

Implementierung der Pkw-Telematik in die Kfz-Versicherungstarifizierung – Ein Analyse-Ansatz für Fahrprofile

VON WILTRUD WEIDNER, HANNOVER, ROBERT WEIDNER, HAMBURG,
FABIAN W.G. TRANSCHEL, HANNOVER

1. Einleitung

Die Konsequenzen des technischen Fortschritts wie Assistenzsysteme und die technische Voraussetzung für das autonome Fahren werden in den nächsten Jahren starken Einfluss auf die Produktlandschaft und das Geschäftsmodell der Kraftfahrzeugversicherung haben. Neben dem zunehmenden, deregulierungsbedingten Preiswettbewerb im beitragsmäßig größten Versicherungszweig der deutschen Schaden- und Unfallversicherung werden neue Technologien die Pricingstrategien und Produktentwicklung maßgeblich bestimmen. Im Zusammenhang mit einem risikoadäquaten Pricing sowie einer differenzierten Produktgestaltung stehen bereits die technischen Entwicklungen im Bereich der Telematik im Fokus. Die Pkw-Telematik basiert üblicherweise auf einer mit einem GPS-Modul kombinierten Blackbox zur Aufzeichnung spezifischer Informationen zur Fahrzeugnutzung und zum individuellen Fahrverhalten. Die auf Basis der Telematik exakt erstellten, individuellen Risikoprofile bilden die Grundlage für neue Versicherungsmodelle in der Kfz-Versicherung wie die Pay-How-You-Drive (PHYD)-Tarifizierung (vgl. z.B. Gerpott und Berg 2012; Fried-

Anschriften der Verfasser:

Wiltrud Weidner
Leibniz Universität Hannover
Institut für Versicherungsbe-
triebslehre
Otto-Brenner-Straße 1,
30159 Hannover

ww@ivbl.uni-hannover.de

Dr. Robert Weidner
Helmut-Schmidt-Universität/
Universität der Bundeswehr Hamburg
Institut für Konstruktions- und Ferti-
gungstechnik
Holstenhofweg 85,
22043 Hamburg

robert.weidner@hsu-hh.de

Fabian W.G. Transchel
Leibniz Universität Hannover
Institut für Theoretische Physik
Appelstraße 2,
30167 Hannover

fabian.transchel@itp.uni-hannover.de

richs 2013).¹ Sie erlauben es Versicherern, an bestimmten Kundensegmenten ausgerichtete Produkte zu gestalten, welche dann spezifisch bepreist werden können. Telematiktarife bzw. versicherungstelematische Produkte können in einem zunehmend gesättigten Markt, in dem Wachstum kaum noch möglich ist, als Kundenbindungsinstrumente eingesetzt werden.

Versicherungskonzepte aus dem Ausland zeigen, dass die Technik und ihre Anwendung bereits weit fortgeschritten sind (vgl. z.B. Ippisch et al. 2007; Gerpott und Berg 2012). In den USA und Großbritannien sind Pay-As-You-Drive (PAYD)-Modelle bei den Versicherern wie Progressive, State Farm, Insurethebox und Co-operative Insurance fest etabliert. Versicherer wie die S-Direkt und die VHV sammeln derzeit erste Erfahrungen auf dem deutschen Kfz-Markt.

Ausführungen zu telematischen Versicherungslösungen finden sich seit dem letzten Jahrzehnt vermehrt in der wissenschaftlichen Literatur, sind allerdings aufgrund der neuartigen Thematik immer noch selten und allgemein gehalten. Oberholzer (2003), Ippisch et al. (2007), Lee (2008), Gerpott und Berg (2012) und Friedrichs (2013) behandeln überwiegend die Grundzüge und Voraussetzungen der PHYD-Tarifierung sowie deren Auswirkungen auf das Geschäftsmodell eines Versicherers. Vonseiten der technischen Literatur stellt Coroma (2006) einen Prototyp zur individualisierten Messung von Kosten im Zusammenhang mit dem Verkehr vor. Jun et al. (2005) beschreiben Glättungsverfahren, die darauf abzielen, die Auswirkungen von GPS-Zufallsfehlern auf die Wegstrecke, Geschwindigkeit und geschätzten Beschleunigungsprofile zu begrenzen. In Weidner und Weidner (2014) wird der Aspekt der Gestaltbarkeit der Datenqualität vor dem Hintergrund von systematischen Fehlern aufgegriffen. Iqbal und Lim (2006) präsentieren einen Ansatz eines Board-Zahlungssystems, welcher die Privatsphäre des Fahrzeugführers über eine anonyme Zahlungsweise der Versicherungsprämie schützt. Des Weiteren führen die Autoren die Erzeugung individueller Fahrprofile basierend auf GPS-Daten beispielhaft vor (vgl. Iqbal und

¹ Die in der Literatur meist genannten Versicherungsvarianten sind die Pay-As-You-Drive (PAYD)-Tarifizierung und Pay-How-You-Drive (PHYD)-Tarifizierung. Erstere beruht auf der Betrachtung der Fahrzeugnutzung, zweite bezieht darüber hinaus das Fahrverhalten mit ein (vgl. z.B. Iqbal und Lim 2006; Lee 2008; Pletziger 2012). Der vorliegende Beitrag bezieht sich überwiegend auf das PHYD-Versicherungskonzept.

Lim, 2010). Empirische Studien zu konkreten Tarifierungsansätzen unter Einbindung von Telematikdaten sind indessen sehr begrenzt. Jun et al. (2007, 2011) sowie Kremslehner und Muermann (2013) weisen auf die Relevanz des Fahrverhaltens für die Vertragsgestaltung und das Risiko hin. In Toledo et al. (2008) werden Risikokennzahlen anhand riskanter Fahrmanöver ermittelt. Im Gegensatz dazu führen Paefgen et al. (2013) einen Klassifikationsansatz für aggregierte PAYD-Tarifierungsmerkmale ein. Ansätze zur Gestaltbarkeit der Auswertung von Fahrprofilen auf Basis der zur Verfügung stehenden begrenzten Daten, und insbesondere ohne Rückgriff auf eine in Verbindung mit Telematikdaten in der Praxis bisher nicht aufgebauten Schadenhistorie, wurden bislang überhaupt nicht thematisiert.

In dieser Arbeit werden Fahrprofile anhand des Fahrverhaltens analysiert, um im weiteren Forschungsverlauf risikobasierte Prämien für Telematik-Tarife ohne Einschluss einer Schadenhistorie in Bezug auf Telematikdaten herleiten zu können. Die Analyse basiert auf einer umfangreichen Datenbasis über 10.000 Fahrprofile, die mithilfe eines stochastischen Simulationsmodells erstellt wurde. Bei simultaner Betrachtung von Geschwindigkeitsabläufen und Beschleunigungsverhalten werden dabei sechs Fahrstile differenziert, die die Grundlage für eine allgemeine Risikokategorisierung bilden.

Der Rest des Beitrags ist wie folgt aufgebaut: In Kapitel 2 wird die gegenwärtige Situation der Kfz-Versicherung sowie ihrer Tarifizierung dargestellt. In Kapitel 3 wird die Methodik der zugrundeliegenden Generierung der Fahrprofile sowie deren Auswertung erläutert. Kapitel 4 veranschaulicht die Differenzierung von Fahrstilen in einer Simulationsstudie, wobei abschließend die Konsequenzen für die Tarifizierung der Kfz-Versicherung diskutiert werden.

2. Hintergrund

Die Prämienkalkulation in der deutschen Kraftfahrzeugversicherung basiert auf zahlreichen Faktoren – so vielen wie in keinem anderen Versicherungszweig der deutschen Schaden- und Unfallversicherung. Die Komplexität der Tarife ist stark durch das Spannungsfeld aus Wettbewerb und Profitabilität getrieben. Die Tarifizierung erfolgt anhand von subjektiven und objektiven Tarifmerkmalen wie der Kilometer-, Schadenfreiheits- oder Typklasse unter

Anwendung aktueller Methoden basierend auf Statistiken und Wahrscheinlichkeiten (vgl. z.B. Heep-Altiner und Klemmstein 2001). Typischerweise sind dies Merkmale, die leicht messbar sind. Einige, wie die jährliche Fahrleistung, sind jedoch im Einzelfall nur schwer nachprüfbar.

Über die festgelegten Tarifkriterien wird versucht, die Risikoprofile annähernd abzubilden. Allerdings können Versicherer auf diese Weise nicht alle Details zu den Risiken erfassen. Insbesondere sind zur Beobachtung von Fahrverhaltensweisen und Fahrzeugnutzungsarten weitere Kriterien, z.B. das Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverhalten, die Tageszeit, in der das Fahrzeug gefahren wird, oder der Straßentyp, der am meisten genutzt wird, erforderlich.

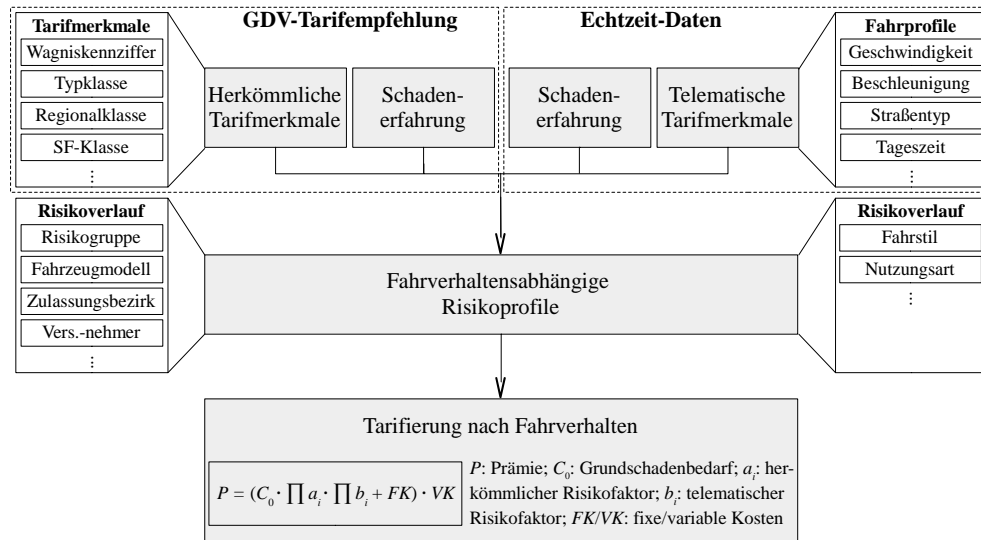
Vollkommene Informationen liegen höchstens dem Versicherungsnehmer vor, nicht aber dem Versicherungsunternehmen. Diese unvollkommenen, ungleich verteilten Informationen charakterisieren das Verhältnis zwischen Versicherten und Versicherer und führen zum bekannten Problem der Informationsasymmetrie. Daraus resultiert die Gefahr der adversen Selektion und des Moral Hazard (vgl. z.B. Akerlof 1970; Alger und Ma 2003): Die Informationsasymmetrie vor Zeitpunkt des Vertragsabschlusses hat zur Folge, dass der Versicherer die fehlenden Daten nicht in der Prämie abbilden kann und somit günstigen sowie ungünstigen Risiken hinsichtlich der fehlenden Informationen dieselben Vertragskonditionen anbieten muss. Nach Vertragsabschluss kann die Nichtberücksichtigung der Fahrweise und der Fahrzeugnutzung für den Versicherungsnehmer hingegen ein Grund für leichtfertiges Verhalten im Straßenverkehr sein.

Versicherer müssen versuchen, die Informationen zu den übernommenen Risiken laufend aktuell und umfassend zu halten, um Veränderungen von Verhaltensweisen und Zuständen reflektieren zu können. Eine aktuarielle Weiterentwicklung der Tarifierungsverfahren, begleitet von einer Steigerung der Anzahl und Qualität tarifrelevanter Merkmale, steht daher im Interesse der Versicherer (vgl. z.B. Laas et al. 2014). Dies kann im Rahmen eines PHVD-Konzeptes erfolgen, welches Informationen über die Fahrzeugnutzer und -nutzung erfasst sowie auswertet, und damit eine im Vergleich zu herkömmlichen Tarifmerkmalen ergänzende Datenbasis für eine individuellere sowie risikoadäquatere Prämiengestaltung

liefert, wie sie in Abbildung 1 dargestellt ist (vgl. z.B. Coroma und Höckl 2004; Ippisch et al. 2007; Weidner und Weidner 2014). Erforderlich ist dazu ein im Fahrzeug fest installiertes oder ein mobil mitzuführendes sensorik- und standortverarbeitendes technisches System (vgl. z.B. Ippisch et al. 2007; Gerpott und Berg 2012). Durch diese Telematikeinheit gesammelte Informationen betreffen signifikante Einflussfaktoren auf die Unfallzahlen wie z.B. Fahrtzeiten, das Beschleunigungsverhalten, Geschwindigkeitsabläufe, Witterungsverhältnisse und den Straßentyp (vgl. z.B. Oberholzer 2003; Zantema et al. 2008; Gerpott und Berg 2012).

Die Berücksichtigung von Variablen des Fahrverhaltens und der Fahrsituation ermöglicht es Versicherern, individuelle Risikoprofile besser widerzuspiegeln und erlaubt eine nutzenbasierte sowie verhaltensabhängige Kalkulation, die zu einer aus versicherungsmathematischer Sicht ausgeprägteren Prämiendifferenzierung führt. PHYD-Tarife bieten den Vorteil einer günstigeren Versicherungsprämie bei situationsangepasstem Fahrverhalten, wohingegen die Prämie bei einer riskanten Fahrweise steigt.

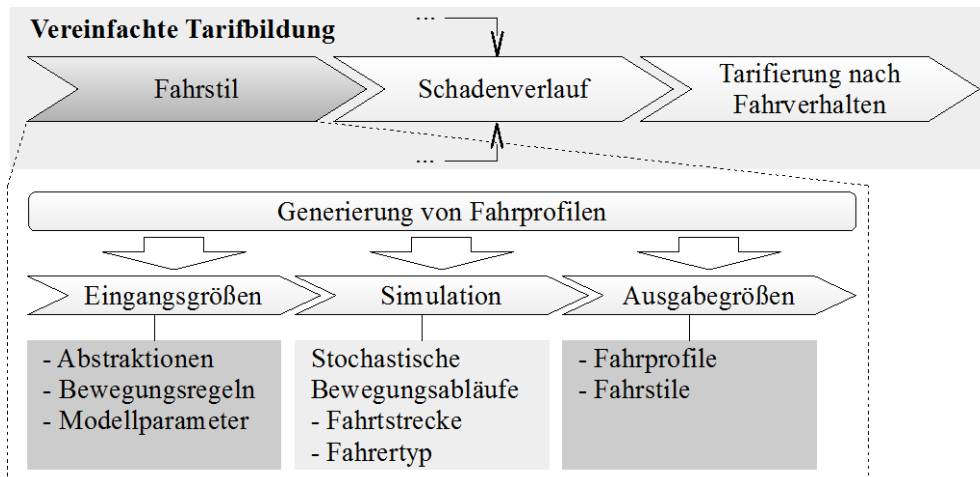
Abbildung 1: Darstellung der fahrverhaltensabhängigen Tarifierungsmethodik



3. Methodik

Im Fokus steht die Bewertung von Fahrprofilen zur Schaffung der Voraussetzungen zur Implementierung der Pkw-Telematik in die Tarifikalkulation der Kfz-Versicherung. Zur Erzielung einer hohen Präzision und großen Variationsbreite an Fahrprofilen wird die Datenbasis über eine umfangreiche stochastische Simulation gebildet; dieses Vorgehen schließt technische Fehlerquellen, z.B. aufgrund von Betriebs- und Wartungsproblemen oder einer geforderten hohen Sensitivität, aus. In einem Simulationslauf werden simultan zufällige Fahrtstrecken und Fahrertypen generiert, aus denen sich spezifische Fahrprofile ableiten lassen. Die allgemeine Vorgehensweise ist in Abbildung 2 dargestellt und wird im Anschluss näher erläutert. Vorab werden zunächst Modellanforderungen und Bewegungsregeln aufgestellt.

Abbildung 2: Modellstruktur zur Generierung von Fahrprofilen



Abstraktionen

Zunächst sind einige Abstraktionen erforderlich, um die Simulation von realitätsnahen Bewegungsmustern zu ermöglichen:

- Zeitlich diskretes System: Die Bewegung lässt sich in Bewegungs- und Ruhephasen zerlegen. Das Fahrzeug bewegt sich entlang einer Folge von

Wegpunkten fort, an denen es jeweils eine bestimmte Zeit verharret. Die Strecke zwischen zwei Wegpunkten ist durch eine spezifische Geschwindigkeit charakterisiert. Zustandsübergänge, die zu bestimmten Zeitpunkten erfolgen, werden mit einer zeitlich diskreten Simulation abgebildet; zwischen den einzelnen Zeitpunkten bleiben die Zustandsgrößen konstant. Diese Verallgemeinerung ist insbesondere vor dem Hintergrund sinnvoll, dass GPS-basierte Telemetrie typischerweise ein solches Format aufweist.

- **Mikroskopisches Modell:** Im Vordergrund steht das Bewegungsmuster einzelner Fahrzeuge basierend auf dem individuellen Fahrverhalten des Fahrzeugführers sowie auf den technischen Eigenschaften des Fahrzeugs. Der Detaillierungsgrad ist daher so zu wählen, dass die Erfassung einer Fahrer-Fahrzeug-Einheit möglich ist; die Verkehrsströme und der Verkehrsablauf spielen dabei eine untergeordnete Rolle. Das Verhalten der einzelnen Fahrer-Fahrzeug-Einheit mit ihren individuellen Eigenschaften kann über eine mikroskopische Simulation nachgebildet werden (vgl. z.B. FGSV 2006).
- **Stochastischer Prozess:** In der Verkehrsmobilität sind die Verkehrsteilnehmer (Fahrer-Fahrzeug-Einheiten) sowie Rahmenbedingungen (Wetter, Verkehrsstaus und Verweildauern) stochastischer Natur. Die Geschwindigkeit, Fahrtrichtung und Wartezeit sind nicht-deterministische Variablen, zu deren Abbildung stochastische Prozesse eingesetzt werden müssen.

Bewegungsregeln

Des Weiteren werden folgende Bewegungsregeln getroffen, um die Gegebenheiten des Straßenverkehrs realitätsnah abzubilden:

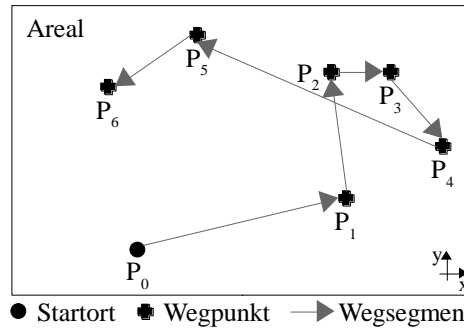
- **Höchstgeschwindigkeit:** Das Fahrzeug passt seine Geschwindigkeit in Abhängigkeit von seiner Wunschgeschwindigkeit an die angegebene Geschwindigkeitsbegrenzung bzw. Richtgeschwindigkeit an. Limitierende Faktoren wie die Verkehrsdichte oder der Straßentyp können über die Richtgeschwindigkeit widerspiegelt werden.

- Beschleunigung/Bremsverzögerung: Fahrzeuge stoppen und bewegen sich nicht übergangslos. Ein Fahrzeug beschleunigt zu Beginn bzw. verzögert die Bewegung gegen Ende eines Wegsegments (Streckenabschnitt zwischen zwei Wegpunkten) linear um eine individuelle Beschleunigungsrate bis zur Erreichung der segmentspezifischen Höchstgeschwindigkeit bzw. bis zum Stillstand.
- Verweildauer: An Hindernissen wie z.B. (Ampel-)Kreuzungen, Zebrastreifen oder Staus verharret das Fahrzeug eine spezifische Wartezeit.
- Distanz: Die Länge des zurückgelegten Weges ist definiert als die Summe der Längen der Wegsegmente.

Stochastische Bewegungsabläufe

Zur Simulation der stochastischen Bewegungsabläufe (siehe exemplarisch Abbildung 3) wird in diesem Beitrag ein Fahrzeug-Mobilitäts-Modell eingesetzt; in der Literatur wird eine Vielzahl von Mobilitäts-Modellen diskutiert. In der Physik und Finanzmathematik sind der Random Walk und die Brownsche Bewegung als beschreibende Approximation an die Realität vorherrschend (vgl. z.B. Hänggi und Marchesoni 2005). Im Bereich der drahtlosen Kommunikationsnetzwerke (vgl. Guérin 1987; Johnson und Malz 1996; Zonoozi und Dassanayake 1997; Markoulidakis et al. 1997; Bettstetter 2001) und des Verkehrsmanagements (vgl. Heidemann 1989; Nagel und Schreckenberg 1992; Briesemeister und Hommel 2010; Helbing 2001) wurden zahlreiche Modellvarianten entwickelt. In diesem Beitrag erfolgt die Modellbildung nach dem Random Waypoint (RWP) Prinzip², eingeführt durch Johnson und Malz (1996), welches den genannten Abstraktionen und Bewegungsregeln in leicht modifizierter Form adäquat gerecht wird.

² Bettstetter et al. (2004) geben einen Überblick über das RWP-Modell und zeigen wesentliche stochastische Eigenschaften auf.

Abbildung 3: Veranschaulichung der Random-Waypoint-Bewegung

Das RWP Modell beschreibt die Bewegung einer Fahrer-Fahrzeug-Einheit in einem bestimmten Areal. Als Areal wird ein begrenztes, ebenerdiges Rechteck $[0, a] \times [0, b] \subset \mathbb{R}^2$ betrachtet.³ Die räumliche Anordnung der zweidimensionalen Wegpunkte $\mathbf{P} = (P_x, P_y)$ ist durch eine Gleichverteilung gegeben. Zu Simulationsbeginn wird für einen RWP-Knoten j , $j = 1, 2, 3, \dots, m$, stellvertretend für eine Fahrer-Fahrzeug-Einheit, ein zufälliger Startpunkt $\mathbf{P}_0^{(j)}$ gewählt. Anschließend wird eine Folge von Wegpunkten $\mathbf{P}_i^{(j)}$, $i \in \mathbb{N}$, aus dem Areal bestimmt. Die Bewegungsabfolge eines RWP-Knotens j kann formal als zeitlich diskreter Prozess beschrieben werden (vgl. z.B. Bettstetter et al. 2004):

$$\{P_i^{(j)}\}_{i \in \mathbb{N}_0} = P_0^{(j)}, P_1^{(j)}, P_2^{(j)}, \dots$$

An den Wegpunkten $\mathbf{P}_i^{(j)}$ verharret der Knoten j jeweils eine zufällige Zeit (Wartezeit) $T_{p,i}$. Hierzu wird zu Beginn eines jeden Schrittes normalverteilt eine Wartezeit $t_{p,i} \in [0, t_{p,\max}]$ mit $t_{p,\max} < \infty$ bestimmt. Die Bewegung von \mathbf{P}_{i-1} zu \mathbf{P}_i erfolgt mit einer zufälligen Geschwindigkeit V_i . Die Geschwindigkeit am Punkt $r_{i,k}$, $k = 0, 1, 2, \dots, n_i$, ergibt sich aus einer segment-spezifischen nominalen Geschwindigkeit v_i und einer persönlichen Komponente $v(r_{i,k})$:

$$v_i(r_{i,k}) = v_i \cdot v(r_{i,k}).$$

Die nominale Geschwindigkeit v_i wird gleichverteilt aus dem Intervall $[v_{\min}, v_{\max}]$ bestimmt, wobei $v_{\min} > 0$ und $v_{\max} < \infty$ gewählt sind. Sie ist durch externe Faktoren wie die angegebene Geschwindigkeitsbeschränkung bzw. Richtgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Stra-

³ Technisch lässt sich ein zweidimensionaler Random Walk einfach umsetzen und später unproblematisch auf tatsächliche GPS-Daten adaptieren. Die dritte Dimension wird hier ohne Beschränkung der Allgemeinheit ausgelassen.

ßentyp und der Verkehrsdichte vorgegeben. Die persönliche Komponente $v(r_{i,k})$ basiert auf spezifischem Fahrer- sowie Fahrzeugtyp. Durch Einbezug dieser internen Einflussfaktoren kann die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der individuellen Fahrerwunschgeschwindigkeit und der spezifischen Beschleunigungsrate der Fahrer-Fahrzeug-Einheit angepasst werden. Mit dieser Erweiterung des RWP-Modells kann die Bewegung auf einer Teilstrecke verzögert bzw. beschleunigt werden. Eine Bewegungsperiode i wird damit komplett über den Vektor $(\mathbf{p}_{i-1}, \mathbf{p}_i, v_i(r_{i,k}), t_{p,i})$ beschrieben.

Fahrprofile und charakterisierende Kennzahlen

Auf Grundlage der simulierten Bewegungsabläufe werden in einem letzten Schritt spezifische Fahrprofile erstellt. In Analogie zum stochastischen Prozess als Abbild der Bewegungsabfolge eines RWP-Knotens j ist der stochastische Prozess der Abstände zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wegpunkten gegeben durch (vgl. z.B. Bettstetter et al. 2004):

$$\{L_i^{(j)}\}_{i \in \mathbb{N}} = L_1^{(j)}, L_2^{(j)}, L_3^{(j)}, \dots,$$

mit $L_i^{(j)} = \|P_i^{(j)} - P_{i-1}^{(j)}\|_2 = \left((P_{x,i}^{(j)} - P_{x,i-1}^{(j)})^2 + (P_{y,i}^{(j)} - P_{y,i-1}^{(j)})^2 \right)^{1/2}$. Eine Realisierung dieses Prozesses wird geschrieben als $\{L_i^{(j)}\}$, wobei sich $L_i^{(j)}$ weiter zerlegen lässt in Teilstreckenabschnitte $\{s_{i,k}^{(j)}, k = 0, 1, 2, \dots, n_i\}$ in Abhängigkeit von der gewählten Abtastfrequenz.⁴ Aus den zeitlich äquidistanten Tupeln $(s_{i,k}, v_i(r_{i,k}))$, $i \in \mathbb{N}_0$, $k = 0, 1, 2, \dots, n_i$, kann ein Geschwindigkeits-Weg-Profil erstellt werden, wobei für die Wartezeiten $t_{p,i}$ die Tupel $(0, 0)$ entsprechend einzufügen sind. Die Geschwindigkeit des Fahrzeugs zwischen zwei Wegpunkten ist nicht konstant, sodass die Abtastfrequenz f_A einen entscheidenden Einfluss auf die Güte des Geschwindigkeitsprofils hat.

Im Allgemeinen gilt, dass Details nur dann (ausreichend) genau erfasst werden, wenn die Abtastfrequenz entsprechend hoch ist. Ist die Abtastfrequenz klein, kann es sein, dass Geschwindigkeitsveränderungen nicht abgebildet werden (vgl. Weidner und Weidner, 2014). Zur Ermittlung eines Geschwindigkeitsverlaufes können die Abtastungen ggf. als Stützpunkte für eine lineare Interpolation gewählt werden.

⁴ Die Abtastfrequenz f_A beschreibt die Zahl der vorhandenen Abtastungen pro Sekunde (vgl. Werner 2012). Insofern stellt sie ein Qualitätsmerkmal für die Auflösung der GPS-Signale dar.

Für die mittlere Geschwindigkeit zwischen den Wegpunkten \mathbf{P}_{i-1} zu \mathbf{P}_i gilt (vgl. z.B. Meschede 2010):

$$\bar{v}_i = \frac{\sum_{k=1}^{n_i} s_{i,k}}{\sum_{k=1}^{n_i} t_{i,k}}, i \in \mathbb{N},$$

mit der Zeit $t_{i,k}$ für den Teilstreckenabschnitt $s_{i,k}$. Bei einem ausreichend kleinem Abtastintervall t_A [s] kann $t_{i,k} = 1/t_A$ gesetzt werden, sodass sich die Formel vereinfacht zu:

$$\bar{v}_i = \frac{1}{n_i} \cdot t_A \cdot \sum_{k=1}^{n_i} s_{i,k}, i \in \mathbb{N}$$

Das Beschleunigungsprofil ergibt sich aus der ersten Ableitung der Geschwindigkeits-Zeit-Funktion (vgl. z.B. Meschede 2010):

$$a_i(r_{i,k}) = \dot{v}_i(t, r_{i,k}), i \in \mathbb{N}_0, k = 0, 1, 2, \dots, n_i.$$

Die mittlere positive bzw. negative Beschleunigung pro Beschleunigungsvorgang zwischen den Wegpunkten \mathbf{P}_{i-1} zu \mathbf{P}_i lässt sich dann wie folgt ermitteln:

$$\bar{a}_i = \frac{v_{i,m_i} - v_{i,l_i}}{\sum_{k=l_i}^{m_i} t_{i,k}}, i \in \mathbb{N},$$

wobei $v_{i,m_i-1} < v_{i,m_i} \geq v_{i,m_i+1}$ und $v_{i,l_i-1} \geq v_{i,l_i} < v_{i,l_i+1}$ für $a > 0$ bzw. $v_{i,m_i-1} > v_{i,m_i} \leq v_{i,m_i+1}$ und $v_{i,l_i-1} \leq v_{i,l_i} > v_{i,l_i+1}$ für $a < 0$ zu wählen sind.

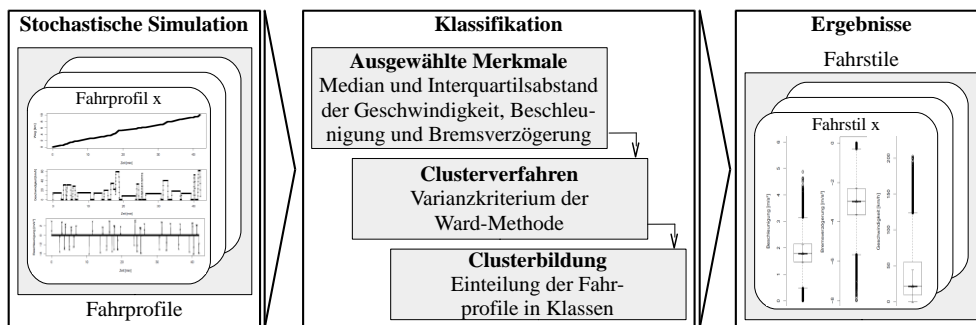
Klassifizierung der Fahrprofile

Die Geschwindigkeitsabläufe und Beschleunigungsverhalten der verschiedenen Fahrer-Fahrzeug-Einheiten zeigen eine weite Bandbreite von Variationen. Zur Identifikation spezifischer Fahrstile ist es sinnvoll, die generierten Fahrprofile über eine Clusteranalyse in Klassen zu unterteilen; Abbildung 4 gibt einen Überblick. Die einem Cluster zugeordneten Fahrprofile sollen sich dabei hinsichtlich der Variablenausprägungen möglichst ähnlich sein, sich aber von anderen Clustern zugeordneten Fahrprofilen möglichst stark unterscheiden (vgl. z.B. Han und Kamber 2006).

Das Fahrverhalten einer spezifischen Fahrer-Fahrzeug-Einheit ist originär gekennzeichnet über die Fahrzeuggeschwindigkeit und die jeweilige Beschleunigung bzw. Bremsverzögerung. Zur Clusterbildung wird, vor dem Hintergrund der Informationsaggregation, die Ähnlichkeit der Fahrprofile hinsichtlich der Mediane (als robustes Lagemaß) und Interquartils-

abstände (als Streuungsmaß) dieser drei Variablen untereinander betrachtet. In der Simulationsstudie erfolgt die Ermittlung der Cluster unter Anwendung des Varianzkriteriums der Ward-Methode (vgl. Ward 1963), rekursiv implementiert unter Verwendung des Lance-Williams-Algorithmus (vgl. Lance und Williams 1967).⁵ In der Praxis stellt diese Methode ein stabiles Verfahren dar, das zu sehr homogenen, kompakten Clustern führt (vgl. z.B. Mangiameli et al. 1996). Schließlich bilden die Cluster die zu charakterisierenden, spezifischen Fahrstile; auf diese Weise wird die Bandbreite an individuellen Fahrstilen zu einem Fahrstil im jeweiligen Cluster reduziert.

Abbildung 4: Identifikation von Fahrstilen auf Grundlage generierter Fahrprofile



Entscheidend bei der Festlegung der Clusteranzahl ist, dass sich die zu ermittelnden Cluster differenzieren lassen. Hierzu lässt sich die statistische Sicherheit der Mediane über ein approximatives 95%-Konfidenzintervall bestimmen.⁶ Gibt es zwischen den Konfidenzintervallen zweier Cluster keine Überschneidung, ist dies ein starkes Anzeichen dafür, dass sich die Verteilungszentren signifikant unterscheiden (Chambers et al. 1983) und der Unterschied zwischen den Medianen nicht nur zufallsbedingt, sondern statistisch begründbar ist (vgl. McGill et al. 1978). Dies bedeutet folglich, dass sich die spezifischen Fahrstile

⁵ Die Anwendung der Ward-Methode erscheint geeignet aufgrund der unmittelbaren Verbindung zur Euklidischen Distanz. Fahrprofile mit z.B. ähnlichen Beschleunigungswerten weisen eine Euklidische Distanz nahe Null auf. Sie werden in der gleichen Gruppe zusammengefasst und die Quadratsumme innerhalb der Gruppe ist klein.

⁶ Obere und untere Schranke sind gegeben als $Q_{0,5} \pm 1,58 \cdot IQR / \sqrt{n}$ (vgl. Chambers et al. 1983).

tatsächlich über die Mediane der Cluster charakterisieren lassen und durch die Datenaggregation genügend Informationen erhalten bleibt.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Erzeugung von Fahrprofilen

Anhand einer Simulationsstudie sollen die Charakteristika verschiedener Fahrprofile herausgearbeitet und veranschaulicht werden, die dann im Rahmen einer innovativen Prämienkalkulation Anwendung finden können. Zur Erstellung beispielhafter Fahrprofile wird das in Abschnitt 3 eingeführte modifizierte RWP-Modell eingesetzt. Tabelle 1 fasst die Modellannahmen und -parameter zusammen, die als Variationsgrößen zur Profilbildung die Ausgangsbasis darstellen. Die Parameterwahl erfolgte anhand von Fachliteratur vor dem Hintergrund, ein möglichst weites Spektrum an individuellen Eigenschaften der Fahrer-Fahrzeug-Einheiten sowie spezifischen örtlichen Gegebenheiten, mit dem Schwerpunkt auf durchschnittlichen Stadt- und Rush-Hour-Fahrten, abzubilden. Die im Rahmen dieser Analyse gewählten Parameterbereiche sind im weiteren Forschungsverlauf an spezifische zu untersuchende Situationen adäquat anzupassen.

In der Simulationsstudie werden gleichverteilte Wegpunkte ohne Beschränkung der Allgemeinheit aus einem Areal von 2 x 5 km gewählt. Weitere spezifische Örtlichkeiten und deren Einflüsse auf den Fahrstil und Geschwindigkeiten werden sowohl in Bewegungs-, als auch in Ruhephasen berücksichtigt. Segmentspezifisch wird gleichverteilt auf dem Intervall [5 km/h, 200 km/h] jeweils eine nominale Geschwindigkeit festgelegt. Wartezeiten an Wegpunkten werden pauschal für alle Hindernisse über eine Normalverteilung mit Mittelwert 40 [s] und einer Standardabweichung von 20 [s] modelliert.⁷

⁷ Die Parameter sind in Anlehnung an in Deutschland gültige Richtlinien der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen gewählt; z.B. liegt die normale Umlaufzeit einer Ampel nach der Richtlinie zur Anlage von Lichtsignalanlagen (RiLSA) bei 50-75 s, minimal 30 s und maximal 90-120 s.

| Variierter Parameter | Symbol | Variationsmethode | Parametrisierung |
|---|-----------------------------------|--|--|
| Wegpunkte im Areal $A = [0,a] \times [0,b] \subset \mathbb{R}^2$ | $p = (p_x, p_y)$ | $P = (P_x, P_y) \sim U(A)$, d.h. $P_x \sim U[0,a]$, $P_y \sim U[0,b]$ | $a = 2$ [km] $b = 5$ [km] |
| Wartezeiten an Wegpunkt | t_p | $T_p \sim N(\mu, \sigma^2)$ $t_p \in [0, t_{p,max}]$ mit $t_{p,max} < \infty$ | $\mu = 40$ [s] $\sigma = 20$ [s] $t_{p,max} = 120$ [s] |
| Segmentspezifische nominale Geschwindigkeit | v | $V \sim U[v_{min}, v_{max}]$ mit $v_{min} > 0$ und $v_{max} < \infty$ | $v_{min} = 5$ [km/h] $v_{max} = 200$ [km/h] |
| Geschwindigkeitsskalierung und -begrenzung pro Fahrer- Fahrzeug-Einheit | $sf_{v^{(i)}}$ $v^{(i)}_{max}$ | $SF_{v^{(i)}} \sim N(\mu_{sf}, \sigma_{sf}^2)$ $V^{(i)}_{max} \sim N(\mu_v, \sigma_v^2)$ $v^{(i)}_{max} > v_{minmax}$, mit $v_{minmax} < \infty$ | $\mu_{sf} = 1,02$ $\sigma_{sf} = 0,05$ $\mu_v = 140$ [km/h] $\sigma_v = 25$ [km/h] $v_{minmax} = 70$ [km/h] |
| Segmentspezifische Beschleunigung pro Fahrer-Fahrzeug-Einheit | a | $A^{(i)} \sim N(\mu^{(i)}, (\sigma^{(i)})^2)$ $a^{(i)} \in [a_{min}, a_{max}]$ mit $a_{min} > 0$ und $a_{max} < \infty$ | $M^{(i)} \sim N(2.5, 0.4^2)$ mit $\mu^{(i)}$ $\in [a_{min}, a_{max}]$ und $\rho(\mu^{(i)}, sf_{v^{(i)}}) = 0,90$ $\sigma^{(i)}$ $= \min \left\{ \frac{\mu^{(i)} - a_{min}}{2,576}; \frac{a_{max} - \mu^{(i)}}{2,576} \right\}$ [m/s ²] $a_{min} = 1,0$ [m/s ²] $a_{max} = 6,0$ [m/s ²] |
| Segmentspezifische Bremsverzögerung pro Fahrer-Fahrzeug-Einheit | d | $D^{(i)} \sim N(\mu^{(i)}, (\sigma^{(i)})^2)$ $d^{(i)} \in [d_{min}, d_{max}]$ mit $d_{min} > 0$ und $d_{max} < \infty$ | $M^{(i)} \sim N(4.75, 1.0^2)$ mit $\mu^{(i)} \in [d_{min}, d_{max}]$ und $\rho(\mu^{(i)}, sf_{v^{(i)}}) = 0,90$ $\sigma^{(i)}$ $= \min \left\{ \frac{\mu^{(i)} - d_{min}}{2,576}; \frac{d_{max} - \mu^{(i)}}{2,576} \right\}$ [m/s ²] $d_{min} = 1,5$ [m/s ²] $d_{max} = 8,0$ [m/s ²] |

Tabelle 1: Zentrale Eingangsparameter der Simulationsstudie

Neben der Örtlichkeit wirken sich individuelle Fahrereigenschaften (Alter, Fahrerfahrung, Fahrzeugnutzungsart, etc.) und die Leistungscharakteristik des Fahrzeuges auf die Geschwindigkeitsabläufe aus.⁸ Einerseits erfolgt dazu eine Skalierung und Begrenzung der nominalen Geschwindigkeit, um aus ihr eine Fahrerwunschgeschwindigkeit abzuleiten. Der Faktor zur Geschwindigkeitsskalierung wird aus einer Normalverteilung mit Mittelwert 1,02 und einer Standardabweichung von 0,05 ermittelt.⁹ Positiv korreliert mit dem Skalierungsfaktor ($\rho = 0,9$) wird pro Fahrer-Fahrzeug-Einheit die Normalverteilung für die linearen Beschleunigungs- bzw. Bremsverzögerungsfaktoren parametrisiert. Es wird angenommen, dass die segmentspezifische Beschleunigung¹⁰ zwischen 1 und 6 m/s² liegt und die segmentspezifische Verzögerung¹¹ aus dem Intervall 1,5 und 8,0 m/s² stammt. Abweichungen in Richtung 0 m/s² können aufgrund eines gewöhnlichen Auslaufprozesses am Ende eines Beschleunigungs- bzw. Bremsverzögerungsvorgangs punktuell auftreten, sind aber in den Simulationsergebnissen angesichts der festgelegten unteren Intervallgrenzen nicht gehäuft anzutreffen.

Durch Ausschluss von sogenanntem weißen Rauschen fokussiert das Modell auf tatsächlichen Geschwindigkeitsänderungen, d.h. auf den eigentlich interessierenden Wertebereich zur Beschreibung von Beschleunigungsprofilen. Zudem werden mit der nach oben gewählten Intervallbeschränkung sogenannte Hochwerttrisiken, wie insbesondere Sportfahrzeuge und Vollbremsungen, bewusst ausgeschlossen und unterliegen einer gesonderten Bewertung.

⁸ Individuellen Fahreigenschaften und Leistungscharakteristiken der Fahrzeuge haben bekanntermaßen Einfluss auf den Schadenverlauf (vgl. Statistisches Bundesamt 2014), sodass eine Kausalität zwischen statistischen sowie personenbezogenen Merkmalen und GPS-basierten Fahrzeugdaten zu Grunde gelegt werden kann.

⁹ Die Parameter wurden auf Basis einer Bestandsanalyse des Kraftfahrt-Bundesamts festgelegt (vgl. KBA 2014). Hierzu wurden die Fahrzeughalter erfahrungsgemäß verschiedenen Personengruppen (risikoavers, risikoaffin, risikoneutral, indifferent) zugeordnet und die spezifischen Fahrstile charakterisiert.

¹⁰ Das Intervall ist in Anlehnung an die Studie von Lange (2006) gewählt. Lange führt für geradeaus fahrende Pkws ein normales Beschleunigungsintervall von 1,5-2,5 m/s² und ein maximales Beschleunigungsintervall von 3,0-6,0 m/s² sowie für ein-/abbiegende Pkws ein Intervall von 1,0-2,0 m/s² auf.

¹¹ Die Wahl des Intervalls erfolgte in Anlehnung an Becke (2005). Das Bremsverzögerungsniveau hängt neben den individuellen Faktoren wie z.B. den Reifen, Bremsen und spezifischen Bremsverhalten entscheidend von den Fahrbahnverhältnissen wie z.B. dem Fahrbahnbelag, den Witterungsverhältnissen und der Steigung ab. Ein Pkw hat unter idealen Bedingungen eine Bremsverzögerung von 7-8 m/s², vereinzelt bis 10 m/s². Die Bremsverzögerung sinkt auf feuchter/nasser Fahrbahn auf 6-7 m/s², bei Schnee- und Eisglätte auf bis zu 1 m/s².

4.2 Analyse des Fahrverhaltens

Die Fahrprofilanalyse basiert auf 10.000 Fahrer-Fahrzeug-Einheiten und einer Folge von je 20 Wegpunkten. Dieses Vorgehen stellt sicher, dass die statistische Analyse der Fahrprofile alle relevanten Verhaltens-Stereotypen – Stadtfahrt, Überlandfahrt und Autobahn, jeweils mit sicherem, erfahrener, defensivem, risikoreichem und aggressivem Fahrstil – für verschiedene auf dem Markt befindlichen Fahrzeugklassen ausreichend genau abbildet. Um detaillierte Fahrprofile ohne Informationsverlust zu erhalten, wird die Abtastfrequenz f_A auf 1 Hz gesetzt.¹² Die Clusterbildung selbst erfolgt unter Anwendung der Ward-Methode (vgl. Ward 1963) anhand der Mediane sowie der Interquartilsabstände der Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Bremsverzögerungswerte der generierten Fahrprofile.

Die Fahrprofile der Simulationsstudie lassen sich in sechs Fahrstile einteilen (siehe Abbildung 5), die als statistisch signifikant verschieden, zu einem (approximativen) Konfidenzintervall von 95 %, hinsichtlich ihrer zentralen Lage betrachtet werden können. Die Beschleunigungswerte schwanken – ohne Berücksichtigung von Ausreißern – bis maximal 5 m/s². Werte, die weiter als das 1,5-fache des Interquartilsabstandes außerhalb des unteren und oberen Quartils liegen, werden in den Box-Plots nicht abgebildet, kommen aber in jedem der sechs Fahrstile vor. Etwa 2,6 % der Stichprobe entfallen auf den Wertebereich, innerhalb dessen Werte als Ausreißer definiert werden. Die Mediane der sechs Untergruppen liegen zwischen 1,8 und 2,5 m/s². Weiter zeigen die Boxplots eine Erhöhung des Interquartilsabstands der Daten mit zunehmendem Median, was wiederum Rückschlüsse über die Streuung der Daten erlaubt. Der Interquartilsabstand schwankt zwischen 0,6 und 1,2 m/s².

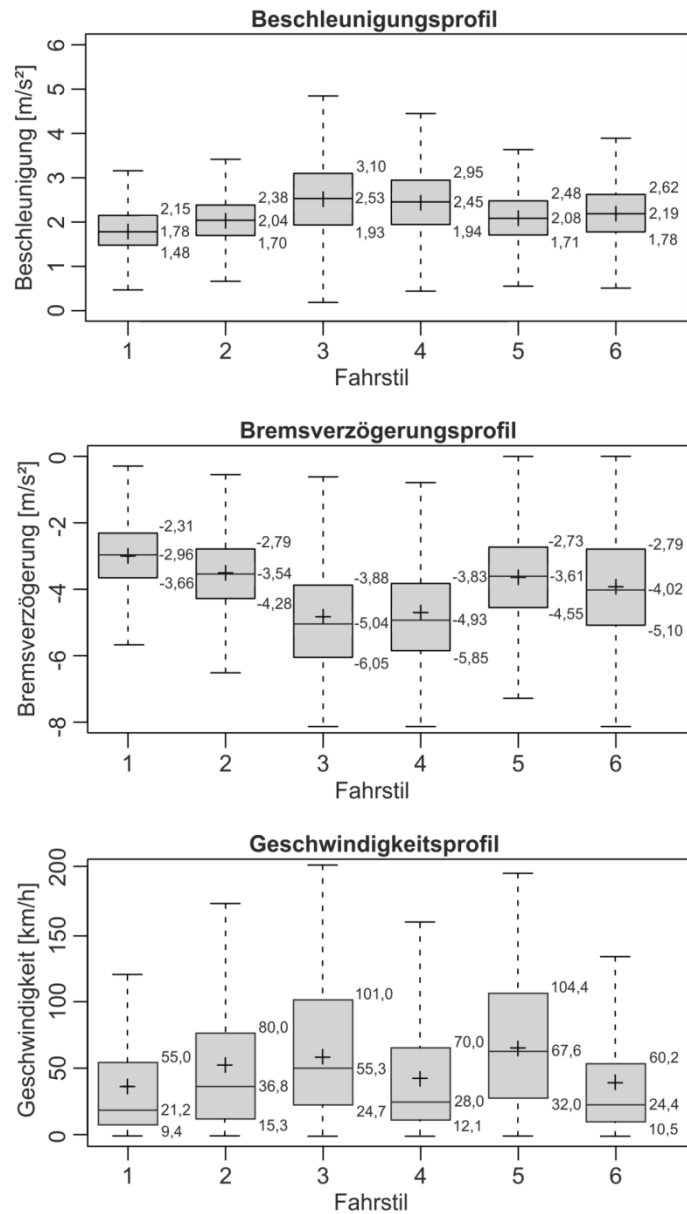
Aus den Fahrstilen für die Bremsverzögerungswerte wird ersichtlich, dass die Spannweite bis zu 8 m/s² beträgt. Ausreißer werden nur bei 1,9 % der Stichprobenwerte beobachtet. Bei drei der sechs Fahrstile kommen niedrige bzw. hohe Werte so häufig in der Stichprobe vor, dass sie gar nicht erst als Ausreißer klassifiziert werden. Die Mediane der sechs Fahrstile nehmen Werte von -3,0 bis -5,0 m/s² an. Der Interquartilsabstand steigt auch hier tendenzi-

¹² Eine Analyse des systematischen Fehlers, dessen Ausprägung mit der gewählten Abtastfrequenz verknüpft ist, kann in Weidner und Weidner (2014) nachgelesen werden.

ell – unter Ausschluss von Fahrstil 6 – mit zunehmendem absoluten Betrag des Medians an und nimmt Werte zwischen -1,3 und -2,3 m/s³ an.

Beim Vergleich der Fahrstile bezüglich der Bremsverzögerung mit den Stilen bezüglich der Beschleunigung fällt eine Symmetrie auf, so beträgt etwa der Korrelationskoeffizient bezüglich der Mediane -0,99. Dies bedeutet insbesondere, dass übereinstimmende Fahrstile mit hoher Beschleunigung ebenfalls eine hohe Bremsverzögerung – und umgekehrt – aufweisen. Dies deutet darauf hin, dass der Fahrstil sowohl auf der Beschleunigung als auch auf der Bremsverzögerung beruht und nicht aus einem dieser beiden Parameter allein abgeleitet werden kann.

Abbildung 5: Box-Plot-Darstellung der Beschleunigungs-, Bremsverzögerungs- und Geschwindigkeitswerte der Simulationsergebnisse



Die Boxplot-Darstellung der Geschwindigkeitswerte zeigt signifikante Mediane zwischen 21,2 und 67,6 km/h. Weiter wird ersichtlich, dass diejenigen Werte aller Fahrstile häufiger beobachtet werden, die kleiner als der Mittelwert sind. Folglich sind die Verteilungen (leicht) rechtsschief. Hierfür gibt es drei Gründe: Zunächst das Anfahren und Abbremsen aufgrund von Hindernissen wie z.B. Verkehrsampeln. Hinzu kommen die vorgegebenen Geschwindigkeitsbegrenzungen und schließlich auch das Ausmaß der Abweichung der Fahrerwunschgeschwindigkeit von der vorgeschriebenen Geschwindigkeit (vgl. Schüller, 2010). Darüber hinaus gibt es Ausreißer nach oben, die etwa 2,0 % der Stichprobe ausmachen; signifikante Abweichungen nach unten können aufgrund der wiederholt auftretenden Mindestgeschwindigkeit von 0 km/h an (Ampel-)Kreuzungen, Zebrastreifen oder Staus nicht vorkommen. Wiederum steigt der Interquartilsabstand mit zunehmendem Median und schwankt zwischen 45,7 und 76,3 km/h.

Neben dem Beschleunigungs- und Bremsverhalten hängen auch die Geschwindigkeitsabläufe von den technischen Fahrzeugeigenschaften und der Haltung des Fahrers ab. Deshalb ist auch die Geschwindigkeit verknüpft mit dem Beschleunigungs- und Bremsverhalten.¹³ Allerdings ist die Wechselbeziehung nur schwach, weil einige Faktoren die naturgemäße Tendenz ausgleichen: Einerseits können Fahrer mit identischen Beschleunigungs- und Bremsprozessen zwischen verschiedenen Straßentypen, d.h. Straßen innerhalb geschlossener Ortschaften, Straßen außerhalb geschlossener Ortschaften und Autobahnen, mit unterschiedlichen Geschwindigkeitsbegrenzungen bzw. Richtgeschwindigkeiten wählen. Abbildung 6 und 7 verdeutlichen, dass sich die Fahrprofile eines spezifischen Fahrzeugführers in Abhängigkeit von der Fahrzeugnutzung, d.h. der Fahrtstrecke, unterscheiden. Neben der Geschwindigkeit und der Standzeit variiert insbesondere die Länge der Beschleunigungs- und Bremsverzögerungsprozesse. Andererseits führt eine defensive Fahrweise, als gleichmäßige Fahrweise ohne störende Beschleunigungs- und Bremsvorgänge, zu einer höheren Durchschnittsgeschwindigkeit.

In Summe lässt sich festhalten, dass der Fahrstil nur unter Einbezug der Geschwindigkeit als dritten Parameter umfassend differenziert wird. Dabei ist anzumerken, dass nicht an die

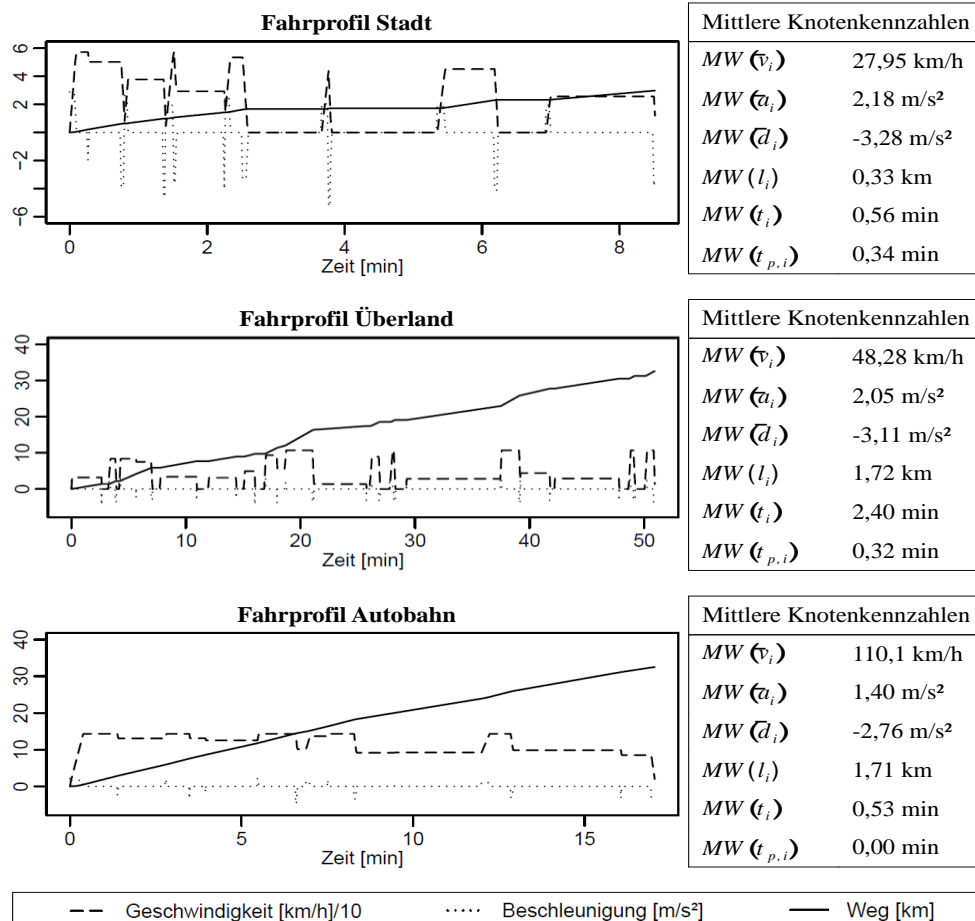
¹³ Dies liegt nicht zuletzt daran, dass die Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit die Beschleunigung ist.

Situation angepasste Geschwindigkeiten¹⁴ im Rahmen der vorliegenden Analyse nicht näher betrachtet werden und einer gesonderten Wertung unterliegen.

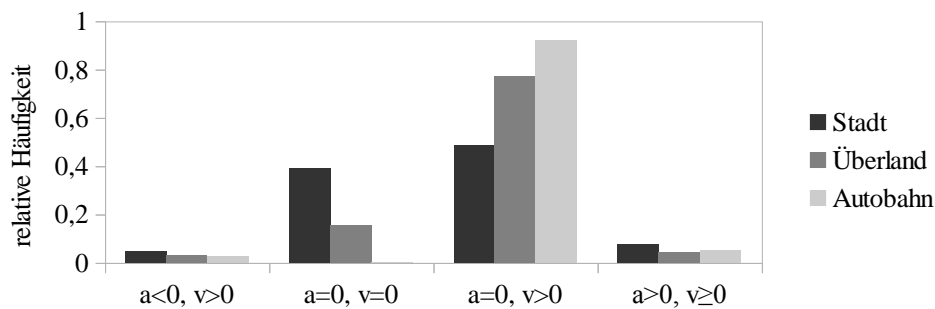
Der Fokus der Modellbildung lag auf der Generierung realistischer Fahrprofile. Ein Abgleich der Simulationsergebnisse mit der Fachliteratur zeigt, dass sich die Ergebnisse des physikalischen Modells mit der Realität decken, d.h. dass die gewählten Parameterbereiche und Verteilungsannahmen eine Übertragung der generierten Fahrprofile sowie der daraus resultierenden Fahrstile auf die Realität zulassen. Die Ergebnisse zeigen neben dem Differenzierungspotential zwischen defensiver und adverser Fahrweise ebenfalls, dass verschiedene Abstufungen in der Fahrweise möglich sind. Über die Häufigkeit des Auftretens sowie die Risikobewertung einzelner Fahrstile lässt sich allein anhand der Simulationsergebnisse keine Aussagen machen. Dazu gilt es im nächsten Schritt die identifizierten simulationsbasierten Fahrstile mit Telematik-Daten aus einem empirischen Versicherungsportfolio zu koppeln.

¹⁴ Auch an dieser Stelle gilt, dass ein Risikoprofil nur unter Einbezug von Höhe und Dauer der Geschwindigkeitsabweichungen im Allgemeinen, d.h. bei Betrachtung von Geschwindigkeitsüberschreitungen sowie -unterschreitungen im Sinne eines Verstoßes gegen § 3 Abs. 2 StVO, umfassend differenziert wird.

Abbildung 6: Gegenüberstellung nach Straßentyp differenzierter Fahrprofile eines beispielhaften Fahrzeugführers



$MW(\bar{v}_i)$: Mittelwert über die mittleren Geschwindigkeiten zwischen den Wegpunkten P_{i-1} und P_i ; $MW(\bar{a}_i)$: Mittelwert über die mittleren Beschleunigungen pro Beschleunigungsvorgang zwischen den Wegpunkten P_{i-1} und P_i ; $MW(\bar{d}_i)$: Mittelwert über die mittleren Bremsverzögerungen zwischen den Wegpunkten P_{i-1} und P_i ; $MW(l_i)$: Mittelwert über die mittleren Streckenlängen zwischen den Wegpunkten P_{i-1} und P_i ; $MW(t_i)$: Mittelwert über die Fahrtzeiten zwischen den Wegpunkten P_{i-1} und P_i ; $MW(t_{p,i})$: Mittelwert über die mittleren Standzeiten am Wegpunkt P_i ; $i = 1, 2, \dots, 10$ bei Fahrprofil Stadt und $i = 1, 2, \dots, 20$ bei Fahrprofil Überland bzw. Autobahn

Abbildung 7: Zerlegung der Tangentialbeschleunigung

$a < 0, v > 0$: negative Beschleunigung; $a = 0, v = 0$: Stillstand; $a = 0, v > 0$: geradlinige Bewegung; $a > 0, v \geq 0$: positive Beschleunigung

4.3 Konsequenzen für die Kfz-Versicherungstarifizierung

Die Ergebnisse der Simulationsstudie zeigen, dass die sogenannten Telematik-Technologien in der Kfz-Versicherung auf die bislang vorherrschende Tarifierungsmethodik disruptiv wirken könnten. Die Telematik bietet neue Informationen durch eine Verknüpfung herkömmlicher mit komplementären telematischen Tarifmerkmalen und dadurch die actuarielle Möglichkeit, Prämien differenzierter und individueller zu gestalten. Insbesondere erlaubt sie eine Tariffdifferenzierung durch Berücksichtigung von Fahrstilen innerhalb bis dato vermeintlich gleicher Risikogruppen; die Variablen des Fahrverhaltens können zwischen verschiedenen Fahrprofilen innerhalb mit herkömmlichen Tarifmerkmalen nicht differenzierbarer Risikogruppen stark variieren.

Die Prämienhöhe hängt bei einer Telematik-Versicherung weniger von langfristigen Schadenerfahrungen ab, sondern stärker vom kurz- bis mittelfristigen Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung. Bewertet wird dazu, ob das Fahrverhalten und die Fahrzeugnutzung auf Einzelfahrtenniveau Unfall vermeidend oder eventuell risikoreich ist.

Ein Mehrwert ergibt sich bei Betrachtung des Merkmals Alter des Versicherungsnehmers. Für die herkömmliche Tarifikalkulation liegen den Versicherungsunternehmen altersgruppenabhängige Schadenbedarfe vor, die dem jeweiligen Versicherungsvertrag entsprechend zugeordnet werden. Beispielsweise verursacht das Teil-Risikokollektiv der Fahranfänger statistisch deutlich mehr Unfälle als erfahrene Fahrer (vgl. Statistisches Bundesamt 2014),

sodass die hohen Risikoaufschläge für Fahranfänger somit dem hohen (mittleren) Schadenbedarf dieses Kollektivs entsprechen. Der Einbezug des Fahrverhaltens als neuen multiplikativen Risikofaktor ermöglicht es dem Versicherer jedoch, innerhalb dieser Risikogruppe vereinzelte Abweichungen vom statistischen Mittel zu bestimmen und in die Tarifizierung entsprechend aufzunehmen. Kann z.B. ein 18-Jähriger Fahranfänger über sein telematisches Fahrprofil zeigen, dass sein (zu erwartender) tatsächlicher Schadenbedarf nicht annahm gemäß dem seiner Altersgruppe, sondern dem Schadenbedarf einer höheren Altersgruppe entspricht, fällt sein altersabhängiger Risikoaufschlag bei einem aktuariell auskalkuliertem Tarif geringer aus.

Hohe Risikoaufschläge sind ebenfalls mit den Merkmalen der Schadenfreiheitsklasse und Typklasse verbunden. Ergibt sich die Einstufung in eine niedrige Schadenfreiheitsklasse nicht aufgrund einer regelmäßigen Rückstufung einhergehend mit Schadenfällen, sondern aufgrund einer fehlenden Schadenhistorie (bei erst kürzlich abgeschlossen Verträgen), kann Telematik zu einem unverzüglichen Abbau der Informationsasymmetrie verknüpft mit einer deutlichen Prämienreduktion zugunsten des Versicherungsnehmers beitragen. Herkömmlich erfolgt etwa die Einstufung bei Vertragsbeginn für komplette Neuverträge üblicherweise in die Schadenfreiheitsklasse 0. Für diese Klasse sehen die unternehmensindividuellen Schadenfreiheitsklassensysteme einen Beitragssatz von rund 100 % vor, wohingegen der Beitragssatz bei einer Dauer des ununterbrochenen, schadenfreien Verlaufs von 35 Jahren in der Regel auf 20 % abfällt. Lässt sich nun die im Falle eines Neuvertrags noch nicht aufgebaute langfristige Schadenerfahrung durch ein auf Basis von Telematik-Daten ermitteltes individuelles Unfallrisiko anreichern, wären deutliche Reduktionen des Beitragssatzes aktuariell theoretisch begründbar. Nämlich dann, wenn etwa ein Neuvertrag durch einen erfahrenen, jahrelang unfallfreien Fahrer als alleiniger Nutzer abgeschlossen wird. Ferner kann die langfristige Schadenhistorie durch die individuelle Fahrverhaltensbewertung de facto überflüssig werden und Telematik somit zur Rationalisierung der Tarifkriterien beitragen.

Des Weiteren bestehen vermehrte Informationsasymmetrien, sofern das Fahrzeug von verschiedenen Nutzern verwendet wird. Wenngleich der Versicherungsnehmer in der Regel

zur Angabe des Nutzerkreises verpflichtet ist, kann die personenbezogene Verteilung der Fahrzeugnutzung von Seiten des Versicherers für den Tarifizierungszweck lediglich abgeschätzt werden. Insofern ermöglicht das Telematik-Konzept dem mit großen Nutzerkreisen, im Speziellen mit neuen Mobilitätskonzepten wie z.B. dem CarSharing, einhergehenden Wegfall von eindeutigen Tarifmerkmalen zu begegnen.

Ferner kann die Preisgestaltung durch Telematik aufgrund der (unmittelbaren) Belohnung einer guten und sicheren Fahrweise das Fahrverhalten positiv beeinflussen (vgl. Towers Watson 2013). Verbesserungen des Fahrverhaltens können, neben der üblichen Risikoselektion zu Vertragsabschluss, langfristig gesehen zu einer Verbesserung der Risikostruktur im Versichertenkollektiv eines Versicherers führen.

Eine Telematik-Versicherung wirkt sich jedoch nicht notwendigerweise bei allen Fahrern oder allen Fehlerursachen gleichmäßig positiv aus. Auf der einen Seite ist der Sachverhalt zu beachten, dass sich ein Übermaß an Kontrolle und Bevormundung nicht gleichzeitig auf alle möglichen Fehlerquellen schadensmindernd auswirken muss. Sei es aus Nervosität, aus Ablenkung oder Überflutung, hinter jeder Ecke lauert ein Fehler. Andererseits kann die Situation eintreten, dass ein übervorsichtiger Fahrer selbst keinen Fehler verursacht, dafür aber selbst die tiefere Ursache fremder Fehler wird.

An dieser Stelle sei jedoch darauf hingewiesen, dass den deutschen Versicherern derzeit kein aktuariell ausdifferenziertes Telematikprodukt vorliegt (vgl. Morawetz 2015). Eine grundlegende Voraussetzung dafür ist zunächst der Aufbau einer adäquaten Datengranularität, signifikanten Schadenhistorie in Bezug auf Telematik-Daten sowie systematischer Auswertungsmethoden (vgl. Nießen 2015). Die vorherrschenden Rabattsystematiken werden einstweilen ex post auf traditionell kalkulierte Prämien angerechnet. Die Rabatte von bis zu 30 % ergeben sich vornehmlich aus der univariaten Bewertung von Fahrverhaltens- und Fahrsituationsvariablen (vgl. z.B. Sparkassen Direktversicherung 2014).

Es gibt verschiedene Blickwinkel für das Angebot von Telematik-Produkten. Zum Aspekt der Prämienersparnis kommen Sicherheits- und Servicewünsche des Kunden hinzu. Ein integriertes Servicepaket zielt auf technische Interessen und eine Verbesserung der Fahr-

leistung ab, wohingegen das Sicherheitspaket Aspekte wie ein Notruf-System und einen Diebstahl-Schutz aufgreift (vgl. Hartmann und Nutzenadel 2015).

Angesichts der Vielschichtigkeit hinsichtlich der Produktgestaltung – abgesehen von der Tatsache, dass Test- und Experimentierfeldern zur Erzielung von Anreizen lediglich Prämienschläge vorsehen – können Auswirkungen auf den Versicherungsbestand, insbesondere Selektions- und Wanderungseffekte, zum Zeitpunkt der Markteinführungen telematischer Produkte in Deutschland für die unmittelbare Zukunft nicht abgeschätzt werden. Im Experimentierstadium werden günstige Prämien eingesetzt, danach muss es aus Wettbewerbsgründen gelingen, die mit der genutzten Telematik-Technologie einhergehenden höheren Akquisitions-, Produkt- und Betriebskosten wesentlich niedriger zu halten als die Ersparnis im Schadenbedarf. Erst dann stellt sich heraus, ob sich das Konsumentenverhalten für das neue Produkt entscheidet. Langfristig ist davon auszugehen, dass das System der Integration von Big Data in die Prämienberechnung Eingang findet. Aller Voraussicht nach ist die Telematik lediglich eine Vorbereitung der Versicherer auf weitere technologische Entwicklungen im Hinblick auf das autonome Fahren.

Über dies hinaus veranschaulicht der Modellansatz, dass die Messung und Bewertung von Fahrverhalten auf Basis aggregierter Daten, d.h. Lage- und Streuungsmaßen, unter Heranziehung einiger weniger Parameter einschließlich ihrer Interdependenzen erfolgen kann. Dieses Ergebnis ist von besonderer Bedeutung vor dem Hintergrund der personenbezogenen Datensammlung. Gemäß dem in Deutschland geltenden Grundsatz der Datensparsamkeit und Datenvermeidung (§ 3a Bundesdatenschutzgesetz) und dem bundesweiten Datenkodex der Versicherungswirtschaft (Code of Conduct) sind so wenig personenbezogene Daten wie möglich zu sammeln, auszuwerten und zu verarbeiten. Diese Zielausrichtung ist bereits im Pflichtenheft der Techniker beim Aufsatz der GPS-Technologie zu berücksichtigen, da nur zwingend notwendige Telematikdaten an Dritte zu übermitteln sind. Weiter kann durch die Ermittlung von Fahrstilen mittels der eingeführten minimalen Datenanforderung sichergestellt werden, dass sich jeder erhobene Datenpunkt auf die Tarifgestaltung auswirkt. Damit wird der Grundsatz der Zweckbindung (§ 31 Bundesdatenschutzgesetz) erfüllt, dem zufolge jeder Datenverarbeitung ein bestimmter Zweck zugrunde liegen muss.

5. Fazit und Ausblick

Anders als im europäischen und außereuropäischen Ausland, in dem telematische Kfz-Versicherungsprodukte bereits fest etabliert sind, werden diese in Deutschland noch erprobt. Ursächlich für die Zurückhaltung ist, dass die Prämienberechnung mit vielen Tarifierungsmerkmalen bereits sehr differenziert und das zusätzliche Potential erst bei niedriger Granularität der Daten und ausgereiften Auswertungsmethoden ausgeschöpft werden kann (vgl. Nießen 2015). Maßgeblich sind ebenfalls datenschutzrechtliche Bedenken und Kosten der technologischen Implementierung. Allerdings veranlasst die verpflichtende Einführung des automatischen Notrufsystems eCall für Neuwagen in der Europäischen Union ab voraussichtlich 2018 die deutsche Versicherungswirtschaft dazu, sich in den nächsten Jahren vermehrt mit der Verkehrstelematik auseinanderzusetzen.

Im Rahmen der Simulationsstudie wurde eine Klassifizierung von Fahrprofilen anhand des Fahrverhaltens vorgestellt. Basierend auf stochastisch simulierten Fahrprofilen lassen sich unter simultaner Betrachtung von Geschwindigkeits- und Beschleunigungsparametern sechs Fahrstile unterscheiden. Die präsentierten Fahrstile stehen beispielhaft für die untersuchten Parameterbereiche – ein echtes Versicherungsportfolio kann, auch in der durch die Clusteranalyse bestimmten Anzahl der Stile, basierend auf verschiedenen Abwägungen des Pricings und der technischen Realisierung davon erheblich abweichen.

Der Mehrwert der vorgestellten Methode besteht insbesondere darin, die Bewegungsvektoren differenziert auszuwerten. Die Clusteranalyse der differenziellen Betrachtung von Geschwindigkeit und Beschleunigung (inkl. Bremsen) ergibt ein genaues Scoring des Fahrverhaltens. Gegenüber der isolierten Betrachtung jedes Faktors lassen sich auf diese Weise falsch-negative Bewertungen des Fahrverhaltens vermeiden.

Die Ergebnisse sind für die Versicherungspraxis von besonderer Bedeutung, da hier die Integration von Telematikdaten in den aktuariellen Pricing-Prozess exemplarisch ersichtlich wird. Vor diesem Hintergrund wird im weiteren Forschungsverlauf angestrebt, die identifizierten modellbasierten Fahrstile mit empirischen Telematikdaten zu überprüfen. Darüber hinaus sind die Ergebnisse auch relevant für Techniker, weil sie für die technische Realisierbarkeit gemäß dem Pflichtenheft zuständig sind.

6. Abstract:

Telematics tariffs are one of the future issues in German car insurance. This paper presents a systematic approach to the evaluation of driving profiles, which allows to calculate risk-based premiums for telematics tariffs. We propose an allocation of the driving profiles based on velocity, acceleration and deceleration processes to specific driving styles for assessing the driving behavior. A vehicle mobility model forms the high quality and broad database into the analysis. The result is highly relevant for insurers, who calculate the tariffs, but also for engineers, since they have to prepare the specifications for the technologies.

7. Literaturverzeichnis

- Akerlof, G.A. (1970), The market for lemons: Quality uncertainty and the market mechanism, *The Quarterly Journal of Economics*, 84(3), 488-500.
- Alger, I. und Ma, C.A. (2003), Moral hazard, insurance, and some collusion, *Journal of Economic Behavior and Organization*, 50(2), 225-247.
- Becke, M. (2005), Unfallrekonstruktion – Geschwindigkeitsermittlung vor Bremsbeginn, *VerkehrsrechtsReport*, 1/2005, 20-24.
- Bettstetter, C. (2001), Smooth is Better than Sharp: A Random Mobility Model for Simulation of Wireless Networks, *Proc. ACM International Workshop on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM)*, 19-27, New York.
- Bettstetter, C., Hartenstein, H. und Pérez-Costa, X. (2004), Stochastic Properties of the Random Waypoint Mobility Model, *Wireless Networks*, 10(5), 555-567.
- Briesemeister, L. und Hommel, G. (2000), Role-based multicast in highly mobile but sparsely connected ad hoc networks, *Proc. Workshop on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, 45-50.
- Chambers, J.M., Cleveland, W.S., Kleiner, B. und Tukey, P.A. (1983), *Graphical Methods of Data Analysis*, Duxbury Press.

- Coroma, V. (2006), *The Smart Tachograph – Individual Accounting of Traffic Costs and its Implications*, Zürich.
- Coroma, V. und Höckl, N. (2004), *Pervasive Insurance Markets and their Consequences*, Zürich.
- FGSV (2006), *Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation: Grundlagen und Anwendung*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag.
- Friedrichs, F. (2013), Black Box mit Durchblick, *Topics Magazin*, 1/2013, 40-45.
- Gerpott, T.J. und Berg, S. (2012), Pay-As-You-Drive Angebote von Erstversicherern für Privatkunden: Eine betriebswirtschaftliche Analyse, *ZVersWiss*, 101, 3-29.
- Guérin, R.A. (1987), Channel occupancy time distribution in a cellular radio system, *Vehicle Technol.*, 36(3), 89-99.
- Hartmann, M. und Nutzenadel, C. (2015), Trends in der Technologie sowie Erkenntnisse des Behavioural Pricings vereinbaren, *I · VW Management Information – St. Galler Trendmonitor für Risiko- und Finanzmärkte*, 37(1), 3-9.
- Hänggi, P. und Marchesoni, F. (2005), 100 Years of Brownian motion, *Chaos* 5, 026101.
- Han, J. und Kamber, M. (2006), *Data Mining: Concepts and Techniques*, Morgan Kaufmann, San Francisco.
- Heep-Altiner, M. und Klemmstein, M. (2001), *Versicherungsmathematische Anwendungen in der Praxis: Mit Schwerpunkt Kraftfahrt und Allgemeine Haftpflicht*, Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe.
- Heidemann, D. (1989), Ein mathematisches Modell des Verkehrsflusses, *Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe*, (42), Karlsruhe.
- Helbing, D. (2001) Traffic and related self-driven many-particle systems, *Rev. Modern Phys*, 73(4), 1067-1141.
- Ippisch, T., Thiesse, F. und Fleisch, E. (2007), *An Analysis of Sensor-Based Premium Schemes in the Car Insurance Industry*, St. Gallen.
- Iqbal, M.U. und Lim, S. (2006) A Privacy Preserving GPS-based Pay-as-You-Drive Insurance Scheme, *Symposium on GPS/GNSS (IGNSS)*, Sydney.

- Iqbal, M.U. und Lim, S. (2010), Privacy Implications of Automated GPS Tracking and Profiling. *Technology and Society Magazine*, 29(2), 39-46.
- Johnson, D.B. und Malz, D.A. (1996), Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks, In: Imielinkis, T., Korth, H.F. (Hrsg.) *Mobile Computing*, 153-181, Kluwer Academic Publishers.
- Jun, J., Guensler, R. und Ogle, J.H. (2005), Smoothing Methods Designed to Minimize the Impact of GPS Random Error on Travel Distance, Speed, and Acceleration Profile Estimates, *Transportation research record*, 1972, 141-150.
- Jun, J., Ogle, J. und Guensler, R. (2007), Relationships Between Crash Involvement and Temporal Spatial Driving Behaviour Activity Patterns: Use of Data for Vehicles with Global Positioning Systems, *Transportation Research Record*, 2019, 246-255.
- Jun, J., Ogle, J. und Guensler, R. (2011), Differences in observed speed patterns between crash-involved and crash-not-involved drivers: Application of in-vehicle monitoring technology, *Transportation Research Part C* 19(4), 569-578.
- KBA (2014), *Fahrzeugzulassungen (FZ) – Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern*, Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg.
- Kremslehner, D. und Muermann, A. (2013), *Asymmetric Information in Automobile Insurance: Evidence from Driving Behavior*, Wien.
- Laas, D., Hartmann, M., Nützenadel, C., Schmeiser, H. und Wagner, J. (2014), *Pricing-Strategien in der KFZ-Versicherung*, St. Gallen/Zürich
- Lance, G.N. und Williams, W.T. (1967), A General Theory of Classificatory Sorting Strategies, *Computer Journal* 9(4), 373-380.
- Lange, F. (2006), Unfallrekonstruktion – Anfahrbeschleunigungen, *VerkehrsrechtsReport*, 10/2006, 377-382.
- Lee, Y. (2008), Applications of Sensing Technologies for the Insurance Industry, In: Michahelles, F. (Hrsg.) *Business Aspects of the Internet of Things*, 8-13. http://www.inf.ethz.ch/personal/cagri.balkesen/pdf/iot_seminar_2008_proceedings.pdf [Stand 09.04.2014].

- Mangiameli, P., Chen, S.K. und West, D. (1996), A comparison of SOM neural network and hierarchical clustering methods, *European Journal of Operational Research*, 93(2), 402-417.
- McGill, R., Tuckey, J.W. und Larsen, W.A. (1978), Variations of Box Plots. *The American Statistician*, 32(1), 12-16.
- Meschede, D. (2010), *Gerthsen Physik*, Springer-Verlag, Berlin.
- Markoulidakis, J.G., Lyberopoulos, G.L., Tsirkas, D.F. und Sykas, E.D. (1997), Mobility modeling in third-generation mobile telecommunication systems, *IEEE Personal Communications*, 4(4), 41-56.
- Morawetz, M. (2015), "Keine aktuariell auskalkulierten Telematikprodukte", <http://versicherungswirtschaft-heute.de/koepfe/keine-aktuariell-auskalkulierten-telematikprodukte/> [Stand 12.08.2015].
- Nagel, K. und Schreckenber, M. (1992), A cellular automaton model for freeway traffic, *J. Phys. I France*, 2(12), 2221-2229.
- Nießen, G. (2015), Towers Watson: "Telematik-Tarife sind in fünf Jahren etabliert", <http://versicherungswirtschaft-heute.de/maerkte/towers-watson-telematik-tarife-sind-in-funf-jahren-etabliert/> [Stand 12.08.2015].
- Oberholzer, M. (2003), *Strategische Implikationen des Ubiquitous Computing für das Nichtleben-Geschäft im Privatkundensegment der Assekuranz*, VVW, Karlsruhe.
- Paefgen, J., Staake, T. und Thiesse, F. (2013), Evaluation and aggregation of pay-as-you-drive insurance rate factors: A classification analysis approach, *Decision Support Systems*, 56, 192-201.
- Pletziger, R. (2012), Komposit: Technologieschub als Bedrohung, *Versicherungswirtschaft*, 67(12), 870-872.
- Schüller, H. (2010): Modelle zur Beschreibung des Geschwindigkeitsverhaltens auf Stadtstraßen und dessen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit auf Grundlage der Straßengestaltung, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-61493> [Stand 27.01.2015].

- Sparkassen Direktversicherung (2014), Berechnungsregeln, https://www.sparkassen-direkt.de/fileadmin/images/divers/Telematik/2014-08-08_score-logik.jpg [Stand 12.08.2015].
- Statistisches Bundesamt (2014): *Verkehr – Verkehrsunfälle 2013*, Fachserie 8 Reihe 7, Wiesbaden.
- Toledo, T., Musicant, O. und Lotan, T. (2008), In-vehicle data recorders for monitoring and feedback on driver's behavior, *Transportation Research, Part C* 16(3), 320-331.
- Towers Watson (2013), Towers Watson-Studie zur Kfz-Versicherung – Mehrheit der Europäer findet Telematik-Tarife attraktiv, <http://www.towerswatson.com/de-DE/Press/2013/09/Towers-Watson-Studie-zur-Kfz-Versicherung> [Stand 27.03.2015].
- Ward, J.H. (1963), Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function, *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236-244.
- Weidner, W. und Weidner, R. (2014), Identifikation neuer Ansätze zur individuellen Kfz-Tarifierung, *ZVersWiss*, 103(2), 167-193.
- Werner, M. (2012), *Digitale Signalverarbeitung mit MATLAB®*, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 5. Auflage.
- Zanema, J., van Amelsfort, D., Bliemer, M. und Bovy, P. (2008), Pay-as-you-drive strategies: Case study of safety and accessibility effects, *J. Trans. Res. Board*, 2078, 8-16.
- Zonoozi, M.M. und Dassanayake, P. (1997), User Mobility Modeling and Characterization of Mobility Patterns, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 15(7), 1239-1252.