

Nachhaltige Effekte simulatorbasierten Trainings auf eine ökologische Fahrweise

Cornelia LÜDERITZ, Maria WIRZBERGER, Katja KARRER-GAUß

*Institut für Psychologie und Arbeitswissenschaft,
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme, TU Berlin
Marchstraße 23, D-10587 Berlin*

Kurzfassung: Simulationsbasiertes Fahrtraining ist ein vielversprechender Weg, um unter kontrollierten, vergleichbaren Bedingungen ökologisches Fahrverhalten zu vermitteln. Im Rahmen einer Untersuchung mit 23 Berufskraftfahrern wurde die Wirksamkeit eines solchen Trainings überprüft. Zur Prüfung des Trainingspotentials wurde das Fahrverhalten der Trainingsgruppe aus einer angeleiteten Trainingsfahrt mit dem aus einer Baseline-Fahrt verglichen. Die Nachhaltigkeit wurde mit einer Wiederholungsfahrt geprüft, die 10 Wochen später stattfand. Aus den Fahrdaten ging ein verminderter Kraftstoffverbrauch durch ökologisches Fahren sowohl im Training als auch 10 Wochen später hervor. Auch die Fahrtzeit verringerte sich innerhalb des Trainings signifikant und blieb nach 10 Wochen unter dem Niveau der Baseline-Fahrt. Ergebnisse zum Transfereffekt wurden nicht signifikant. Gründe können in der geringen Stichprobengröße sowie in Verzerrungen der Daten durch Fahrfehler liegen.

Schlüsselwörter: Simulation, ökologisches Fahrtraining, Berufskraftfahrer

1. Einleitung

In der Debatte um umweltschonendes und ressourcensparendes Fahren erhält das Thema des wirtschaftlich ökologischen Fahrtrainings insbesondere für große Fuhrunternehmen an Bedeutung. Eine Kostenanalyse von Wittenbrink (2011) zeigte, dass der Anteil der Kraftstoffkosten im Lkw-Fernverkehr zunimmt und im Jahr 2007 beispielsweise bereits mehr als 25 % der Gesamtkosten ausmachte. Möglichkeiten, Kraftstoff einzusparen, sind technisch, organisational und individuell möglich: Hierzu zählen eine Optimierung der Verkehrsstruktur, eine verbesserte Technik der Fahrzeuge sowie ein Training der Fahrzeugführer (Thijssen, Hofman & Ham, 2014). Insbesondere zur Vermittlung eines kraftstoffsparenden Fahrstils durch Schulungen wurden viele Untersuchungen durchgeführt (vgl. Strömberg & Karlsson, 2013; Symmons & Rose, 2009). Üblicherweise werden bei den Trainings Fähigkeiten wie das richtige Beschleunigungs- und Schaltverhalten zur Drehzahlverringern sowie richtiges Bremsen und Ausnutzen von Rollphasen geschult (Baric, Zovak & Perisa, 2013). Einige Studien beziehen sich dabei auf Trainings, die rein theoriebasiert durchgeführt werden. Andere verwenden Realfahrten zur Vermittlung einer ökologischen Fahrweise. Simulatoren zur Schulung ökologischen Fahrverhaltens stellen eine Alternative dar, die viele Vorteile bietet. Trainingssituationen können vergleichbar gestaltet und je nach Trainingsbedarf unter kontrollierten Bedingungen so häufig wie nötig wiederholt werden. Während des Trainings im Simulator kann zeitnah das genaue Verhalten des Fahrers in Bezug auf den Zeitpunkt und das

Ausmaß an Brems- oder Gaspedalbetätigungen erfasst werden, sodass unmittelbar Rückmeldung zum Verhalten des Fahrers gegeben werden kann.

In der vorliegenden Studie soll ein simulatorgestütztes Trainingskonzept zur Schulung einer wirtschaftlich ökologischen Fahrweise bei Lastkraftfahrern auf seine Wirksamkeit untersucht werden. Im Fokus der Betrachtung stehen dabei drei Schwerpunkte der Trainingsevaluation:

1. *das Potential des Trainings*, das eine Aussage über das Ausmaß der Leistungsentwicklung des Fahrers innerhalb der Trainingssituation zulässt. Hierbei soll untersucht werden, inwieweit sich das Fahrverhalten durch das Training zu einer ökologischeren Fahrweise hin verbessert.
2. *die Nachhaltigkeit des Trainings*, die auf langfristige Effekte abzielt. Es wird untersucht, ob das Training langfristig, in diesem Fall nach 10 Wochen, zu einer erfolgreichen Anwendung der vermittelten Verhaltensweisen bei Lastkraftfahrern führt.
3. *der Transfer des Gelernten auf unbekannte Situationen*. Hierbei werden zwei Fragestellungen betrachtet: Werden die vermittelten Verhaltensweisen von den Fahrern auch auf einer ihnen unbekanntem Strecke im Simulator angewendet? Hat das Training Auswirkungen auf das reale Fahrverhalten im beruflichen Umfeld?

Neben der Erfassung des Kraftstoffverbrauchs wurde zudem die Fahrtzeit erhoben. Thijssen, Hofman & Ham (2014) berichteten einen signifikanten Anstieg der Fahrtzeit nach einer Trainingsintervention zum ökologischen Fahren. Durch eine Erhöhung der Fahrtzeit entstehen jedoch Nachteile in Form von verlängerten Lieferzeiten und damit zusätzlichen Kosten für das Unternehmen. Aus diesem Grund wurde untersucht, ob eine Trainingsintervention zum ökologischen Fahren sich auf die Fahrtzeit auswirkt.

2. Methodik

2.1 Stichprobe

23 männliche Berufskraftfahrer eines Fuhrunternehmens nahmen an der Studie teil. 13 der Fahrer (Alter: $M=43,54$ Jahre, $SD=7,32$ Jahre) absolvierten das Training im Simulator. Die übrigen 10 Fahrer blieben ungeschult und bildeten die Kontrollgruppe (Alter: $M=47,8$ Jahre, $SD=10,09$ Jahre).

2.2 Simulation

Für die Trainingsevaluation wurde ein mobiler Lkw-Fahrsimulator „DriveSim mobile“ der Firma SiFaT-Road Safety GmbH verwendet. Der Simulator ist klimatisiert und gegen äußere Geräuschquellen isoliert. Des Weiteren verfügt er über ein verbautes Bewegungssystem zur Simulation von Motorenbewegungen und Bremsvorgängen. Die Fahrerkabine entspricht der eines Mercedes-Benz Actros. Mittels Rücklichtprojektion wird das Szenario auf eine Projektionsleinwand von 180° Sichtfeld projiziert. Über den Operator-Raum werden während der angeleiteten Fahrt die Anweisungen vom Trainer per Audio zeitnah zu den Trainingsereignissen durchgegeben. Der Operator-Raum verfügt über alle Ansichten des Fahrers, über eine Ansicht zur Streckenregulierung sowie über eine dynamische Anzeige zur

Überprüfung der Betätigung von Gas- und Bremspedal des Fahrers während der Fahrt. Simuliert wurde ein Kraftfahrzeug mit zwei Achsen langem Radstand und Deichselanhänger, ähnlich dem der Baureihe des Realfahrzeugs, mit einer Beladung von 32 Tonnen. Die simulierten Strecken enthielten Abschnitte im Stadtverkehr mit Ampelkreuzungen und Kreisverkehrsplätzen sowie auf Kraftfahrstraßen.

2.3 Ablauf

Zur Untersuchung der Fragestellungen wurde, wie in Abbildung 1 ersichtlich, die Studie in zwei zeitliche Abschnitte aufgeteilt: den Trainingsfahrten und den Validierungsfahrten. Zwischen den beiden Erhebungszeitpunkten lag ein Zeitraum von 10 Wochen.

Die *Trainingsfahrten* bestanden aus einer Einführungsfahrt und zwei Messfahrten: der Baseline- (1) und der angeleiteten Fahrt (2). Ziel der Trainingsfahrten war es zum einen, das Potential ökologischen Fahrens bezüglich der Kraftstoffeinsparung zu demonstrieren, indem ein Vergleich von dem bis dato aufgezeigten Fahrverhalten von Berufskraftfahrern (Baseline-Fahrt 1) nach einer kurzen theoretischen Einweisung zu einer Fahrt mit ökologischer Fahrweise (angeleitete Fahrt 2) gezogen wird. Beide Fahrten erfolgten auf derselben simulierten Strecke, um eine direkte Vergleichbarkeit zu ermöglichen.

Ziel der *Validierungsfahrten* war die Prüfung langfristiger Lerneffekte des Trainings. Zu diesem Zweck sollten die bereits trainierten Fahrer erneut die simulierte Strecke befahren (Wiederholungsfahrt 3), um einen Vergleich zum ursprünglichen Fahrverhalten aus der Baseline-Fahrt ziehen zu können. Gleichzeitig erlaubt ein Vergleich der Wiederholungsfahrt zur angeleiteten Fahrt im Rahmen des Trainings eine Aussage über die Ausschöpfung des Einsparpotentials ohne Hilfestellung durch einen Trainer nach einem gewissen Zeitraum.

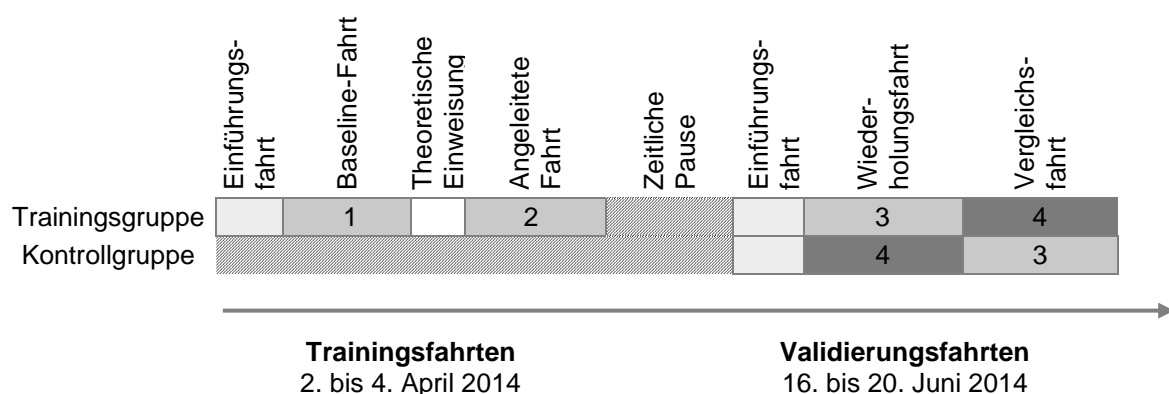


Abbildung 1: Die geplanten Versuchsfahrten in zeitlicher Abfolge. Identische Strecken sind durch eine gemeinsame Farbgebung gekennzeichnet.

Da potentielle Lerneffekte durch wiederholtes Befahren derselben Strecke auftreten könnten, war methodisch gesehen ein weiterer Vergleich auf einer neuen Strecke (Vergleichsfahrt 4) zwischen trainierten und untrainierten Fahrern notwendig. Durch diesen Vergleich ist es möglich, einen gewünschten Transfereffekt des Gelernten auf neue Situationen aufzuzeigen. Die Vergleichsfahrt ist eine für die Fahrer unbekannte Strecke, die inhaltlich ähnliche Elemente aus den ersten

Strecken enthält. Damit ist gewährleistet, dass erlerntes Wissen aktiviert wird, das jedoch gleichzeitig auf neue Gegebenheiten angewendet werden muss. Die beiden Fahrtstrecken waren 8 bis 10 Kilometer lang.

Um untersuchen zu können, ob die vermittelten Verhaltensweisen auch im realen Straßenverkehr ihre Anwendung finden, wurde zusätzlich der Kraftstoffverbrauch aus den Realfahrdaten für die Monate Januar bis Mai betrachtet.

3. Ergebnisse

Zur Untersuchung des Trainingspotentials wurde varianzanalytisch in einem within-design der Kraftstoffverbrauch aus der Baseline-Fahrt mit dem aus der angeleiteten Fahrt verglichen. Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Tabelle 1 aufgelistet. Ein signifikanter Effekt für das Trainingspotential ($F(1,9)=48,924$, $p<.01$) konnte ermittelt werden, was sich in einem vermindertem Kraftstoffverbrauch zeigt. Die Fahrtzeit wurde auf dieselbe Weise untersucht und ein signifikanter Effekt in Form kürzerer Fahrtzeiten in der angeleiteten Fahrt im Vergleich zur Baseline-Fahrt gefunden ($F(1,9)=10,089$; $p<.05$).

Auch die langfristigen Effekte des Trainings wurden varianzanalytisch überprüft, indem der Kraftstoffverbrauch aus der Baseline-Fahrt mit dem der Wiederholungsfahrt verglichen wurde. Es ergibt sich ein signifikanter Effekt für die angenommene Nachhaltigkeit des Trainings ($F(1,9)=7,811$; $p<.05$), d.h., auch nach 10 Wochen ist der Kraftstoffverbrauch nach dem Training geringer. Ein Vergleich des Kraftstoffverbrauchs aus der angeleiteten und der Wiederholungsfahrt ergab ebenso einen signifikanten Effekt ($F(1,9)=11,64$; $p<.01$).

Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichungen von Kraftstoffverbrauch und Fahrtzeit der Trainingsgruppe für die identischen Simulationsstrecken.

| Fahrt | Kraftstoffverbrauch(l/100km) | | Fahrtzeit (Min.) | |
|--------------------|-------------------------------|------|------------------|------|
| | M | SD | M | SD |
| Baseline-Fahrt | 30,20 | 2,15 | 9,78 | 0,59 |
| Angeleitete Fahrt | 25,29 | 0,72 | 9,34 | 0,31 |
| Wiederholungsfahrt | 27,83 | 2,22 | 9,60 | 0,46 |

Zur Untersuchung des Transfereffektes wurde die Leistung der Trainingsgruppe mit der der Kontrollgruppe verglichen (Tabelle 2). Der Effekt wurde jeweils für den Verbrauch und die Fahrtzeit aus den Vergleichsfahrten varianzanalytisch in einem between-design überprüft. Beim Kraftstoffverbrauch zeigt sich kein signifikanter Effekt ($F(1,18)=1,249$; $p=.278$). Auch für die Fahrtzeit ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen der Kontroll- und der Trainingsgruppe: $F(1,18)=0,167$; $p=.688$.

Tabelle 2: Mittelwerte und Standardabweichungen von Kraftstoffverbrauch und Fahrtzeit beider Gruppen für die Vergleichsfahrt.

| Gruppe | Kraftstoffverbrauch(l/100km) | | Fahrtzeit (Min.) | |
|-----------------|-------------------------------|------|------------------|------|
| | M | SD | M | SD |
| Trainingsgruppe | 32,78 | 1,76 | 9,00 | 0,48 |
| Kontrollgruppe | 31,55 | 3,00 | 8,84 | 1,17 |

Um zu untersuchen, ob das Training einen Einfluss auf das Fahrverhalten im Realverkehr ausübt, wurde die Trainingsgruppe mit der Kontrollgruppe im Hinblick auf den Kraftstoffverbrauch aus den Realfahrten der Monate Januar bis Mai 2014 verglichen. Aufgrund fehlender Daten konnten nur neun Datensätze aus jeder Gruppe miteinander verglichen werden. Varianzanalytisch wurden die Daten von März und April der beiden Gruppen in einem 2x2 mixed between-within design untersucht. Dabei ergab sich ein signifikanter Haupteffekt für die Zeit ($F(1,16)=8,043$; $p<.05$), jedoch nicht für Gruppenunterschiede ($F(1,16)=0$; $p=1$). D. h., dass sich der Kraftstoffverbrauch nach der Trainingsintervention reduzierte, was jedoch in beiden Gruppen der Fall war. Ein möglicher Interaktionseffekt wurde ebenso nicht signifikant: $F(1,16)=0,371$; $p=.551$.

Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichungen des Kraftstoffverbrauchs aus den Realfahrten

| Gruppe | Kraftstoffverbrauch (l/100km) | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------------------|------|---------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | Januar | | Februar | | März | | April | | Mai | |
| | M | SD | M | SD | M | SD | M | SD | M | SD |
| Trainingsgruppe | 32,7 | 1,19 | 31,62 | 2,44 | 31,99 | 1,43 | 29,79 | 3,89 | 31,44 | 1,92 |
| Kontrollgruppe | 32,5 | 2,15 | 30,83 | 2,57 | 31,60 | 2,51 | 30,18 | 2,12 | 31,24 | 2,11 |

4. Diskussion

Bereits durch kurze, angeleitete Trainingseinheiten in einem Fahrsimulator konnte das Trainingspotential und die Nachhaltigkeit des Trainings im Fahrverhalten gezeigt werden: Der Kraftstoffverbrauch verringert sich unter Anleitung um 16 bis 21 %, auch langfristig nach 10 Wochen um 8 %. Die Kraftstoffeinsparung ging nicht mit höheren Fahrtzeiten einher, sondern verringerte sich im Gegenteil ebenfalls signifikant und blieb in der Wiederholungsfahrt unter dem Niveau der Baseline-Fahrt. Entgegen der Ergebnisse von Thijssen, Hofman & Ham (2014) führt ein ökologisches Fahrtraining nicht zu einer erhöhten Fahrtzeit und damit einhergehenden finanziellen Nachteilen, die den entstandenen Vorteil durch den verringerten Kraftstoffverbrauch nivellieren würden. In ihrer Studie beziehen sich die Autoren jedoch nur auf die Vermittlung von Fähigkeiten in Bezug auf das Brems- und Rollverhalten und berücksichtigen nicht die Vielzahl weiterer Verhaltensweisen des ökologischen Fahrstils, wie bspw. das Verhalten während einer Beschleunigungssituation.

Der angenommene Transfereffekt konnte nicht bestätigt werden: Sowohl in der Vergleichsfahrt, als auch im realen Straßenverkehr wurde in der trainierten Gruppe nicht signifikant mehr Kraftstoff eingespart. Die Aussagekraft der Ergebnisse zum Transfereffekt ist jedoch kritisch zu betrachten, da während der Erhebung der Realfahrdaten Störeinflüsse wie Wetter- und Auftragslage nicht kontrolliert werden konnten. Einen weiteren Einfluss, der sich auf die Ergebnisse ausüben könnte, stellt der motivationale Aspekt dar. Eine Einsparung an Kosten durch den reduzierten Kraftstoffverbrauch ist in erster Linie für das Unternehmen von Interesse (Thijssen, Hofman & Ham, 2014). Die Förderung der Motivation des Fahrers spielt damit eine wichtige Rolle bezüglich der weiteren Anwendung der erlernten Kenntnisse.

Während der Vergleichsfahrten kam es zu Abweichungen in den Daten durch Fahrfehler, bspw. durch zu spätes Erkennen sowie Überfahren einer roten Ampel. Diese Aspekte erschweren den Vergleich zwischen Kontroll- und Trainingsgruppe.

Die allgemeine Aussagekraft der Ergebnisse wird durch die kleine Stichprobe eingeschränkt sowie zusätzlich durch Ausfälle aufgrund von Simulatorübelkeit.

5. Fazit und Ausblick

Zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs und des Verschleißes sollte beim Fahrer ein ökologisches Bewusstsein geschaffen werden, was üblicherweise in Schulungsmaßnahmen erfolgt. Das Potential von Simulatortrainings liegt darin, kontrollierte Bedingungen zu schaffen, in denen dem Fahrer der unmittelbare Nutzen seiner Verhaltensänderungen in ausgewählten Fahrsituationen anhand von konkreten Zahlen veranschaulicht werden kann. Der Trainingserfolg scheint mit zunehmender Dauer abzunehmen und auch nicht unmittelbar auf das reale Fahrverhalten übertragen zu werden. Eine technische Unterstützung der Fahrerschulung zur Vermittlung ökologischer Fahrweisen muss nicht auf simulatorbasierte Trainingseinheiten beschränkt bleiben. Neuere Ansätze versuchen, direkt im Fahrzeug das erworbene Wissen zu festigen. Langfristige Effekte werden mithilfe von Assistenzsystemen angestrebt (Staubach et al., 2013; Daun et al., 2013), indem während der Fahrt Empfehlungen an den Fahrer weitergegeben werden. Ein anderer Ansatz prüft die Effekte von haptischem Feedback des Brems- bzw. Gaspedals (Birrell, Young & Weldon, 2013).

6. Literatur

- Baric, D., Zovak, G., Perisa, M. (2013) Effects of Eco-Drive Education on the Reduction of Fuel Consumption and CO₂ Emissions. *Promet – Traffic&Transportation* 25:265-272.
- Birrell, S. A., Young, M. S., Weldon, A. M. (2013) Vibrotactile pedals: provision of haptic feedback to support economical driving. *Ergonomics*, 56:282-292.
- Daun, T. J., Braun, D. G., Frank, C., Haug, S., Lienkamp, M. (2013) Evaluation of Driving Behavior and the Efficacy of a Predictive Eco-Driving Assistance System for Heavy Commercial Vehicles in a Driving Simulator Experiment. 16th International Annual Conference on Intelligent Transportation Systems, October 6-9, 2013, The Hague, The Netherlands.
- Staubach, M., Scheibitz, N., Köster, F., Kuck, D. (2013) Evaluation of an eco-driving support system. *Transportation Research Part F* 27:11-21.
- Stillwater, T., Kurani, K. S. (2013) Drivers discuss ecodriving feedback: Goal setting, framing and anchoring motivate new behaviors. *Transportation Research Part F* 19:85-96.
- Strömberg, H. K., Karlsson, I.C. M. (2013) Comparative effects of eco-driving initiatives aimed at urban bus drivers – Results from a field trial. *Transportation Research Part D* 22:28-33.
- Symmons, M. A., Rose, G. (2009) Ecodrive training delivers substantial fuel savings for heavy vehicle drivers. 5th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design, June 22-26, 2009, Big Sky, Montana.
- Tijssen, R., Hofman, T., Ham, J. (2014) Ecodriving acceptance: An experimental study on anticipation behavior of truck drivers. *Transportation Research Part F* 22:249-260.
- Wittenbrink, P. (2011) Transportkostenmanagement im Straßengüterverkehr: Grundlagen - Optimierungspotentiale - Green Logistics. Wiesbaden: Gabler Verlag.