feedback-Lösungen an den Bedienelementen ausgestattet.

2.1 Stand der Forschung

Im Bereich der systematischen Modellbildung valider Fahrdaten erarbeitete Zöllner (2015) ein erstes Modell. Sie hat den Einfluss verschiedener Gestaltungsparameter der Bewegungsanregung und der Sicht bei verschiedenen Szenarien (Stadt, Land, Autobahn) untersucht. Der Blickwinkel sollte mindestens 180° aufweisen, die Bewegungsanregung wird in der Tendenz als positiv auf das Realitätsempfinden angenommen, jedoch nicht explizit bestätigt.

Die Abbildung 1 zeigt, das Modell IG-FaSi von Reich (2017). In Ergänzung zu den Arbeiten von Zöllner wurden auditive Einflüsse untersucht, sowie subjektive Messgrößen und die Kombination von Parametern integriert.

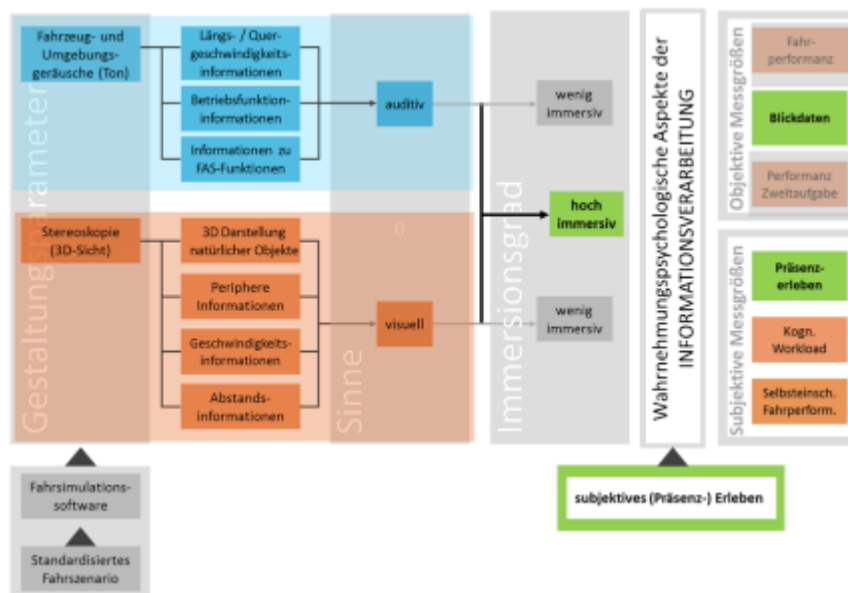


Abbildung 1: IG-FaSi Modell (Immersion Gestaltungsparameter im Fahrsimulator, Reich, 2017)

Das Modell von Reich berücksichtigt die Kinästhetik bislang nicht, folglich werden in Innikip Aspekte der Bewegungsanregung ergänzt. Ebenso wurde die Immersion initial auf die zwei Aspekte 2D/3D Sicht und Ton/kein Ton reduziert untersucht, in dieser Testung nun zusätzlich erweitert um die Aspekte der Bewegungsanregung.

Studien zeigten oft widersprüchliche Befunde² und offene Bedarfe hinsichtlich der Fahrer-verhaltensvalidität. Dementsprechend konnten bisher keine allgemeingültigen Schlüsse und Gestaltungsempfehlungen für valide, immersive Fahrsimulationsumgebungen abgeleitet werden.

² (Feenstra, Wentink, Grácio und Bles (2009, Klüver, Herrigel, Heinrich, Schöner und Hecht (2015), (Nesti et al., 2012, (Hogema et al., 2011, 2012; Correira Grácio et al., 2011; Yamaguchi et al., 2010; Greenberg et al., 2003) (Mourant & Yin, 2010; Curry et al, 2002, Yoichi et al., 2005); Bertollini, Glaser, Szczerba und Wagner (2014)).

2.2 Zielsetzung

Im vorliegenden Projekt wird das Modell von Reich (2017) systematisch um den Faktor Kinästhetik und den zuvor vereinfacht betrachteten Parameter Immersion erweitert, mit dem übergeordneten Ziel der validen Datengenerierung in Fahrsimulationsumgebungen. Es liegen zwei konkrete Forschungsbedarfe vor:

- 1) Zum einen müssen quantifizierbare, validierte Daten im Fahrsimulator mit **kinästhetischen Parametern** erhoben werden und diese Daten mit Daten einer Realfahrt unter vergleichbaren Bedingungen gegenübergestellt werden.
- 2) Zum anderen soll eine hoch **immersive (Fahr-) Versuchsumgebung** (vor allem 3D Sicht, Surround-Sound, Kinästhetik) evaluiert werden (Studie 2). Ein Vergleich mit der Realität zeigt, ob die übergeordnete Frage der ökologischen Validität beantwortet werden kann.

Aus beiden Untersuchungen werden Gestaltungsrichtlinien für immersive Fahrsimulationsumgebungen abgeleitet und in einem allgemeingültigen Modell im Bereich immersiver Fahrsimulationsumgebungen dokumentiert, sowie um bestehende Zusammenhänge aus der Literatur ergänzt. Dieses Modell bildet eine Basis für die Gestaltung ökologisch valider Dual-Task Fahrversuche.

Darüber hinaus werden die bestehenden Erkenntnisse in einer Wissensbasis zusammengetragen, so dass der Erkenntnisgewinn im Kontext der Fahrerverhaltensvalidität betrachtet werden kann.

3. Durchgeführte Arbeiten

Der folgende Abschnitt beschreibt die Vorgehensweise sowie die wesentlichen Ergebnisse und Erkenntnisse der beiden Studien, im Anschluss die Modellbildung und Beschreibung der Wissensbasis.

3.1 Versuchsdurchführung

Zunächst wurde der Lane Change Task (LCT) nach Mattes (2003) für beide Studien etabliert, siehe Abbildung 2. Als Zweitaufgabe sollte die Versuchsperson Adressen in ein Tablet, das sich, ähnlich einem Navigationssystem, rechts vom Fahrer am Cockpit befand, eingeben.

Die Durchführung fand im Fahrsimulator des Digital Cube Test Center (DCTC) der Technischen Universität Berlin (www.digitalcubetestcenter.de) sowie in an der HNI Paderborn (<https://www.hni.uni-paderborn.de/rtm/forschung/fahrerassistenzsysteme>) statt. Beide Fahrsimulatoren entsprechen dem Kriterium eines High-Fidelity Simulators und sind somit als vergleichbar für die Studie anzunehmen, obschon die Größe und der mechanische Aufbau zur Bewegungsanregung divergieren. Ein Proband in Berlin ist in einem Sitz ohne umgebende Fahrzeughülle positioniert, in Paderborn steht ein komplettes Fahrzeug im Simulator, siehe Abbildung 2 rechts.

Entgegen der initialen Antragstellung konnte eine Zusammenarbeit mit der TU Dresden nicht erfolgen. Der dortige Fahrsimulator wurde im relevanten Zeitraum umgebaut. Das involvieren eines weiteren Partners wurde durch die pandemische Lage limitiert, obschon Interesse bekundet wurde.

Für die Untersuchung zur Kinästhetik (Studie 1) durchfuhr jeder Proband mit jeweils unterschiedlicher Bewegungsanregung (0%,40%,70%,100%) (basierend auf den Untersuchungen von (Feenstra et al., 2009)) den LCT und bewertete im Anschluss an jede Fahrt die kognitive Beanspruchung (NASA-TLX von Hart & Staveland, 1988), eine mögliche Simulatorkrankheit (SSQ von Kennedy et al., 1993), sowie das Präsenz- und Immersionserleben (Scheuchepflug, 2001). Während der Fahrt wurden Fahrdaten

(Spurabweichung gegenüber der idealen Fahrspur des LCT) sowie die Blickdaten der Probanden auf die AOI³ Navigationssystem durch Eyetracking (Anzahl, Dauer in ms) erhoben.

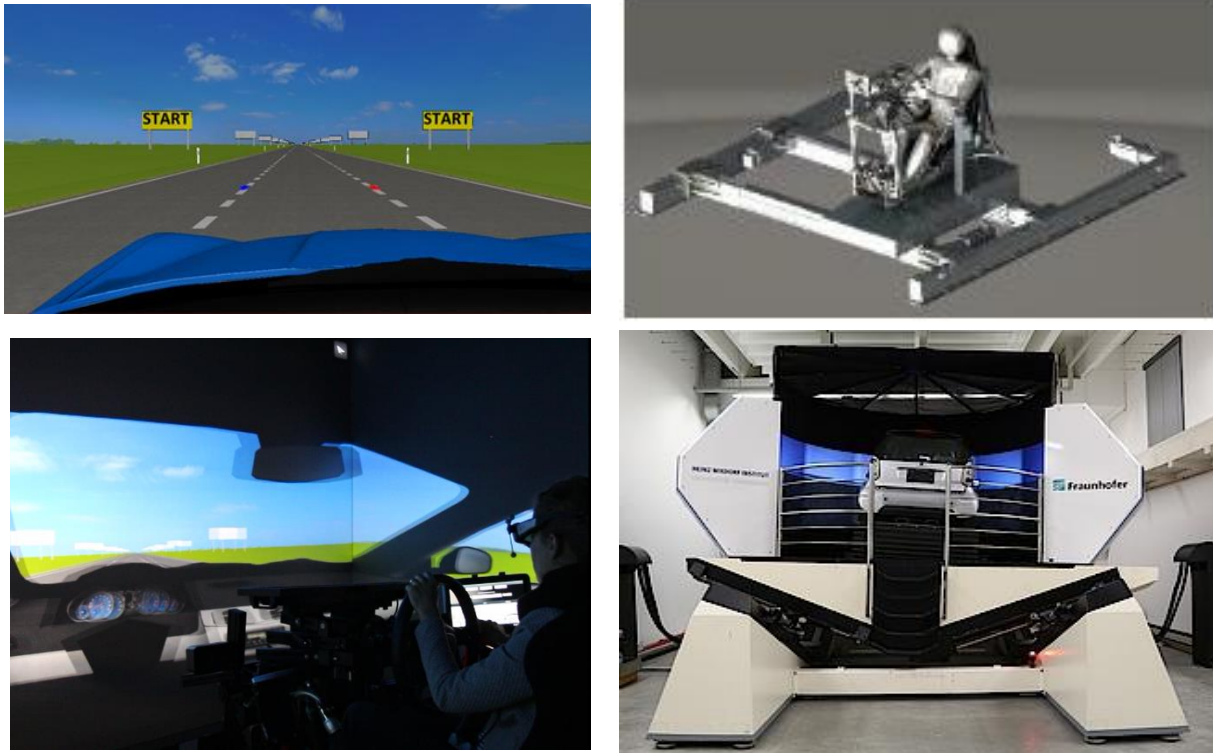


Abbildung 2: links oben: virtuelle Fahrumgebung der Lange Change Task, rechts oben: Bewegungsplattform des Fahrersitzes im DCTC in Berlin, links unten: stereoskopische Sicht während der Fahrt; rechts unten: Fahrsimulator ATMOS in Paderborn

Für die Untersuchung zum Immersionsgrad wurden in einem 2x2x2 Between-Within-Subjects Versuchsdesigns die Parameter Visualisierung (2D/3D), Sound (An/Aus) und Bewegung (0%/40%) systematisch bei vollständiger Permutation variiert. Subjektive Daten wurden für die Simulatorkrankheit (SSQ von Kennedy et al., 1993), die kognitive Beanspruchung (NASA-TLX von Hart & Staveland, 1988), sowie das Präsenz- und Immersionserleben (variiert in Anlehnung an Scheuchensflug, 2001) erhoben. Weiterhin wurden die objektiven Parameter durchschnittliche Spurabweichung und Blickverhalten erhoben.

3.2 Ergebnisse

Die Fragebögen wurden nach Beendigung der Experimente ausgewertet (Statistik-Software SPSS). Es wurde für die Untersuchung eine statistische Signifikanz von $p < .05$ angenommen. Bei einem $p < .1$ wird von einer Tendenz gesprochen (Bortz & Schuster, 2010). Die objektiven Fahrdaten (Spurabweichung) der LCT wurden mit Matlab/Simulink ausgewertet, das Blickverhalten mit der Betriebssoftware der Eyetracking Brille (TobiiProLab).

Studie 1 – Einfluss von kinästhetischen Reizen auf Performance und Realitätsempfinden

Die Ergebnisse der Testung mit je 24 Probanden zeigen bei einer systematischen Variation der *Motion Cues* (*Bewegungsanreize*) in den vier Skalierungsstufen keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die subjektiven Messwerte *Simulation Sickness*, Präsenzerleben und objektiven Messwerte Fahr- und Blickverhalten. Entsprechend der im Vorhinein gebildeten Hypothesen konnte der objektive Parameter

³ AOI: Area of Interest; Bereich/Ausschnitt innerhalb des Sichtfeldes, der von besonderem Interesse ist.

Blickanzahl auf das Navigationssystem (Item 1) durch stärkere Bewegungs-anregung an das Verhalten in der Realität angenähert werden. Weiterhin ergab sich eine Tendenz hinsichtlich der subjektiven Beanspruchung, bei der eine 40% Bewegungsanregung als weniger anstrengend (Item 2, 3) und frustrierend (Item 4) empfunden wurde, weniger Simulation Sickness (Item 6) und ein höheres Realismus Empfinden (Item 5) aufzeigte, siehe Tabelle 1. Dies lässt zusammenfassend annehmen, dass eine höhere Bewegungsanregung im Simulator eher als störend denn hilfreich empfunden wird, bzw. die Abstimmung mit den visuellen und auditiven Stimuli einen höheren Stellenwert in der Wahrnehmung aufweist als die Bewegungsanregung selbst.

Tabelle 1: Zusammenstellung von Ergebnissen zur Relevanz der Bewegungsanregung

			0%	40%	70%	100%
1	Blickanzahl	Berlin	109,43	122,81	103,05	107,95
		Paderborn	149,00	140,00	132,00	118,00
		Real	-	-	-	94,00
2	geistige Anforderung	Berlin	5,17	5,29	5,58	5,71
		Paderborn	9,12	9,37	9,56	10,16
		Real	-	-	-	5,41
3	Körperliche Anforderungen	Berlin	4,38	4,50	4,75	5,17
		Paderborn	3,7	4,41	4,65	4,75
		Real	-	-	-	3,20
4	Frustration	Berlin	3,67	3,96	4,33	4,17
		Paderborn	5,75	5,08	6	6,04
		Real	-	-	-	-
5	Erlebter Realismus	Berlin	2,03	2,28	2,06	2,08
		Paderborn	2,7	2,53	2,63	2,7
		Real	-	-	-	5,63
6	SSQ Übelkeit	Berlin	9,94	9,14	11,93	11,93
		Paderborn	6,39	5,9	8,77	7,63
		Real	-	-	-	4,88

Studie 2 – Untersuchung der Immersion

Der Fragebogen nach Scheuchenpflug wurde initial modifiziert, da er als nicht passend zur Analyse der Fahrsimulatoren empfunden wurde. Anschließend an eine Befragung wurde er dazu einer Itemanalyse unterzogen. Einige Fragen (5, 6, 9, 10, 11, 12, 15) haben keine Trennschärfe aufgewiesen und wurden folglich entfernt. Weiterhin wurden durch eine VARIMAX Rotation zwei Subskalen in Anlehnung an Scheuchenpflug identifiziert: *Qualität der Schnittstelle* und *Involvierung*. Die Konsistenz der Gesamtskala wurde als gut (>0.8) (Sedlmeier & Renkewitz, 2013) berechnet.

Die Ergebnisse der Testungen der Studie mit N=48 Probanden im Fahrsimulator in Berlin konnte bestätigen, dass der Ton einen signifikant positiven Einfluss auf die wahrgenommene Immersion (Item: Präsenzerleben) hat. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang für die Kinästhetik konnte nicht nachgewiesen werden, ebenso nicht für die Stereoskopie, siehe **Tabelle 2**. Beide Parameter werden durch das Szenario der LCT geprägt, denn in dieser sind vergleichsweise geringe Beschleunigungen und Tiefenreize vorgesehen.

Tabelle 2: Zusammenhang Präsenzerleben zu den abhängigen Variablen Sound, Stereoskopie und Kinästhetik

	2D				3D			
	No sound		Surround sound		No sound		Surround sound	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Gesamtskala								
Kinästhetik								
Ohne	3.30	.60	3.53	.78	3.61	1.25	3.53	1.28
Mit	3.36	.80	3.55	1.18	3.41	1.22	3.61	1.36

3.3 Interpretation der Daten

Nach der direkten Interpretation der Versuchsergebnisse wurden diese in den Kontext weiterer Daten aus den Arbeiten von (Reich (2017)) gesetzt, um die Modellbildung vorzubereiten. Es wurde für dieses Vorhaben postuliert, dass durch eine Kombination von Gestaltungsparametern eine zunehmende Immersion und damit sukzessive eine Realfahrt approximiert wird. Folglich wurden für das vorliegende Projekt 20 Parametersets ausgewählt, von denen ein zunehmender Immersionsgrad angenommen wird: von 1 (PC) bis 20 (Real) - aufsteigend in ihrer Wiedergabetreue. Zunächst wurden die Fahrzeug Mock-Ups mit dem entsprechenden horizontalen Sichtfeld (Field of View, FoV) aufgereiht. Das Kontinuum reicht von PC (70° FoV) über HoloBench (100° FoV), CAVE (360° FoV) bis zur Realfahrt (360° FoV). Anschließend erfolgte die Anordnung der Parametersets anhand der Gestaltungsparameter Stereoskopie (2D vs. 3D), Ton (ohne vs. mit Akustik) und Beschleunigungs-intensität (0% vs. 40% vs. 70% vs. 100%). Hypothesenkonform wurde angenommen, dass eine zunehmende Kombination immersiver Parameter (3D, Ton, Bewegung) zu einer höheren Realitäts-nähe führen.

Die Auswertung erfolgte in Anlehnung an Cumming (2012) auf der Interpretation der Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle. Die Daten wurden mit Hilfe der ESCI-Software (Cumming, 2012) auf signifikante Unterschiede überprüft. Die Signifikanzwerte (p-Werte) wurden farblich kodiert entsprechend des aufnehmenden Versuchs dargestellt. Es konnten keine einfachen linearen Abhängigkeiten bestätigt werden, dies kann exemplarisch am Beispiel des Präsenzerlebens für die ansteigend immersiv gestaltete Umgebung nachvollzogen werden. In Abbildung 3 sind die Signifikanzwerte (Punkte), sowie die Konfidenzintervalle (gelbe Balken) aus den unterschiedlichen Befragungen (Promotion Reich (2017), Innikip Projekt) aufgetragen. Die einfachen Mock-Ups schneiden hier ähnlich gut oder teils besser ab, als hoch-immersive Parameterkombinationen. Dies lässt annehmen, dass einerseits die Signifikanz für den LCT so nicht gegeben ist (siehe die Ergebnisse beiden Studien zuvor), bzw. weitere Gestaltungsparameter einen stärkeren Einfluss haben, als initial angenommen.

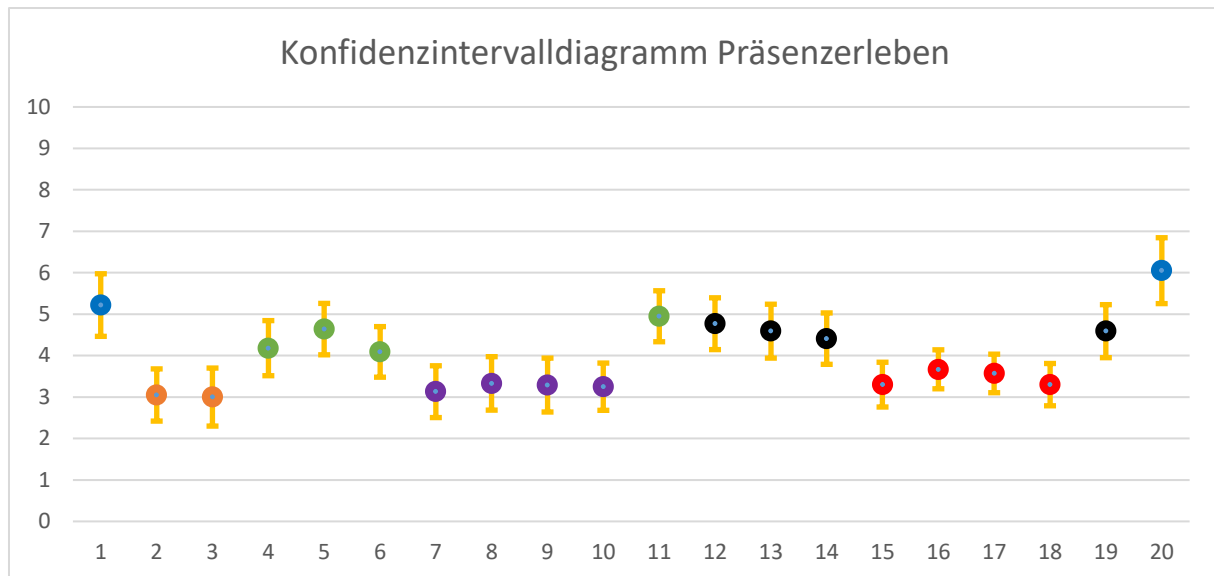


Abbildung 3: Präsenzerleben über aufsteigenden immersiven Parametersets

3.4 Modellbildung

Auf Basis der ausgewerteten Daten wurde das Modell von Reich (2017) wie folgt modifiziert:

1. In Anlehnung an die Untersuchungen von Fischer (2015), Hartfiel und Buchholz (2020) wurden technologisch manipulierbare Komponenten von Fahrsimulatoren gegenüber der Darstellung von Reich erweitert um die gewählten Ausgabemedien (z.B. HMD), den Einfluss der Umgebung (andere Verkehrsteilnehmer) sowie einen Grad der Präzision je Parameter. Hierbei wurden Parameter der konstruktiven Gestaltung außer Acht gelassen, denn eine apparative, konstruktive Neugestaltung eines Fahrsimulators wurde für die Vorbereitung einer Probandenstudie als zu aufwändig erachtet.
2. Analog zu Zöller (2015) und Reich (2017) wird die wahrnehmungspsychologische Informationsverarbeitung als Blackbox verstanden. Anders als bei Reich wird der durch den FaSi beeinflussbare Immersionsgrad in der Ausprägungsform der Gestaltungsparameter gesehen und die empfundene Immersion erst nach der menschlichen Informationsverarbeitung messbar. Die verwendeten Messgrößen nach Zöller, Reich und Innikip ergänzen sich, gekennzeichnet nach *subjektiven*, *objektiven*, *untersuchten* und *nicht untersuchten* im Modell.
3. Im nächsten Schritt wurden die durch das Projekt bzw. die zuvor festgestellten Zusammenhänge in das Modell in ihrer qualitativen Wirkrichtung eingetragen.

Das so entstandene Modell ist in Abbildung 4 dargestellt.

3.5 Wissensdarstellung

Für die Wissensdarstellung wurde eine Integration weiterer Zusammenhänge aus anderen Projekten und Quellen in das Modell erforderlich, um verstärkende Effekte oder potentielle Widersprüche zu erkennen. Die im Projekt erzielten empirischen Ergebnisse, sowie eine übersichtliche und zusammenfassende Darstellung der Modellbildung, sowie der Einordnung in bestehende Studien sind auf der Homepage des DCTC (www.digitalcubetestcenter.de) für die Öffentlichkeit verfügbar gemacht.

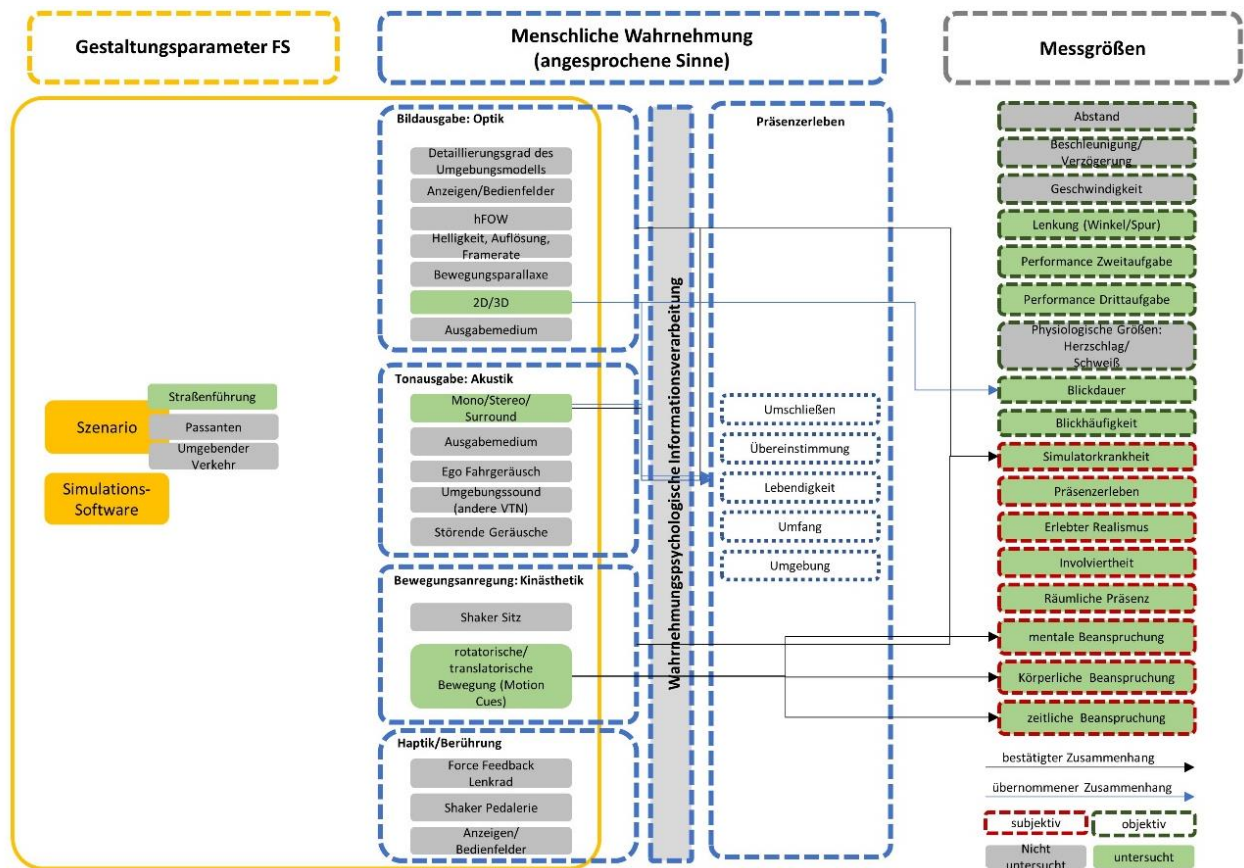


Abbildung 4: Modell zur Gestaltung ökologisch valider Fahrversuchsumgebung

4. Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

In allen Befragungen wurde die Realitätsnähe des Lane Change Tasks (ISO, 2008) durch die Probanden bemängelt. Die Verwendung dieses Szenarios garantierte für dieses Projekt zunächst eine Vergleichbarkeit für die Studiendurchführung und Kompatibilität der Daten. Das Szenario als solches sollte jedoch auf ein der Zeit angemessenen Standard in der Visualisierung gehoben werden (z.B. Farbgebung der Umgebung, Detaillierung der Gestaltung der Umgebung (Wiesen mit leichten farblichen Schattierungen, ggf. bewegenden Halmen, Felder mit Furchen, Himmel mit Wolken bzw. leichter Farbschattierung zum Horizont, Leitplanken mit Befestigungspunkten...)).

Neben diesem Projekt durchgeführte Arbeiten haben die Nutzung von Head Mounted Displays (HMD (VR-Brille)) im Vergleich zu einer Cave oder Displayumgebung untersucht. Dabei kann festgestellt werden, dass Projektionen oder CAVE-Systeme eine weniger starke Simulator Krankheit hervorrufen. Mittlerweile ist die Darstellungsgenauigkeit (Pixelanzahl) auf einem vergleichbaren Niveau wobei die Kosten für HMDs sind wesentlich geringer. Diese Darstellungsvarianten wurden in den vorangegangenen Studien nicht, im Wissensmodell jedoch berücksichtigt.

Die Wissensbildung als solche kann als Grundlage verstanden werden, die durch weitere Daten ergänzt werden sollte. Beispielsweise wurde in der vorliegenden Arbeit ein Autobahn-Szenario (LCT) ohne weitere Diskussion verwendet wurde, sollte in zukünftigen Studien der Einfluss weiterer fahrzeugrelevanter Geräusche systematisch variiert und analysiert werden. Hierbei sollte im Fokus stehen, wie sich Geräusche von anderen Verkehrsteilnehmern und der Umgebung in einem Stadtszenario auf das Präsenzerleben auswirken können.

5. Wirtschaftliche Verwertung

Patente oder eine direkte Vermarktung des Modells sind nicht zu erwarten.

Industriekooperationen zur Fahrsimulation bestehen am Fachgebiet Industrielle Informationstechnik über dieses Projekt hinaus. Parallel zum Innikip Projekt wurden in Zusammenarbeit mit einem Automotive OEM mehrere Studien zur Gestaltung der dortigen Fahrsimulatoren hinsichtlich des Gesamtspektrums für den Konzern aber auch der Visualisierungssysteme für einen konkreten Simulator durchgeführt. Insofern wurden und werden die Vorgehensweisen und Erkenntnisse dieses Projekts implizit verwendet.

6. Projektbezogene Publikationen

A) Veröffentlichte Arbeiten, mit wissenschaftlichen Qualitätssicherung:

Hartfiel, B.; Buchholz, C.; Fresemann, C.; Tomaszek-Staude, W.; Stark, R. (2018): Use Case orientierte Gestaltungsempfehlungen für Fahrsimulatoren zur mensch-zentrierten Absicherung von Sicherheits- und Komfortfunktionen. In: VDI Wissensforum GmbH (Hg.): Proceedings: 19. VDI-Kongress "SIMVEC - Simulation und Erprobung in der Fahrzeugentwicklung". Baden-Baden, 20.-21.11.: VDI Verlag GmbH (VDI Berichte 2333), 655-669.

Lyga, Y., Lau, M., Brandenburg, E., & Stark, R. (2020, July). Validation of immersive design parameters in driving simulation environments. In International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (pp. 136-142). Springer, Cham.

Tiemann, M., Lyga, Y., Stark, R. (2020). Effects of Motion System and Driving Scenario on Simulator Sickness and Presence Experience

Hartfiel, B., Kroys, A., Kruithof, N., & Stark, R. (2019). Driving Simulator with VR Glasses for Evaluation of New Interior Concepts. ATZ worldwide, 121(11), 16-23.

Hartfiel, B., & Stark, R. (2021). Validity of primary driving tasks in head-mounted display-based driving simulators. Virtual Reality, 1-15.

Hartfiel, B., Kroys, A., Kruithof, N., & Stark, R. (2019). Fahrsimulator mit VR-Brille zur Evaluierung neuer Interieurkonzepte. ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift, 121(11), 16-25.

B) Dissertationen, Abschlussarbeiten:

Reich, D. (2017). Gestaltungsaspekte immersiver Fahrsimulationsumgebungen: Einfluss visueller und auditiver Parameter auf die Fahrerhaltensvalidität. Dissertation Technische Universität Berlin.

Lau, M. (2019). Effekte immersiver Gestaltungsparameter im Fahrsimulator auf Präsenzerleben, Simulation Sickness und Fahrleistung. Masterarbeit an der Technischen Universität Berlin.

Runow, N. (2021) Einfluss der Bewegung des dynamischen Fahrsimulators auf Simulation Sickness, Präsenzerleben und Fahrverhalten. Masterarbeit an der Technischen Universität Berlin

Schmitt, A. (2021) Einfluss der Beschleunigungsintensität im dynamischen Fahrsimulator auf die Fahrerhaltensvalidität. Masterarbeit an der Technischen Universität Berlin

C) Patente:

keine

7. Qualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses im Zusammenhang mit dem Projekt

Es wurden drei Masterarbeiten (Lau, Runow, Schmidt), im Rahmen des Projekts angefertigt und die Abschlüsse damit erworben. Die Dissertation von Reich (2017) konnte im Vorlauf zu diesem Projekt abgeschlossen werden.

Anhang

Literaturverzeichnis

- Bertollini, G., Glaser, Y., Szczerba, J. & Wagner, R. (2014). The Effect of Motion Cueing on Simulator Comfort, Perceived Realism, and Driver Performance during Low Speed Turning. *Driving Simulation Conference 2014*, Paris, France, September 4-5, 2014.
- Bortz, J., & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7. Aufl.). Berlin: Springer.
- Correia Grácio, B. J., Wentink, M., Valente, A. R., Pais, M. M. van Paassen & Mulder, M. (2011). Driver Behavior Comparison Between Static and Dynamic Simulation for Advanced Driving Maneuvers. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, April 2011, Vol. 20, No. 2, Pages 143-161 (doi: 10.1162/pres_a_00040).
- Curry, R., Artz, B., Cathey, L., Grant, P. & Greenburg J. (2002). Kennedy SSQ results: fixed vs. motion-based ford simulators. DSC, Paris.
- Denjean, S., Roussarie, V., Kronland-Martinet, R., Ystad, S. & Velay, J.-L. (2012). How does interior car noise alter driver's perception of motion? Multisensory integration in speed perception. *Acoustics 2012*. Zugriff unter <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00811257/document>
- DIN-ISO 9241-910:2011(E), (2011). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 910: Rahmen für die taktile und haptische Interaktion (ISO 9241-910:2011)*; Deutsche Fassung EN ISO 9241-910:2011.
- Feenstra, P., Wentink, M., Correia Grácio, B. J. & Bles, W. (2009). Effect of Simulator Motion Space on Realism in the Desdemona Simulator. DSC 2009 Europe.
- Fischer, H. (2015): Virtuelle Absicherung von Assistenzsystemen. In: *Hanser Automotive 2015 (05-06)*, S. 36–39. Online verfügbar unter www.hanser-automotive.de/zeitschrift/archiv/artikel/virtuelle-absicherung-von-assistenzsystemen1033755.html, zuletzt geprüft am 24.07.2017.
- Genuit, K. & Fiebig, A. (2014). Kritische Betrachtung zum Thema "Lärm"-Messung: Erweiterung der Lärmprognose durch die Psychoakustik. *Lärmbekämpfung Bd. 9 Nr.1*.
- Greenberg, J., Artz, B. & Cathey, L. (2003). The effect of lateral motion cues during simulated driving. DSC, North America.
- ISO, (2008). Road vehicles – Ergonomic aspects of transport information and control systems - Simulated lane change test to assess driver distraction. ISO/TC 22/SC 13 N WG8 N579, DIS 26022.
- Jamson, H. (2011). Cross-Platform Validation Issues. In D. Fisher, M. Rizzo, J. Caird & J. D. Lee (Hrsg.), *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine and Psychology* (Bd. 12, 12, S. 157–168).
- Klüver, M., Herrigel, C., Heinrich, C., Schöner, H.-P. & Hecht, H. (2015): The behavioral validity of dual-task driving performance in fixed and moving base driving simulators. In: *Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour* 37(C):78–96 · February 2016 DOI: 10.1016/j.trf.2015.12.005.
- Hart, S. & Staveland, L. (1988). Development of NASATLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human mental workload*, pp. 139-183. Amsterdam: North Holland.
- Hogema, J. H., Ledegang, W. & Wentink, M. (2011). Yaw motion effects in driving simulation: a pilot study in desdemona. TNO Report; TNODV 2010 C396, 2011.
- Hogema, J. H., Wentink, M. & Bertollini, G. P. (2012). Effects of Yaw Motion on Driving Behaviour, Comfort and Realism, *Proceeding of the Driving Simulation Conference*, Paris, France, 2012, pp. 149-158.
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire (SSQ): An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *International Journal of Aviation Psychology*, 3 (3), 203-220.
- Mattes, S. (2003). The Lane Change Task as a tool for driver distraction evaluation. In: H. Strasser, H. Rausch & H. Bubb (Eds.), *Quality of work and products in enterprises of the future*. Stuttgart: Ergonomia Verlag.
- Mourant, R. & Yin Z. (2010). A turning cabin simulator to reduce simulator sickness. *Proceedings of SPIE*, ISSN 0277-786X.

Nesti, A., Masone, C., Barnett-Cowan, M., Giordano, P., Bulthoff, H. & Pretto P. (2012). Roll rate thresholds and perceived realism in driving simulation. DSC, Paris, 2012.

Scheuchpflug, R. (2001). Measuring presence in virtual environments. In M.J. Smith, G. Salvendy, & M. R. Kasdorf (Eds.). HCI International 2001, pp. 56-58. New Orleans: HCI International.

Schöner, H.-P. & Morys, B. (2015). Dynamische Fahrsimulatoren. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), Handbuch Fahrerassistenzsysteme (S. 139–154). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. doi:10.1007/978-3-658-05734-3_9

Vollrath, M. & Rataj, J. (2004). Wie man Auto fährt - Instrumente zur Konzeption und Bewertung von Fahrerassistenz: Konferenz: Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenzsysteme. Zugriff unter http://www.ftm.mw.tum.de/uploads/media/27_vollrath.pdf

Winner, H., Hakuli, S. & Wolf, G. (2012). Handbuch Fahrerassistenzsysteme, DOI 10.1007/978-3-8348-8619-4_7, © Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Yoichi, A. & Nobuyuki, U. (2005). Improvement of driver's feeling by turning cabin driving simulator. DSC North America, Orlando, FL, 2005.

Zöllner, I. (2015). Analyse des Einflusses ausgewählter Gestaltungsparameter einer Fahrsimulation auf die Fahrerhaltensvalidität. (Disseration, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.).