

Assistenz versus Kontrolle beim hochautomatisierten Fahren – eine Akzeptanzanalyse

Eugen ALTENDORF¹, Deborah BOROWSKI², Jan RAMAEKERS²,
Frank FLEMISCH¹

*¹ Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen*

*² Psychology and Neuroscience, Neuropsychology & Psychopharmacology,
Psychopharmacology Maastricht University,
Universiteitssingel 50, NL 6229, Maastricht*

Kurzfassung: Viele Gestaltungsoptionen der Mensch-Technik-Kooperation beim automatisierten Fahren erfordern eine Balance zwischen technischer Unterstützungsleistung und der damit einhergehenden Kontrolle über das Fahrverhalten. Hierzu gehört auch die Autoritätsverteilung zwischen Mensch und Automation. Um die Auswirkungen der wahrgenommenen Kontrolle auf die Technologieakzeptanz näher zu untersuchen, fand eine Studie im Fahrsimulator statt. Hierzu wurde die Kontrolle in Form der Automationsunterstützung sowie das Verkehrsaufkommen als unabhängige Variable variiert. Dabei ließen sich signifikante Einflüsse der Kontrolle und der Beanspruchung während der Fahraufgabe auf die Akzeptanz feststellen: Grundsätzlich weisen Fahrer eine höhere Akzeptanz auf, wenn sie mehr Kontrolle bzw. Autorität behalten. In Situationen mit höherer Beanspruchung zeigt sich jedoch eine wachsende Bereitschaft zur Kontrollübertragung.

Schlüsselwörter: Kontrolle, automatisiertes Fahren, Fahrer-Fahrzeug-Interaktion, Experiment, kooperative Fahrzeugführung

1. Einleitung

Teil- und hochautomatisierte Systeme rücken stetig mehr in den Fokus von Untersuchungen im Bereich der Fahrzeugführung. Bereits aktuelle Assistenzsysteme können Teile der Fahraufgabe selbstständig übernehmen und den Menschen im Idealfall unterstützen und entlasten. Beispiele hierfür sind eine adaptive Geschwindigkeitsregelung der Fahrzeuglängsdynamik (ACC), eine aktive Spurhalteassistentz (LKAS etc.) oder ein Autobahn- bzw. Lenkpilot. Eine immer höhere Integration und Kombination solcher Technologien führt zu einem Ansteigen des Automationsniveaus in Richtung eines teil- und hochautomatisierten Fahrens. Dies hat zur Folge, dass sich sowohl die direkte Kontrolle als auch die ausgeübte Autorität, je nach Gestaltung des Systems, unterschiedlich bzw. dynamisch zwischen Mensch und technischem System aufteilen. Während bei Systemen wie dem ACC anfänglich von einer schnell anwachsenden Marktdurchsetzung ausgegangen wurde, waren die tatsächlichen Bestellraten der Käuferinnen und Käufer deutlich geringer. Für eine breite Technologiediffusion ist eine gute Akzeptanz der angebotenen Technologien und damit der Produkte von entscheidender Bedeutung. Dies gilt insbesondere für komplexe Produkte, wie einem Automobil, welche in einem sicherheitsrelevanten Bereich eingesetzt werden.

2. Automatisierte und kooperative Fahrzeugführung

Im automatisierten Fahren lässt sich neben den extremen Fällen des vollständig manuellen Fahrens und des vollautomatisierten Fahrens ein Spektrum von verschiedenen Ausprägungen der Assistenz- bzw. Automationsunterstützung definieren. Aufbauend auf Grundlagenforschung z.B. in den DFG-Projekten H-Mode und dem EU-Projekt HAVEit sind im Verlauf der letzten Jahre mehrere Definitionen hierzu vorgenommen worden, welche sich zwar im Detail teilweise unterscheiden, allerdings in Grundzügen ähnliche Stufen innerhalb dieses Spektrums definieren. Zu nennen sind hier unter anderem die Definition der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt - Gasser et al., 2011), die Einordnung der NHTSA (NHTSA, 2013) oder die Definition der SAE (SAE J 3016). Insbesondere in den teil-automatisierten Bereichen (BASt: teil-automatisiert; SAE: Level 2 bis Level 3) wird die Fahrzeugführung in Teilen parallel vom Menschen und dem technischen System übernommen. Einerseits kann hierbei nach dem direkten Fahreingriff, der Überwachung und der Rückfallebene und andererseits nach der hiermit zusammenhängenden Verantwortung unterschieden werden. Weiterhin sind ebenfalls Konfigurationen denkbar und sinnvoll, in denen Mensch und Technik – systemergonomisch optimiert – gemeinsam die Fahrzeugführung übernehmen. Auf diese Art und Weise kann der menschliche Fahrer durch die Technik unterstützt und entlastet werden, ohne dass auf die Fähigkeiten des Menschen in Bereichen, in denen er der Technik überlegen ist, verzichtet werden muss. So kann es zum Beispiel zum Erreichen von automatisierungsseitigen Systemgrenzen kommen, an denen die menschliche Situationserfassung und Situationsbeurteilung unbedingt für eine sichere Lösung einer problematischen Fahrsituation nötig ist. Eine umfassendere Diskussion des Zusammenhangs Autorität, Fähigkeit, Kontrolle und Verantwortung findet sich in (Flemisch et al. 2011). Einen umfassenden Ansatz hierzu stellt die kooperative Fahrzeugführung (z.B. Flemisch et al. 2014) dar, in der die Fahraufgabe vom Menschen und einer Automation gemeinsam ausgeführt werden kann. Hierbei muss das technische System in der Lage sein, mit dem Menschen zusammenzuarbeiten, was besondere Anforderungen an die Gestaltung der Automation selbst, aber auch an die eingesetzten Interaktionskonzepte, mit sich bringt. Beispiele für eine kooperative Fahrzeugführung sind Conduct-by-Wire oder der auf der H(orse)-Metapher basierende H-Mode (z.B. Flemisch et al., 2003; Altendorf et al., 2015), welche in verschiedenen DFG-Forschungsprojekten untersucht und weiterentwickelt wurden.

Durch diesen großen Anteil der Automation in der Fahrzeugführung, was natürlich ebenfalls hoch sicherheitsrelevante Aspekte umfasst, ist neben der technischen Funktionalität der entwickelten Systeme auch die Akzeptanz von Seiten der Anwender von überragender Bedeutung: Ohne eine ausreichende Nutzungsabsicht der Fahrerinnen und Fahrer ist ein Erfolg dieser Technologien im Sinne einer weiten Technologiediffusion nicht möglich. Ein entscheidender Aspekt der kooperativen Führung ist die Verteilung der Kontrolle: Dabei wird nicht nur die Funktionsweise des Systems, sondern auch die subjektive Wahrnehmung des Nutzers entscheidend beeinflusst.

3. Technologieakzeptanz

Ob eine Technologie eingesetzt wird oder nicht, liegt in der Hand der Nutzerinnen und Nutzer, genauer gesagt an ihrer Akzeptanz hierfür. Seit mehreren Jahrzehnten

werden Modelle entwickelt, welche die Akzeptanz neuer Technologien operationalisiert beschreiben. Basierend auf dem „Technology Acceptance Model (TAM)“ von Davis (1989, 1993), wurden im Laufe der Jahre zahlreiche Weiterentwicklungen und Adaptionen erarbeitet. Dem TAM liegt die Theorie der „Reasoned Action“ zugrunde (Fishbein & Ajzen, 1975), wobei davon ausgegangen wird, dass die generelle Einstellung einer Person zu einer Technologie sich auf die Nutzungsabsicht bzw. die tatsächliche Nutzung auswirkt. Diese Einstellung wird im ursprünglichen Modell durch die Bedienungs- bzw. Benutzungsfreundlichkeit (ease of use) und die wahrgenommene Nützlichkeit (perceived usefulness) operationalisiert. Während das ursprüngliche TAM primär auf Technologie-Akzeptanz im Kontext des Arbeitsplatzes bezogen ist, sind in den darauf folgenden Jahren zahlreiche Adaptionen für verschiedene Nutzungskontexte entstanden. Eine dieser Adaptionen für Konsumenten stellt das Modell zur „Consumer Acceptance of Technology“ (CAT) dar (Kulviwat et al., 2007), welches die affektiven Faktoren der PAD-Theorie (Mehrabian und Russel, 1974), Freude, Erregung und Dominanz (Pleasure, Arousal, and Dominance – PAD) berücksichtigt (Kulviwat et al., 2007). Das CAT-Modell verwendet somit sowohl die kognitiven Faktoren des TAM Modells als auch die affektiven Faktoren der PAD-Theorie. Im Bereich der Automobilforschung schlagen Osswald et al. (2012) ein angepasstes „Car Technology Acceptance Model“ vor, welches auf dem allgemeinen „User Acceptance of Information Technology“ Modell von Venkatesh et al. (2003) basiert.

Der Anwendungsfall des automatisierten Fahrens ist möglicherweise näher am Konsumenten-Kontext als an der Arbeitsplatzumgebung angesiedelt, enthält jedoch grundlegende Aspekte beider Bereiche. Trotzdem ist anzunehmen, dass zur Untersuchung der Nutzerakzeptanz in diesem speziellen Anwendungsfall eine hierauf angepasste Methodik nötig ist.

Die subjektiv wahrgenommene Kontrolle über die Fahrzeugführung und damit über das Fahrgeschehen lässt sich im Sinne der PAD-Theorie als der Faktor Dominanz beschreiben. Definitorisch kann man diese als subjektive Wahrnehmung der Beeinflussbarkeit bzw. der Kontrolle über die Umgebung formulieren. So liegt die Annahme nahe, dass beim hochautomatisierten Fahren die wahrgenommene Dominanz (negativ) mit der mittelbaren und der unmittelbaren Kontrolle über das Fahrer-Fahrzeug-System korreliert. In der automatisierten Fahrzeugführung entspricht die Kontrolle weitgehend dem gewählten Automationsgrad, bzw. lässt sich durch diesen, wie später gezeigt, operationalisieren. Im Zusammenhang mit Akzeptanzuntersuchungen in jenem Bereich stellt diese affektive Komponente aus mindestens zwei Gründen eine relevante Dimension dar: Zum einen besteht hier, wie beschrieben, durch die Kontrolle ein direkter Zusammenhang zur Fahrzeugführung und zum anderen beeinflusst dieser Affekt wesentlich die Einstellung bzw. Reaktion einer Person auf ein Produkt oder auf eine Marke (z.B. Yani-de-Soriano und Foxall, 2006).

4. Experimentaldesign und empirische Auswertung

Die Untersuchung wurde mit 20 Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmern im November und Dezember 2014 durchgeführt. Die Altersspanne reichte von 20 bis 54, mit einem mittleren Alter von 26.5 (SD = 7.0) vollendeten Lebensjahren. Sämtliche Teilnehmer verfügten über eine in Deutschland gültige Fahrerlaubnis (Führerschein-Klasse B oder gleichwertig). Die zugrundeliegenden

Hypothesen und der genaue Untersuchungsgegenstand wurden erst nach Ende des Versuches mitgeteilt, vor dem Versuch wurden jedoch alle Teilnehmer über eventuelle Risiken und die Möglichkeit, die freiwillige Teilnahme jederzeit abbrechen zu können, aufgeklärt. Die Gesamtdauer des Versuches lag bei ca. 100 Minuten. Das Experiment fand in einem statischen Fahrsimulator Im Exploroscope am Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen statt. Die Fahrumgebung wurde in einer modifizierten Version des Open-Source-Projekts „Rigs of Rods“ simuliert, die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion und eingesetzte Automatisierung sind eigenständige Applikationen und Eigenentwicklungen des Instituts. Hierbei kam eine stark angepasste Version des teil- und hochautomatisierten H-Mode zum Einsatz, in welcher die grundlegenden Funktionen des H-Mode verwendet werden, jedoch die Automationsgrade für das Versuchsdesign abweichend vom Original definiert wurden. Das Experiment wurde in einem „Zwei-mal-zwei-within-subject-Design“ durchgeführt und bestand aus insgesamt vier Blöcken von Simulatorfahrten, welche mit einem Latin-Square Verfahren permutiert wurden. Zusätzlich hatten alle Teilnehmer die Möglichkeit, sich in einer Eingewöhnungsfahrt an den Simulator zu gewöhnen.

Tabelle 1: Experimentaldesign mit vier Bedingungen für die Fahrblöcke.

Kontrolle	Verkehrsaufkommen	
	hoch	niedrig
niedrig (höhere Automation)	A	B
hoch (niedrigere Automation)	C	D

Nach jeder Fahrt im Simulator wurde ein Fragebogen beantwortet, der die Dimensionen wahrgenommene Dominanz (Mehrabian und Russell, 1974), wahrgenommene Sicherheit (Osswald et al., 2012), wahrgenommene Beanspruchung (Zijlstra und Van Doorn, 1985), Einstellung zur Nutzung (Kulviwat et al., 2014) und Nutzungsabsicht (MacKenzie et al., 1986) adressierte. Die hier eingesetzten Skalen bzw. Subskalen basieren auf evaluierten Fragebögen der einschlägigen Literatur.

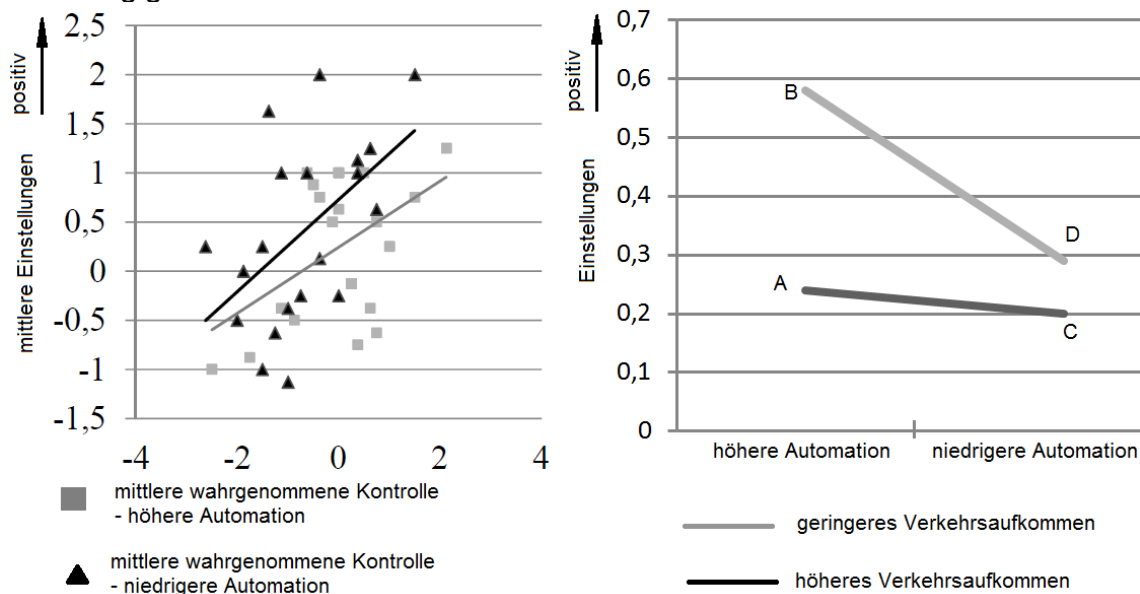


Abbildung 2 links: Mittlere Einstellung und wahrgenommene Kontrolle (Regression). rechts: mittlere Einstellung für geringere bzw. höhere Kontrolle durch den Fahrer (entspricht höherer bzw. niedrigerer Automationsunterstützung)

Beide im Experiment gezielt manipulierten unabhängigen Variablen, Kontrolle (Automationsgrad) und Verkehrsaufkommen zeigen signifikante Haupteffekte. Die Veränderung des Automationsgrades in Richtung einer Hoch-Automatisierung wirkt sich signifikant auf die subjektive Kontrollwahrnehmung aus ($p=0.036$, $r=0.46$), wodurch sich die wahrgenommene Kontrolle im Einklang mit dem Experimental-design operationalisieren lässt. Erwartungsgemäß korrelieren Einstellung zur Technologie und Nutzungsabsicht ebenfalls signifikant ($p < 0.001$, $r = 0.77$) miteinander.

Die wahrgenommene Dominanz und die Einstellung zu der präsentierten Technologie korrelieren ebenfalls signifikant positiv miteinander ($r = 0.53$, $p= 0.013$, Abbildung 2, links). Allerdings zeigte sich trotzdem beim höheren Automationsgrad im Mittel eine positivere Einstellung der Teilnehmer als beim geringeren Automationsgrad. Dies lässt sich durch die wahrgenommene Sicherheit erklären, welche beim höheren Automatisierungsgrad größer war ($M = 0.66$ – höhere Automation vs. $M = 0.17$ – niedrigere Automation).

5. Diskussion

Basierend auf bewährten Akzeptanzmodellen aus dem Bereich der Konsumentenforschung, insbesondere dem oben erwähnten „Consumer Acceptance of Technology“, lässt sich ein angepasstes Modell für den Kontext des automatisierten und kooperativen Fahrens ableiten. Hierbei werden die Affekte der PAD-Theorie ebenso berücksichtigt wie die eher gebrauchstauglichkeitsnäheren Dimensionen, welche als kognitive Faktoren in das Modell eingehen. Die signifikanten Einflussfaktoren des abgeleiteten Modells für automatisiertes und kooperatives Fahren sind in Abbildung 2 dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass dies somit nicht ein vollständiges Akzeptanzmodell darstellt, sondern die notwendige Erweiterung des CAT-Modells abbildet.

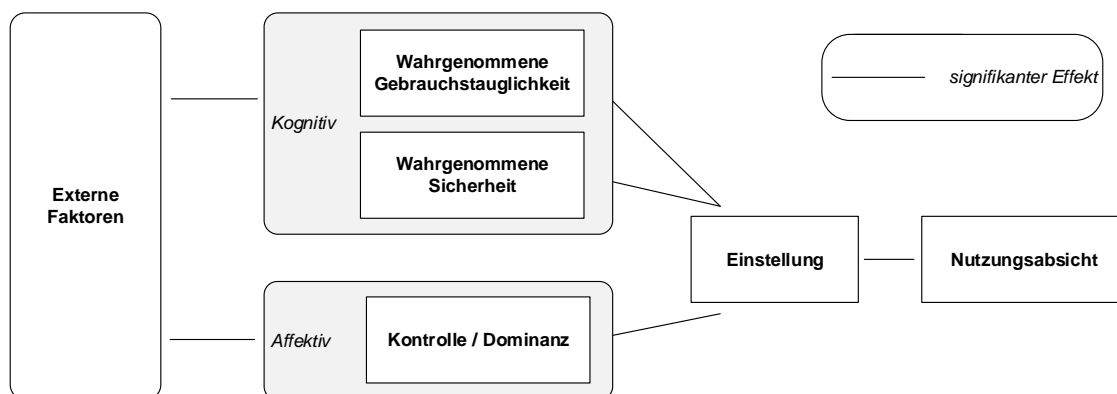


Abbildung 4 In der Studie als signifikant nachgewiesene Zusammenhänge des angepassten Akzeptanzmodells zur automatisierten Fahrzeugführung

Ausgehend vom „Consumer Acceptance of Technology“-Modell von Kulwivat et al. (2007), schlagen wir eine Erweiterung und Anwendung auf die automatisierte bzw. kooperative Fahrzeugführung vor. Diese leiten sich aus kognitiven Einflüssen (wahrgenommene Gebrauchstauglichkeit, wahrgenommene Sicherheit) sowie der PAD-Theorie (Kontrolle/Dominanz) ab. In einer Simulatorstudie konnten die Faktoren überprüft werden, wobei sich ihr Einfluss auf die Einstellung zur Technologie und die daraus abgeleitete Nutzungsabsicht als signifikant manifestierte. Besonders interessant ist hierbei u.a. das Ergebnis, dass mehr Kontrolle durch den menschlichen

Fahrer zwar positiv mit der Einstellung zu der verwendeten Technologie, also der Automationsunterstützung, korreliert, aber auch unabhängig von der Einstellung zur Technologie in kritischen Fahrsituationen eine sichere Automation und die damit verbundene geringere Kontrolle durch den Menschen besser bewertet wird.

6. Literatur

- Altendorf, E., Baltzer, M., Kienle, M., Meier, S., Weißgerber, T., Heesen, M., & Flemisch, F. (2015). H-Mode 2D. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz, & C. Singer (Eds.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (pp. 1123-1138). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Bubb, H.: Systemergonomische Gestaltung. In: Schmidtke, H. (Hrsg.) *Ergonomie*. Carl Hanser, München (1993)
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*. 13 (3), 319-340. doi: 10.2307/249008
- Davis, F. D. (1993). User acceptance of information technology: system characteristics, user perceptions and behavioral impacts. *International Journal of Man-Machine Studies*. 38 (3), 475-487. doi: 10.1006/imms.1993.1022
- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). *Belief, Attitude, Intention and Behavior: An Introduction to Theory and Research*. Reading, USA: Addison-Wesley.
- Flemisch, F. O.; Adams, C. A.; Conway, S. R.; Goodrich, K. H.; Palmer, M. T. & Schutte, M. C. (2003) The H-Metaphor as a Guideline for Vehicle Automation and Interaction. Report No. NASA/TM-2003-212672. Hampton, NASA Research Center
- Flemisch, F., Heesen, M., Hesse, T., Kelsch, J., Schieben, A., & Beller, J. (2012). Towards a dynamic balance between humans and automation: authority, ability, responsibility and control in shared and cooperative control situations. *Cognition, Technology & Work*, 14(1), 3-18.
- Flemisch, F.O., Bengler, K., Winner, H., & Bruder, R.: (2014). Towards a cooperative guidance and control of highly automated vehicles: H-mode and conduct-by-wire. *Ergonomics*, Journal-Publikation. Taylor & Francis. (2014)
- Gasser, T. M., 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., und Vogt, W. (2012). Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung - Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe. *Fahrzeugtechnik F 83*, Bundesanstalt für Straßenwesen (bast).
- Kulviwat, S., Bruner II, G. C., & Neelankavil, J. P. (2014). Self-efficacy as an antecedent of cognition and affect in technology acceptance. *Journal of Consumer Marketing*. 31 (3), 190 – 199. doi: 10.1108/JCM-10-2013-0727
- Kulviwat, S., Bruner II, G.C., Kumar, A., Nasco, S. A., & Clark, T. (2007). Toward a Unified Theory of Consumer Acceptance Technology. *Psychology & Marketing*, 24, 1059-1084. doi: 10.1002/mar.20196
- MacKenzie SB, Lutz RJ, Belch GE (1986) The Role of Attitude toward the Ad as a Mediator of Advertising Effectiveness: A Test of Competing Explanations. *J Marketing Research*, 23 (2), 130-143.
- Mehrabian A, Russell JA (1974) *An Approach to Environmental Psychology*. Cambridge, MIT Press.
- NHTSA (2013) Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles, National Highway Traffic Safety Administration
- Osswald, S., Wurhofer, D., Trösterer, S., Beck, E., & Tscheligi, M. (2012). Predicting Information Technology Usage in the Car: Towards a Car Technology Acceptance Model. *Proceedings of the 4th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, USA*. doi: 10.1145/2390256.2390264
- SAE J 3016 (2014) Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems, Society of Automotive Engineers
- Vander Werf, S. Shladover, M. Miller, & N. Kourjanskaia (2002). Effects of Adaptive Cruise Control Systems on Highway Traffic Flow Capacity. *Transportation Research record: Journal of the Transportation Research Board*, 1800 (02-3665), 78–84. Doi: 10.3141/1800-10
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS quarterly*, 425-478.
- Yani-de-Soriano, M. M., & Foxall, G. R. (2006). The emotional power of place: The fall and rise of dominance in retail research. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 13(6), 403-416.
- Zijlstra, F. R. H., & Van Doorn, L., (1985). The Construction of a Scale to Measure Subjective Effort. Technical Report. Delft University of Technology.