

## Zusammenfassung auf Deutsch

Die vorliegende Arbeit wurde mit dem Ziel verfasst, einen Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit auf Landstraßen zu leisten. Landstraßen sind die gefährlichste Straßenkategorie, wenn die Anzahl der Getöteten betrachtet wird (Statistisches Bundesamt, 2007). Dies ist auf die Spezifika dieser Straßenkategorie in Kombination mit dem dort gezeigten Fahrverhalten zurückzuführen (OECD, 1999). Damit ist eine Erhöhung der Verkehrssicherheit nur möglich, wenn gleichzeitig straßen- und situationsseitige Merkmale und deren Wirkung auf das menschliche Verhalten betrachtet werden.

Ausgangspunkt der Arbeit war zunächst die Zusammenfassung vorliegender Forschungsbefunde und die darauf aufbauende Entwicklung eines eigenen psychologischen Modells zum Fahren auf Landstraßen. Die Validierung des Modells erfolgte anhand einzelner daraus abgeleiteter Hypothesen in drei empirischen Untersuchungsschritten.

Im ersten Schritt der empirischen Validierung wurde untersucht, wie unterschiedliche Landstraßen und deren Wahrnehmung die dort zu fahrende angemessene Geschwindigkeit beeinflussen. Dazu wurden 21 Landstraßenphotos von 46 Probanden nach verschiedenen Merkmalen beurteilt. Die Beurteilung der Wahrnehmung erfolgte mit einer deutschen Version der von Steyvers (Steyvers, 1993, 1998; Steyvers, Dekker, Brookhuis, & Jackson, 1994) entwickelten Road Environment Construct List (RECL).

Voraussetzung einer reliablen Erfassung der Merkmale war die Übereinstimmung der Faktorenstruktur der deutschen Version der RECL mit der Originalversion. Bei dieser vorangestellten Überprüfung zeigten sich jedoch deutliche Unterschiede. Mögliche Ursachen dafür werden im Text diskutiert, wobei auch auf die statistischen Hintergründe faktorenanalytischer Methoden eingegangen wird. Aufgrund dieser Ergebnisse habe ich mich entschlossen die Analyse von Wahrnehmungsaspekten nachfolgend auf zwei „Marker-Items“ zu beschränken. Die Auswahl der Marker-Items „gefährlich“ und „monoton“ erfolgte theoriebasiert und anhand statistischer Kenngrößen. Eine regressionsanalytische Überprüfung des Einflusses der Marker-Items auf die beurteilte angemessene Geschwindigkeit ergab hochsignifikante Einflüsse. Die gesamte Varianzaufklärung war zudem nicht wesentlich geringer als die ursprünglichen Berechnungen mit aus allen Items abgeleiteten Faktoren (Weller, Schlag, Friedel, & Rammin, 2008).

In einem weiteren Auswertungsschritt dieser im Labor erhobenen Daten wurde mit einfachen strukturanalytischen Modellen überprüft, inwieweit differentielle Faktoren bei der Beurteilung der Landstraßen und der angemessenen Geschwindigkeit beteiligt sind. Diese Frage war nicht nur für das Modell relevant, sondern hätte abhängig von den Ergebnissen auch Konsequenzen für die Gestaltung von Landstraßen. Unter Verwendung der Organismusvariable „Alter“ konnte für eine ausgewählte Stichprobe von Landstraßen, neben dem indirekten Einfluss über die Wahrnehmung, zusätzlich ein direkter Einfluss auf die Geschwindigkeit nachgewiesen werden (partial mediation model, James, Mulaik, & Brett, 2006). Wegen des statistisch relativ schwachen Befundes und der Beschränkung auf ausgewählte Landstraßen erfolgte zu diesem Zeitpunkt keine Integration der Befunde in das bestehende Modell.

Im zweiten empirischen Untersuchungsschritt wurden Fahrversuche im Simulator des Fraunhofer IVI durchgeführt (N = 50). Ziel dieses Erhebungsschrittes war die experimentelle Untersuchung des Einflusses einzelner Gestaltungsmerkmale von Kurven und geraden Streckenabschnitten. Neben den abhängigen Variablen Wahrnehmung und Erwartung hinsichtlich eines angemessenen Verhaltens war es nun auch möglich tatsächlich gefahrene Geschwindigkeiten (wenn auch simuliert) in die Modellvalidierung zu integrieren. Darüber hinaus erlaubte das experimentelle Design die Formulierung und Überprüfung von Hypothesen.

Vor der eigentlichen Datenauswertung musste sichergestellt werden, dass die im Simulator erhobenen Daten als Proxy für reales Verhalten geeignet waren. Dies erfolgte zunächst über vorangestellte Auswertungen zur Überprüfung des Einflusses verschiedener Störvariablen. Hauptsächlich gelang der vorläufige Nachweis der externen Validität in einer Analyse der Daten unter Berücksichtigung von Geschwindigkeitsprognosemodellen nach Lamm et al. (2007).

Die eigentliche hypothesengeleitete Analyse der Daten erbrachte einen hoch signifikanten Einfluss sowohl der Umfeldgestaltung von Geraden als auch einzelner Gestaltungselemente im Sinne von Cues (Posner, Snyder, & Davidson, 1980) oder Signalen (Hacker, 2005) bei Kurven. Von besonderem Interesse ist hier das Ergebnis, dass eine Geschwindigkeitsverringerung nicht nur durch formale Warnschilder erfolgte, sondern auch durch eine Verringerung der Sichtdistanz in der Kurve.

Für die im Modell angenommene Wirkungskette, ausgehend von objektiven Merkmalen, deren bewusster Wahrnehmung und daraus abgeleiteten Erwartungen hin zum tatsächlichen Verhalten, ergaben sich unterschiedliche Befunde für Kurven und Geraden. Während die Annahmen für Kurven gut bestätigt werden konnten, war das Geschwindigkeitsverhalten auf Geraden nicht durch die bewusste Wahrnehmung, erhoben mit Ratings, zu erklären. Hingegen lieferte der optische Fluss nach Gibson (1986) den theoretischen Hintergrund zur Erklärung der Resultate für Geraden.

Entsprechend diesen Ergebnissen erfolgt eine Erweiterung des bestehenden Modells um einen zweiten direkten Einfluss von Streckenmerkmalen auf das Verhalten.

Die Verhaltenssteuerung über diesen Pfad erfolgt weitestgehend über den optischen Fluss und perzeptuelle Invarianten wie time-to-collision oder tau (Gibson, 1986). Dieser Pfad kann wegen seiner ständigen optischen Rückmeldungen als closed-loop control bezeichnet werden. Er steht damit im Gegensatz zum Voraus gerichteten indirekt gesteuerten Pfad der einen open-loop darstellt. Über diesen Pfad werden Verhaltensanpassungen gesteuert, die vor der eigentlichen Situation und deswegen ohne direkte Rückmeldung erfolgen.

Als Kontrollinstanz zur Auswahl eines der beiden Pfade zur Steuerung des Verhaltens wird ein Aufmerksamkeitsmonitor angenommen, ähnlich den Aufmerksamkeits-Checks im GEMS von Reason (1990) oder dem subjektiven Risiko Monitor im Modell von Näätänen & Summala (1974). Über diesen Aufmerksamkeitsmonitor wird entschieden, ob sich die voraus liegende Situation von der aktuellen Situation unterscheidet oder unerwartete Ereignisse eine Anpassung des Verhalts erforderlich machen.

Ähnlich den Laborversuchen erfolgte auch in den Simulatorversuchen eine Überprüfung des Einflusses von Personenmerkmalen auf das Verhalten. Während der Einfluss von Organismusvariablen bei der Beurteilung der im Labor erhobenen Geschwindigkeitserwartungen noch teilweise über die Wahrnehmung der Streckenmerkmale erfolgte, wurde für die im Simulator erhobenen Daten nur noch ein direkter Einfluss auf das Verhalten gefunden. Damit war dieser Einfluss erst zu einem späten Zeitpunkt wirksam und muss als Kalibrierungsfaktor nachfolgend der Wahrnehmung verstanden werden. Wie bei der Erweiterung des Modells um den zweiten Pfad, wird das Modell um den direkten Einfluss von Personenmerkmalen auf das Verhalten ergänzt. Da diese Erweiterungen post-hoc erfolgten, bedürfen sie der experimentellen Validierung in zukünftigen Versuchen.

Der dritte empirische Erhebungsschritt im Rahmen dieser Arbeit befasste sich mit dem Einfluss des Verhaltens auf Unfälle. Dazu wurden mit 16 Probanden Fahrversuche im Feld mit dem Messfahrzeug des Lehrstuhls für Straßenplanung der TU Dresden durchgeführt. Im Modell wird angenommen, dass es zu Unfällen kommt, sobald das tatsächliche Verhalten vom angemessenen Verhalten abweicht. Im hier verwendeten Untersuchungsparadigma wurden Kurven mit einer hohen Unfallrate mit geometrisch ähnlichen Kurven, jedoch geringerer Unfallrate verglichen. Das gemessene Verhalten in den Kurven mit niedriger Unfallrate wurde als angemessenes Verhalten definiert und diente als Referenz für das Verhalten in Kurven mit hoher Unfallrate. Auf der gefahrenen Strecke nördlich von Dresden lagen vier Kurven mit hoher Unfallrate. Der Kurs wurde sowohl in Hin- als auch in Rückrichtung gefahren und erstreckte sich damit auf insgesamt etwa 80 Kilometer.

Unter Rückgriff auf Homöostasemodelle des Fahrverhaltens (Fuller, 2005; Fuller, McHugh, & Pender, 2008; Wilde, 1988, 2001) wurde Verhalten nicht nur über die Geschwindigkeit definiert, sondern auch über die Beanspruchung und die Blickbewe-

gung. Im vorliegenden Fall wurde die Beanspruchung über die Reaktionszeiten auf eine visuelle Nebenaufgabe erhoben. Das Blickverhalten wurde mit Hilfe des im Messfahrzeug integrierten berührungslosen Messsystem Smart Eye ermittelt.

Hypothetisch angenommene Unterschiede im Verhalten ließen sich nicht finden. Erklärt wird dies mit unterschiedlichen Modellannahmen der Unfallentstehung. Die Versuche wurden unter der Annahme durchgeführt, dass Unfälle durch eine Veränderung des durchschnittlichen Verhaltens in Richtung kritisches Verhalten entstehen. Dies war zumindest für die untersuchten Kurven nicht der Fall. Dort ist offenbar eine deutliche Abweichung des Verhaltens weniger Fahrer die Unfallursache, nicht die Veränderung des Durchschnittsverhaltens. Eine empirische Bestätigung der Modellannahmen hinsichtlich Unfallentstehung konnte damit nicht erbracht werden.

Eine indirekte Validierung der Annahmen zur Unfallentstehung erfolgte mit einer zusätzlichen Auswertung des Einflusses der Kurvigkeit von Einzelkurven auf die Beanspruchung und die Geschwindigkeit. Mit zunehmender Kurvigkeit zeigte sich sowohl eine Abnahme der Geschwindigkeit als auch eine Zunahme der Beanspruchung. Das gleichzeitige Auftreten beider Befunde spricht gegen die Annahme homöostatischer Prozesse beim Kurvenfahren. Die bekannten Zusammenhänge zwischen Kurvigkeit und Unfallgeschehen (Elvik & Vaa, 2004) in Kombination mit diesen Ergebnissen lassen vermuten, dass der im Modell angenommene Zusammenhang zwischen Verhalten und Unfällen besteht, auch wenn er in der vorangegangenen Auswertung nicht nachgewiesen werden konnte.

Unabhängig von dem Modell wurde in einer weiteren zusätzlichen Auswertung untersucht, wie sich die Bearbeitung der Zweitaufgabe auf das Blickverhalten auswirkt. Es zeigte sich, dass das Blickverhalten eine eindeutige Zuordnung, ob mit oder ohne Nebenaufgabe gefahren wurde, ermöglicht. Dieses Ergebnis ist vor allem für die Entwicklung zukünftiger Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsysteme relevant.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass mit dem Nachweis zweier Wirkpfade der Verhaltenssteuerung beim Fahren auf Landstraßen eine gezielte Verhaltensbeeinflussung über die optische Gestaltung des Umfeldes und der Streckenmerkmale möglich ist. Damit ergeben sich weitgehende Möglichkeiten zur Reduzierung der Unfallzahlen, was mit dem eingangs formulierten Ziel dieser Arbeit in Einklang steht.