

Aktuarielle Methoden als Beitrag zur Lösung aktueller Herausforderungen in der Assekuranz

Von der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Wirtschaftswissenschaften
– Doctor rerum politicarum –

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Math. oec. Wiltrud Weidner
geboren am 17. Juni 1986 in Hamburg

2016

Referent: Prof. Dr. J.-Matthias Graf von der Schulenburg

Koreferent: Prof. Dr. Michael H. Breitner

Tag der Promotion: 02. Juni 2016

Zusammenfassung

Digitalisierung, Regulierung und Demografie werden in den kommenden Jahren wichtige Themen sein, mit denen sich die Assekuranz auseinandersetzen muss. Sie machen konsequente Veränderungen der Prozess- und Systemlandschaften sowie der Organisationsstrukturen entlang der gesamten Wertschöpfungskette erforderlich. Daher verfolgen die in dieser kumulativen Dissertation enthaltenen zwölf Arbeiten das Ziel, einen Beitrag zur Lösung dieser Herausforderungen zu leisten mit besonderer Berücksichtigung aktueller Methoden.

Zunächst verdeutlichen die Ergebnisse, dass die komplexen und vielschichtigen regulatorischen Rahmenbedingungen des neuen Aufsichtssystems Solvency II individuell auszugestalten sind, insbesondere was den ORSA-Prozess angeht. Als zentrale Herausforderungen, um aus dem ORSA schließlich einen echten Nutzen für die strategische Entscheidungsfindung ziehen zu können, werden die Anforderungen an effiziente Prozesse und Verfahren für Stressszenarien zur Bewertung der Zuverlässigkeit der Solvabilität und für konsistente Limitsysteme zur operativen Risikosteuerung diskutiert und umgesetzt.

Ferner werden weitere interne und externe Faktoren aufgegriffen, welche die künftige Kapitalausstattung und -anforderungen eines Versicherungsunternehmens beeinflussen werden. In einem ersten Schritt werden eine abnehmende Nachfrage im Bereich der Kfz-Versicherung und ein steigender Bedarf im Bereich der Berufsunfähigkeits- und Pflegefallversicherung resultierend aus der demografischen Entwicklung und der digitalen Revolution aufgezeigt.

Darüber hinaus wird in einem zweiten Schritt die Notwendigkeit innovativer Produktentwicklung in der Kfz-Versicherung betrachtet. Insbesondere wird ein vollständiger Ansatz zur Integration der Verkehrstelematik eingeführt – von der Erfassung von Differenzierungspotential bezüglich Fahrverhalten bis hin zur eigentlichen Tarifierungslogik.

Abschließend wird der ökonomische Effekt technischer Unterstützungssysteme auf die Versicherbarkeit von Invaliditätsrisiken untersucht. Die Ergebnisse zeigen dabei, dass Invaliditätsraten und Pflegequoten massiv reduziert werden können und Unterstützungssysteme damit einen bisher nicht verfolgten Lösungsweg darstellen, bei dem die Vermeidung von Behandlungs- und Pflegekosten sowie Erwerbs- und Berufsunfähigkeitsrenten im Vordergrund steht.

Forschungsbedarf ergibt sich sowohl hinsichtlich der Ausgestaltung der regulatorisch vorgeschriebenen Steuerungsprozesse als auch im Bereich der Implementierung hier aufgezeigter aktueller Erfordernisse im Rahmen der Digitalisierung.

Schlagwörter: Digitalisierung, Regulatorische Anforderungen, Demografischer Wandel, Telematik, Technische Unterstützungssysteme

Abstract

Digitalization and regulation as well as demographics will be the most important challenges the insurance industry is going to face in the coming years. Consequently, these topics necessitate manifest changes of the procedural and system landscapes of insurers as well as even their organizational structures along the entire value chain. Thus, the twelve modules contained in this cumulative dissertation aim to provide significant progress toward the actuarial treatment of these challenges.

First of all, the present results illustrate that the complex regulatory conditions of the supervisory system Solvency II need to be shaped company-specifically, especially with regards to the ORSA process. In order to enable the actuarial processes and analyzes to benefit from the ORSA framework in terms of strategic decision-making, we treat and implement the demands of both efficient and effective stress testing scenarios for evaluation of solvability as well as consistent limit systems in the operative risk controlling in detail. Furthermore, following from the evaluation of both internal and external factors entering the regulatory framework in terms of future capital requirements and capital resources, we prognosticate a decreasing demand in car insurance and increasing needs in the area of disability and nursing insurance, resulting from demographic change and the digital revolution.

The consequential necessity of product and pricing innovations is explored in context of the car insurance business. More concretely, we present a comprehensive actuarial approach with regards to telematics technologies, demonstrating both differentiation potential of driving profiles and the viability of scoring functions entering the tariff calculations.

In the last, we point out the benefits of technical support systems with regards to the insurability of invalidity risks. The results provide indications that the invalidity rate and long-term care rate indeed can be reduced by the suggested measures, consequently enhancing the outlook of financing pension and health care systems.

Further research can be deduced with respect to the demands of the regulatory requirements coming into effect as well as all matters of implementation drawn from the actuarial perspective following the digitalization.

Keywords: digitization, regulatory requirements, demographic change, telematic technologies, technical support systems

Inhaltsverzeichnis

1. Motivation und Zielsetzung	1
2. Inhaltlicher Überblick und Beitrag der einzelnen Module	4
3. Limitationen und Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf	12
Literatur	14
Module der kumulativen Dissertation	17

1. Motivation und Zielsetzung

Während sich manche Wirtschaftszweige, wie zuletzt auch Kredit- und Finanzdienstleistungsinstitute, seit Jahrzehnten mit der Digitalisierung jedweder Geschäftsmodelle auseinandersetzen, greift die Versicherungswirtschaft Veränderungen und Auswirkungen des technischen Fortschritts nur zögerlich auf. Insbesondere die durch die Regulierung eingeführten hohen Markteintrittsbarrieren, starkes Wachstum und hohe Profitabilität während der Hochzinsphase sowie das an langlaufende Produkte ausgerichtete Lebensversicherungsmodell oder an (nicht-digitalisierten) Produkten mit langen Entwicklungszyklen ausgerichtete Schadenversicherungsmodell bilden Gründe für die Zurückhaltung (vgl. Swiss Re, 2015). Die gegenwärtig zunehmende digitale Vernetzung aller Lebensbereiche wird indes an der Assekuranz nicht vorbeigehen.

Die Innovationskraft kommt hierbei derzeit von technologiegetriebenen Start-up-Unternehmen, sogenannten Fintechs, originär außerhalb der Versicherungsbranche (vgl. Roland Berger, 2015). Diese umgehen die Regulierung, indem sie sich jeweils auf einzelne Elemente des Finanzgeschäfts konzentrieren, im Wesentlichen auf die des Maklers. Dabei übertragen sie das operationelle Geschäft teilweise oder gar vollständig auf traditionelle Finanzdienstleister, hier: Versicherer, die ihrerseits – gemäß Versicherungsaufsichtsgesetz (VAG) – die regulatorischen Anforderungen umzusetzen haben. All diese Unternehmen, wie z.B. Schutzklick, Friendsurance, GetSafe und Community Life, zielen weniger auf Produktinnovationen als vielmehr auf die Berücksichtigung von geändertem Kundennutzungsverhalten durch Nutzung digitaler Technologien für die Kundengewinnung und -verwaltung ab (vgl. Bieber und Hoberg, 2015; Roland Berger, 2015).

Während viele branchenfremde Marktteilnehmer als direkte Wettbewerber angesehen werden, können sich ebenso Wettbewerbsvorteile für einzelne Player innerhalb der Versicherungsbranche ergeben. Die Erschließung attraktiver Produktangebote, neuer Risikomerkmale sowie digitaler Vertriebs- und Kommunikationskanäle durch die Beherrschung innovativer Technik kann ein (zumindest vorübergehendes) Alleinstellungsmerkmal schaffen (vgl. Hartmann und Nützenadel, 2015; Roland Berger, 2015; KPMG, 2015).

Trotz radikaler Marktveränderungen durch disruptive Innovationen wird die Nachfrage nach der Kernkompetenz der Versicherungswirtschaft, die Abschätzung von Risiken und der Risikotransfer bei der Erstellung von Erst- und Rückversicherungsschutz (vgl. Farny 1989; Schulenburg und Lohse, 2014), künftig weiter vorhanden sein. Versicherungen bilden eine wesentliche volkswirtschaftliche Grundlage für Innovationen, indem sie die damit verbundenen

Risiken decken (vgl. Farny, 1989). Während ein Teil des Geschäfts von neuen Marktteilnehmern übernommen werden wird und andere womöglich entfallen, werden sich neue Geschäftsbereiche und Produkte etablieren (vgl. KPMG, 2015; Roland Berger, 2015; CRO Forum, 2015); exemplarisch für die Kfz-Versicherung in Abbildung 1 dargestellt. Dabei wird sich dieser Effekt verstärken durch freiwerdende Ressourcen aus abnehmendem Versicherungsbedarf hinsichtlich klassischer Produkte, welche wiederum durch Verwendung als Investitionskapital zu neuen Risiken führen. Gegenüber Start-up- und weiteren versicherungsfremden Unternehmen, insbesondere Automobilherstellern und Online-Aggregatoren besitzen Versicherer nach wie vor ein bisher entscheidendes Alleinstellungsmerkmal: die Verwendung von umfangreichen Bestandsdaten und einer funktionierenden Verwaltung zur Produkt- und Preisgestaltung.

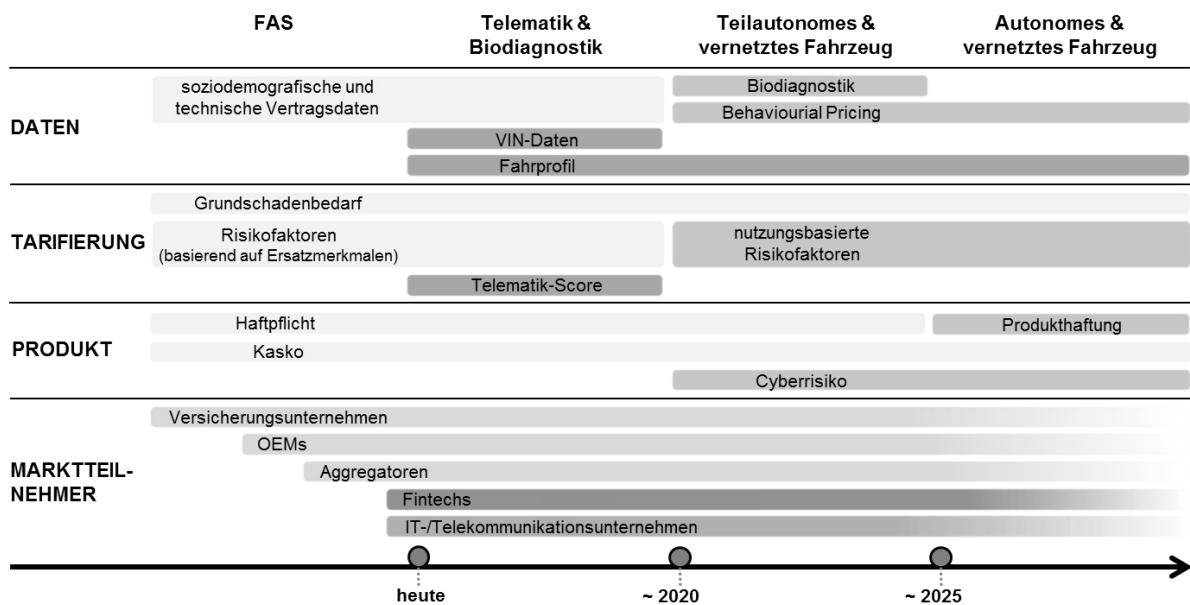


Abbildung 1: Entwicklung der Kfz-Versicherungsbranche (vgl. KPMG, 2015; Roland Berger, 2015; Hartmann und Nützenadel, 2015; Weidner und Transchel, 2016)

Durch die unmittelbar aus der Digitalisierung folgenden Fortschritte im Bereich der Technologie, Prozesse und Organisationsstrukturen ergeben sich unter den speziellen Rahmenbedingungen der Versicherungswirtschaft massive aktuarielle Herausforderungen, an denen sich die vorliegende kumulative Dissertation orientiert und die insgesamt in zwölf Modulen bearbeitet worden sind:

I. Implikationen der anhaltenden Niedrigzinsphase für die ökonomischen Strukturen des Unternehmens

Der herausfordernde Kapitalmarkt mit dauerhaft niedrigen Zinsen erfordert – nicht nur hinsichtlich garantiezinsgebundener Lebensversicherungen – ein konsequentes Kapitalanlage- und Kostenmanagement. Zur Absicherung eines Mindestergebnisses und Mindestkapitals ist es für einen Versicherer unabdingbar, die Auswirkungen auf Ergebnis-komponenten und Risiken inkl. möglicher Wechselwirkungen in Niedrigzinsszenarien zu ermitteln und konsistente Steuerungsmaßnahmen abzuleiten (§ 26, 27 VAG n.F.).

II. Steigende Komplexität der regulatorischen Anforderungen

Die Aktuare sind für eine sachgerechte und transparente Umsetzung der gesetzlichen Regulierungsvorgaben im Risikomanagement durch die Einführung des neuen europäischen Aufsichtsregimes (Solvency II) verantwortlich. Im Rahmen des Risikomanagementprozesses sind qualitative und quantitative Methoden und Verfahren zur Risikoidentifikation, -messung, -bewertung sowie -steuerung anzupassen und regelmäßig eine Vielzahl von Berichten und Daten an die Aufsicht zu übermitteln (§ 26, 27 VAG n.F.).

Des Weiteren ergibt sich im Umgang mit Kundendaten bei der Risikokalkulation und Tarifierung im Zuge der Digitalisierung ein gestiegenes Bewusstsein für Aspekte von Datenschutz- und Sicherheitsvorgaben (EU-DSVO). Zur Gewährleistung des gesetzlich geforderten hohen Datenschutzniveaus sind bei der Nutzung personenbezogener Daten durch den Versicherer umfassende Anforderungen umzusetzen (vgl. GDV, 2012a), die letztlich ebenfalls in das Aufgabengebiet des Aktuars fallen.

III. Auswirkungen der demografischen Entwicklung

Der demografische Wandel und die sich daraus abzeichnenden Veränderungen für die deutsche Gesellschaft (vgl. Statistisches Bundesamt, 2009) haben vielfältige Auswirkungen auf die Renten- und Gesundheitsversorgung sowie auf die Arbeits-, Güter- und Finanzmärkte (vgl. z.B. IW, 2008; Pack et al., 2000; Statistisches Bundesamt, 2010; SVR, 2011; Rürup et al., 2014) – und damit auch unmittelbar auf die (private) Versicherungswirtschaft (vgl. z.B. BMG, 2011; Rürup et al., 2014; Roland Berger, 2015). Zum einen erfordert die Veränderung der Kundenstruktur und damit einhergehende Bedarfslagen eine neue Produktlandschaft, zum anderen gilt es, die langfristigen Risiken in der Daseinsvorsorge zu analysieren und steuern (vgl. Hentschel, 2013; Roland Berger, 2015).

IV. Übergang zu digitalen, datenbasierten Geschäftsmodellen

Die zunehmende Durchdringung aller Lebensbereiche mit moderner Internet-Technologie ermöglicht, dass sich auch auf allen Wertschöpfungsstufen der Assekuranz neue, vor allem technologiegetriebene Marktteilnehmer etablieren (vgl. Roland Berger, 2015). Um die Verdrängung durch branchenfremde Unternehmen zu vermeiden, müssen Versicherer im Rahmen der Digitalisierung sowohl in der Außen- als auch in der Innenbetrachtung ihre klassischen Geschäftsmodelle überprüfen, umgestalten und in neue Modelle einarbeiten (vgl. z.B. CRO Forum, 2015; KPMG, 2015). Einerseits umfasst dies, abgesehen von der Integration digitaler Technologien zur Abwicklung der Kommunikation und Interaktion mit dem Kunden (vgl. z.B. Hilker, 2012; Swiss Re, 2014; Bieber und Hoberg, 2015), eine Neuausrichtung der Produkte und Leistungen an den sich mit dem technischen Fortschritt verändernden Risiken (vgl. Weidner und Transchel, 2016). Andererseits sind dazu die darunterliegenden internen Geschäftsprozesse und Infrastrukturen zur Verknüpfung, Aggregation und Auswertung von Kundendaten als Grundlage für eine individuelle Preisgestaltung effizient sowie effektiv zu gestalten (vgl. Hartmann und Nützenadel, 2015).

2. Inhaltlicher Überblick und Beitrag der einzelnen Module

Der Umfang und die Komplexität der regulatorischen Anforderungen – nicht zuletzt als Konsequenz der Digitalisierung – ist in den letzten Jahrzehnten stark gestiegen. Mit der Einführung und Umsetzung des risikobasierten Aufsichtssystems Solvency II wird die Position des Risikomanagements im Unternehmen als Managementunterstützung bei der Entscheidungsfindung massiv gestärkt (§ 26 VAG n.F.). Konkret vernetzt eine unternehmenseigene Risiko- und Solvabilitätsbeurteilung (Own Risk and Solvency Assessment – ORSA), zu der Versicherungsunternehmen nach § 27 VAG n.F. verpflichtet sind, das Risikomanagement mit der Unternehmensplanung und -steuerung. Damit soll der Tatsache nachgekommen werden, dass nur ein ganzheitlicher Blick bei der Bewältigung herausfordernder Kapitalmarkt- und Wettbewerbssituationen hilft.

Die Solvency II-Anforderungen folgen dabei einem prinzipienbasierten Ansatz (vgl. BMF, 2015). Viele der regulatorischen Anforderungen im ORSA-Prozess zur Ermittlung der Gesamtsolvabilität, über die Abbildung 2 einen Überblick gibt, sind von den Unternehmen eigenverantwortlich umzusetzen und bisweilen dynamisch ohne feste Struktur, da es hierzu noch keine aufsichtsrechtlichen Vorgaben gibt (vgl. BaFin, 2016). Die Module 1 und 2 leisten daher einen Beitrag zur geforderten Einrichtung zuverlässiger Prozesse für die ganzheitliche Analyse

und Bewertung des unternehmenseigenen Risikoprofils und des daraus resultierenden Risiko-kapitalbedarfs, indem mit der Risikoallokation und Limitierung (Modul 1) sowie dem Stresstest und Szenarioanalysen (Modul 2) wesentliche Risikotragfähigkeitselemente im Kontext des ORSA-Prozesses aufgebaut werden.

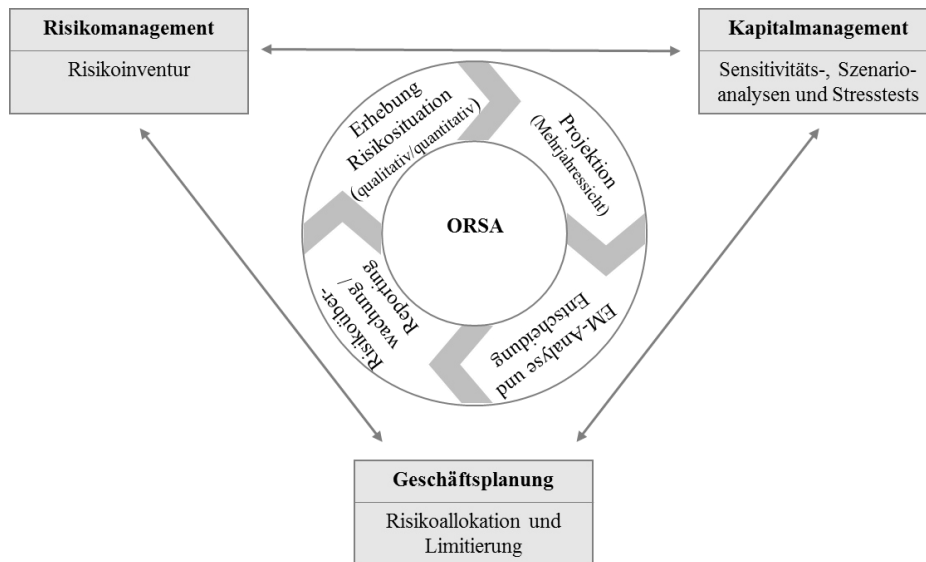


Abbildung 2: Elemente des ORSA-Prozesses (vgl. KPMG international, 2013; O’Malley und Phelan, 2013)

Die Studie „*Risikolimits in der Schaden-Unfallversicherung*“ (Modul 1) analysiert, wie sich eine durch ein konsistent aufgebautes Limitsystem (gemäß BaFin, 2009, Abschn. 7.3.1, Absatz 5) geleitete Risikosteuerung zur Sicherstellung der Risikotragfähigkeit auf die Bestandsentwicklung und das Unternehmensergebnis auswirkt. Dazu erfolgt die Betrachtung verschiedener Limitsysteme – basierend auf ausgewählten Allokationsmethoden zur Aufteilung des Diversifikationseffektes bei der Festlegung der Risikolimits und Reaktionsmöglichkeiten bei Limitüberschreitungen – im Kontext der dynamischen Finanzanalyse (DFA). Die Arbeit zeigt signifikante Unterschiede in der Entwicklung von Risiko und Rendite eines Schadenunfallversicherers je nach Höhe des Risikolimits und der daraus resultierenden Limitauslastung sowie der eingeleiteten Maßnahme bei Limitüberschreitung auf. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass es bei der Definition von Limitsystemen kritisch darauf ankommt, die Interdependenzen zwischen diversifizierten Risiken und den entsprechenden Frühwarnindikatoren adäquat zu berücksichtigen, um unerwünschte Steuerungsimpulse zu vermeiden.

In der Arbeit „*Identification of Company-Specific Stress Scenarios in Non-Life Insurance*“ (Modul 2) wird die Herleitung von geeigneten Stressszenarien, welche schließlich zur Über-

prüfung des internen Risikokapitals im Rahmen des ORSA-Prozesses Anwendung finden können, mit Hilfe von Simulationsrechnungen im Rahmen eines DFA-Modells aus Weidner (2010) und Weidner (2011) erneut aufgegriffen. Es wird ein wirkungsvoller, methodisch adäquater Ansatz zur systematischen Ableitung von Stressszenarien, die auf die unternehmensindividuelle Risikosituation abgestellt sind, vorgestellt. Dabei stellt der Rückgriff auf ein im Unternehmen bereits vorhandenes stochastisches Risikomodell, welches gleichermaßen Entwicklungsszenarien der Asset- als auch Liability-Seite unter Berücksichtigung nicht-linearer Abhängigkeiten umfasst, eine völlig neue Herangehensweise dar (vgl. Zwiesler, 2005); Hintergrund von Stressszenarien gängiger Stresstests waren bislang lediglich finanztheoretische Überlegungen auf Basis historischer Daten (vgl. z.B. BaFin, 2004; FSA, 2008). Da nicht-lineare Abhängigkeiten einen bedeutenden Einfluss auf extreme Szenarien haben, lassen sich auf die Weise zuvor höchstens pauschalisiert berücksichtigte Stressszenarien herausfiltern, welche sogar beide Bilanzseiten gleichzeitig stressen.

Ferner muss der ORSA gemäß § 27 VAG n.F. ein integraler Bestandteil der Geschäftsstrategie sein. Er dient dazu, dem Unternehmen eine risikoadäquate Bewertung der Auswirkungen des Geschäftsplans auf den Gesamtsolvabilitätsbedarf und die Solvenzkapitalanforderung zu ermöglichen. Im Zuge der Solvabilitätsbeurteilung sind Veränderungen des Risikoprofils und der Solvenzausstattung zu berücksichtigen, auch für absehbare Risiken außerhalb der Geschäftsplanungsperiode (vgl. EIOPA, 2015). Folglich sind Sensitivitäten bezüglich Kapitalausstattung und Verbindlichkeiten einzubeziehen, welche sich aus externen und internen Faktoren ergeben können (vgl. O'Malley und Phelan, 2013).

Die Module 3 und 4 greifen daher die Fragestellung auf, welchen Einfluss die mit dem demografischen Wandel verbundene Veränderung der Bevölkerungsstruktur auf das Versicherungsgeschäft hat. Die Arbeit „*Die Entwicklung der Kfz-Zulassungen in Deutschland: Eine Prognose und Implikationen für die Kraftfahrtversicherung*“ (Modul 3) betrachtet drei unterschiedliche Szenarien zur Entwicklung der Pkw-Zulassungen in Deutschland und leitet Implikationen für das Kfz-Versicherungsgeschäft ab. Die Basis für die Festlegung der Szenarien stellen Trendanalysen differenziert nach Alters-, Perioden- und Kohorteneffekten mittels einer Hauptkomponentenregression dar, darüber hinaus werden mit der technischen und wirtschaftlichen Entwicklung einhergehende Verhaltensanpassungen aufgenommen. Im Gegensatz zu bisherigen Prognosemodellen werden damit Verhaltensänderungen separat über die Zeit, über Altersgruppen und zwischen Kohorten abgebildet. Unter Rückgriff auf das in Bowles und Zuchandke (2012) eingeführte, auf der sogenannten Kohorten-Komponenten-Methode beruhende Bevölkerungsvorausrechnungsmodell wird eine Projektion der Zulassungszahlen bis zum Jahr

2040 durchgeführt. Langfristig zeigen sich in allen drei Szenarien ein rückläufiger Entwicklungsverlauf der Pkw-Zulassungen sowie eine deutliche Verschiebung der Kundensegmente durch die zunehmende Alterung der geburtenstarken Jahrgänge und Verhaltensänderungen von Kohorten – dieser Effekt ist sowohl in den im Modul 3 dargestellten als auch in den zwischenzeitlich erschienenen Studien von Roland Berger (2015) und KPMG (2015) erkennbar. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass sich die demografische Entwicklung im Allgemeinen auf die Kfz-Versicherungsnachfrage und somit auf die Beitragseinnahmen der Versicherungsunternehmen im Speziellen negativ auswirken wird.

Während die Herausforderungen der demografischen Veränderungen auf die zukünftige finanzielle Stabilität der Renten- und Pflegeversicherung in zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten abgehandelt werden, stellt der Beitrag „*Technische Unterstützungssysteme aus wirtschaftlichem Blickwinkel*“ (Modul 4) einen konkreten Lösungsansatz vor. Vor dem Hintergrund des demografischen Wandels und den daraus resultierenden gesellschaftlichen und ökonomischen Veränderungen werden präventive und operative Maßnahmen gegen Invalidität und Pflegebedürftigkeit untersucht. Im Zentrum der Analyse stehen die Effekte innovativer technischer Unterstützungssysteme auf die Volkswirtschaft. Es wird aufgezeigt, dass sich – veranlasst durch Interaktion von Mensch und Maschine – Invaliditätsraten und Pflegequoten durch verändernde berufliche Tätigkeitsfelder sowie entlastende Alltagstätigkeiten reduzieren lassen und dass technische Unterstützungssysteme damit einen Beitrag zur Anpassung des Arbeitsmarktes, der Wertschöpfung sowie der Finanzierbarkeit der Sozialsysteme an die demografischen Strukturveränderungen leisten.

Die Untersuchungsergebnisse aus den Modulen 1-4 haben eine hohe Relevanz für die Versicherungsaufsicht und Versicherungsunternehmen gleichermaßen, da sie das Spektrum der im ORSA-Prozess ableitbaren, ganzheitlichen Steuerungsimpulse maßgeblich erweitern. Die aus dem ORSA gewonnen Erkenntnisse sind dabei kontinuierlich für strategische Entscheidungsprozesse, im Besonderen bei der Produktentwicklung und -gestaltung, heranzuziehen (vgl. EI-OPA, 2015). Genauso wie der Regulierungskomplex Solvency II aus der Digitalisierung und ihren Anforderungen folgt, lässt sich nun die Frage ableiten, inwiefern weitere externe Treiber für die Marktentwicklung existieren, die bisher und in diesem Kontext nicht erfasst worden sind.

Ist die Innovationskraft der Kfz-Versicherer seit der Deregulierung in den 90er Jahren auf eine stetige Modifikation klassischer Risikomerkmale ausgelegt – dabei handelt es sich um soziodemografische und technische Ersatzmerkmale zur Beschreibung des originären Risikos – so ermöglichen digitale Technologien in bisher unbekanntem Maße, einerseits das individuelle Risiko präzise abzubilden und Informationsasymmetrien zu verringern und andererseits eine differenzierte Tarifgestaltung zu erreichen (vgl. z.B. Hartmann und Nützenadel, 2015; Weidner und Transchel, 2016). Da sich die Kfz-Versicherungsprämie über die Zeit im Wesentlichen am Risiko, d.h. dem Schadenbedarf, orientiert (vgl. GDV, 2012b), ist es unabdingbar, sich bei radikalen Marktveränderungen – insbesondere was den Einfluss potentiell disruptiver Veränderungen betrifft – zuerst mit der Tarifierung auseinanderzusetzen.

Traditionell wird der Kraftfahrttarif auf Basis der im Durchschnitt erbrachten Leistungen für ein ganzjährig versichertes Fahrzeug in einer sogenannten Risikozelle kalkuliert (vgl. Farny, 1989). Dabei wird eine Risikozelle durch zahlreiche Risikomerkmale, wie die Typklasse, Regionalklasse, Schadenfreiheitsklasse, jährliche Fahrleistung, Tarifgruppe, Nutzerkreis und Nutzeralter usw., klassifiziert (vgl. Heep-Altiner und Klemmstein, 2001). Für jedes Risikomerkmale wird die Abweichung vom durchschnittlichen Schadenbedarf ermittelt; der Grundscha-denbedarf wird anschließend für jedes Risikomerkmale mit einem Risikofaktor skaliert (vgl. Dickmann, 1988).

Innerhalb des dritten Themenbereichs werden vor diesem Hintergrund in der Arbeit „*Identifikation neuer Ansätze zur individuellen Kfz-Tarifierung*“ (Modul 5) zunächst verschiedene Pricing-Strategien grundlegend analysiert. Es werden u.a. die Ideen aufgegriffen, das Pricing mittels nicht-invasiver Biodiagnostik mit der Fahrtüchtigkeit des Fahrers in Beziehung zu setzen oder die Tarifierung nach der Verkehrssicherheit unter Einbezug von TÜV-Merkmalen auszurichten. Im Fokus der Aufarbeitung steht die Verkehrstelematik, aktuell insbesondere durch die rechtliche Entwicklung zur Einführung des eCall für Neuwagen in der Europäischen Union ab 2018 (Verordnung (EG) Nr. 2007/46) getrieben, aber im Trend der Digitalisierung und Vernetzung bis hin zum autonomen Fahren durchaus als Pricing-Innovation mit Potenzial zur Disruption einzustufen. Mittels der Nutzung von Telematik können anderweitig bisher unzugängliche Informationen zur individuellen Fahrweise und Fahrzeugnutzung mit externen Informationen verknüpft und zur Bildung entsprechender Risikokategorien verwendet werden. Hinsichtlich der Bildung von Risikokategorien ist jedoch zunächst zu untersuchen, welche telematischen Observablen, die sich in Umfang und Komplexität erheblich von etablierten Risikomerkmale unterscheiden, wesentliche Risikoinformationen enthalten.

Risikokategorien sind auch in Bezug auf telematische Risikofaktoren statistisch signifikant begründbar, sofern sie Versicherungsnehmer über den zu einer Risikokategorie gehörigen, möglichst ähnlichen Schadenbedarf segmentieren. Dennoch wird in diesem Kontext vielfach die Grundsatzfrage aufgeworfen, ob durch eine Nutzung der Verkehrstelematik für eine risikoadäquate und individuellere Prämiengestaltung nicht das Versicherungsprinzip aufgegeben werde. Dieser Frage stellt sich im Modul 6 der Artikel „*Telematik in der Kfz-Versicherung: Gefährdung des Versicherungsprinzips?*“, indem zuerst klargestellt wird, dass das Grundprinzip der Privatversicherung im Ausgleich individueller Risiken im Kollektiv und in der Zeit nach Maßgabe des Äquivalenzprinzips besteht; der Versicherungsnehmer trägt mit seiner Prämie in Höhe des individuellen Erwartungswertes seiner Leistungen einen Teil seines Risikos selbst, über das Mittel hinausgehende Schäden werden solidarisch ausgeglichen (vgl. Schulenburg und Lohse, 2014). Anschließend wird herausgearbeitet, dass durch telematische Risikomerkmale modifizierte Teilsegmente für die Prämienberechnung lediglich die Grundlage für eine risikoadäquate Berechnung des Erwartungswerts der Leistungen bilden und somit eine risikogerechtere Verteilung des gesamtgesellschaftlichen Schadens erlauben, das Versicherungsprinzip aber bestehen bleibt.

Die vier folgenden Module in diesem Themenkomplex schließlich untersuchen vollumfänglich die mit Telematik-Produkten verbundenen aktuariellen Fragestellungen. Um statistisch signifikante Risikokategorien bilden zu können, ist ein erster Schritt der Untersuchung die Bestimmung relevanter Messgrößen. In der Arbeit „*Implementierung der Pkw-Telematik in die Kfz-Versicherungstarifizierung – Ein Analyse-Ansatz für Fahrprofile*“ (Modul 7) wird daher gezeigt, inwiefern über Bewegungsdaten aus einem Fahrzeug-Mobilitäts-Modell, welches die erwartete, telematisch beobachtbare Kinematik mit hoher Präzision und großer Variationsbreite stochastisch modelliert, statistisch differenzierbare Klassen abgeleitet werden können. Aus einer breiten Datenbasis von zufällig erzeugten Fahrten, deren kinematische Daten aus realistischen Verteilungen des Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverhaltens von echten Fahrzeugen abgeleitet sind, lassen sich mittels multivariater Cluster-Analyse spezifische Fahrstile ermitteln, deren Lage- und Streumaße so verschieden sind, dass sich ihnen einzelne Fahrten eindeutig zuordnen lassen.

Im Hinblick auf die praktische Anwendbarkeit dieser Resultate zu Tarifizierungszwecken sind in einem nächsten Schritt die Modellannahmen zum einen anhand realer Messdaten zu überprüfen und zum anderen mit einer Schadenhistorie zu verknüpfen.¹ Zu diesem Zweck untersucht die

¹ Zum Aufbau einer umfassenden Schadenhistorie ist es unumgänglich, mit Verkehrstelematik ausgerüstete Portfolios über mehrere Versicherungsperioden zu beobachten. Da in Deutschland aktuell erst wenige Versicherer Testpiloten durchgeführt haben oder mit ersten Produkten, welche auf univariaten Auswertungen basieren, auf den

Studie „*Telematic driving profile classification in car insurance pricing*“ (Modul 8) die telematisch gewonnenen Bewegungsdaten eines realen Telematik-Portfolios darauf, ob die in Modul 7 eingeführten Werkzeuge geeignet sind, empirische kinematische Daten zu klassifizieren. Dabei stellt sich heraus, dass alle auf Modelldaten identifizierten Fahrstilklassenebenenfalls im realen Portfolio auftreten, wenngleich mit unterschiedlicher Häufigkeit.

Zur Annäherung an die originär auszugestaltende Tarifierungslogik hinsichtlich Telematik-Daten behandelt Modul 9, „*Aktuarielle Besonderheiten bei der Kalkulation von Telematik-Tarifen in der Kfz-Versicherung*“, die konkrete Fragestellung, wie sich – gegeben eine über die Zeit aufgebaute Schadenerfahrung – Risikokategorien aus Fahrstilklassifikationen gewinnen lassen. Die in der Versicherungspraxis zwecks Kompatibilität mit implementierten Tarifierungsmodellen erforderliche Form solcher Klassifizierungen als skalarer Score ist dabei das Ziel der Betrachtung. In der Studie wird dafür herausgearbeitet, wie es unter Zuhilfenahme der Darstellung der Fahrstile als konvexe Linearkombination auf n -Simplexen gelingen kann, lediglich vergleichende Statistiken zwischen jeweils Paaren solcher Fahrstile zu verwenden, um einen singulären Scorewert zu erhalten. Dieser Score bildet einen telematischen Risikofaktor, der sowohl für eine ex-post-Rabattsystematik als auch ex-ante-Aufnahme in die klassische Tarifierung geeignet ist.

Die in den Modulen 7-9 eingeführte Erfassung kinematischer Messgrößen zur Tariffdifferenzierung verdeutlicht zwar bereits das Potenzial der Digitalisierung im Hinblick auf Produktinnovationen, doch werden damit längst nicht alle Informationen ausgewertet, die die telematische Beobachtung von Fahrer-Fahrzeug-Einheiten erlaubt. Aufbauend auf den bisherigen Erkenntnissen zeigt die Arbeit „*Classification of Scale-sensitive Telematic Observables for Risk Individual Pricing*“ (Modul 10) auf, dass ein telematisches Fahrprofil allgemeinsten Form Informationen auf verschiedenen Zeitskalen enthält, die getrennt und umfassend ausgewertet werden müssen, um eine vollständige Risikobewertung zu ermöglichen. Konkret wird erläutert, dass mindestens vier semantisch und formell trennbare Zeitskalen ausgewertet werden können, die unterschiedliche Rückschlüsse auf das Risikoprofil zulassen. Während die vorangehenden Module sich darauf konzentrieren, das unmittelbare Fahrverhalten pro Fahrt auszuwerten, setzt der in Modul 10 eingeführte skalenbasierte Tarifierungsansatz im Hinblick auf Datensparsamkeit und Auswertbarkeit in Big-Data-Appliances neue Maßstäbe. Anhand empirischer Daten wird vorgeführt, dass über vorab eingeführte innovative Techniken sowohl detailliert einzelne Manöver als auch Fahrten und Fahrabschnitte bis hin zu ganze Versicherungsperioden betreffende,

Markt kommen, ist die Datenlage hierzu – auch in der wissenschaftlichen Literatur – im Allgemeinen nicht aussagekräftig.

kontextuelle Fragestellungen ausgewertet werden können. Die Verwendung von Mustererkennung und Fourier-Analyse in der Signalverarbeitung ist hierbei wegweisend und verdeutlicht, dass eine umfassende Nutzung der Verkehrstelematik nur in vollständig digitalisierten Systemlandschaften gelingen kann.

Die Module 5-10 bieten konkrete, innovative Implementierungshinweise für die Versicherungswirtschaft. Des Weiteren bilden sie eine fundierte Grundlage für weitere Forschungsfragen, insbesondere sobald eine gesicherte reale Datenbasis, sowohl hinsichtlich telematischer Observablen als auch zugehörige Schadenerfahrungen, vorliegt.

Im letzten Themenbereich werden die mit der digitalen Revolution und den demografischen Strukturveränderungen verbundenen Möglichkeiten und Herausforderungen im Kontext des Invaliditätsrisikos betrachtet. In einer alternden Gesellschaft (vgl. Statistisches Bundesamt, 2009) mit zunehmender Komplexität des Berufsalltags (vgl. Bowles 2014; Frey und Osborne, 2013) steigen die Ausgaben für Behandlungs- und Pflegekosten sowie für Erwerbs- und Berufsunfähigkeitsrenten in den nächsten Jahrzehnten ohne Einschränkung des avisierten hohen Leistungsniveaus unausweichlich an (vgl. BaFin, 2014). Um dieser Entwicklung zu begegnen, ist zwischen der von Max Weber bereits 1919 eingeführten Verantwortungsethik und Gesinnungsethik abzuwägen (vgl. Weber, 1988). Die Module 11 und 12 zeigen, dass negative ökonomische Konsequenzen mit verantwortungsvollem Handeln abgemildert und Sozialsysteme gar finanzierbar ausgestaltet werden können. Dabei können zunächst über den Aufbau von Know-how und schließlich über Investitionen gezielt Lösungsansätze auf dem Gebiet technischer Unterstützungssysteme geschaffen werden, anstatt wie in Phasen des wirtschaftlichen Erfolgs konsumtiv Mittel zur bloßen Erweiterung des Leistungsspektrums aufzubringen.

Als Erweiterung des 4. Moduls reichen die Ansätze der Arbeiten „*Human Hybrid Robot, Next-generation Support Technology for Manual Tasks: Challenges, Perspectives and Economic Implications*“ (Modul 11) und „*Auswirkungen technischer Unterstützungssysteme auf die Berufsunfähigkeits- und Pflegefallversicherung*“ (Modul 12) von Präventionsmaßnahmen zum Erhalt und zur Förderung der Leistungs-, Gesundheits- und Beschäftigungsfähigkeit bis zu vielfältigen operativen Maßnahmen zur Kompensation von Funktionseinbußen beruhend auf innovativ unterstützenden Technologien. Modul 11 führt das Konzept des sogenannten Human Hybrid Robots (HHR) ein, ein hybrides System mit direkter (serieller und/oder paralleler) Kopplung biomechanischer und technischer Elemente, und diskutiert die mit der praktischen Umsetzung des HHR-Konzepts für die industrielle Nutzung verbundenen Herausforderungen. Die Effekte technischer Unterstützungssysteme auf die Versicherbarkeit von Invaliditätsrisiken über eine private Berufsunfähigkeits- und Pflegefallversicherung werden in Modul 12 analysiert. Es wird

herausgearbeitet, dass sich Invaliditätsraten bzw. Pflegequoten durch den Einsatz innovativer Technologien, welche konträre Vorteile von Mensch und Maschine intelligent aufgaben- und personenspezifisch kombinieren und damit manuelle Arbeitsabläufe unterstützen, maßgeblich reduzieren lassen.

Die Module 11 und 12 liefern somit einen bedeutenden wissenschaftlichen Beitrag zum Umgang mit den sich aus dem demografischen Wandel für die deutsche Volkswirtschaft resultierenden Herausforderungen, insbesondere greifen sie die bislang in der Literatur noch wenig analysierte Komponente der technischen Unterstützungssysteme auf. Die Resultate regen dazu an, mehr darüber nachzudenken, inwieweit die erforderliche Einleitung einer investiven Phase der Verantwortungsethik auch in den Aktuarwissenschaften vorangetrieben werden kann.

3. Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf

Die vorliegende Arbeit verdeutlicht, wie sehr sich die Rahmenbedingungen für die Assekuranz in den kommenden Jahren ändern. Neben fortlaufend zunehmenden regulatorischen Anforderungen, welchen u.a. mit den in Modul 1 und 2 eingeführten Methoden nachgekommen werden kann, ist auch die Einführung telematischer Tarifierungsmethoden bereits kurzfristig relevant. Die Module 5-10 greifen die damit einhergehende Notwendigkeit zur Produktinnovation, die in bisher ungekanntem Ausmaß sämtliche Unternehmensbereiche einschließt, exemplarisch für die Kfz-Versicherung auf, insbesondere im Hinblick auf das aktuarielle Tätigkeitsfeld.

Abgesehen davon wird der Themenkomplex des demografischen Wandels vor dem Hintergrund einer sich mittel- bis langfristig verändernden Versicherungsnachfrage betrachtet (Modul 3 und 4). In der öffentlichen Meinung, aber auch in Wissenschaft und Politik, werden die biometrischen Risiken durch längere Lebenserwartung und längere Lebensarbeitszeit im Allgemeinen unterschätzt. Weder pauschale Argumentationen mit volkswirtschaftlichen Relationen noch die Vermutung, wesentliche Kosten würden erst zum Schluss anfallen, halten einer rechnermäßigen Betrachtung stand. Daraus ergibt sich, speziell im Bereich der Gesundheits- und Rentensysteme, das Erfordernis eines nachhaltigen und verantwortungsvollen Handelns. Dabei stellt sich der Einsatz technischer Unterstützungssysteme, als Integration von Mensch und Maschine innerhalb eines Systems, als ein geeignetes Mittel zur Abfederung steigender Behandlungs- und Pflegekosten sowie Erwerbs- und Berufsunfähigkeitsrenten heraus (Modul 11 und 12). Es ist hier jedoch zu differenzieren zwischen klassischen Automatisierungssystemen, die menschliche Arbeitskräfte ersetzen, und solchen technischen Unterstützungssystemen, mit denen der Mensch aufgaben- und personenspezifisch Mängel kompensieren kann.

Insgesamt wird deutlich, dass strukturelle Veränderungen sowie zunehmende Komplexität der Anforderungen und Prozesse auf allen Gebieten, insbesondere jedoch im Kern der Risikobewertung, mit weiterentwickelten actuariellen Methoden zu bewältigen sind.

Literatur

- BaFin (2016), Auslegungsentscheidung zu den allgemeinen Governance-Anforderungen an Versicherungsunternehmen, Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht, Bonn.
- BaFin (2014), Wahrscheinlichkeitstabellen in der privaten Krankenversicherung 2012, Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht, Bonn.
- BaFin (2009), Aufsichtsrechtliche Mindestanforderungen an das Risikomanagement (MaRisk VA), Rundschreiben 3/2009, Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht, Bonn.
- BaFin (2004), Rundschreiben 1/2004 (VA) – Durchführung von Stresstests, Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht, Bonn.
- Bieber, T. und Hoberg, S. (2015), Neue Digitale Geschäftsmodelle in der Versicherungswirtschaft, Working Paper, auf Anfrage bereitgestellt.
- BMG (2011), Bericht der Bundesregierung über die Entwicklung der Pflegeversicherung und den Stand der pflegerischen Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland, Bundesministerium für Gesundheit, www.bmg.bund.de [Stand 24.01.2016].
- BMF (2015), Grünes Licht für die Versicherungsaufsichtsreform Solvency II – Gesetz zur Modernisierung der Finanzaufsicht über Versicherungen vom 1. April 2015, Monatsbericht des BMF Mai 2015, 26-29.
- Bowles, J. (2014), The computerisation of European jobs – who will win and who will lose from the impact of new technology onto old areas of employment?, Bruegel, <http://www.bruegel.org/nc/blog/detail/article/1394-the-computerisation-of-europeanjobs/> [Stand 24.01.2016].
- Bowles, D. und Zuchandke, A. (2012), Entwicklung eines Modells zur Bevölkerungsprojektion – Modellrechnungen zur Bevölkerungsentwicklung bis 2060, Leibniz Universität Hannover, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Diskussionspapier Nr. 499.
- CRO Forum (2015), The Smart Factory – Risk Management Perspectives, www.scor.com, [Stand 24.01.2016].
- Dickmann, H. (1988), Kraftfahrtversicherungsmathematik. In: Farny, D., Helten, E., Koch, P., Schmidt, R. (Hrsg.) Handwörterbuch der Versicherung. Verlag Versicherungswissenschaft, Karlsruhe.
- EIOPA (2015), Final Report on Public Consultation No. 14/017 on Guidelines on own risk and solvency assessment, EIOPA-BoS-14/259, <https://eiopa.europa.eu> [Stand 24.01.2016].
- Frey, C. und Osborne, M. (2013), The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?, Oxford University.
- FSA (2008), Stress and scenario testing (CP 08/24), Financial Services Authority, London.

- GDV (2012a), Verhaltensregeln für den Umgang mit personenbezogenen Daten durch die deutsche Versicherungswirtschaft, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Berlin.
- GDV (2012b), Jahrbuch 2012 – Die deutsche Versicherungswirtschaft, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Berlin.
- Farny, D. (1989), Versicherungsbetriebslehre. Verlag Versicherungswissenschaft, Karlsruhe.
- Hartmann, M. und Nützenadel, 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.
- Heep-Altiner, M. und Klemmstein, M. (2001), Versicherungsmathematische Anwendungen in der Praxis: Mit Schwerpunkt Kraftfahrt und Allgemeine Haftpflicht. Verlag Versicherungswirtschaft, Karlsruhe.
- Hentschel, F. (2013), Langlebigkeitsanalyse von Versicherungsbeständen, ifa, Ulm.
- Hilker, C. (2012), Erfolgreiche Social-Media-Strategien für die Zukunft: Mehr Profit durch Facebook, Twitter, Xing und Co, Linde Verlag, Wien.
- IW (2008), Die Zukunft der Arbeit in Deutschland – Megatrends, Reformbedarf und Handlungsoptionen, Institut der deutschen Wirtschaft Köln, Köln.
- KPMG (2015), Gibt es eine Zukunft für die Kfz-Versicherung?, KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, Berlin.
- KMPG international (2013), At the heart of Solvency II is the ORSA, www.kmpg.com/see [Stand 24.01.2016].
- O'Malley, P., Phelan, E. (2013), ORSA – An international requirement, Milliman, Dublin us.mililiman.com [Stand 24.01.2016].
- Pack, J., Buck, H., Kistler, E., Mendius, H.G., Morschhäuser, M. und Wolff, H. (2000), Zukunftsreport demographischer Wandel – Innovationsfähigkeit in einer alternden Gesellschaft, Veröffentlichung aus dem Förderschwerpunkt „Demographischer Wandel“, Bonn.
- Roland Berger (2015), Geschäftsmodell der Kfz-Versicherung im Umbruch, Roland Berger GmbH, Frankfurt.
- Rürup, B., Huchzermeier, D., Böhmer, M., Ehrentraut, O. (2014), Die Zukunft der Altersvorsorge – Vor dem Hintergrund von Bevölkerungsalterung und Kapitalmarktentwicklungen, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft, www.gdv.de [Stand 24.01.2016].
- SVR (2011), Herausforderungen des demografischen Wandels – Expertise im Auftrag der Bundesregierung, Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, Wiesbaden.

- Schulenburg, J.-M. Graf v. d. und Lohse U. (2014), *Versicherungsökonomie: Ein Leitfaden für Studium und Praxis* (2. Auflage). Verlag Versicherungswissenschaft, Karlsruhe.
- Statistisches Bundesamt (2010), *Demografischer Wandel in Deutschland – Auswirkungen auf Krankenhausbehandlungen und Pflegebedürftige im Bund und in den Ländern*, Heft 2, Wiesbaden. www.destatis.de [Stand 24.01.2016]
- Statistisches Bundesamt (2009), *Bevölkerung Deutschlands bis 2060 – 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung*, Wiesbaden, www.destatis.de [Stand 24.01.2016].
- Swiss Re (2015), *Lebensversicherung im digitalen Zeitalter: Ein grundlegender Wandel steht bevor*, sigma Nr. 6/2015, Zürich.
- Swiss Re (2014), *Digitaler Vertrieb von Versicherungen: Eine stille Revolution*, sigma Nr. 2/2014, Zürich
- Weber, M. (1988), *Gesammelte politische Schriften*, Historisches Wirtschaftsarchiv, Paderborn.
- Weidner, W. (2011), *Modelling and Management of non-linear Dependencies: An Application for Stress Testing*, in: Zietsch, D. (Hrsg.) *Deutscher Scor-Preis für Aktuarwissenschaften 2010: Zusammenfassungen eingereicherter Arbeiten*, Schriftenreihe der SCOR Deutschland (11), Verlag Versicherungswirtschaft, Karlsruhe, 65-69.
- Weidner, W. (2010), *Modelling and Management of non-linear Dependencies: An Application for Stress Testing*, Diplomarbeit, Universität Ulm, https://www.scor.com/images/stories/pdf/library/actuarial-prize/2010_de_weidnerwiltrud.pdf [Stand 24.01.2016].
- Weidner, W. und Transchel, F.W.G. (2016), *Anforderungen an die Tarifierung in Zeiten von Digitalisierung und Big Data – am Beispiel der Kfz-Versicherung*, in: Eckstein, Liebetrau (Hrsg.) *Insurance & Innovation*, Verlag Versicherungswissenschaft, Karlsruhe, in Erscheinung.
- Zwiesler H.-J. (2005), *Asset-Liability-Management – die Versicherung auf dem Weg von der Planungsrechnung zum Risikomanagement*, in: Spremann, K. (Hrsg.) *Versicherungen im Umbruch*, Springer, Berlin, 117-131.

Module der kumulativen Dissertation

1. ***Risikolimiten in der Schaden-Unfallversicherung***

Weidner, W. (2014), *Zeitschrift für die gesamte Versicherungswissenschaft* 103(5), 467-488

2. ***Identification of Company-Specific Stress Scenarios in Non-Life Insurance***

Weidner, W., Graf von der Schulenburg, J.-M. (2016), *Applied and Computational Mathematics*, Special Issue: Computational Methods in Monetary and Financial Economics 5(1-1), 1-13

3. ***Die Entwicklung der Kfz-Zulassungen in Deutschland – Eine Prognose der Kfz-Zulassungen und Implikationen auf die Versicherungswirtschaft***

Weidner, W., Vanella, P., Zuchandke, A. (2015), *Zeitschrift für die gesamte Versicherungswissenschaft* 104(4), 365-387

4. ***Technische Unterstützungssysteme aus wirtschaftlichem Blickwinkel***

Weidner, W., Graf von der Schulenburg, J.-M. (2015), *Technische Unterstützungssysteme*, Ed.: Weidner, R., Redlich, T., Wulfsberg, J. P., Springer Berlin, 101-108

5. ***Identifikation neuer Ansätze zur individuellen Kfz-Tarifierung***

Weidner, W., Weidner, R. (2014), *Zeitschrift für die gesamte Versicherungswissenschaft* 103(2), 167-193

6. ***Telematik in der Kfz-Versicherung: Gefährdung des Versicherungsprinzips?***

Schwarzbach, C., Weidner, W. (2015), *Der Aktuar* 04.2015, 202-205

7. ***Die Implementierung der Pkw-Telematik in die Kfz-Versicherungstarifizierung – Ein Analyse-Ansatz für Fahrprofile***

Weidner, W., Weidner, R., Transchel, F.W.G. (2015), *Zeitschrift für Verkehrswissenschaft* 85(2), 91-121

8. ***Telematic driving profile classification in car insurance pricing***
Weidner, W., Transchel, F.W.G., Weidner, R. (2015), *Annals of Actuarial Science* (Status: In Erscheinung)

9. ***Aktuarielle Besonderheiten bei der Kalkulation von Telematik-Tarifen in der Kfz-Versicherung***
Weidner, W., Transchel, F.W.G. (2015), *Zeitschrift für die gesamte Versicherungswissenschaft* 104(5), 595-614

10. ***Classification of Scale-sensitive Telematic Observables for Riskindividual Pricing***
Weidner, W., Transchel, F.W.G., Weidner, R. (2016), *European Actuarial Journal* 6(1), 3-24

11. ***Human Hybrid Robot, Next-generation Support Technology for Manual Tasks: Challenges, Perspectives and Economic Implications***
Yao, Z., Weidner, W., Weidner, R., Wulfsberg, J. (2015), *SAE Technical Paper* 2015-01-2601, DOI: 10.4271/2015-01-2601

12. ***Auswirkungen technischer Unterstützungssysteme auf die Berufsunfähigkeits- und Pflegefallversicherung***
Weidner, W. (2014), *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen, Band zur ersten Transdisziplinären Konferenz*, Ed.: Weidner, R., Redlich, T., Helmut-Schmidt-Universität, 196-205

Modul 1

Risikolimiten in der Schaden-Unfallversicherung

Wiltrud Weidner

Zeitschrift für die gesamte Versicherungswissenschaft 103(5), 467-488, 2014

DOI: 10.1007/s12297-014-0286-2

The final publication is available at Springer via <http://dx.doi.org/10.1007/s12297-014-0286-2>

Risikolimiten in der Schaden-Unfallversicherung

Wiltrud Weidner

Online publiziert: 13. November 2014
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

Zusammenfassung Zur Sicherstellung der Risikotragfähigkeit ist die Entwicklung von zuverlässigen Prozessen für ein System von Risikolimiten erforderlich. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, verschiedene Risikolimiten in die dynamische Finanzanalyse (DFA) zu integrieren und Auswirkungen auf Risiko und Rendite eines Schadenversicherers zu analysieren. Zugrunde gelegt wird, dass die Risikobegrenzung in der Risikotragfähigkeitssteuerung über ein konsistentes Limitsystem erfolgen kann. Es wird aufgezeigt, unter welchen Rahmenbedingungen ausgewählte Allokationsmethoden und Handlungsoptionen zweckmäßige Steuerungsimpulse geben. Das Untersuchungsergebnis hat eine hohe Relevanz für Aufsichtsbehörden, welche die Aufstellung eines Risikoüberwachungs- und Risikosteuerungsinstruments fordern, aber auch für Versicherungsunternehmen, da sie den Anforderungen nachkommen müssen.

Abstract The development of reliable processes for a system of risk limits is required to ensure the risk-bearing capacity. In this paper, we aim to integrate different risk limits in a dynamic financial analysis (DFA) framework and to analyze influences on a non-life insurer's risk and return profile. For managing the risk-bearing capacity, it is assumed that the risk limitation can be made by using a consistent limit system. We show the general conditions under which selected allocation methods and options for action provide appropriate control impulses. The result is highly relevant for regulators, who request an implementation of a risk monitoring and risk management instrument, but also for insurance companies, since they have to fulfill the requirements.

W. Weidner (✉)
Leibniz Universität Hannover, Institut für Versicherungsbetriebslehre,
Otto-Brenner-Str. 1,
30159 Hannover, Deutschland
E-Mail: ww@ivbl.uni-hannover.de

1 Einleitung

Ein wesentliches Element im Risikomanagementprozess eines Versicherungsunternehmens stellt die Risikosteuerung dar. Zur operativen Risikosteuerung setzen Versicherungsunternehmen Limitsysteme ein, deren Grundlage ein Risikotragfähigkeitskonzept bildet. Unter einem Limitsystem wird ein Steuerungs- und Überwachungsinstrument verstanden, welches die „im Einklang mit der Risikostrategie gesetzten Begrenzungen der Risiken auf die wichtigsten zu steuernden Organisationsbereiche des Unternehmens herunter bricht“ (siehe BaFin 2009, Abschn. 7.3.1, Absatz 5). Das Limitsystem definiert einen Prozess, der bei Überschreitung der ex ante festgelegten Grenzen automatisiert Absicherungsmaßnahmen einleitet. Limitsysteme müssen im Kontext des Solvency II Regelwerkes somit als Bindeglied zwischen den quantitativen und qualitativen Anforderungen, also zwischen den Säulen 1 und 2, gesehen werden (vgl. Quick und Weglarz 2012).

Erfolgt die unternehmensinterne Risikotragfähigkeitsbetrachtung wie von der Aufsicht gefordert (vgl. Europäisches Parlament 2009) auf der Grundlage diversifizierter Risiken, ist die Unternehmenssteuerung ebenfalls daran auszurichten (vgl. BaFin 2009). Dazu gilt es, den im Risikokapital enthaltenen Diversifikationseffekt adäquat auf die zu steuernden Bereiche aufzuteilen und sogenannte Risikolimits festzulegen. Zur Allokation des diversifizierten Risikokapitals wird in der Literatur eine Vielzahl mathematischer Methoden vorgeschlagen (vgl. Albrecht und Koryciorz 2004). Die geeignetste Allokationsmethode ist anhand zusätzlicher Auswahlkriterien auszuwählen, da keine Methode ‚richtige‘ Anreize für jedes Risikoprofil und jede Fragestellung liefert (vgl. Diers 2011). Die zum Bestand gehörende Limitauslastung ist einer regelmäßigen Betrachtung zu unterziehen, um gewährleisten zu können, dass die Verluste sämtlicher Organisationsbereiche das verfügbare Kapital mit einer vorab festgelegten Wahrscheinlichkeit nicht überschreiten. Bei Erreichen eines Risikolimits ist das zugewiesene Risikokapital verbraucht, sodass spätestens bei Verletzung der Limite die im Vorfeld festgelegten gegensteuernden Maßnahmen einzuleiten sind (vgl. BaFin 2009; Korte und Romeike 2009). Maßnahmen können eine Risikoreduktion, z. B. durch einen Risikotransfer oder durch eine selektive Kündigung von unrentablen Risiken sowie eine Limitaufstockung, z. B. durch eine Eigenmittelerhöhung oder Reallokation nicht ausgelasteter Limite sein (vgl. Brosemer et al. 2010a, b).

In dieser Arbeit wird analysiert, wie sich eine durch ein Limitsystem geleitete Risikosteuerung auf die Bestandsentwicklung und das Unternehmensergebnis auswirken. Dazu erfolgt die Betrachtung von Limitsystemen im Kontext der dynamischen Finanzanalyse (DFA), wobei die Sicherstellung der Risikotragfähigkeit als aufsichtsrechtliche Zielgröße (vgl. BaFin 2009) die Risiko-Rendite-Optimierung als Unternehmenszielfunktion des wertorientierten Steuerungssystems (vgl. Diers 2011; Kraus 2013) ersetzt. Dieser Beitrag zeigt auf, weshalb und inwiefern die Wahl der Allokationsmethode bei der Herleitung von Risikolimitsen entscheidend ist. Insbesondere wird die Wirkungsweise von Managementstrategien, die durch Limitüberschreitungen ausgelöst werden, auf die Risiko- und Rendite-Situation eines Versicherungsunternehmens dargestellt. Die vorliegende Arbeit zeigt ferner, wie Risikolimits bestimmt werden können und ausfallen müssen, damit sie im Rahmen eines Limitsystems einen Beitrag zur Sicherstellung der Risikotragfähigkeit liefern.

Der weitere Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Im Kap. 2 wird zunächst der allgemeine Modellrahmen vorgestellt. In Kap. 3 werden Konflikte bei der Steuerung und Reaktionsmöglichkeiten bei Limitüberschreitungen aufgezeigt. Verdeutlicht werden die Auswirkungen von verschiedenen Risikolimiten im Zusammenspiel mit unterschiedlichen Managementstrategien in einer Simulationsstudie in Kap. 4. Es folgt ein Fazit in Kap. 5.

2 Modellrahmen

Zugrunde gelegt wird ein Risikotragfähigkeitskonzept eines Versicherungsunternehmens, wie es im § 64a des Versicherungsaufsichtsgesetzes (VAG) gefordert wird (vgl. auch BaFin 2009; Frey und Kaschner 2009). Des Weiteren wird ein im Zusammenhang mit der Risikotragfähigkeit erstelltes Limitsystem zur Verknüpfung des Risikotragfähigkeitskonzepts mit der operativen Unternehmenssteuerung betrachtet.

2.1 Das Allokationsproblem

Betrachtet werden n Risikosegmente R_1, \dots, R_n (z. B. Sparten eines Versicherungsunternehmens) mit zugehörigen Verlustvariablen $X_i, i = 1, \dots, n$. Es sei (X_1, X_2, \dots, X_n) ein Zufallsvektor über dem Wahrscheinlichkeitsraum (Ω, \mathcal{F}, P) . Die Gesamtverlustvariable wird definiert als Summe

$$X = \sum_{i=1}^n X_i. \tag{1}$$

Sei $\rho : L(\Omega, \mathcal{F}, P) \rightarrow \mathbb{R}$ ein Risikomaß, wobei $L(\Omega, \mathcal{F}, P)$ die Menge aller reell-messbaren Zufallsvariablen darstelle. Es wird angenommen, dass das Unternehmen das aggregierte Risikokapital

$$K = \rho(X) = \sum_{i=1}^n \rho(X_i, X) \tag{2}$$

ermittelt. Darüber hinaus bestimmt das Unternehmen das jeweilige Segmentrisikokapital

$$K_i = \rho(X_i), i = 1, \dots, n \tag{3}$$

anhand des Stand-Alone-Ansatzes, also in einer isolierten Betrachtung. Der Diversifikationseffekt des Systems (X_1, X_2, \dots, X_n) bzgl. ρ ist dann durch

$$D_\rho(X_1, \dots, X_n) = \sum_{i=1}^n K_i - K \tag{4}$$

gegeben. Es gilt $D_\rho(X_1, \dots, X_n) > 0$, sofern die Verlustvariablen $X_i, i = 1, \dots, n$, nicht alle vollständig positiv korreliert sind und das Risikomaß ρ subadditiv ist (vgl. z. B.

Tsanakas und Desli 2003). In diesem Fall wäre auf der Unternehmensebene weniger Risikokapital aufzubringen als bei isolierter Betrachtung der Segmente.

Zum Zweck der Gewährleistung einer ausreichenden Kapitalausstattung oder zur Erwirtschaftung einer angemessenen Mindestrendite soll unter Berücksichtigung des Diversifikationseffektes das exogen festgelegte Gesamtrisikokapital K den einzelnen Segmenten zugewiesen werden (vgl. Diers 2012a). Das Problem dieser Kapitalallokation soll mittels eines Allokationsprinzips (vgl. Denault 2001; Valdez und Chernih 2003), also einer Abbildung $\Gamma : \mathbb{R} \times (L(\Omega, \mathcal{F}, P))^n \rightarrow \mathbb{R}^n$,

$$\Gamma : (\rho, X_1, \dots, X_n) \rightarrow \begin{pmatrix} \Gamma_1(\rho, X_1, \dots, X_n) \\ \vdots \\ \Gamma_n(\rho, X_1, \dots, X_n) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_1(\rho, X_1, \dots, X_n)\rho(X) \\ \vdots \\ \gamma_n(\rho, X_1, \dots, X_n)\rho(X) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_1^* \\ \vdots \\ K_n^* \end{pmatrix}, \quad \text{mit}$$

$K = \sum_{i=1}^n K_i^*$ und den Allokationskoeffizienten $\gamma_i, i = 1, \dots, n$, gelöst werden.

Abschließend sind die Zusammenhänge der Diversifikation und Allokation in Abb. 1 zusammengefasst.

2.2 Die Risikokapitalverteilung

Die Mittelzuweisung auf die einzelnen Segmente erfolgt im Rahmen dieser Arbeit mit der Zielsetzung der Sicherstellung der Risikotragfähigkeit des Gesamtunternehmens. Damit ist gemeint, dass die wesentlichen Risiken durch das zur Risikodeckung verfügbare Kapital laufend abgedeckt sind. Zur Überprüfung der Risikotragfähigkeit wird dem verfügbaren Risikokapital das erforderliche Risikokapital K gegenübergestellt. Bei der Messung des erforderlichen Risikokapitals sind „Auswirkungen etwaiger Risikominderungstechniken und Diversifikationseffekte zu berücksichtigen“ (siehe Europäisches Parlament 2009, Abschn. (64)). Fließen in die Risikotragfähigkeitsbetrachtung jedoch diversifizierte Risiken ein, ist die Unternehmenssteuerung, welche auf der Ebene von Organisationsbereichen stattfindet, ebenfalls darauf abzu-

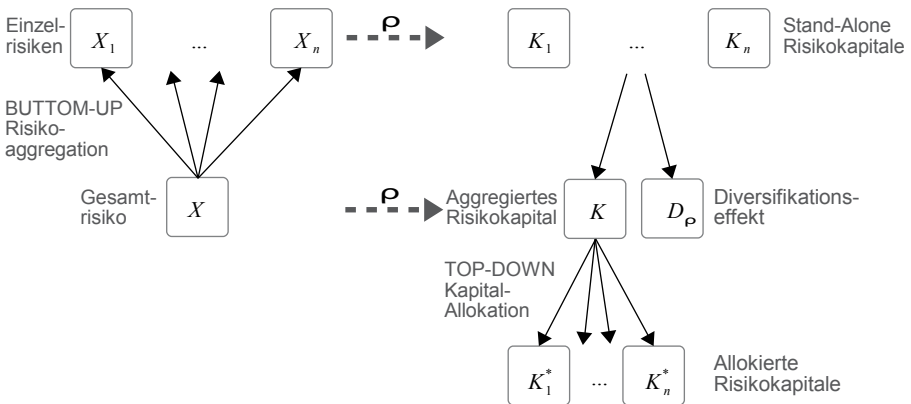


Abb. 1 Diversifikation und Allokation

stellen. Dadurch wird schließlich gewährleistet, dass die Verluste sämtlicher Bereiche das verfügbare Kapital mit einer vorab festgelegten Wahrscheinlichkeit nicht überschreiten.

Konkret gilt es, den Diversifikationseffekt $D_\rho(X_1, \dots, X_n)$, welcher bei der Zusammenfassung der n Risikosegmente aufgrund von Risikoausgleichseffekten entsteht, adäquat auf die Risikosegmente R_1, \dots, R_n aufzuteilen. Es wird unterstellt, dass das Geschäft nach diesen Risikosegmenten auf Basis des zugewiesenen Risikokapitals $K_i^*, i = 1, \dots, n$, gesteuert wird. Die Zerlegung des Diversifikationseffektes und die Zuweisung auf die n Risikosegmente ist gleichbedeutend mit der Allokation des bereits diversifizierten Risikokapitals K auf die n Risikosegmente. Für die Allokation des Risikokapitals wird in der Literatur eine Vielzahl mathematischer Methoden vorgeschlagen (vgl. z. B. Albrecht und Koryciorz 2004), „ohne dass eine Konvergenz der Diskussion über die Angemessenheit der Allokationsverfahren zu erkennen ist“ (siehe Gründl und Schmeiser 2007). Die geeignetste Allokationsmethode ist anhand zusätzlicher Auswahlkriterien auszuwählen.

Der Kriterienkatalog ist in der Praxis recht komplex, weil mehrere Anspruchsgruppen Einfluss auf die Zielbildung eines Unternehmens nehmen. Dies spiegelt die in Abb. 2 dargestellte, zum Teil untereinander konkurrierende, Zielstellung für die Verteilung des Kapitals wider. Die Verteilung ist abhängig von der Risikostrategie und den Risikoprofilen der Risikosegmente. Ist in einem Risikosegment beispielsweise ein strategisches Wachstumsziel geplant, ist für dieses ausreichend Risikokapital aufzuwenden oder es sind risikosenkende Maßnahmen einzuführen, um dessen Handlungsspielraum nicht in unangemessener Form einzuschränken.

2.3 Das Limitsystem

Unter einem Limitsystem wird ein Steuerungs- und Überwachungsinstrument verstanden, welches die „im Einklang mit der Risikostrategie gesetzten Begrenzungen der Risiken auf die wichtigsten zu steuernden Organisationsbereiche des Unternehmens herunter bricht“ (siehe BaFin 2009, Abschn. 7.3.1, Absatz 5). Es dient dazu, das

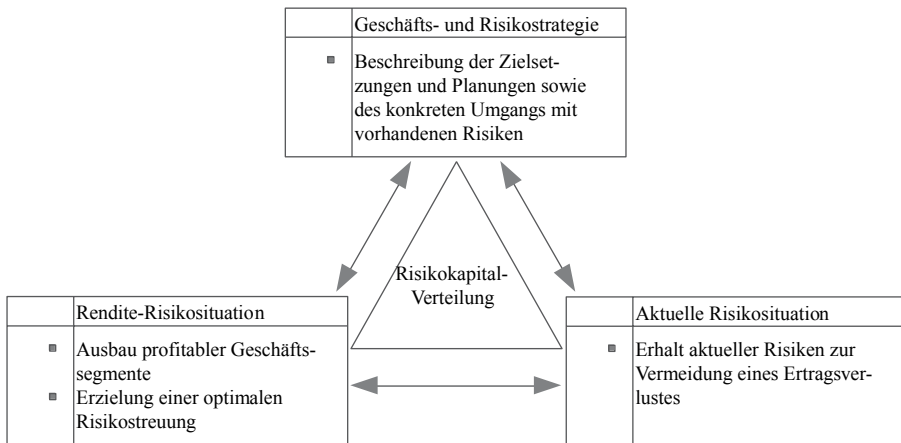


Abb. 2 Entscheidungsreieck bei der Risikokapitalallokation

aufsichtsrechtlich vorgegebene Ziel der Sicherstellung der Risikotragfähigkeit des Unternehmens zu gewährleisten.

Im vorliegenden Beitrag wird das Limitsystem auf der Grundlage der Verteilung der gesamten Risikotoleranz, die definitionsgemäß dem diversifizierten Risikokapital K entspricht, implementiert.¹ Danach ergibt sich das Risikolimit eines Segmentes R_i , $i = 1, \dots, n$, als das allokierte Kapital K_i^* , $i = 1, \dots, n$, sodass das notwendige Risikokapital K der Summe der zugewiesenen Risikokapitale $\sum_{i=1}^n K_i^*$ entspricht.² Diese Definition ist dadurch gekennzeichnet, dass der Zeitpunkt des Überschreitens eines Limits äquivalent zur Reaktion, also dem Auslösen von Maßnahmen, ist.

Die zum Bestand gehörende Limitauslastung ist regelmäßig zu prüfen (vgl. BaFin 2009, Abschn. 7.3.1, Absatz 8). Bei Erreichen eines Limits ist die zugewiesene Risikokapitalunterlegung verbraucht. So sind spätestens bei Auftreten von Limitüberschreitungen³ im Vorfeld festgelegte risikostrategische Maßnahmen zu ergreifen.⁴ Vorstellbar wäre eine Risikoreduktion durch einen Risikotransfer oder durch eine selektive Trennung von unrentablen Risiken in Kombination mit einer Risikobegrenzung durch Unterbindung einer Neuakquise. Ebenso denkbar wäre eine Akzeptanz der Überschreitung. Solange das Gesamtlimit eingehalten wird, könnte eine Reallokation der Limite erfolgen, andernfalls wäre eine Aufstockung über eine Veränderung der Risikoneigung mit einer ggf. erforderlichen Eigenmittelerhöhung möglich. Damit wird der Eintritt weiterer Verluste über das Limit hinaus hingenommen (vgl. Brosemer et al. 2010a, b).

3 Handlungsoptionen bei Limitüberschreitungen

Das Risikotragfähigkeitskonzept ist über ein auf der Risikotragfähigkeit konsistent aufgebautes Limitsystem in das Unternehmensgeschehen zu etablieren (vgl. BaFin 2009; Frey und Kaschner 2009). Die Verknüpfung von Risikokapitalmodell und Limitsystem mit einer wertorientierten Steuerung hat Auswirkungen auf die gesamte Unternehmenssteuerung. Im Folgenden werden Reaktionsmöglichkeiten bei Limitüberschreitungen aufgezeigt. Außerdem wird versucht, einen Rahmen für die Gesamtversicherungssteuerung aufzustellen; ein Vorgabekatalog ist in Abb. 3 dargestellt.

¹Die Risikotoleranz bildet den Anteil der Eigenmittel, der tatsächlich zur Abdeckung der Risiken eingesetzt werden soll. Die Obergrenze der Risikotoleranz ist durch die Risikotragfähigkeit vorgegeben (vgl. BaFin 2009). Eine alternative Definition der Risikotoleranz ist daher möglich.

²Für Steuerungszwecke sollte die Risikokapitalanforderung ebenfalls in operative Limite und Kennzahlen übertragen werden (vgl. BaFin 2009). Diese Steuerungsgrößen sind den Risikosegmenten zuzuweisen.

³Zusätzlich können als Indikatoren für die Teilauslastung der Limite, sozusagen als Frühwarnindikatoren, Schwellenwerte definiert werden (siehe BaFin 2009). Eine Schwellenwertüberschreitung kann in einer folgenden Forschungsarbeit betrachtet werden.

⁴Mit Blick auf Gewinnchancen ist zu beachten, dass Limitüberschreitungen nur darauf hinweisen, wann Maßnahmen zu ergreifen sind, nicht aber den Zeitpunkt anzeigen, ab dem auf sie wieder verzichtet werden kann.

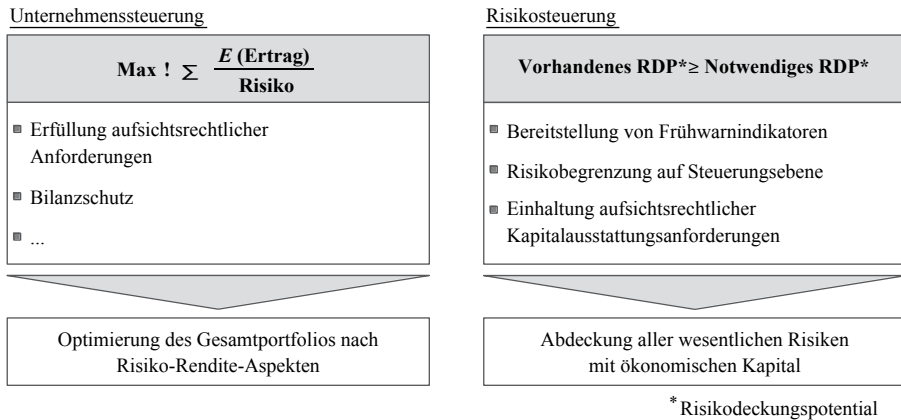


Abb. 3 Mögliche Managementziele (vgl. Diers 2012b) (links) und Ziele des Limitsystems laut BaFin (2009) (rechts)

3.1 Herausforderung an die Steuerung

Unter dem Begriff der Gesamtversicherungssteuerung versteht man heutzutage im Hinblick auf die veränderten Rahmenbedingungen auf den Kapital- und Versicherungsmärkten eine Risiko-Rendite-Steuerung (vgl. Spremann 2002; Schmautz und Hartung 2009; Diers 2011). Im Vordergrund steht dabei die Bewertung des Verhältnisses aus Rentabilität und Risiko im Unternehmen auf Basis risikoadjustierter Performancekennzahlen sowie die Optimierung des Gesamtportfolios nach der Risiko-Rendite-Situation (vgl. Heep-Altiner et al. 2010; Kraus 2013; Diers 2012b). Die Frage der Risikotragfähigkeit wird dabei eher als aufsichtsrechtliche Anforderung und somit gewöhnlich als Nebenbedingung, die bei der Steuerung beachtet werden muss, aufgefasst (vgl. Diers 2007, 2012b; siehe Abb. 3).

In der (freien) Marktwirtschaft stellt die ökonomische Profitorientierung von Unternehmen eine wichtige Voraussetzung für eine funktionierende Wirtschaft dar. Aber gerade aus ordnungspolitischen Gründen sind neuerdings zwei andere Gesichtspunkte immer stärker angesprochen: Einerseits der Verbraucherschutz über die Sicherstellung der dauerhaften Erfüllbarkeit der Verpflichtungen und im Zuge der Finanzmarktkrise die Systemrelevanz einzelner Teile der Finanzwirtschaft. So sollen Unternehmen reguliert werden, um sowohl den einzelnen Versicherten als auch die gesamte Volkswirtschaft weitestgehend vor dem Ruin des Unternehmens zu schützen. Zur Erreichung dieses Sicherheitsziels kann ein Limitsystem betrachtet werden. Wird das Limitsystem als Grundlage zur Unternehmenssteuerung verwendet, wird die Einhaltung der Risikotragfähigkeit als Zielgröße definiert (siehe Abb. 3). Ziel ist es, sicherzustellen, dass das gemessene, aggregierte Risikokapital (erforderliches Risikodeckungspotential) das zur Risikodeckung verfügbare Kapital (vorhandenes Risikodeckungspotential) nicht überschreitet (vgl. BaFin 2009). Das Unternehmensziel der bestmöglichen Gewinnerzielung mit nachhaltigem Kapitaleinsatz tritt nicht nur hinter diese Zielgröße zurück, sondern bleibt unberücksichtigt. Damit ebenfalls

in die Steuerung nicht einbezogen werden die aus Cross-Selling- und Cross-Storno-Effekten sowie Preisabsatzfunktionen resultierenden Erfolgspotentiale.

Festzuhalten ist, dass sich durch die Kombination einer wertorientierten Steuerung mit einer durch ein Limitsystem geleiteten Risikosteuerung gegenläufige Steuerungsimpulse ergeben können. Es stellt sich die Frage, ob bzw. inwiefern sich die Managementziele mit den Zielen eines Limitsystems verbinden lassen und das Unternehmen auf Basis des Risikokapitals gesteuert werden kann. Allgemein formuliert: Gibt es ein Limitsystem, das den Verbraucherschutz optimiert, ohne die freie Marktwirtschaft abzuschaffen? Oder wird dazu ein Limitsystem mit zumindest zwei Komponenten – strategischen und operativen Limiten – benötigt (vgl. Joos 2013)? Dieser Frage wird im nächsten Kapitel mittels eines Fallbeispiels nachgegangen.

3.2 Managementregeln

Soll nun eine DFA-Projektion unter Berücksichtigung einer auf einem Limitsystem basierenden Risikosteuerung durchgeführt werden, ist es entscheidend, Verhaltensregeln für die Akteure der Risikosegmente R_1, \dots, R_n , die bei Eintritt von Limitüberschreitungen in Kraft treten, aufzustellen und im DFA-Modell zu integrieren. In diesem Beitrag werden zunächst risikostrategische Entscheidungsansätze heuristischer Natur verfolgt, um ganz allgemein Erkenntnisse gewinnen zu können. Es erfolgt eine Beschränkung auf die aus Sicht eines Erstversicherungsunternehmens am ehesten in Erwägung gezogenen Strategien. Sie können in folgenden Forschungsarbeiten erweitert, verfeinert bzw. kombiniert werden. Ferner beziehen sich die präsentierten Regeln auf das Zeichnungsrisiko eines Schaden- und Unfallversicherers, das oftmals den bedeutendsten Treiber für das Risiko und die Komplexität darstellt. Eine besondere Situation ergibt sich bei Betrachtung des Zeichnungsrisikos insofern, dass bei seiner Steuerung – anders als bei der Steuerung des Kapitalanlagerisikos – eine sofortige, vollständige Auflösung bzw. Risikofreistellung einer Risikoposition nicht umsetzbar ist. Dies hat zur Folge, dass komplexere Verhaltensweisen in Erwägung gezogen werden müssen.

3.2.1 Die Reallokations-Strategie

Wird ein Risikolimit eines Risikosegmentes nicht vollständig ausgenutzt, ist es möglich, dieses zugewiesene Risikokapital zu reduzieren und auf andere Segmente zu verteilen (vgl. Korte und Romeike 2009). Ausgeschöpfte Limite können dadurch mit sofortiger Wirkung aufgestockt werden. Sofern das Gesamt-Risikolimit überschritten wird, wird die restliche Überschreitung im Rahmen der Risikotragfähigkeit akzeptiert. Eine Kompensation durch eine Eigenmittelaufstockung erfolgt nicht. Mit der Reallokations-Strategie bleibt die Höhe der Risikopositionen und somit die Ruinwahrscheinlichkeit des Unternehmens unberührt. Dagegen ist sie unter dem Gesichtspunkt der zu erzielenden Performance zu betrachten. Nicht genutztes Risikokapital ist mit Kapitalkosten verbunden, welche aber nicht erwirtschaftet werden.

3.2.2 Die Rückversicherungs-Strategie

Als wirkungsbezogene Risikosteuerungsmaßnahme bei Limitüberschreitungen wird ein Risikotransfer durch Erhöhung der Rückversicherung im betroffenen Risikosegment durchgeführt. Die Erhöhung des Rückversicherungsschutzes erfolgt im unmittelbaren Anschluss an die Limitüberschreitung im betroffenen Segment. Das Risiko als solches bleibt unverändert bestehen, wird jedoch durch Überwälzung auf Dritte aus dem Unternehmen ausgelagert. Die Auswahl des Rückversicherungsvertrags erfolgt vorrangig nach dessen Effektivität bei der Risikoentlastung und nicht nach Risiko-Rendite-Gesichtspunkten.

3.2.3 Die Abbau-Strategie

Zur Risikovermeidung bzw. -minderung hat das Versicherungsunternehmen im Bereich des Risikogeschäfts die Möglichkeit, auf ein Geschäft gänzlich zu verzichten oder ein Geschäftsfeld aufzugeben. Ein Zeichnungsverzicht bestimmter Risiken lässt das versicherungstechnische Risiko des Unternehmens unberührt. Eine Minderung des Risikos im Folgejahr ist realisierbar, falls sich das Unternehmen in der nächsten Periode durch eine gezielte Kündigung bereits übernommener, unrentabler Risiken trennt. Zu beachten ist, dass diese Strategien nur unter Akzeptanz von Kundenreaktionen wie dem Cross-Selling bzw. Cross-Storno-Effekt umgesetzt werden können und damit auf Ertragschancen verzichtet werden muss (vgl. Farny und Kirsch 1987; Wagner und Warmuth 2005).

4 Drei Risikolimiten in einer Beispielsimulation

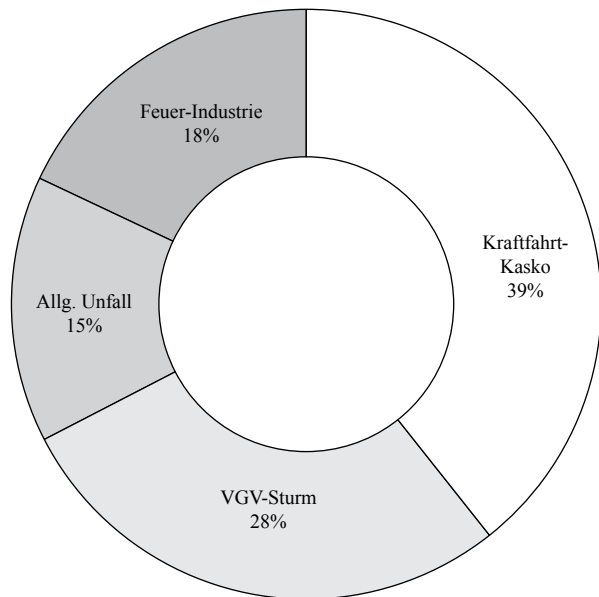
Die Entwicklung von Risikolimiten für die Zeichnungsrisiken und deren Wirkungsweise auf die Risiko-Rendite-Situation eines Schaden- und Unfallversicherungsunternehmens wird anhand einer Fallstudie veranschaulicht. Dazu werden drei Allokationsverfahren vor dem Hintergrund der Eignung zur Ermittlung von Risikolimiten einer kritischen Analyse unterzogen.

4.1 Der Beispielbestand

Der Beispielbestand entspricht in seinen wesentlichen Eigenschaften denen eines durchschnittlichen deutschen Schaden- und Unfallversicherers (vgl. GDV 2012; Willis 2012); Tab. 5 im Anhang fasst die Modellparameter zusammen. Es werden vier Risikosegmente aus verschiedenen Versicherungszweigen über einen fünfjährigen Zeithorizont modelliert.⁵ Das Schadenmodell beruht aufgrund der unterschiedlichen Schadenverläufe auf einer separaten Modellierung der Kumul-, Groß- sowie

⁵Die Auswahl der Risikosegmente wurde so getroffen, dass die wesentlichen Spartencharakteristika vertreten sind und damit eine große Bandbreite an Untersuchungsmöglichkeiten gegeben ist. Im Mittelpunkt soll die allgemeine Methodik stehen, daher beschränken sich die Ausführungen aus Gründen der Übersichtlichkeit auf das Zeichnungsrisiko (siehe hierzu auch Abschn. 3.2). Die Vorgehensweise kann analog für das Risiko des Gesamtunternehmens erfolgen.

Abb. 4 Brutto-Beitragsstruktur



Basisschäden.⁶ Abhängigkeitsstrukturen werden über die Implementierung einer Gauss-Copula bei den Basisschäden berücksichtigt, ansonsten wird Unabhängigkeit unterstellt. Es wird zunächst angenommen, dass sich das Unternehmen im fünfjährigen Betrachtungshorizont gemäß der Planung entwickelt und keine grundlegende Änderung der Zeichnungs- und Rückversicherungspolitik erfolgt. Im ersten Jahr verteilen sich die Prämieinnahmen in Höhe von 178 Mio. € (brutto, d. h. vor Rückversicherung) auf (Abb. 4)

1. 32 Mio. € Feuer-Industrie,
2. 26 Mio. € Allgemeine Unfall,
3. 50 Mio. € Sturm in der verbundenen Wohngebäudeversicherung (VGV) und
4. 70 Mio. € Kraftfahrt-Kasko.

Die Berechnung des erforderlichen Risikokapitals erfolgt unter Anwendung des Tail-Value-at-Risk (*TVaR*) zum Sicherheitsniveau 99,5%.⁷ Das interne Sicherheitsniveau liegt damit über dem 99,5% Value-at-Risk (*VaR*) auf eine 1-Jahressicht, der in der Solvency II-Rahmenrichtlinie (vgl. Europäisches Parlament 2009) gefordert wird.

Abbildung 5 zeigt das notwendige Risikokapital der einzelnen Segmente pro Jahr

$$RAC = \frac{\sum_{t=1}^5 TVaR_{99,5}(-AYR_t)}{5} \quad (5)$$

⁶Die Modellierung erfolgt in Anlehnung an Diers (2007).

⁷Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Höhe der Risikolimits der einzelnen Risikosegmente entscheidend vom angewendeten Risikomaß und Sicherheitsniveau abhängt.

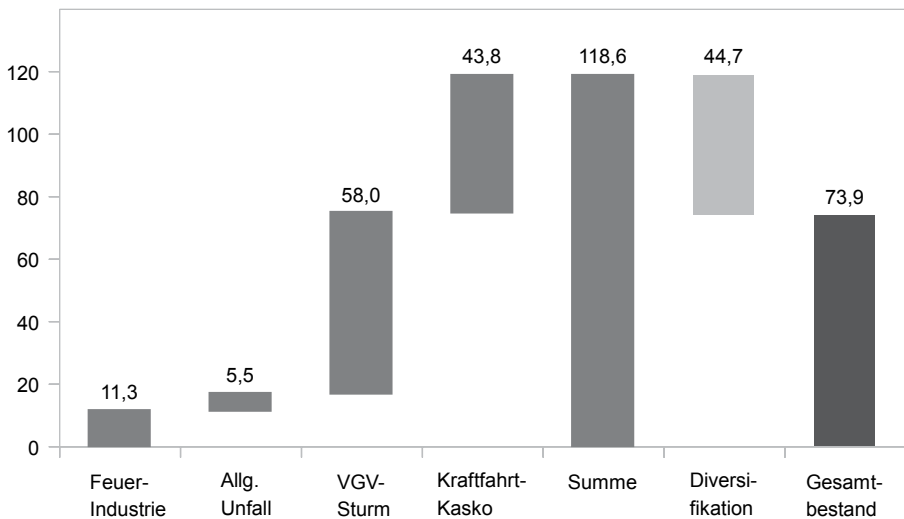


Abb. 5 Verteilung des undiversifiziertes Risikokapitals des Beispielbestandes (in Mio. €)

ohne Berücksichtigung von Diversifikationseffekten, d. h. bei Stand-Alone-Betrachtung der vier modellierten Risikosegmente des Beispielbestandes. Es ergibt sich jeweils als Mittelwert des jährlichen Risikokapitalbedarfs über den Betrachtungshorizont, zu dessen Ermittlung eine ökonomische Sicht eingenommen wird.⁸ Ausgangsbasis bilden die Verteilungen der Anfalljahresergebnisse AYR_t am Ende eines jeden Jahres $t, t=1, \dots, 5$. Es ergibt sich aus den verdienten Beitragseinnahmen P_t im Jahr t , der Prognose für den Endschadenstand für Schäden L_t aus dem Anfalljahr t und den Kosten Ex_t in t

$$AYR_t = P_t - L_t - Ex_t, t = 1, \dots, 5. \tag{6}$$

Die einzelnen versicherungstechnischen Größen und somit das Anfalljahresergebnis werden netto, d. h. nach Rückversicherung, betrachtet.

4.2 Risikolimiten

Der mittlere Risikokapitalbedarf des Beispielunternehmens beträgt 73,9 Mio. € unter Berücksichtigung eines Diversifikationseffekts von 37,7%. Zur Ableitung von Risikolimiten aus diesem Gesamtkapital gilt es, den Diversifikationseffekt angemessen auf die Segmente zu verteilen.

In Tab. 1 sind die Netto-Risikolimiten pro Jahr

$$RL_i = \frac{\sum_{t=1}^5 \rho_t (X_t, X)}{5}, i = 1, \dots, n \tag{7}$$

⁸In der Praxis ist zusätzlich eine Überleitung des ökonomischen Ergebnisses in ein bilanzielles Ergebnis erforderlich; hierzu wird auf Diers (2007) verwiesen.

Tab. 1 Netto-Risikolimite nach verschiedenen Verfahren (in Mio. €)

	Stand-Alone-Proportional	Kovarianz-Prinzip	TVaR-Prinzip
Feuer-Industrie	7,06	6,73	0,68
Allgemeine Unfall	3,43	4,32	-3,66
VGV-Sturm	36,10	28,86	47,85
Kraftfahrt-Kasko	27,30	33,98	29,00
Gesamtbestand	73,88	73,88	73,88

dargestellt, welche sich als Mittelwerte der Allokationsergebnisse $\rho_t(X_i, X)$ von drei verschiedenen Allokationsverfahren über den Betrachtungshorizont ergeben.⁹ Die Verfahren liefern zum Teil sehr unterschiedliche Ergebnisse.

Bei der Stand-Alone-Proportionalen Allokation wird das Risikokapital des Gesamtbestandes $\rho(X)$ den einzelnen Segmenten proportional zum jeweilig verursachten Risiko zugewiesen (vgl. Valdez und Chernih 2003; Albrecht und Koryciorz 2004):

$$\rho(X_i, X) = \frac{\rho(X_i)}{\sum_{j=1}^n \rho(X_j)} \rho(X), i = 1, \dots, n \quad (8)$$

Dem Vorteil des einfachen Aufbaues und der leichten Anwendbarkeit dieses Ansatzes steht der wesentliche Nachteil der fehlenden Berücksichtigung stochastischer Abhängigkeiten gegenüber. Im Beispiel reduzieren sich die undiversifizierten Segmentrisikokapitale gleichmäßig über alle Segmente hinweg um den Diversifikationseffekt von 37,7%. Risikotreibende Segmente werden dadurch stark am Diversifikationseffekt beteiligt.

Das Kovarianz-Prinzip beruht auf der Festsetzung der Allokationsbeiträge gemäß dem Verhältnis von der Kovarianz des betrachteten Segmentes zur Varianz des Kollektives (vgl. Valdez und Chernih 2003; Albrecht und Koryciorz 2004):

$$\rho(X_i, X) = \frac{\text{Cov}(X_i, X)}{\text{Var}(X)} \rho(X), i = 1, \dots, n. \quad (9)$$

Damit erfasst dieses Verfahren lineare stochastische Abhängigkeiten der Segmente, allerdings unabhängig von Über- oder Unterschreitungen des Erwartungswertes. Tail-Abhängigkeiten werden nicht gesondert berücksichtigt. Im Falle einer negativen Abhängigkeit zwischen Segmenten führt das Kovarianz-Prinzip zu negativen Risikokapitalien; dies stellt hier kein Problem dar, da in Unternehmensmodellen im Allgemeinen mit der vorsichtigen Annahme, dass negative Korrelationen nicht vorkommen, kalkuliert wird (vgl. Diers 2008). Im Beispielbestand wird der Sparte Kraftfahrt-Kasko mit dem Kovarianz-Prinzip aufgrund der größten Varianz des Anfalljahresergebnisses das höchste Risikolimit zugewiesen (siehe Tab. 1). Die Sparte Allgemeine Unfall erhält – trotz wesentlich geringerer Varianz des Anfall-

⁹In die Simulation fließen die pro Jahr $t, t=1, \dots, 5$, exakt ermittelten Risikolimite ein. Der Mittelwert wird hier nur zur Illustration verwendet.

jahresergebnisses als die der Sparte Feuer-Industrie – aufgrund einer ähnlich hohen linearen Korrelation (von ca. 20%) zu den Ergebnissen des Gesamtbestands ein relativ hohes Risikolimit im Vergleich zur Sparte Feuer-Industrie.

Das TVaR-Prinzip basiert auf Erwartungswertbetrachtungen (vgl. Landsman und Valdez 2003). Das Risikokapital wird wie folgt zerlegt (vgl. Diers 2011)

$$\rho(X_i, X) = E(X_i | X \geq VaR_\alpha(X)), i = 1, \dots, n. \tag{10}$$

wenn als Risikomaß der *TVaR* gewählt wird.¹⁰ Dieser Ansatz erfasst neben linearen auch nicht-lineare stochastische Abhängigkeiten, die bei Schaden-Unfallversicherungen von großer Bedeutung sind (vgl. Achleitner et al. 2002; Eling und Toplek 2009). So werden große Risiken in den Mittelpunkt gestellt und kleine Risiken bleiben fast unberücksichtigt. Das jeweilige Segmentrisikokapital gibt an, welchen Anteil das betrachtete Segment am Gesamtrisiko beiträgt. Im Beispiel wird somit der Sparte VGV-Sturm nur ein geringer Teil vom Diversifikationseffekt zugeteilt, weil sie den Tail der Ergebnisverteilung des Beispielbestands maßgeblich bestimmt. Der Sparte Kraftfahrt-Kasko wird aufgrund der allgemein schlechten Performance ein hohes Risikolimit zugeordnet, während sich für die übrigen zwei Sparten ein sehr geringes bzw. gar negatives Risikolimit ergibt.

4.3 Risikoadjustierte Erfolgsmessung und Auslastung der Limite

Zur Messung der Rendite wird in dieser Arbeit der erwartete Gewinn pro Jahr als absolutes Risikomaß verwendet. Er ergibt sich als Erwartungswert der über den Betrachtungshorizont aufsummierten Anfalljahresergebnisse verteilt auf die Anzahl der Jahre:

$$E(AYR) = \frac{E\left(\sum_{t=1}^5 AYR_t\right)}{5} \tag{11}$$

Neben dem bereits in (5) eingeführten Downside-Risikomaß wird als zweiseitiges Risikomaß die Standardabweichung des Anfalljahresergebnisses pro Jahr analysiert:

$$\sigma(AYR) = \frac{\sigma\left(\sum_{t=1}^5 AYR_t\right)}{5} \tag{12}$$

Die Messung der risikoadjustierten Performance erfolgt anhand der Kennzahlen Return on Risk Adjusted Capital (*RoRAC*) und Economic Value Added (*EVA*), die wie folgt aus dem erwarteten Gewinn pro Jahr und dem Risikokapitalbedarf pro Jahr berechnet werden:

$$RoRAC = \frac{E(AYR)}{RAC} \text{ bzw.} \tag{13}$$

¹⁰Eine allgemeinere Definition, unabhängig vom *TVaR* als Risikomaß, kann in Albrecht und Koryciorz (2004) nachgelesen werden.

$$EVA = E(AYR) - RAC \times CoCRate. \tag{14}$$

Der *RoRAC* gibt folglich das risikoadjustierte Ergebnis pro Jahr an, wohingegen der *EVA* unter Einbezug des Kapitalkostensatzes *CoCRate* das tatsächlich erwirtschaftete Ergebnis pro Jahr darstellt. Zur Berechnung des *EVA* werden die Kapitalkosten mit $CoCRate = 0,08$ angesetzt.

Die in (7) eingeführten Segment-Risikolimiten werden anhand von drei Kennzahlen vor dem Hintergrund der Anwendbarkeit im Steuerungskontext bewertet. Dazu wird die Risk Limit Consumption

$$RLC = P(AYR_t < \max(0, -RL_t), t = 1, \dots, 5) \tag{15}$$

betrachtet, welche die Kapitalverzehrswahrscheinlichkeit angibt. Zudem wird die Risk Limit Violation

$$RLV = P\left(\frac{-AYR_t}{RL_t} > 1, t = 1, \dots, 5\right) \tag{16}$$

definiert, welche die Limitüberschreitungswahrscheinlichkeit beschreibt. Die relative Limitauslastung wird anhand der Expected Consumption Ratio dargelegt:

$$ECR = \frac{E\left(\sum_{t=1}^5 1_{\mathbb{R}_0^+} \left(\frac{-AYR_t}{RL_t}\right) \cdot \frac{-AYR_t}{RL_t}\right)}{5}. \tag{17}$$

Sie gibt den Limitverbrauch pro Jahr an.

4.4 Die Beispielsimulation

Im folgenden Simulationsbeispiel wird der vorgestellte Bestand über den Betrachtungshorizont von 5 Jahren betrachtet. Die Projektion erfolgt über ein DFA-Modell, in das ein Limitsystem zur Risikosteuerung integriert ist. Zur Steuerung der Risiken sind die auf der Grundlage des Risikotragfähigkeitskonzeptes abgeleiteten Risikolimiten und die in Kap. 3.2. eingeführten Managementstrategien bei Limitüberschreitungen implementiert. Die Reallokations-Strategie wird nicht genauer spezifiziert; es wird ein optimaler Reallokations-Algorithmus unterstellt. Die Rückversicherungs-Strategie wird durch den in Tab. 2 dargestellten erhöhten Risikotransfer im

Tab. 2 Parameter der Rückversicherungs-Strategie

	Feuer-Industrie	Allgemeine Unfall	VGV-Sturm	Kraftfahrt-Kasko
Rückversicherungs-Strategie	Programm (in Mio. €)	Unfall-Quote Abgabe 10% ↓	Sturm-Quote Abgabe 20% ↓	Kasko-Quote Abgabe 10% ↓
	Feuer-XL 33,5 xs 1,5 (1 WA)	Unfall-WXL 2,8 xs 0,2 AAL=2,8	Sturm-CXL 160 xs 10 (1 WA frei)	Kasko-CXL 29 xs 1 (1 WA frei)

Tab. 3 Rendite- und Risikokennzahlen der Simulationsstudie

Strategie Risikolimit	keine/Real- lokation ohne Diffe- renzierung	Rückversicherung		Abbau			
		Stand- Alone-Pro- portional	Ko- varianz- Prinzip	TVaR- Prinzip	Stand-Alo- ne-Propor- tional	Kova- rianz- Prinzip	TVaR- Prinzip
<i>Feuer-Industrie</i>							
E(AYR) in Mio. €	1,92	1,75	1,74	0,32	1,90	1,90	1,39
σ (AYR) in Mio. €	1,93	2,13	2,14	2,18	1,95	1,95	1,77
RAC in Mio. €	11,31	20,21	20,16	18,52	11,28	11,28	11,24
RoRAC (%)	16,95	8,67	8,61	1,72	16,87	16,82	12,38
EVA in Mio. €	1,01	0,14	0,12	-1,16	1,00	1,00	0,49
<i>Allgemeine Unfall</i>							
E(AYR) in Mio. €	5,54	5,55	5,55	5,18	5,53	5,53	4,69
σ (AYR) in Mio. €	1,34	1,32	1,33	1,24	1,35	1,35	1,08
RAC in Mio. €	5,50	4,10	4,44	5,50	5,51	5,49	6,02
RoRAC (%)	100,76	135,52	125,08	94,17	100,35	100,86	77,90
EVA in Mio. €	5,10	5,22	5,19	4,74	5,09	5,09	4,20
<i>VGV-Sturm</i>							
E(AYR) in Mio. €	6,21	6,34	6,34	6,34	6,22	6,22	6,22
σ (AYR) in Mio. €	4,37	3,32	3,32	3,33	4,35	4,35	4,28
RAC in Mio. €	57,96	31,44	31,35	32,20	56,97	56,68	55,96
RoRAC (%)	10,72	20,18	20,24	19,69	10,91	10,97	11,11
EVA in Mio. €	1,57	3,83	3,84	3,76	1,66	1,68	1,74
<i>Kraftfahrt-Kasko</i>							
E(AYR) in Mio. €	-5,85	-5,90	-5,87	-5,89	-5,96	-5,87	-5,97
σ (AYR) in Mio. €	4,86	4,91	4,89	4,90	4,99	4,89	5,00
RAC in Mio. €	43,80	39,90	44,20	40,98	43,49	43,61	43,95
RoRAC (%)	-13,36	-14,79	-13,28	-14,37	-13,71	-13,47	-13,57
EVA in Mio. €	-9,35	-9,09	-9,40	-9,17	-9,44	-9,36	-9,48
<i>Gesamtbestand</i>							
E(AYR) in Mio. €	7,82	7,75	7,76	5,95	7,69	7,77	6,33
σ (AYR) in Mio. €	8,94	8,56	8,55	8,61	8,99	8,94	8,71
RAC in Mio. €	73,88	49,58	50,60	51,82	72,54	72,68	72,95
RoRAC (%)	10,58	15,62	15,34	11,48	10,60	10,70	8,68
EVA in Mio. €	1,91	3,78	3,71	1,80	1,89	1,96	0,49

E(AYR) Erwartetes Anfalljahresergebnis pro Jahr, *σ (AYR)* Standardabweichung des Anfalljahresergebnisses pro Jahr, *RAC* Stand-Alone-Risikokapitalbedarf pro Jahr, *RoRAC* Return on Risk Adjusted Capital pro Jahr, *EVA* Economic Value Added pro Jahr

betroffenen Segment umgesetzt. Die Abbau-Strategie beinhaltet eine Reduktion des Marktanteils im betroffenen Segment um 5%. Die Ergebnisse der Simulationsstudie sind in den Tab. 3 und 4 zusammengefasst. Der Simulation liegt eine Monte-Carlo-Simulation mit 100.000 Iterationen zu Grunde.

4.4.1 Ergebnisse ohne Managementstrategien

Ausgangspunkt der Betrachtung seien die Ergebnisse ohne Berücksichtigung einer risikostrategischen Maßnahme im Falle von Limitüberschreitungen. Für den Gesamtbestand resultiert ein erwarteter Gewinn von 7,82 Mio. € pro Jahr und ein Risikoka-

Tab. 4 Limitauslastung in der Simulationsstudie

Strategie Risikolimit	keine/Reallokation			Rückversicherung			Abbau		
	Stand- Alone- Propor- tional	Kova- rianz- Prinzip	TVaR- Prinzip	Stand- Alone- Propor- tional	Kova- rianz- Prinzip	TVaR- Prinzip	Stand- Alone- Propor- tional	Kova- rianz- Prinzip	TVaR- Prinzip
<i>Feuer-Industrie</i>									
RL in Mio. €	7,06	6,73	0,68	7,06	6,73	0,68	7,06	6,73	0,68
RLC (%)	28,66	28,66	31,90	28,95	28,95	50,10	28,80	28,81	36,45
ECR (%)	10,94	11,59	199,24	13,23	14,49	143,87	11,03	11,65	199,76
RLV (%)	1,63	2,06	40,01	2,48	2,92	22,23	1,64	2,06	41,92
RLV _{RTF-Gefährdung} (‰)	0,03	0,03	0,46	0,02	0,02	0,09	0,03	0,03	0,46
<i>Allgemeine Unfall</i>									
RL in Mio. €	3,43	4,32	-3,66	3,43	4,32	-3,66	3,43	4,32	-3,66
RLC (%)	3,09	3,08	19,32	3,08	3,08	22,67	3,11	3,09	26,98
ECR (%)	1,85	1,65	158,67	1,57	1,40	148,55	1,87	1,65	132,42
RLV (%)	0,58	0,48	80,68	0,24	0,19	77,33	0,60	0,47	73,02
RLV _{RTF-Gefährdung} (‰)	0,01	0,01	0,86	0,00	0,00	0,28	0,01	0,01	0,77
<i>VGW-Sturm</i>									
RL in Mio. €	36,10	28,86	47,85	36,10	28,86	47,85	36,10	28,86	47,85
RLC (%)	9,98	9,98	9,98	9,98	9,98	9,98	9,99	9,97	10,02
ECR (%)	1,65	2,07	1,25	1,29	1,61	0,98	1,64	2,05	1,24
RLV (%)	0,17	0,18	0,14	0,06	0,10	0,05	0,16	0,17	0,14
RLV _{RTF-Gefährdung} (‰)	1,10	1,10	1,09	0,40	0,40	0,41	1,07	1,08	1,08
<i>Kraftfahrt-Kasko</i>									
RL in Mio. €	27,30	33,98	29,00	27,30	33,98	29,00	27,30	33,98	29,00
RLC (%)	69,38	69,38	69,38	69,38	69,38	69,38	70,01	69,57	69,88
ECR (%)	26,79	21,39	25,22	26,98	21,44	25,36	27,05	21,42	25,51
RLV (%)	3,13	1,05	2,41	3,12	1,05	2,41	3,16	1,02	2,44
RLV _{RTF-Gefährdung} (‰)	0,05	0,03	0,04	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	0,03
<i>Gesamtbestand</i>									
RL in Mio. €	73,88	73,88	73,88	73,88	73,88	73,88	73,88	73,88	73,88
RLC (%)	26,77	26,77	26,77	27,22	27,27	31,91	27,07	26,89	29,82
ECR (%)	3,75	3,75	3,75	3,77	3,74	4,50	3,79	3,76	4,23
RLV (%)	0,11	0,11	0,11	0,04	0,04	0,04	0,11	0,11	0,11

RL Risikolimit pro Jahr, RLC Risk Limit Consumption, ECR Expected Consumption Ratio, RLV Risk Limit Violation, RLV_{RTF-Gefährdung} Risk Limit Violation mit Risikotragfähigkeits-Gefährdung

pitalbedarf von 73,88 Mio. € pro Jahr. Die Wahrscheinlichkeit eines Kapitalverzehrers liegt bei 26,77% und die einer Limitüberschreitung bei gerade 0,11%. Das Gesamtergebnis setzt sich aus Teilergebnissen von wertschaffenden bzw. wertvernichtenden Segmenten (5,54 vs. -5,85 Mio. € E(AYR) in Allgemeine Unfall bzw. in Kraftfahrt-Kasko) sowie von diversifizierenden bzw. risikotreibenden Segmenten (11,31 vs. 57,96 Mio. € RAC für Feuer-Industrie bzw. VGW-Sturm) zusammen. Dies führt teils zu sehr unterschiedlichen Risikolimiten zwischen den Segmenten, aber auch innerhalb der Segmente in Abhängigkeit von der Wahl der Allokationsmethode; die extremsten Risikolimite basieren auf dem TVaR-Prinzip. So variiert die Wahrscheinlichkeit der Limitüberschreitung in der Sparte Allgemeine Unfall zwischen 0,48% und 80,68%, wobei die Wahrscheinlichkeit der Limitüberschreitung mit gleichzei-

tig auftretender Gefährdung der Risikotragfähigkeit lediglich bei 0,01% bis 0,86% liegt.

4.4.2 Ergebnisse mit der Reallokations-Strategie

Die Anwendung der Reallokations-Strategie bewirkt weder eine Veränderung des Bestands noch eine Veränderung des Risikoprofils. So bleiben die Rendite- und Risikokennzahlen von dieser im Limitsystem vorgesehenen Managementstrategie unbeeinflusst. Die Entwicklung der Limitauslastung hängt davon ab, wie optimiert die Umverteilung erfolgt.

Im Hinblick auf die Reallokations-Strategie bedeuten hohe Limitüberschreitungswahrscheinlichkeiten einen häufigen Anpassungsbedarf der Risikolimiten und stellen damit die Wahl des ursprünglich angewandten Allokationsalgorithmus in Frage. Aus dem Blickwinkel der zu erzielenden Performance ist die Reallokation von nicht genutztem Kapital als sinnvolle Maßnahme bei Limitüberschreitungen zu bewerten, sofern die Gefährdung der Risikotragfähigkeit des Unternehmens nicht im Fokus steht. Beruht eine Gefährdung der Risikotragfähigkeit jedoch lediglich darauf, dass einzelne Ereignisse oberhalb des Gesamtrisikos liegen, werden diese vom gewählten Risikomaß und somit vom Management akzeptiert.

4.4.3 Ergebnisse mit der Rückversicherungs-Strategie

Unter Anwendung der Rückversicherungs-Strategie sinkt das erwartete Bestandsergebnis pro Jahr – je nach Wahl der Allokationsmethode zur Herleitung der Risikolimiten – um 0,89% bis zu 23,91%, da die Rückversicherungsprämien neben dem Erwartungswert der Kompensationszahlungen Sicherheits- und Gewinnzuschläge umfassen; daher sollte die Rückversicherungs-Strategie nur auf die Risiken angewandt werden, bei denen eine Reduzierung des Gefahrenpotentials erforderlich ist. Eine zwischen den auf verschiedenen Prinzipien basierenden Risikolimiten vergleichbar starke Auswirkung hat die Strategie auf die betrachteten Risikomaße. Die Standardabweichung des Bestandes sinkt jeweils um rund 4%, der Risikokapitalbedarf um jeweils rund 30%. Somit sinkt das relative Gesamtrisiko stärker als der Erwartungswert des Gesamtergebnisses, sodass die Rückversicherungs-Strategie den *RoRAC* um bis zu 5%-Punkte steigert.¹¹ Diese Effizienzsteigerung liegt vor allem in der Tatsache begründet, dass die Handlungsoption der Risikotransfererhöhung nur bei vereinzelt Simulationen mit Limitüberschreitungen Anwendung findet. Ein uneinheitliches Bild zeigt die Rückversicherungs-Strategie hinsichtlich des *EVA*. Erfolgt die Festlegung der Risikolimiten unter Einsatz des Stand-Alone- oder Kovarianz-Prinzips, verdoppelt sich das erwirtschaftete Ergebnis annähernd. Wohingegen das Ergebnis um 5,76% sinkt bei Ableitung der Risikolimiten mittels des TVaR-Prinzips. Hier fällt insbesondere die starke Abnahme der Performance aufgrund des hohen Anstiegs des Risikokapitalbedarfs in der Sparte Feuer-Industrie ins Gewicht. Sie resultiert daraus, dass sich die Erhöhung der Rückversicherungsprämie infolge

¹¹Die Zusammenhänge können auch in Schradin (1994) und Diers (2011) nachgelesen werden.

der Aufstockung des Rückversicherungsschutzes bei Limitüberschreitungen nicht mit Kompensationszahlungen ausgleicht.

Die durch die Strategie veränderte Risiko-Rendite-Situation hat Auswirkungen auf die Kennzahlen zur Limitauslastung. Auf Bestandsebene steigt die Wahrscheinlichkeit eines Kapitalverzehrs aufgrund des sinkenden Ergebnisses an, die Wahrscheinlichkeit einer Limitüberschreitung sinkt hingegen aufgrund des höheren Risikotransfers.

Bei Betrachtung der einzelnen Sparten sind verschiedene Effekte zu erkennen. Die risikotreibende Sturmsparte erzielt unter Einsatz der Rückversicherungs-Strategie – unabhängig von der Wahl der Risikolimits – einen höheren Gewinn mit gleichzeitiger Risikoreduktion. Die Höhe des Risikolimits spielt dabei eine untergeordnete Rolle, obwohl sie zwischen den verschiedenen Allokationsprinzipien stark variiert. Die teure Rückversicherung wird nicht von Jahresbeginn an eingesetzt, sondern erst zum jeweils erforderlichen Zeitpunkt ausgeweitet, sodass eine Optimierung des Rückversicherungsschutzes erfolgt. Bei konstanter RLC wird die RLV mehr als halbiert und die vergleichsweise bereits niedrige ECR wird um ein knappes Drittel reduziert. Auf die wertvernichtende Kraftfahrt-Sparte hat die Strategie praktisch keine Auswirkungen, da eine allgemeine Sanierung nicht über eine Rückversicherungs-Strategie bei Limitüberschreitungen erfolgen kann. Die Sparten Feuer-Industrie und Allgemeine Unfall weisen ein hohes Diversifikationspotential innerhalb der Sparte auf. Dies führt in Feuer-Industrie dazu, dass durch eine Erhöhung des Rückversicherungsschutzes über eine reine nichtproportionale Deckung mit einer sehr niedrigen Priorität zwar mehr Risiko abgegeben wird, gleichzeitig aber auch mehr Risikokapital hinterlegt werden muss. Bei einem sehr niedrigen Risikolimit in Kombination mit der Rückversicherungs-Strategie erhöht sich die vergleichsweise sehr hohe RLC um 18,20%-Punkte. Dies liegt daran, dass die Rückversicherungserhöhung nicht optimiert erfolgt, sodass ein Teufelskreis entsteht. In Allgemeine Unfall hat die Rückversicherungs-Strategie einen deutlich geringeren Einfluss auf die Risiko-Rendite-Situation als in Feuer-Industrie aufgrund der im Vergleich unbedeutenden RLC . Zu erkennen sind aber auch hier im Falle eines niedrigen (bereits negativen) Risikolimits ähnliche Effekte, allerdings in abgeschwächter Form, wie in der Feuer-Sparte.

4.4.4 Ergebnisse mit der Abbau-Strategie

Die Abbau-Strategie führt auf der Gesamtbestandsebene unabhängig davon, welches der betrachteten Allokationsverfahren zur Limitermittlung verwendet wurde, ebenfalls zu einer Gewinnreduktion (um 1,66 % bis 19,05 %). Die stärkste Reduktion tritt im Zusammenspiel mit den auf dem TVaR-Prinzip basierenden Segment-Risikolimits auf, da in diesem Fall insbesondere ein Bestandsrückgang in wertschaffenden sowie diversifizierenden Sparten zu verzeichnen ist. Eine Veränderung der Risikosituation bleibt daher praktisch aus. Zu beachten ist auch, dass die Abbau-Strategie nicht unmittelbar nach einer Limitüberschreitung, sondern erst im Folgejahr durchgeführt wird. Die Schwankung der Standardabweichung variiert zwischen +0,56 % und -2,57 %, der Risikokapitalbedarf sinkt um 1,26 % bis 1,81 %. Eine bemerkenswerte Performance-Steigerung wie infolge der Rückversicherungs-Strategie gibt es somit

bei Anwendung der Abbau-Strategie nicht. Die Kennzahlen zur Limitauslastung erhöhen sich leicht aufgrund der negativen Entwicklung der Bestandsergebnisse.

Auf die einzelnen Spartergebnisse hat die Abbau-Strategie ebenfalls deutlich geringere Auswirkungen als die Rückversicherungs-Strategie. VGV-Sturm ist als Risikotreiber die einzige Sparte mit einer unwesentlichen Verbesserung der Rendite- und Risikoergebnisse sowie der Limitauslastung. Dies kann damit begründet werden, dass im Falle von Limitüberschreitungen tatsächlich undiversifiziertes Risiko abgebaut wird. In der Sparte Kraftfahrt-Kasko verschlechtert sich die Risiko-Rendite-Situation minimal. Auch für die Abbau-Strategie gilt, dass sie keine Problemlösung für eine allgemeine Untertarifierung darstellt. Für die Sparten Feuer-Industrie und Allgemeine Unfall gilt die Rendite- und Risikoentwicklung betreffend Vergleichbares wie mit der Rückversicherungs-Strategie. Limitüberschreitungen bedeuten eine Reduktion des Marktanteils für diversifizierende und wertschaffende Risiken, was bei gering ausfallenden Limiten eine merklich negative Kennzahlenentwicklung zur Folge hat.

5 Fazit

Auf Grundlage des Risikotragfähigkeitkonzeptes sollte nach § 64a VAG ein Limitsystem umgesetzt werden, welches basierend auf dem Risikokapital Limitierungen für die einzelnen Risikosegmente definiert. Das Herunterbrechen der Risikolimiten sowie die Umsetzung der wertorientierten Steuerung mit gegenwärtig eingesetzten Limitsystemen stellt für die Versicherungsunternehmen eine große Herausforderung dar (vgl. Ernst & Young 2009). In diesem Beitrag wird unter Einsatz eines DFA-Modells der Einfluss von Limitierungssystemen auf Unternehmenssteuerung und -ergebnisse aufgezeigt; das Fallbeispiel ist auf die Zeichnungsrisiken beschränkt. In diesem Zusammenhang wird eine Allokationsmethode zur Festlegung der Risikolimiten für die einzelnen Segmente und Reaktionen bei Limitüberschreitungen benötigt.

Die Simulationsergebnisse zeigen signifikante Unterschiede je nach Höhe des Risikolimits und der daraus resultierenden Limitauslastung sowie der Reaktion bei Limitüberschreitung. In wertschaffenden, diversifizierenden Segmenten verringert ein Risikoüberwachungssystem in Kombination mit einer Rückversicherung- bzw. Abbau-Strategie den Gewinn und erhöht i. d. R. das Risiko. Besonders stark zu beobachten ist dieser Effekt bei niedrigen Risikolimiten, wie sie u. a. mit dem TVaR-Prinzip erzielt werden. Ein Anreiz zur Segmentsteuerung auf diese Art und Weise würde ohne Einführung von Risikolimiten nicht existieren. Eine geringfügige Gewinnerhöhung und deutliche Risikoreduktion ist mit einem Limitsystem in risikotreibenden Segmenten zu erzielen. Die Entwicklung des Gesamtergebnisses unter Einfluss einer Risikosteuerung hängt damit entscheidend von der Zusammensetzung des Portfolios ab. Die Reallokations-Strategie ist vor allem unter dem Aspekt zu würdigen, dass sie keinen Einfluss auf die Unternehmenssteuerung sowie -ergebnisse nimmt und lediglich den Kapitaleinsatz optimiert.

Diese Ergebnisse sind insbesondere für die Praxis interessant, da hier Steuerungsimpulse ersichtlich werden, die sich durch eine Risikobegrenzung in der Risikotragfähigkeitssteuerung über ein konsistentes Limitsystem ergeben können.

Darüber hinaus sind diese Ergebnisse auch relevant für Aufsichtsbehörden, weil sie die Effekte eines rein automatisierten Eskalationsmechanismus auf Basis risikotechnischer Steuerungskennzahlen zeigen.

Anhang

Tab. 5 Parameter der Versicherungstechnik mit Anfangswerten

Parameter		Feuer-Industrie	Allgemeine Unfall	VGV-Sturm	Kraftfahrt-Kasko
Brutto-Prämie (in Mio. €)		32	26	50	70
Wachstumsfaktor (%)		-2,0	0,4	2,0	3,0
Prämienzyklus	Π	1	1	1	1
AR(2)-Parameter für Zeitschritt 0	a_0	1,191	1,191	1,191	1,191
AR(2)-Parameter für Zeitschritt 1	a_1	0,879	0,879	0,879	0,879
AR(2)-Parameter für Zeitschritt 2	a_2	-0,406	-0,406	-0,406	-0,406
Großschadengrenze (in Mio. €)	x_0	0,25	0,05		0,05
Brutto-Basisschäden ($\leq x_0$)	Schadenquotenverteilung	LogNorm	LogNorm	LogNorm	LogNorm
	μ	33,91%	29,77%	52,85%	52,51%
	σ	5,79%	4,45%	6,10%	1,43%
Brutto-Großschaden ($> x_0$)	Schadenanzahlverteilung	Poisson	Poisson		Poisson
	λ	17,00	25,00		11,12
	Schadenhöhenverteilung	Pareto	Pareto		LogNorm
	α bzw. μ	2,077	1,354		4,324
	σ				0,234
	Limit (in Mio. €)	50	10		
Katastrophen-Schäden	Schadenanzahlverteilung			Poisson	Poisson
	λ			1	2,6
	Schadenhöhenverteilung			Pareto	Pareto
	α			1,1	1,42
	Limit (in Mio. €)			500	30
Verwaltungskosten	Linearer Anteil der Beiträge	0,25	0,25	0,25	0,25
	Nicht-linearer Anteil am Bestandswachstums	0,001	0,001	0,001	0,001
Schadenregulierungskosten	Linearer Anteil der Schäden	0,08	0,08	0,08	0,08

Tab. 5 (Fortsetzung)

Parameter		Feuer-Industrie	Allgemeine Unfall	VG-V-Sturm	Kraftfahrt-Kasko
Rückversicherung	Programm (in Mio. €)		Unfall-Quote Abgabe 10%		Kasko-Quote Abgabe 10% ↓
		Feuer-XL 30 xs 5 AAL=30		Sturm-CXL 80 xs 10 (1 WA frei)	Kasko-CXL 20 xs 10 (1 WA frei)
Abhängigkeiten (Basisschäden)	Gauss-Copula (%)	Feuer-Industrie (%)	Allg. Unfall (%)	VG-V-Sturm (%)	Kraftfahrt-Kasko (%)
	Feuer-Industrie	100			
	Allg. Unfall	0	100		
	VG-V-Sturm	0	30	100	
	Kraftfahrt-Kasko	0	20	30	100

Literatur

- Achleitner, P.M., Biebel, J., Wichels, D.: Does WTC matter for the investment policy of P/C insurance Companies?. *Geneva. Pap. Risk. Ins.* **27**(2), 275–282 (2002)
- Albrecht, P., Koryciorz, S.: Methoden der risikobasierten Kapitalallokation im Versicherungs- und Finanzwesen. *Z. Vers. Wiss.* **93**(2), 123–159 (2004)
- BaFin: Aufsichtsrechtliche Mindestanforderungen an das Risikomanagement (MaRisk VA), Rundschreiben 3/2009. Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht, Bonn (2009)
- Brosemer, M., Drometer, M., Kuschel, N., Moormann, L., Schaffrath-Chanson, T.: From business strategy to limit system (part 1). Solvency consulting knowlegde series, Munich Re, http://www.munichre.com/publications/302-06383_en.pdf (2010a). Zugegriffen 5. Feb. 2014
- Brosemer, M., Drometer, M., Kuschel, N., Moormann, L., Schaffrath-Chanson, T.: From business strategy to limit system (part 2). Solvency consulting knowlegde series, Munich Re, http://www.munichre.com/publications/302-06385_en.pdf (2010b). Zugegriffen 5. Feb. 2014
- Denault, M.: Coherent allocation of risk capital. *J. Risk.* **4**(1), 1–33 (2001)
- Diers, D.: Interne Unternehmensmodelle in der Schaden- und Unfallversicherung – Entwicklung eines stochastischen internen Modells für die wert- und risikoorientierte Unternehmenssteuerung und für die Anwendung im Rahmen von Solvency II. ifa-Verlag, Ulm (2007)
- Diers, D.: Aspekte der rendite- und risikoorientierten Steuerung in der Schaden- und Unfallversicherung. In: Zietsch, D. (Hrsg.) Beiträge zu aktuellen Themen des Versicherungsmarktes, S. 47–73. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe (2008)
- Diers, D.: Management strategies in multi-year enterprise risk management. *Geneva. Pap. Risk. Ins.* **36**, 107–125 (2011)
- Diers, D.: Der Einsatz interner Modelle beim mehrjährigen Enterprise Risk Management. *Z. Vers. Wiss.* **101**(5), 597–604 (2012a)
- Diers, D.: A multi-year risk capital concept for internal models and enterprise risk management. *J. Risk. Finance.* **13**(5), 424–437 (2012b)
- Eling, M., Toplek, D.: Modeling and management of nonlinear dependencies – copulas in dynamic financial analysis. *J. Risk. Ins.* **76**(3), 651–681 (2009)
- Ernst & Young: Benchmark Umsetzung MaRisk VA. Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, Stuttgart (2009)
- Europäisches Parlament: Richtlinie 2009/138/EG des europäischen Parlaments und des Rates betreffend die Aufnahme und Ausübung der Versicherungs- und der Rückversicherungstätigkeit (Solvency II). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:335:0001:0155:de:pdf> (2009). Zugegriffen 5. Feb. 2014
- Farny, D., Kirsch, W.: Strategische Unternehmenspolitik von Versicherungsunternehmen. *Z. Vers. Wiss.* **76**(3), 369–401 (1987)

- Frey, C., Kaschner, N.: Risikotragfähigkeitskonzept und Limitierung. In: Ellenbürger, F., Ott, P., Frey, C., Boetius, F. (Hrsg.) *Mindestanforderungen an das Risikomanagement (MaRisk) für Versicherungen*. S. 161–186. Schäffer-Poeschel, Stuttgart (2009)
- GDV: *Jahrbuch 2012– Die deutsche Versicherungswirtschaft*. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Berlin (2012)
- Gründl, H., Schmeiser, H.: Ist die Steuerung von Finanzdienstleistungsunternehmen durch Kapitalallokation sinnvoll?. *Control. Manag.* **51**, 28–34 (2007)
- Heep-Altiner, M., Hüseyin, K., Krenzlin, B., Welter, D.: *Interne Modelle nach Solvency II – Schritt für Schritt zum internen Modell in der Schadenversicherung*. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe (2010)
- Joos, P.: *Own Risk and Solvency Assessment (ORSA) in der Allianz Deutschland*. Jahrestagung DAV 2013, www.aktuar.de (2013). Zugegriffen 5. Juli 2013
- Korte, T., Romeike, F.: *MaRisk VA erfolgreich umsetzen*. Erich Schmidt Verlag, Berlin (2009)
- Kraus, C.: EVA/RARAC versus MCEV earnings: a unification approach. *Geneva. Pap. Risk. Ins.* **38**, 113–136 (2013)
- Landsman, Z., Valdez, E.: Tail conditional expectations for elliptical distributions. *North American Actuarial Journal* **7**(4), 55–71 (2003)
- Quick, R., Weglarz, D.: Rückversicherungsausfallrisiko, *Insurance Issues*, <http://media.genre.com/documents/InsuranceIssues201210-de.pdf> (2012). Zugegriffen 5. Feb. 2014
- Schmautz, M., Hartung, T.: Wertorientierte Performancemessung im Kompositversicherungsunternehmen. *Z. Vers. Wiss.* **98**(4), 411–430 (2009)
- Schradin, H.: *Erfolgsorientiertes Versicherungsmanagement: Betriebswirtschaftliche Steuerungskonzepte auf risikotheorietischer Grundlage*. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe (1994)
- Spremann, K.: *Finanzanalyse und Unternehmensbewertung*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München (2002)
- Tsanakas, A., Desli, E.: Risk measures and theories of choice. *Br. Actuar. J.* **9**(4), 959–991 (2003)
- Valdez, E., Chernih, A.: Wang's capital allocation formula for elliptically contoured distributions. *Ins. Math. Econ.* **32**, 517–532 (2003)
- Wagner, F., Warmuth, W.: *Wertorientierte Bepreisung im Versicherungsgeschäft*. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe (2005)
- Willis: *Marktreport – Versicherungen*. <http://www.willis.com/subsites/germany/Publikationen/> (2012). Zugegriffen 5. Feb. 2014

Modul 2

Identification of Company-Specific Stress Scenarios in Non-Life Insurance

Wiltrud Weidner

J.-Matthias Graf von der Schulenburg

Applied and Computational Mathematics, Special Issue: Computational Methods in Monetary
and Financial Economics 5(1-1), 1-13, 2016

DOI: 10.11648/j.acm.s.2016050101.11

Identification of Company-Specific Stress Scenarios in Non-Life Insurance

Wiltrud Weidner, J.-Matthias Graf von der Schulenburg

Institute for Risk and Insurance, Leibniz University Hanover, Hanover, Germany

Email address:

ww@ivbl.uni-hannover.de (W. Weidner), jms@ivbl.uni-hannover.de (J.-Matthias G. von der Schulenburg)

To cite this article:

Wiltrud Weidner, J.-Matthias Graf von der Schulenburg. Identification of Company-Specific Stress Scenarios in Non-Life Insurance. *Applied and Computational Mathematics*. Special Issue: Computational Methods in Monetary and Financial Economics.

Vol. 5, No. 1-1, 2016, pp. 1-13. doi: 10.11648/j.acm.s.2016050101.11

Abstract: This paper provides an effective approach, known as dynamic financial analysis, to the systematic development of stress scenarios for the risk profile of non-life insurers, which can be used in risk analysis for the regulatory and rating assessment. The determination of company-specific stress scenarios is demonstrated, the resulting critical scenarios are described. Non-linear dependencies have a significant impact on the scenarios, some of which have not previously been adequately considered are introduced. The recent global financial crisis illustrates that the analysis of extreme events, which can affect both sides of the balance sheet, is essential in an asset-liability management context.

Keywords: Non-Life Insurance, Solvency II, Risk Management, Dynamic Financial Analysis, Stress Testing, Copulas

1. Introduction

In a deregulated insurance market, in which state-prescribed large margins do not replace risk awareness, stock price jumps, valuation changes of entire asset classes and major loss scenarios caused by natural disasters or technical innovations necessitate the subsequent inclusion of extreme scenarios into the business plan. Under the EU insurance law, Solvency II, the development of reliable stress test procedures is now required. Even the International Association of Insurance Supervisors (IAIS) has mentioned the possible company-specific development of stress tests related to the functioning and usefulness. Stress tests used to explore especially unfavorable trends are an indispensable element of risk management in insurance companies [1]. In practice, such stress tests constitute an important addition to the stochastic methods based on an economic view and to the risk-based-capital concepts with a static character, as currently exercised in the USA, Canada and Australia. Development scenarios in stress tests are assumed to be deterministic. They are used to verify their impact on the balance sheet and typically consider scenarios involving extreme and therefore rare developments in the capital market; examples include the German 'Stresstest' of the Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht (BaFin) [2], the 'Resilience Test for Life Insurers' and the 'Reverse-Stress

Test' of the Financial Services Authority (FSA) in the United Kingdom [3]. The background of these aforementioned scenarios are financial theoretical considerations based on historical data. In the banking sector, stress testing using such hand-picked pure scenarios also originated in the evaluation of market risk [4] and has been extended to credit risk [5] and macro analysis [6]. Stress scenarios focusing on the company-specific risk situation of an insurer can also be derived using an entirely different approach known as dynamic financial analysis (DFA) [7]. Non-linear dependencies are particularly important in the modeling of extreme events [8].

DFA is a tool for the systematic and holistic analysis of a company's financial performance for several time periods into the future [9]. In this paper, the influence of extreme events on a non-life insurer is examined based on a company-specific DFA model that reflects the risk and return profile of the company, considering the mutual dependence of the key risk drivers. Non-linear dependencies are modeled using various types of copulas, whose effects are studied in the context of stress testing. A practical and flexible approach to the determination of stress scenarios is presented, in which a cluster analysis based on selected worst scenarios is performed.

An important outcome of this study is that non-linear dependencies and the number of considered critical scenarios have a strong influence on the form and composition of the sources of risk. This result should be taken into account by the supervisory authorities and rating agencies. For example, a very unfavorable development in the number and amount of claims could occur together with a very unfavorable capital market trend at the same time. Therefore, it is clearly insufficient to consider only selected capital market scenarios in risk management.

The current paper focuses on two themes: the application of DFA and the integration of copulas into them. DFA became an important financial analysis tool in insurance undertakings in the late 1990s. The Casualty Actuarial Society (CAS) made a decisive contribution to the field through its abundance of background materials [9]. Meantime, there are numerous treatises in the scientific literature. The basic DFA structure was presented by [10] and [11], along with example applications. In [12-14], DFA was applied as a decision-making tool. The theoretical foundation of the copula concept was introduced by [15]. However, copulas were only established into the mathematics of insurance in the late 1990s by [16] and [17]. An overview of the applications of copulas to financial mathematics was provided by [18]. In [19-21], various problems on copula estimation were studied. Various algorithms for constructing Archimedean copulas were presented in [22-24].

The current analysis builds directly on a DFA model presented in [25]. In this model, various types of copulas are implemented, and the effects of the employed copulas on the gain and risk of an insurer are analyzed. In [25], large differences in the risk measures depending on the copula concept are found. However, certain aspects of DFA implementation have not been analyzed in the previous literature, despite the growing importance of the DFA framework in theory and practice. One aspect that has not been considered is the integration of stress testing into DFA models. The aim of the present study is to identify stress scenarios for non-life insurers under different dependence structures, which can then be used for stress testing. In contrast to the traditional definition, a stress scenario is defined in this paper by negative economic attributes in all of the underlying risk factors. Not only are the impacts of the scenarios on the investments modeled, but also their impacts on the other items in the balance sheet. A fundamental finding of this paper is that it is crucial to consider non-linear dependencies to improve the determination of stress scenarios. This result is important from both the regulatory perspective and the rating agency's as well, as traditional stress scenarios can underestimate the company-specific risk. Since stress tests are essential in risk management, appropriate stress scenarios derived from a DFA model should be incorporated into the regulatory and rating assessment frameworks.

The remainder of the article is organized as follows. In Section 2, the concept of stress testing based on DFA is introduced. The method for constructing stress scenarios

using a DFA model is presented in Section 3. In Section 4, the derivation of extremely severe scenarios, including the mathematical modeling techniques and implementation of non-linear dependencies, is demonstrated through a simulation study. Section 5 concludes the paper.

2. Integration of Stress Testing in DFA

The DFA model oriented to the structure of, e.g., [11] and [26] has been created and developed to simulate the evolution of the financial and risk situation of an insurer for a wide range of possible scenarios.¹ The simulation results demonstrate how internal and external conditions can influence the financial results of the company [9]. The DFA definition of the CAS (see [9], Chapter 6, p. 2 et seq.) states that “[...] The process of DFA involves testing a number of adverse and favorable scenarios regarding an insurance company's operations. DFA assesses the reaction of the company's surplus to the various selected scenarios.” The strength of the DFA model lies precisely in the fact that in its run, individual adverse scenarios are implicitly analyzed as well as individual favorable scenarios. This approach is similar that of stress testing [1]. Additional facts are included by the DFA that are not considered in other models representing only 'normal' business performance.

However, the term 'scenario' is not clearly defined. More precisely, we must distinguish linguistically between a scenario that is an assumption in a simulation and a scenario that is a result of a simulation; note that the input variables of a stochastic model are related to its output, because some variables must be modified during the simulation. The CAS differentiates between two mutually exclusive definitions of scenarios in a stochastic model [9]: the 'parameter scenario' and the 'run scenario'. The parameter scenario can be described as the summary of the employed assumptions regarding the underlying distributions. For example, catastrophic losses can be modeled by a Pareto distribution with a specified mean and dispersion parameter. Whereas the run scenario represents an individual run of the parametric model. For example, if the parametric model runs 500,000 times, and therefore 500,000 simulations are taken into account for the analysis, each of the 500,000 runs can be considered as a scenario.

3. Implementation of Stress Testing in a DFA Framework

This section focuses on the determination and evaluation of adverse scenarios based on DFA simulation results. Therefore, the term 'scenario' is understood to refer to a run scenario presented in the previous section.

For identification of adverse scenarios the proportionate

¹ The DFA is based on a stochastic model, e.g. the future financial and risk situation in the non-life insurance industry is measured by means of an extensive stochastic modeling as opposed to traditional scenario analysis with selected deterministic scenarios [11].

worst scenarios among the generated simulations, i.e., those yielding the most extreme financial results over the observed time horizon, can be investigated. High demands are therefore made on the input and the model framework. In particular, parameter values that lead to poor results have been admitted. For example, the company's business result may be affected by the selected height of the volatility of the investment return. In the framework, the algorithms must exclude impossible results; otherwise, the algorithms must not unnecessarily restrict the range. The quality of the DFA model depends on its functionality within the boundary area. For extreme results, cases in which the company earns an exorbitant profit are less interesting; results leading to the company's ruin and disappearance from the market are more interesting, leading to the term 'poor results'.

In this paper, the term 'poor' is used to describe those scenarios that lead to the company's economic ruin during the selected time horizon. The classification for poor scenarios is based on two criteria. The sooner the ruin occurs, the more unfavorable the result of the simulation is perceived, thus the first criterion is the time of the ruin. The next criterion for classification is the amount of the loss. The more negative the equity capital is, the worse the result of the simulation. All of the results can be standardized for better comparison. The scaling can be performed using discounting by the risk-free rate of return at time 0 to achieve a uniform view.

The risk factors of the scenarios which lead to poor results normally show a wide range of characteristics. To account for data with different types of attributes, it is appropriate to group them into classes to allow a better analysis based on the obtained structuring. The cluster analysis can be used for the classification.² In clustering, the data are summarized based on their similarity. Objects within the same cluster have strong similarities to one another in terms of their characteristics but are dissimilar to objects in other clusters [27].

A number of different methods have been developed for the identification of clusters in [28-31]. In the following simulation study, the clusters are identified using the Ward's minimum variance method [32], implemented recursively using the Lance-Williams algorithm [33].³ The partition can be determined by considering large jumps in the increase of the heterogeneity. Ward's method is an agglomerative hierarchical clustering procedure in which groups are gradually merged. In practice, the method generates highly homogenous, compact groups and constitutes a stable procedure. It is one of the most widely used methods in clustering analysis [34].

In the approach taken in this paper, the clusters are defined

² The risk factors in the poor scenarios have different characteristics, arguing against using an average observation, which would lead to the loss of too much relevant information. More information is maintained by considering quantiles. However, it is still impossible to extract the relations between the risk factors.

³ Applying Ward's method appears to be plausible because it is directly related to the Euclidean distance. The poor scenarios with, e.g., similar investment returns and loss ratios have a Euclidean distance close to zero. They are pooled into one group, and the within-group sum of squares is small.

to be stress scenarios. For this purpose, the classification of poor scenarios should be chosen in such a way that risk factors and financial values within a given cluster are comparable. The objective of reducing the variety of individual cases in a given group to one case corresponding to the mean of the individual cases can thereby be achieved. The obtained stress scenarios are specific to the profile of the insurer and are therefore realistic and objective despite their severity. In a stress test using these adverse scenarios, all of the risk factors that affect the solvency of an insurance company over a prescribed time period are included. Stress testing using such mixed scenarios addresses all of the relevant risk categories that are reflected in the DFA model.

4. Stress Scenarios in a Simulation Study

4.1. Simulation Model

The analysis is intended to focus on the general method of identifying stress scenarios. A simplified model of a non-life insurance company using real-world data from a German insurer based on [14] and [25] is therefore employed. Tables 5-8 in the appendix summarize the model assumptions and parameters.

The simulation study is performed for a five-year time period. Two types of liabilities are differentiated in the loss model, non-catastrophic losses and catastrophic losses. The underwriting result at the end of period t , which assesses the development of the accident year exactly, is applied as a measure of the underwriting profitability. This quantity consists of the premiums less the claims and expenses (upfront and claims settlement costs):

$$U_t = P_{t-1} - C_t - Ex_{t-1}^P - Ex_t^C, t = 1, 2, \dots, 5. \quad (1)$$

On the investment side, a distinction is made between high-risk investments (with portion α_{t-1} and return r_{1t} in period t), such as stocks, and low-risk investments (with portion $(1 - \alpha_{t-1})$ and return r_{2t} in period t), such as government bonds. The investment result at the end of period t is calculated by multiplying the portfolio return by the free capital:

$$I_t = r_{pt} \cdot A_{t-1} \text{ with } r_{pt} = \alpha_{t-1} \cdot r_{1t} + (1 - \alpha_{t-1}) \cdot r_{2t}, t = 1, 2, \dots, 5. \quad (2)$$

given a tax rate tr on positive earnings, the company's earning is computed from the underwriting and investment result as follows:

$$E_t = I_t + U_t - \max(tr \cdot (I_t + U_t), 0), t = 1, 2, \dots, 5. \quad (3)$$

Finally, the development of the equity capital at the end of period t is described as follows:

$$EC_t = EC_{t-1} + E_t, t = 1, 2, \dots, 5. \quad (4)$$

The model depicts two asset classes, high-risk and low-risk investments, and two types of liabilities, non-catastrophic and catastrophic losses. In modeling the

dependencies between these risk categories, correlated random numbers are generated. The measurement of the dependencies is described via the rank correlation coefficient Kendall's tau [35], which captures non-linear dependencies, in contrast to the commonly used linear correlation coefficient.⁴ The correlations are modeled using various copula types from two important copula families: elliptical copulas (Gauss, t) and Archimedean copulas (Gumbel, Clayton, Frank).⁵ These five copulas, including their survival copulas, differ in the form of their tail dependence; the properties of the copulas are summarized in Table 9 and 10 in the appendix [18,37].⁶ They are suitable for stress scenario analysis due to the different effects of the different forms of tail dependence [25]. In addition, they are widely applied in actuarial practice and their fitting to data is quite simple [39].

Typical management strategies, e.g., growth or solvency strategies, often fail in extreme scenarios because they are designed for the normal development of the insurance company [40]. It therefore appears sufficient to assume that the model parameters are unaffected by the management rules in the analysis of stress scenarios.

In the analysis of the financial and risk situation, eight different measurements of the risk, return and performance are calculated. The expected gain per period is used as an absolute measure of return:

$$E(G) = \frac{E(EC_5) - EC_0}{5}. \quad (5)$$

The return on investment, based on the ratio of the expected gain to the invested capital, is used as a relative measure of return:

$$ROI = \left(\frac{E(EC_5)}{EC_0} \right)^{\frac{1}{5}} - 1. \quad (6)$$

A distinction is made between measures of the total risk and downside risk, and measures describing the risk as a risk capital requirement are also distinguished. The standard deviation of the gain per period is a total risk measure because it measures the deviation from the expected value in two directions:

4 Concretely, three dependencies on two levels are represented in the model: The investment returns are correlated through the parameter ρ_{r1} . The non-catastrophic losses are connected to the catastrophic losses through the parameter ρ_{r2} and the assets are connected to the liabilities through the parameter ρ_{r3} .

5 The three Archimedean copulas and their respective survival copulas are implemented as hierarchical Archimedean copulas (HACs) [22,36]. HACs are a generalization of multivariate Archimedean copulas, with improve flexibility, as they do not depend on a single parameter. In contrast to normal Archimedean copulas, HACs define the dependence structure recursively. In the four-dimensional case, the copula function is given by $C(u_1, u_2, u_3, u_4) = \varphi_3(\varphi_3^{-1} \circ \varphi_1(\varphi_1^{-1}(u_1) + \varphi_1^{-1}(u_2)) + \varphi_3^{-1} \circ \varphi_2(\varphi_2^{-1}(u_3) + \varphi_2^{-1}(u_4)))$, with three generator functions φ_1 , φ_2 and φ_3 .

6 Tail dependence is defined as follows in [38]: $\lambda_l := \lim_{u \downarrow 0} P(X_2 \leq F_{X_2}^{-1}(u) | X_1 \leq F_{X_1}^{-1}(u))$ is the lower tail dependence coefficient and $\lambda_u := \lim_{u \uparrow 1} P(X_2 > F_{X_2}^{-1}(u) | X_1 > F_{X_1}^{-1}(u))$ is the upper tail dependence coefficient for two random variables X_1 and X_2 with marginal distributions F_{X_1} and F_{X_2} . A positive coefficient λ_u (λ_l) shows that the two random variables are asymptotically dependent in the upper (lower) tail; a vanishing coefficient indicates that they are asymptotically independent.

$$\sigma(G) = \frac{\sigma(EC_5)}{5}. \quad (7)$$

In contrast, downside risk measures, such as the ruin probability or expected policyholder deficit, take only negative deviations into account. The ruin probability can be obtained as follows:

$$RP = Pr(\hat{t} \leq 5), \text{ with } \hat{t} = \inf\{t > 0 | EC_t < 0, t = 1, 2, \dots, 5\}, \quad (8)$$

where \hat{t} indicates the date of the first occurrence of ruin [41]. Information on the amount of loss in the event of insolvency is available through the expected policyholder deficit:

$$EPD = \sum_{t=1}^5 E(\max(-EC_t, 0) | EC_t < 0) \cdot (1 + r_f)^{-t}, \quad (9)$$

where r_f is the risk-free rate of return. The risk capital can be determined from risk measures such as the value at risk and the tail value at risk. A loss $L_t = -(EC_t - EC_{t-1})$, for period $t = 1, 2, \dots, 5$ with distribution function F_{L_t} , is therefore assumed. Assuming a significance level $0 < \alpha < 1$, the value at risk is defined as the lower $(1 - \alpha)$ -quantile of F_{L_t} [42-43]:

$$VaR_\alpha(L_t) = Q_{1-\alpha}(L_t) = \inf\{x | F_{L_t}(x) \geq 1 - \alpha\}, \quad (10)$$

and the tail value at risk is defined as the expected loss of the $100 \cdot \alpha$ percent worst cases:

$$TVaR_\alpha(L_t) = E(L_t | L_t \geq VaR_\alpha(L_t)). \quad (11)$$

Along these lines, a multi-year risk capital concept assuming a time horizon of five periods is considered [26]. The random variable *MaxLoss*, which corresponds to the maximum of the cumulative loss of each simulation, is defined as follows:

$$MaxLoss(T) = \max\{CumLoss_t | t = 1, 2, \dots, 5\}, \quad (12)$$

where $CumLoss_1 = L_1 \cdot (1 + r_f)^{-1}$ and $CumLoss_t = CumLoss_{t-1} + L_t \cdot (1 + r_f)^{-t}$, $t = 2, \dots, 5$, with the risk-free rate of return r_f . Therefore, the insurance can cover all losses over the entire time horizon without further additional capital if this amount is available at $t = 0$ in the simulation path. In the calculation of the multi-year risk capital requirement, selected risk measures, such as the *VaR* and *TVaR*, can be applied.

Furthermore, three performance measures are considered, each differing in the numerator. The Sharpe ratio, based on the standard deviation, is the ratio of the risk premium and the standard deviation of the returns [44]:

$$SR_\sigma = \frac{E(EC_T) - EC_0 \cdot (1 + r_f)^T}{\sigma(EC_T)}. \quad (13)$$

This ratio measures both the negative and positive deviations of the returns in relation to the expected value. Both deviations are not captured if the ruin probability or the *EPD* is used in place of the standard deviation:

$$SR_{RP} = \frac{E(EC_T) - EC_0 \cdot (1 + r_f)^T}{RP}, \quad (14)$$

$$SR_{EPD} = \frac{E(EC_T) - EC_0 \cdot (1+r_f)^T}{EDP} \quad (15)$$

These two ratios include only negative deviations of the returns.

4.2. Original Simulation Results

The results for eight dependence structures generated from

Table 1. Simulated return, risk and performance profile.

Dependence Structure	No corr.	Gauss	t	Gumbel	Survival Gumbel	Clayton	Survival Clayton	Frank
Tail Dependence	none	none	upper, lower	upper	lower	lower	upper	none
E(G) in mill. €	28.56	28.04	27.98	28.09	27.80	27.70	28.16	28.08
ROI	23.76%	23.47%	23.43%	23.49%	23.33%	23.27%	23.54%	23.49%
σ(G) in mill. €	15.44	17.91	17.89	19.38	19.78	20.67	19.03	17.63
RP	0.35%	1.16%	1.40%	0.89%	1.90%	1.91%	0.81%	0.93%
EPD in mill. €	0.04	0.15	0.21	0.93	1.40	1.95	0.83	0.13
VaR _{0.005} (MaxLoss) in mill. €	230.54	293.39	326.89	270.99	361.69	354.67	258.42	269.39
TVaR _{0.005} (MaxLoss) in mill. €	278.59	349.17	404.34	488.88	669.65	768.01	457.74	321.43
SR _σ	1.69	1.43	1.43	1.33	1.28	1.22	1.35	1.46
SR _{RP}	36.94	11.04	9.16	14.41	6.68	6.61	15.99	13.75
SR _{EPD}	3.18	0.83	0.61	0.14	0.09	0.06	0.15	1.01

E(G): expected gain per period; ROI: return on investment; σ(G): standard deviation of the gain per period; RP: ruin probability; EPD: expected policyholder deficit; VaR_{0.005}(MaxLoss): five-year risk capital using the 99.5% VaR; TVaR_{0.005}(MaxLoss): five-year risk capital using the 99.5% TVaR; SR_σ: Sharpe ratio based on standard deviation; SR_{RP}: Sharpe ratio based on ruin probability; SR_{EPD}: Sharpe ratio based on expected policyholder deficit.

The comparison with the different dependence structures illustrates that the impact of the dependence structure on the expected gain is relatively limited. The expectation E(G) is reduced by 1.39% to 3.02%, depending on the copula type. For example, using the Frank copula (in which only linear dependencies are taken into account), the expected gain is reduced by 1.68%, from €28.56 million to €28.08 million per period. The picture is similar for the return on investment. However, the correlation assumptions have a strong influence on the considered risk measures. Depending on the copula type, the standard deviation σ(G) increases by between 14.15% (from €15.44 million to €17.63 million using the Frank copula) and 33.86% (from €15.44 million to €20.67 million using the Clayton copula). The five-year risk capital using the downside risk measure value at risk (VaR), which is €230.54 million assuming independence, increases by between 12.09% (to €258.42 million using the survival Clayton copula) and 56.88% (to €361.69 million using the survival Gumbel copula). The five-year risk capital using the downside risk measure tail value at risk (TVaR) grows faster for some copulas because of the 'I-point-consideration' property of the VaR. The risk capital increases by between 15.38% (from €278.59 million to €321.43 million using the Frank copula) and 175.65% (from €278.59 million to €768.01 million using the Clayton copula). Even greater changes occur in the other two downside risk measures, the ruin probability RP and the expected policyholder deficit EPD. Using the Gauss copula, the RP increases from 0.35% to 1.16% (+228.06%) and the EPD increases from €0.04 million to €0.15 million (+273.72%). As a consequence, the performance measured by using the Sharpe ratio (SR) is

500,000 simulations on the basis of a Monte Carlo simulation are shown in Table 1. The case assuming independence results in an expected gain E(G) of €28.56 million, a return on investment ROI of 23.76% and a standard deviation σ(G) of €15.44 million per period. The ruin probability RP is 0.35% for the five-period time horizon.

lower compared to the uncorrelated case: SR_σ decreases by 15.48%, SRRP decreases by 70.12% and SR_{EPD} decreases by 73.77%. The extreme effects are related to the type of dependency. The ruin probabilities are lower for copulas exhibiting dependence in the upper tail compared to the ruin probabilities for copulas that display no tail dependence; these probabilities are in turn lower than the ruin probabilities using copulas exhibiting lower tail dependence. The expected policyholder deficit and five-year risk capital using the TVaR are higher for the non-symmetric copulas than for the symmetric copulas. This stems from the fact that the non-symmetric copulas generate more extreme values in the tail compared to the symmetric copulas. The EPD and TVaR display both lower tail dependence and asymmetry of the copulas.

4.3. Analysis of Poor Scenarios Using Clustering

Considering the chosen dependence structure, a different number of scenarios may satisfy the definition of a poor scenario (see Table 2). The relations between the ruin probabilities for the various dependence structures are reflected here. For example, 1,771 scenarios (0.35% of all runs) lead to the company's economic ruin over the considered time horizon of five periods for the case with no correlations, versus 9,371 scenarios (1.87% of all runs) for the case where the Clayton copula is used. The distribution of the scenarios across the single periods is quite similar for all of the dependence structures. In the first period, there are fewer poor scenarios than in the following years.

Table 2. Number of poor scenarios.

Dependence Structure	No corr.	Gauss	t	Gumbel	Survival Gumbel	Clayton	Survival Clayton	Frank
Tail Dependence	none	none	upper, lower	upper	lower	lower	upper	none
Period 1	63	333	978	178	1,555	1,352	106	144
Period 2	343	1,288	1,571	874	2,245	2,295	709	912
Period 3	470	1,893	1,704	1,144	2,225	2,271	1,050	1,241
Period 4	484	1,131	1,535	1,155	1,860	1,871	1,054	1,253
Period 5	411	1,165	1,192	1,024	1,519	1,582	958	1,062
Total	1,771	5,810	6,980	4,375	9,404	9,371	3,877	4,612

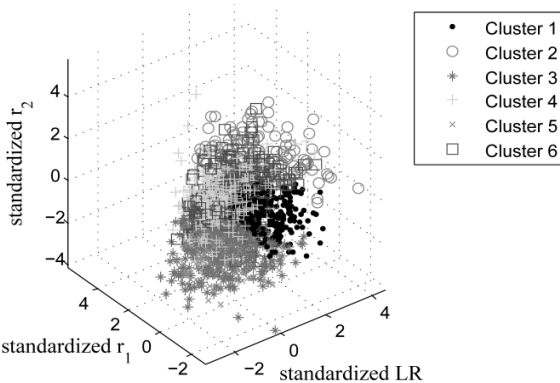
Examples of poor scenarios are the worst 15 scenarios and the corresponding sources of risk and financial results for the case with no correlation shown in Table 3. These scenarios already lead to the company's ruin in the first period ($EC_1 < 0$). The high-risk investment return is below -25% on average, and the range of the return is between -3% and -50%. The low-risk investment return is not nearly as unfavorable due to its lower volatility; the low-risk investment return is 0% on average. There are scenarios in which the low-risk investment return is close to the expected value of 5% as well as scenarios for which the return is nearly -7%. The loss ratio is quite high for each of the worst 15 scenarios. In most cases,

the loss ratio is significantly above 100% (the expected value is 85.25%) and varies by up to 30%. The expense ratio is approximately 11%. Given that the claims settlement costs depend on the claims through a percentage factor, so that a high loss ratio induces a high expense ratio, the expense ratios fluctuate. The wide range of characteristics of the specific risk factors has the effect that roughly equally high losses can stem from different causes. For instance, the loss can be affected equally by a negative underwriting and investment result (see the 11th worst scenario), a very high underwriting loss (see the 12th worst scenario) or a very negative investment result (see the 13th worst scenario).

Table 3. The worst 15 scenarios, assuming independence.

	EC_0 in mill. €	EC_1 in mill. €	r_{11}	r_{21}	r_{p1}	$C_{\text{ncat},1}$ in mill. €	$C_{\text{cat},1}$ in mill. €	LR_1	ER_1	U_1 in mill. €	I_1 in mill. €	E_1 in mill. €
1	75	-31.75	-26.93%	-6.78%	-14.84%	245.14	0.03	122.58%	11.13%	-65.46	-38.18	-103.64
2	75	-21.98	-39.81%	4.26%	-13.36%	239.14	0.45	119.79%	10.99%	-59.77	-34.38	-94.16
3	75	-16.84	-43.55%	3.40%	-15.38%	229.52	0.10	114.81%	10.74%	-49.61	-39.56	-89.17
4	75	-16.62	-19.74%	-5.01%	-10.90%	239.72	0.96	120.34%	11.02%	-60.89	-28.05	-88.95
5	75	-15.38	-22.56%	0.57%	-8.69%	245.09	0.02	122.55%	11.13%	-65.40	-22.35	-87.75
6	75	-15.35	-15.53%	8.80%	-0.93%	264.25	0.40	132.32%	11.62%	-85.32	-2.40	-87.72
7	75	-13.86	-34.86%	-1.66%	-14.94%	227.68	0.21	113.94%	10.70%	-47.85	-38.43	-86.27
8	75	-12.99	-23.38%	-1.98%	-10.54%	237.67	0.47	119.07%	10.95%	-58.30	-27.13	-85.43
9	75	-12.03	-17.60%	-2.83%	-8.74%	240.30	1.49	120.89%	11.04%	-62.02	-22.48	-84.49
10	75	-11.33	-29.89%	-2.19%	-13.27%	228.86	0.82	114.84%	10.74%	-49.68	-34.13	-83.81
11	75	-11.01	-39.02%	-1.76%	-16.66%	220.36	0.45	110.40%	10.52%	-40.63	-42.87	-83.50
12	75	-10.81	-3.01%	5.99%	2.39%	268.67	0.03	134.35%	11.72%	-89.45	6.15	-83.31
13	75	-10.00	-50.09%	-3.46%	-22.11%	204.40	1.71	103.06%	10.15%	-25.65	-56.88	-82.53
14	75	-9.86	-22.84%	4.35%	-6.53%	244.29	1.00	122.65%	11.13%	-65.59	-16.80	-82.38
15	75	-9.17	-25.18%	-6.79%	-14.15%	225.36	0.05	112.71%	10.64%	-45.32	-36.40	-81.72

EC_0 : equity capital at the end of period 0; EC_1 : equity capital at the end of period 1; r_{11} : high-risk investment return in period 1; r_{21} : low-risk investment return in period 1; r_{p1} : return of the investment portfolio in period 1; $C_{\text{ncat},1}$: non-catastrophic claims in period 1; $C_{\text{cat},1}$: catastrophic claims in period 1; LR_1 : loss ratio in period 1; ER_1 : expense ratio in period 1; U_1 : underwriting result in period 1; I_1 : investment result in period 1; E_1 : earning in period 1.



r_p : return of the investment portfolio; LR: loss ratio.

Figure 1. 3D plot of the clustered risk factors of the 1,771 worst scenarios assuming independence.

Finally, for all poor scenarios across all dependence structures – not only for the case of the 15 worst scenarios without correlation modeling – very adverse trends in the capital market and/or very unfavorable claim developments are responsible for the insurer's ruin. The loss ratio is, without exception, well above the simulation average. It is different for investment returns; in this case, the entire range of developments (from good to normal to bad) is covered.

To analyzing these poor scenarios a cluster analysis using the Ward's minimum variance method [32] has been done. At the beginning of the clustering process, the following variables are selected for clustering because they have been identified as relevant characteristics: the loss ratio, high-risk investment return and low-risk investment return. For each of the eight dependence structures, the worst scenarios are divided into six clusters, in consideration of different

population sizes, and the corresponding mean values of the risk factors and financial values are calculated. The clustering of the poor scenarios under the assumption of independence is shown in Figure 1. The figure shows a three-dimensional representation of the clustering variables, with one characteristic plotted on each axis. The three variables are standardized so that they can be directly compared to one another and plotted in an unbiased fashion. Detailed results of the clustering procedure are available upon request.

In addition, the clusters can be assigned to the case groups presented in Table 4 to compare the results for the different dependencies. Case 1 contains scenarios that are characterized by very negative trends on the capital market for both high-risk and low-risk investment returns; an increased loss ratio therefore cannot be compensated. Case 1'

represents an attenuation of case 1 with respect to the investment returns. Case 2 differs from case 1 in the breakdown of the investment results. The high-risk investments result in such poor investment performance that even an acceptable low-risk investment return cannot substantially improve the performance of the company. The high-risk investment return in case 2' is not as bad as that in case 2; however, this improvement in the high-risk investment return coincides with a change for the worse in the low-risk investment return and loss ratio. In case 3, those scenarios that exhibit an extreme loss ratio in addition to very poor investment returns are summarized. Case 3' aims to improve those scenarios, in which the extreme loss ratio is the decisive factor for the ruin, not those scenarios that display unfavorable trends on the capital market.

Table 4. Case groups of the clustering variables.

Case	1	1'	2	2'	3	3'
r_1	extremely negative	negative	extremely negative	negative	strongly negative	normally as expected
r_2	extremely negative	negative	positive	closed to null	strongly negative	normally as expected
LR	increased	increased	increased	high	extreme	extreme

r_1 : high-risk investment return; r_2 : low-risk investment return; LR: loss ratio.

The categorization of the poor scenarios into the six case groups (exemplary without correlation, using the Gauss and the Clayton copula) and the corresponding case mean values of the risk factors are shown in Figure 2. If only the 100 worst scenarios are taken into account in the case without correlation, then approximately 40% of the scenarios can be attributed to the cases characterized by extremely negative returns for both investments (see cases 1 and 1') and to the cases in which the high-risk investment returns resulted in a large loss (see cases 2 and 2'). Furthermore, the extreme loss ratio is the deciding factor (see case 3') in 16% of the scenarios. The distribution over the case groups is more balanced when a higher number of scenarios is included. In particular, the increase in case 3', characterized primarily by a high loss ratio, is accompanied by a decrease in the cases of extremely negatively high-risk investment returns (see cases 1 and 2'). Case 3, with very negative trends across all three risk factors, does not occur because no correlations between the risk factors are modeled.

The case group distribution when the Gauss copula is used is shown in the middle of Figure 2. Of the 100 worst scenarios, 84% of the scenarios correspond to case 1 and 16% correspond to case 3. The other cases do not occur at all. Once again, the proportions change depending on the number of considered scenarios. The distribution is more adjusted to the independent case when a higher number of scenarios are taken into the consideration. The frequency with which the case groups are represented differs from that with no correlation owing to the linear dependencies included in the Gauss copula. Therefore, unfavorable developments of all of the risk factors are more often due to the choice of the correlations. The poor scenarios characterized by high loss ratios dominate when considering a large data base.

Extremely negative investment returns clearly gain significance when a reduced data base is considered.

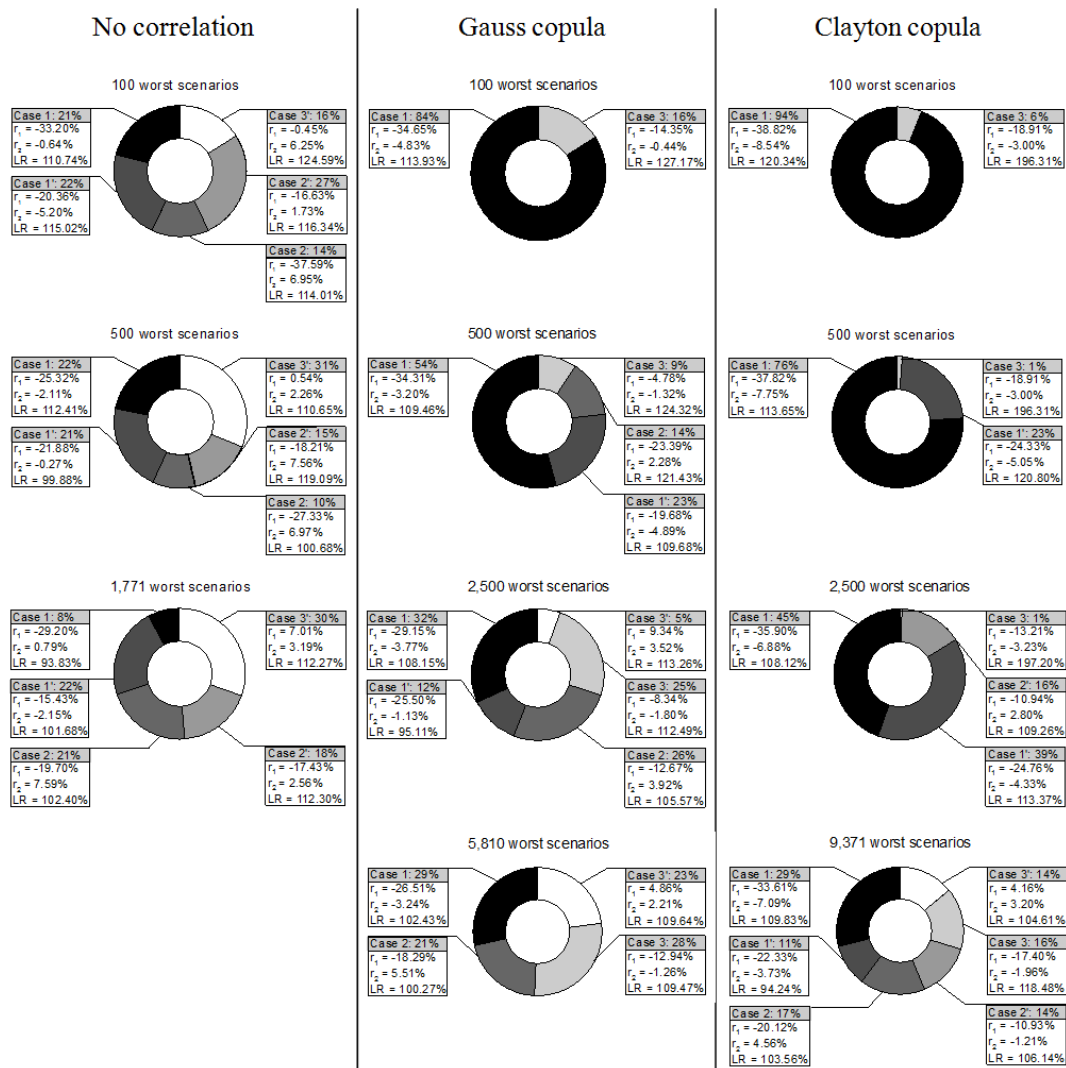
This tendency is still clearly recognizable when the lower tail dependence Clayton copula is used (see Figure 2, right hand panel). Almost all of the worst possible scenarios are attributed to case 1 (94% among the 100 worst scenarios and 76% among the 500 worst scenarios). The number of scenarios that are attributed to the other cases is higher when a larger number of poor scenarios are considered implying a gradual decrease in the occurrence of case 1; however, case 1 remains dominant.

An overview of the risk factors (return of the investment portfolio, loss ratio) corresponding to case group 1 for all of the dependence structures is shown in Figure 3. In the left diagram, the factors are the means of the scenarios corresponding to case 1 for the data base, including the 100 worst scenarios. The loss ratio is plotted on the x-axis, and the portfolio return is plotted on the y-axis. The portfolio return is calculated by weighting the returns of the high-risk and low-risk investments. The loss ratio is above 105% for all of the dependency structures, and the return of the investment portfolio is below -13% due to the extremely negative returns of the high-risk and low-risk investments. A loss ratio of 110.74% and a portfolio return of -13.66% are obtained when independence is assumed. The stress levels of the individual balance sheet items are strongly affected by the correlation assumptions. Depending on the copula type, the loss ratio changes by -4.43% (from 110.74% to 105.83% using the survival Clayton copula) to 10.80% (from 110.74% to 122.70% using the survival Gauss copula) and the portfolio return decreases by 7.65% (from -13.66% to -14.71 using the Frank copula) up to 76.06% (from -13.66% to -24.05% using the survival Gumbel copula). In the stress

situation, the indication employing lower tail dependence copulas (t, Clayton and survival Gumbel copula) is significantly stronger than the indication employing copulas exhibiting no tail dependence (Gauss and Frank copula) and upper tail dependence copulas (Gumbel and survival Clayton copula).

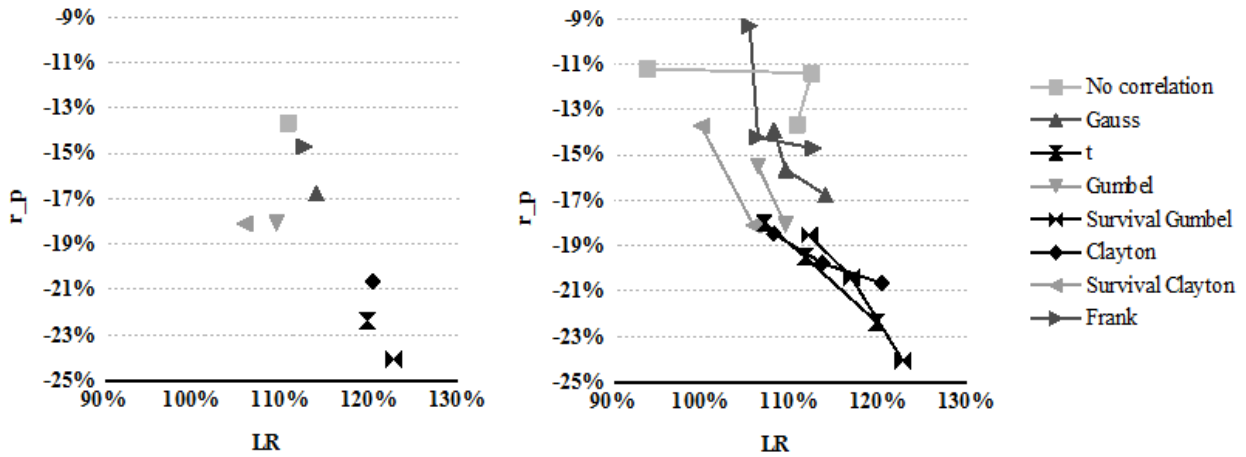
The diagram on the right hand side of Figure 3 presents an overview of the risk factors corresponding to case group 1 for a specified set of the 100, 500 or 2,500 worst scenarios, from right to left in the diagram. When the 100 (first point from the right for each different type of dependency structure), 500 (second point from the right) or 2,500 (third point from the right) worst scenarios are considered, the following two

effects are apparent. On the one hand, the forms of the stress scenarios are reduced for an increasing number of considered scenarios. On the other hand, the forms of the stress scenarios for different dependence structures become increasingly uniform when the number of considered scenarios increases. Note that in the cases using the upper tail dependence Gumbel or survival Clayton copula, case 1 does not occur in a set of the 2,500 worst scenarios. The reason for this observation is that the cluster within the set of 2,500 scenarios is attributed to the softer case 1' because its attributes are less pronounced compared to its attributes within a smaller set of scenarios.



r₁: high-risk investment return; r₂: low-risk investment return; LR: loss ratio.

Figure 2. Distributions of the case groups and corresponding means of the risk factors.

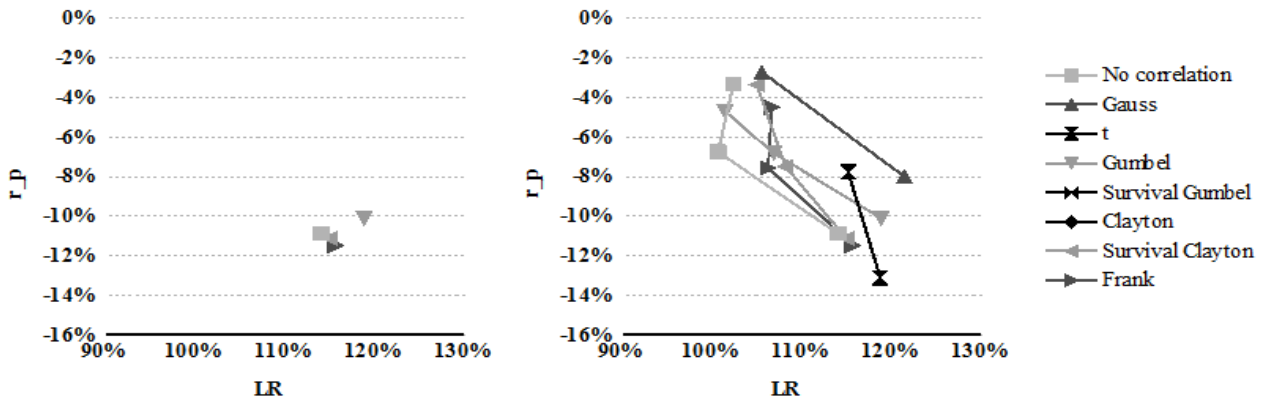


r_p : return of the investment portfolio; LR: loss ratio.

Figure 3. General survey of the risk factors for case group 1.

The left side of Figure 4 contains an overview of the risk factors corresponding to case group 2, based on a population of the 100 worst scenarios, for all of the different dependency structures. Case 2 is not represented in the case of the Gauss, survival Gumbel, Clayton or t copula, primarily due to the fact that the scenarios in which lower tail dependence is modeled are predominantly assigned to case 1 because of the simultaneous extreme unfavorable attributes of the risk factors. In the case of the Gauss copula, in which the

(random) risk factors are linearly dependent, negative influences (as well as other influences) are strengthened. The comparison of the remaining dependence structures shows relatively small impacts on the loss ratio and portfolio return. In the case of independence, the loss ratio is 114.01% and the portfolio return is -10.87%. The loss ratio increases from 0.84% to 4.26%, depending on the copula type, while the portfolio return changes by -6.92% to 5.61%.



r_p : return of the investment portfolio; LR: loss ratio.

Figure 4. General survey of the risk factors for case group 2.

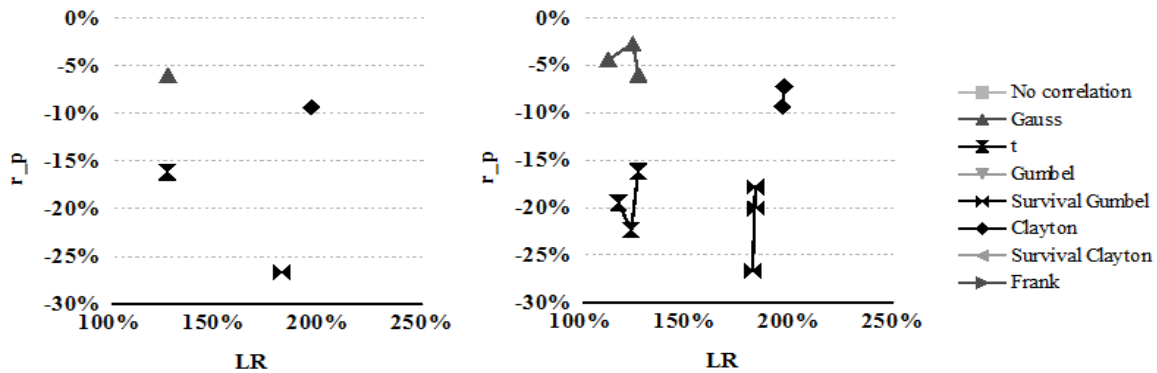
When the analysis accounts for the 500 or 2,500 worst scenarios (see Figure 4, right hand panel) the forms of the stress scenarios within a given dependence structure and the differences in the forms of the stress scenarios between different dependence structures weaken. However, the additional points from the t and Gauss copula deviate slightly from the overall picture, and case 2 is still not represented when using the survival Gumbel or the Clayton copula.

The overview is omitted for the case groups 1' and 2' because these overviews lead no new significant findings. In these cases, both the indication in the stress situation and the weakening of the risk factors are smaller than those in cases 1 and 2 due to the class definition.

The overview of the risk factors for case group 3 is shown in Figure 5. The simultaneous occurrence of a very negative investment portfolio and a very high loss ratio is a characteristic of this case. This case can be represented only by lower tail dependence copulas and the Gauss copula because the lower tail dependence copulas can account for the dependencies that occur during extreme events. The risk factors display a large variation between the different copulas. For example, for the worst 100 scenarios, the survival Gumbel copula leads to a loss ratio of 181.99 % and a portfolio return of -26.65%, whereas the loss ratio is 126.91% and the portfolio return is -16.18% for the t copula. Moreover, the differences remain even when a larger number of worst

scenarios is considered because the number of scenarios attributed to case 3 is quite small, which leads to a high

variability between different dependence structures.

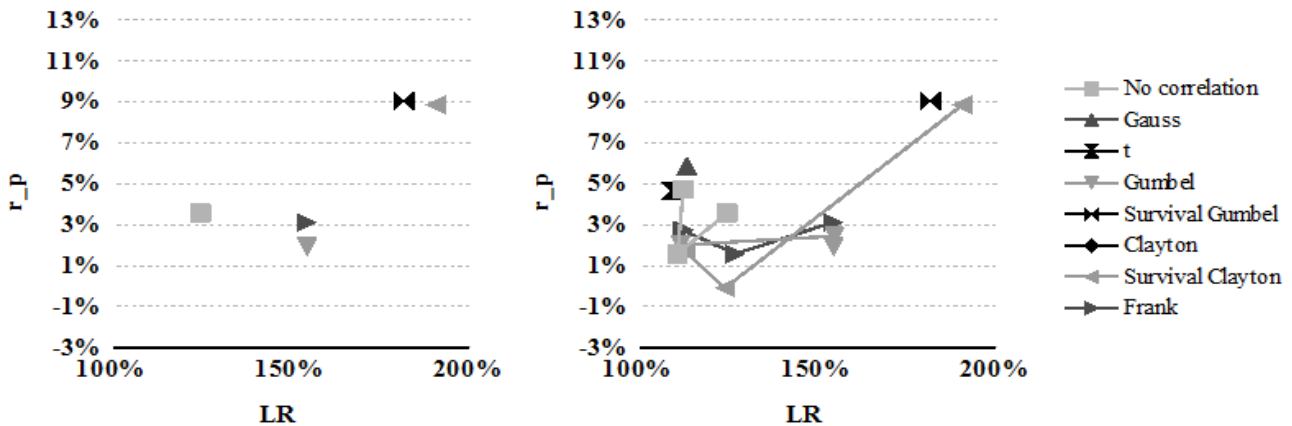


r_p : return of the investment portfolio; LR: loss ratio.

Figure 5. General survey of the risk factors for case group 3.

Figure 6 illustrates the risk factors for case group 3' for the various correlation assumptions. The returns of the investment portfolio are generally positive (with one exception) but typically fall below the expected value of 7%. The range of loss ratios reaches nearly 100%. In particular, for the 100 worst scenarios, the loss ratio is extremely high

under the lower tail dependence survival Gumbel copula (181.61%) and upper tail dependence survival Clayton copula (190.52%). Increasing the basis enables the loss ratios for the various dependence structures to converge relatively quickly and thoroughly, and the extreme deviations disappear.



r_p : return of the investment portfolio; LR: loss ratio.

Figure 6. General survey of the risk factors for case group 3'.

In the approach taken in this paper, the six clusters for each dependence structure and the considered set of poor scenarios are defined to be the stress scenarios. The stress scenarios can be very different in the form and structure of the risk factors. Finally, note that the true worst case scenarios are obtained under the assumption of lower tail dependence, for example, using the Clayton copula. The deduction of the correlation should be undertaken with the aim of obtaining a worst case scenario because the limited data available to insurance companies render the determination of the dependence difficult.

5. Conclusions

In this paper, the development of stress scenarios for stress testing using DFA modeling is investigated. Selected poor

scenarios, which arise when the dependence structure is modeled using various copulas, are considered. This approach accounts for the possible correlations between the various assets and liabilities in the stress case. This study focuses on eight different implementations of the dependency relationship.

The analysis leads to three main findings, each concerning the risk management procedures of the insurance company. First, a systematic method is introduced for generating stress scenarios specific to the company and current economic environment using a DFA model. The identified stress scenarios are plausible, rigorous and comprehensive because the company-specific model reflects the actual risk situation of the company. In practice, the construction of simulation models with adequate functionality in the boundary areas is an important challenge. That particularly means the correct

modeling of the maximum loss for each individual risk position as well as the maximum loss for the entire risk profile in consideration of non-linear dependencies. If a DFA model is available, then the new method does not require any additional resources, leading to widespread practical implementation.

Second, as demonstrated by the study of the critical scenarios, non-linear dependencies strongly influence the severity of the stress. Lower tail dependence copulas such as the Clayton and t copulas provide significantly stronger indications in the stress situation, as several risk factors are affected simultaneously. Particularly in the derivation of extremely severe scenarios, the modeling of asymmetric non-linear dependencies therefore appears to be relevant. This result is of special importance for regulators and rating agencies, as current company models typically model only linear correlations or non-linear dependencies employing the Gauss copula. In addition, the stress tests currently employed by insurers use scenarios related to selected individual risk factors rather than considering all of the risk factors that are related to the solvency of the insurer simultaneously.

Third, different quantities of poor scenarios are considered, and it turns out that the number of scenarios has a strong impact on the form and structure of the risk factors. For a given individual dependence structure, the stress scenarios within each case group exhibit a distinct weakening when the number of considered poor scenarios increases. Furthermore, the stress scenarios for a given case group clearly converge across different dependence structures.

The implications of these findings are multifaceted. The work of the staff department is immediately affected. This paper therefore presents an effective approach to systematic searching for objective worst case scenarios. The major

problem with current stress tests is that they employ hand-picked scenarios, which provide deceptive security. The results of these tests are often misinterpreted because the tests consider implausible scenarios rather than the scenarios that could actually threaten the existence of the company. The derivation of stress scenarios from DFA models avoids this problem. The risk management process should therefore be complemented by adverse outcomes scenarios determined using lower tail dependence copulas.

More broadly, the concepts covered in this paper can inform discussions on general business principals, such as the strategy of the management and the rewarding of the management for their successes. For example, negative consequences must be considered when intending large rewards for the realization of good scenarios. Based on game theory, the management designs its work to maximize the expected profit, that is, the product of the profit and its probability. This strategy increases the variance of the financial results and thereby increases the probability of high losses. This effect must be eliminated for the rewarding of the management which requires proving in a model that higher profits are not linked with increased stress scenarios.

Acknowledgements

The authors are grateful to Martin Eling, Denis Toplek, Hans-Joachim Zwiesler and the participant of the annual conference of the German Association of Insurance Sciences 2013, Berlin for valuable suggestions and comments.

Appendix

Table 5. Balance sheet ratios and market parameters of the application study.

Parameter	Symbol	Initial value at $t = 0$
Equity capital at the end of period t	EC_t	€75 million
Portion invested in high-risk investments in period t	α_{t-1}	0.40
Tax rate	tr	0.25
Risk free return	r_f	0.03

Table 6. Premium and costs of the application study.

Parameter	Symbol	Initial value at $t = 0$
Premium income in period t	P_t	€200 million
Underwriting market volume	MV	€1,000 million
Market growth	i	0.03
Company's underwriting market share in period t	β_{t-1}	0.02
Premium rate level in period t	Π_t	1
Autoregressive process parameter for lag 0	a_0	1.191
Autoregressive process parameter for lag 1	a_1	0.879
Autoregressive process parameter for lag 2	a_2	-0.406
Consumer response function	cr_{t-1}	1
Upfront expenses linearly depending on the written market volume	γ	0.05
Claim settlement costs as portion of claims	δ	0.05

Table 7. Claim and return distributions of the application study.

Parameter	Symbol	Initial value at $t = 0$
Log-normal non-catastrophic claims as portion underwriting market share	C_{ncat}	
Mean claims	$E(C_{ncat})$	€170 million
Standard deviation of claims	$\sigma(C_{ncat})$	€17 million
Pareto distributed catastrophic claims	C_{cat}	
Mean claims	$E(C_{ncat})$	€0.5 million
Dispersion parameter	$D(C_{ncat})$	4.5
Normally distributed high-risk investment return in period t	r_{1t}	
Mean return	$E(r_{1t})$	0.1
Standard deviation of return	$\sigma(r_{1t})$	0.2
Normally distributed low-risk investment return in period t	r_{2t}	
Mean return	$E(r_{2t})$	0.05
Standard deviation of return	$\sigma(r_{2t})$	0.05

Table 8. Correlations of the application study.

Parameter	Symbol	Initial value at $t = 0$
Kendall's rank correlation between high-risk and low-risk investments	ρ_{r1}	0.2
Kendall's rank correlation between non-catastrophic and catastrophic losses	ρ_{r2}	0.2
Kendall's rank correlation between assets and liabilities	ρ_{r1}	-0.1

Table 9. Dependency properties of the considered elliptical copulas [18].

Copula	Tail Dependence	Kendall's Tau ρ_τ	Parameter	λ_u	λ_l
Gauss	none	$\frac{2}{\pi} \arcsin(\rho)$	$ \rho \leq 1$	0	0
t_v	upper and lower	$\frac{2}{\pi} \arcsin(\rho)$	$ \rho \leq 1$	$2\bar{t}_{v+1}(\sqrt{v+1} \frac{\sqrt{1-\rho}}{\sqrt{1+\rho}})$	$2\bar{t}_{v+1}(\sqrt{v+1} \frac{\sqrt{1-\rho}}{\sqrt{1+\rho}})$

Table 10. Dependency properties of the considered hierarchical Archimedean copulas (HACs) with completely monotone generators and corresponding parameter ranges [18,37].

Copula	Tail Dependence	Generator $\phi_i(u)$	Kendall's Tau ρ_{ii}	Parameter, $(\phi_1^{-1} \circ \phi_2^{-1})'$ c.m.	λ_u	λ_l
Gumbel	upper	$\exp\{-u^{1/\theta_i}\}$	$1 - \frac{1}{\theta_i}$	$\theta_1 \leq \theta_2, \theta_i \in [1, \infty)$	$2 - \frac{1}{2\theta_i}$	0
Survival Gumbel	lower	via Gumbel	$1 - \frac{1}{\theta_i}$	$\theta_1 \leq \theta_2, \theta_i \in [1, \infty)$	0	$2 - \frac{1}{2\theta_i}$
Clayton	lower	$(\theta_i u + 1)^{-1/\theta_i}$	$\frac{\theta_i}{\theta_i + 2}$	$\theta_1 \leq \theta_2, \theta_i \in (0, \infty)$	0	$2^{-\frac{1}{\theta_i}}$
Survival Clayton	upper	via Clayton	$\frac{\theta_i}{\theta_i + 2}$	$\theta_1 \leq \theta_2, \theta_i \in (0, \infty)$	$2^{-\frac{1}{\theta_i}}$	0
Frank	none	$-\frac{1}{\theta_i} \ln\{e^{-u}(e^{-\theta_i} - 1) + 1\}$	$1 - 4\theta_i^{-1}(1 - \frac{1}{\theta_i} \int_0^{\theta_i} \frac{t}{\exp(t) - 1} dt)$	$\theta_1 \leq \theta_2, \theta_i \in (0, \infty)$	0	0

References

[1] J. Berkowitz, "A coherent framework for stress testing", Journal of Risk, vol. 2, no. 2, 2000, pp. 1-11.

[2] BaFin, Rundschreiben 1/2004 (VA) – Durchführung von Stresstests, Bonn: Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht, February 2004.

[3] FSA, Stress and scenario testing (CP 08/24), London: Financial Services Authority, 2008.

[4] BCBS, Amendment to the capital accord to incorporate market risk, Basel: Basel Committee on Banking Supervision, November 2005.

[5] G. Bonti, M. Kalkbrener, C. Lotz, and G. Stahl, "Credit risk concentrations under stress", Journal of Credit Risk, vol. 2, no. 3, 2006, pp. 115-136.

[6] ECB, Financial stability report, Frankfurt a. M.: European Central Bank, June 2006.

[7] H.-J. Zwiesler, "Asset-Liability-Management – die Versicherung auf dem Weg von der Planungsrechnung zum Risikomanagement", in: K. Spremann (ed.), Versicherungen im Umbruch, Berlin: Springer, 2005, pp. 117-131.

[8] P. M. Achleitner, J. Biebel, and D. Wichels, "Does WTC matter for the investment policy of p/c insurance companies?", The Geneva Papers on Risk and Insurance, vol. 27, no. 2, 2002, pp. 275-282.

[9] CAS, DFA Handbook, Arlington: Casualty Actuarial Society, June 1999.

[10] S. P. Lowe, and J. N. Stanard, "An integrated dynamic financial analysis and decision support system for a property catastrophe reinsurer", ASTIN Bulletin, vol. 27, no. 2, 1997, pp. 339-371.

- [11] R. Kaufmann, A. Gadmer, and R. Klett, "Introduction to dynamic financial analysis", *ASTIN Bulletin*, vol. 31, no. 1, 2001, pp. 213-249.
- [12] P. Blum, M. Dacorogna, P. Embrechts, T. Neghaiwi, and H. Niggli, "Using DFA for modeling the impact of foreign exchange risks on reinsurance decisions", *Casualty Actuarial Society Forum*, 2001, pp. 49-93.
- [13] S. P. D'Arcy, and R. Gorvett, "The use of dynamic financial analysis to determine whether an optimal growth rate exists for a property-liability insurer", *Journal of Risk and Insurance*, vol. 71, no. 4, 2004, pp. 583-615.
- [14] M. Eling, T. Parnitzke, T., and H. Schmeiser, "Management strategies and dynamic financial analysis", *Variance*, vol. 2, no. 1, 2008, pp. 52-70.
- [15] A. Sklar, "Fonctions de répartition à n dimensions et leurs marges", *Publ. Inst. Statist. Univ. Paris*, vol. 8, 1959, pp. 229-231.
- [16] S. Wang, "Aggregation of correlated risk portfolios: models and algorithms", *Proceedings of the Casualty Actuarial Society*, vol. 85, no. 163, 1998, pp. 848-939.
- [17] E. W. Frees, and E. A. Valdez, "Understanding relationships using copulas", *North American Actuarial Journal*, vol. 2, no. 1, 1998, pp. 1-25.
- [18] P. Embrechts, F. Lindskog, and A. McNeil, "Modelling dependence with copulas and applications to risk management", in: S.T. Rachev (ed.), *Handbook of Heavy Tailed Distributions in Finance*, Amsterdam: Elsevier, 2001, pp. 329-384.
- [19] Y. Malevergne, and D. Sornette, "Testing the Gaussian copula hypothesis for financial assets dependencies", *Quantitative Finance*, vol. 3, no. 4, 2003, pp. 231-250.
- [20] E. Kole, K. Koedijk, and M. Verbeek, "Selecting copulas for risk management", *Journal of Banking & Finance*, vol. 31, no. 8, 2007, pp. 2405-2423.
- [21] A. Dias, and P. Embrechts, "Testing for structural changes in exchange rates' dependence beyond linear correlation", *The European Journal of Finance*, vol. 15, no. 7-8, 2009, pp. 619-637.
- [22] N. Whelan, "Sampling from Archimedean copulas", *Quantitative Finance*, vol. 4, no. 3, 2004, pp. 339-352.
- [23] M. Hofert, "Sampling Archimedean copulas", *Computational Statistics & Data Analysis*, vol. 52, no. 12, 2008, pp. 5163-5174.
- [24] A. McNeil, "Sampling nested Archimedean copulas", *Journal of Statistical Computation and Simulation*, vol. 78, no. 6, 2008, pp. 567-581.
- [25] M. Eling, and D. Toplek, "Modeling and management of nonlinear dependencies – copulas in dynamic financial analysis", *Journal of Risk and Insurance*, vol. 76, no. 3, 2009, pp. 651-681.
- [26] D. Diers, "Management strategies in multi-year enterprise risk management", *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, vol. 36, 2011, pp. 107-125.
- [27] J. Han, and M. Kamber, *Data Mining: Concepts and Techniques*, San Francisco: Morgan Kaufmann, 2006.
- [28] D. Wishart, "An algorithm for Hierarchical classifications", *Biometrics*, vol. 25, no. 1, 1969, pp. 165-170.
- [29] R. M. Cormack, "A review of classification", *Journal of the Royal Statistical Society*, vol. 134, no. 3, 1971, pp. 321-367.
- [30] M. R. Anderberg, *Cluster Analysis or Applications*, New York: Academic Press, 1973.
- [31] D. Scheibler, and W. Schneider, "Monte Carlo tests of the accuracy of cluster analysis algorithm: a comparison of hierarchical and nonhierarchical methods", *Multivariate Behavioral Research*, vol. 20, no. 3, 1985, pp. 283-304.
- [32] J. H. Ward, "Hierarchical grouping to optimize an objective function", *Journal of the American Statistical Association*, vol. 58, no. 301, 1963, pp. 236-244.
- [33] G. N. Lance, and W. T. Williams, "A general theory of classificatory sorting strategies", *Computer Journal*, vol. 9, no. 4, 1967, pp. 373-380.
- [34] P. Mangiameli, S. K. Chen, and D. West, "A comparison of SOM neural network and hierarchical clustering methods", *European Journal of Operational Research*, vol. 93, no. 2, 1996, pp. 402-417.
- [35] P. Embrechts, A. McNeil, and D. Straumann, "Correlation and dependence in risk management: properties and pitfalls", in: M. A. H. Dempster (ed.), *Risk Management: Value at Risk and Beyond*, Cambridge: Cambridge University Press, 2002, pp. 176-223.
- [36] C. Hering, M. Hofert, J.-F. Mai, and M. Scherer, "Constructing hierarchical Archimedean copulas with Lévy subordinators", *Journal of Multivariate Analysis*, vol. 101, no. 6, 2010, pp. 1428-1433.
- [37] R. B. Nelsen, *An Introduction to Copulas*, New York: Springer, 2006.
- [38] G. Fusai, and A. Roncoroni, *Implementing Models in Quantitative Finance: Methods and Cases*, Berlin Heidelberg: Springer, 2008.
- [39] C. Hering, M. Hofert, "Goodness-of-fit tests for Archimedean copulas in high dimensions", in: K. Glau, M. Scherer, and R. Zagst (ed.), *Innovations in Quantitative Risk Management*, Springer, 2013, pp. 357-373.
- [40] O. Horn, and H.-J. Zwiesler, "Die Problematik der Anwendung von Managementregeln im Risikomanagement", in D. Zietsch (ed.), *Beiträge zu aktuellen Themen des Versicherungsmarktes*, Karlsruhe: Verlag Versicherungswirtschaft, 2008, pp. 79-125.
- [41] W.-R. Heilmann, *Fundamentals of Risk Theory*, Karlsruhe: Verlag Versicherungswirtschaft, 1988.
- [42] P. Artzner, F. Delbaen, J.-M. Eber, and D. Heath, "Coherent measures of risk", *Mathematical Finance*, vol. 9, 1999, pp. 203-228.
- [43] P. Albrecht, *Grundprinzipien der Finanz- und Versicherungsmathematik*, Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2007.
- [44] W. F. Sharpe, "Mutual fund performance", *Journal of Business*, vol. 39, no. 1, 1966, pp. 119-138.

Modul 3

Die Entwicklung der Kfz-Zulassungen in Deutschland – Eine Prognose der Kfz-Zulassungen und Implikationen auf die Versicherungswirtschaft

Wiltrud Weidner

Patrizio Vanella

Andy Zuchandke

Zeitschrift für die gesamte Versicherungswissenschaft 104(4), 365-387, 2015

DOI: 10.1007/s12297-015-0319-5

The final publication is available at Springer via <http://dx.doi.org/10.1007/s12297-015-0319-5>

Die Entwicklung der Kfz-Zulassungen in Deutschland: Eine Prognose und Implikationen für die Kraftfahrtversicherung

Wiltrud Weidner · Patrizio Vanella · Andy Zuchandke

Online publiziert: 9. Oktober 2015
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

Zusammenfassung Die Bevölkerungsentwicklung in Deutschland wird mittel- bis langfristig zu einer sinkenden Nachfrage nach Kfz-Versicherungen sowie einer veränderten Altersstruktur der Nachfrager führen. Darüber hinaus wird die Nachfrage ebenfalls durch Verhaltensänderungen in der Kfz-Nutzung beeinflusst. Während bisherige Prognosemodelle zwar die veränderte Bevölkerungsstruktur berücksichtigen, werden Verhaltensänderungen zwischen Individuen und Kohorten selten abgebildet. Daher erfolgt in diesem Beitrag eine Prognose unter Berücksichtigung der Alters-, Perioden- und Kohorteneffekte mittels einer Hauptkomponentenregression. Darüber hinaus werden weitere Verhaltensanpassungen, bspw. durch wirtschaftliche und technologische Entwicklungen, im Prognosemodell berücksichtigt. Es zeigt sich eine Reduktion der Zahl der Nachfrager aufgrund des Bevölkerungsrückgangs bis 2040 um gut 2 Mio.; die 70- bis 79-Jährigen werden aufgrund der Verschiebung der Bevölkerungsstruktur zur größten Kundengruppe der Versicherten. Weiter stellt sich heraus, dass die Demografie bedingten Effekte auf die Kfz-Versicherungsnachfrage durch Verhaltensänderungen nicht kompensiert werden können. Negative Auswirkungen auf die Beitragseinnahmen der Versicherer – insbesondere mit Blick auf die Alterung der geburtenstarken Jahrgänge – sind folglich unausweichlich.

Abstract Demographic change in Germany will lead to a decline in demand for motor insurance and a changing age structure of the customers in the medium to

W. Weidner (✉)
Kompetenzzentrum Versicherungswissenschaften,
Otto-Brenner-Str. 1,
30159 Hannover, Deutschland
E-Mail: ww@versicherungskompetenzzentrum.de

P. Vanella · A. Zuchandke
Institut für Versicherungsbetriebslehre, Leibniz Universität Hannover,
Otto-Brenner-Str. 1,
30159 Hannover, Deutschland

long term. Moreover, demand is driven by changes in behavior, such as the use of the vehicle. While previous forecast models account for changes in the demographic structure, they rarely consider changes in behavior of individuals and cohorts. Therefore, this paper forecasts the effects of age, period and cohort using a principal components method. Future changes in behavior are deducted considering e.g. economic and technological developments. Simulations show that the number of customers will be reduced by 2 million until 2040 due to drop in population; the 70 to 79 age group will then be the largest customer group due to the shifts in population structure. Furthermore it is found that the impact of changes in behavior on demand for motor insurance will not compensate the demographic effects. Thus - in particular, with the view to aging of the baby boom generation - negative effects on insurers' premium income are unavoidable.

1 Einleitung

Die Kraftfahrtversicherung ist mit Beitragseinnahmen von 23 Mrd. Euro im Jahr 2013, d. h. einem Anteil von 38,4% am gebuchten Beitragsaufkommen der größte Versicherungszweig innerhalb der deutschen Schaden- und Unfallversicherung (vgl. GDV 2014). Dieser für die Versicherungswirtschaft relevante Markt, u. a. auch aus strategischer Sicht als „Türöffner“ für weitere Verträge, ist daher deregulierungsbedingt einem besonders intensiven Preiswettbewerb ausgesetzt (vgl. z. B. Laas et al. 2014). Insbesondere haben zyklische Schwankungen von Versicherungspreisen und folglich der versicherungstechnischen Ergebnisse, sogenannte Versicherungszyklen, einen großen Einfluss auf die Profitabilität der Schaden- und Unfallversicherer (vgl. Eling und Luhnen 2010; Cummins und Outreville 1987). Seit dem Jahr 2008 liegt die bilanzielle Schaden-Kosten-Quote der deutschen Kraftfahrtversicherung bei über 100% und führt ununterbrochen zu versicherungstechnischen Verlusten (vgl. GDV 2014). Zusätzlich führen eine steigende Preistransparenz für Versicherungsnehmer, eine zunehmende Bedeutung der Internetportale für Vertragsabschlüsse sowie eine hohe Versicherungsdichte zur Verschlechterung der Profitabilität (vgl. z. B. Morawetz 2014).

Abgesehen von den gegenwärtigen managementbezogenen Herausforderungen in der Kfz-Versicherung stellt sich in den kommenden Jahren zunehmend die Frage nach der Entwicklung des Kraftfahrzeugbestandes und den daraus resultierenden Nachfrageeffekten nach Kfz-Versicherungen. Generell ist das Wachstumspotenzial der Versicherungsbranche in dem nahezu gesättigten deutschen Automarkt begrenzt. Die Wachstumsraten des Kraftfahrzeugbestandes sind seit Jahrzehnten rückläufig; im Zeitraum 1990 bis 2000 lag die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate noch bei 3,7%, in der ersten Dekade des neuen Jahrhunderts erreichte sie lediglich 1,0% und 2010 bis 2013 1,4% (vgl. GDV 2014). Neben dem Aspekt eines gesättigten Automarktes werden auch der demografische Wandel sowie technologische Innovationen das Marktpotenzial für Kfz-Versicherungen beeinflussen. Die mit dem demografischen Wandel verbundene Veränderung der Bevölkerungsstruktur stellt eine wichtige Einflussgröße auf den zukünftigen Pkw-Bestand dar (vgl. PwC 2013). Dieser Prozess der Bevölkerungsentwicklung wird sich langfristig in einer Abnahme der

deutschen Bevölkerung sowie einer zunehmenden Alterung dieser abzeichnen (vgl. z. B. Bowles und Zuchandke 2012; Bomsdorf und Winkelhausen 2012; Statistisches Bundesamt 2009). Demzufolge wird die Gruppe der potenziellen Nachfrager nach Kfz-Versicherungen in den nächsten Jahrzehnten kleiner und die 60- bis 69-Jährigen werden bis 2030 zur größten Kundengruppe der Versicherten (IMWF 2011). Im Zuge des technischen Fortschritts liegt eine weitere Herausforderung der Kraftfahrtversicherer im Umgang mit dem künftigen Mobilitätsverhalten. In Städten ist bereits ein Trend zur Nutzung alternativer Mobilitätsangebote, wie dem CarSharing und den öffentlichen Verkehrsmitteln, zulasten privater Pkw zu beobachten (vgl. z. B. Laas et al. 2014). Eine Zukunftsvision sind selbstfahrende Fahrzeuge, heute verfügbare Fahrassistenzsysteme wie beispielsweise Parkpilot, Fahrspur- und Bremsassistent deuten bereits diese Entwicklung an. Weitere Entwicklungen wie beispielsweise die Einführung des eCalls ab Oktober 2015 (vgl. Europäische Kommission 2013) oder die Vernetzung der Fahrzeuge mit den Herstellern führen ebenfalls zu Nachfrageveränderungen und damit zu neuen Herausforderungen in der Kraftfahrtversicherung (vgl. z. B. Morawetz 2014).

Die zuvor aufgezeigten Entwicklungen deuten tendenziell auf eine künftig geringere Nachfrage nach Kraftfahrzeugen im Allgemeinen und somit auch nach Kfz-Versicherungen im Speziellen hin. Eine Abschätzung des zukünftigen Marktpotenzials bzw. der Nachfrage ist für die Versicherungswirtschaft von Relevanz, insbesondere mit Blick auf die bereits heute existierende hohe Wettbewerbsintensität. Aber auch im Kontext von Solvency II ist eine Einschätzung der künftigen Geschäftsentwicklung erforderlich, da die ORSA-Grundsätze von Versicherungsunternehmen eine mittel- bzw. langfristige Perspektive zur Beurteilung des Gesamtsolvabilitätsbedarfs verlangen (vgl. EIOPA 2013).

Aus diesem Grund wird in diesem Artikel die künftige Entwicklung der Pkw-Zulassungen bzw. Kfz-Versicherungen analysiert und dabei die Wirkungsweise veränderter Rahmenbedingungen berücksichtigt. Dazu wird die Sensitivität der zukünftigen Pkw-Zulassungen gegenüber verschiedenen Annahmen zur Bevölkerungs- und Mobilitätsentwicklung überprüft. Im Bereich der Bevölkerungsentwicklung werden Sensitivitätsanalysen der demografischen Kernkomponenten Fertilität, Migration und Lebenserwartung durchgeführt, um den Einfluss dieser Determinanten auf die Entwicklung der Pkw-Zulassungen abzubilden. Mit Blick auf die Mobilität werden verschiedene Szenarien zur Entwicklung der Zulassungsquoten, d. h. der Anzahl der Pkw-Zulassungen pro Kopf der deutschen Bevölkerung, betrachtet, die sowohl den gesellschaftlichen Wandel als auch technologische Innovationen widerspiegeln. Die Ergebnisse liefern Hinweise darauf, in welchem Bereich sich die zukünftige Entwicklung des Kraftfahrzeugbestandes abspielen kann und welche Nachfrageeffekte für Kraftfahrzeuge und Kfz-Versicherungen erwartet werden können. Darüber hinaus machen die Ergebnisse deutlich, in welchen Kundensegmenten mit veränderter Versicherungsnachfrage zu rechnen ist. Hieraus ergeben sich zum Teil Anhaltspunkte, ob die Kfz-Versicherung ihre Bedeutung als größter Zweig in der Schaden- und Unfallversicherung beibehalten kann.

Der Artikel gliedert sich wie folgt: In Kap. 2 wird der Stand der Forschung dargestellt, bevor in Kap. 3 die Methodik der zugrunde liegenden Projektionen der Bevölkerungsstruktur sowie der Zulassungsquoten erläutert wird. Kapitel 4 enthält eine

Darstellung der Projektionsergebnisse, wobei zunächst der demografische Effekt auf die Entwicklung des Kraftfahrzeugbestandes dargestellt wird. Im Anschluss daran folgen die Ergebnisse bei Variation der Zulassungsquoten. In Kap. 5 werden mögliche Konsequenzen für die Kfz-Versicherungsnachfrage abgeleitet sowie Einschränkungen der Ergebnisse und der Methodik diskutiert.

2 Stand der Forschung

Die Nachfrage nach Kfz-Versicherungen ist als Sekundärmarkt in erster Linie vom Kfz-Bestand abhängig (vgl. Hofer 2004). Insofern ist zur Abschätzung der zukünftigen Nachfrage nach Kfz-Versicherungen die Kenntnis der (langfristigen) Pkw-Bestandsentwicklung eine wesentliche Voraussetzung. Bisherige Prognosemodelle beziehen den demografischen Wandel meist durch die Berücksichtigung der Entwicklung der Bevölkerungsanzahl und -struktur ein. Verhaltensänderungen zwischen verschiedenen Kohorten und Individuen werden hingegen selten abgebildet. Existierende Ansätze zur Pkw-Bestandsprognose haben gemeinsam, dass sie auf vergangenheits- oder gegenwartsbezogenen Erhebungsdaten basieren und von Szenarien für verschiedene wirtschaftliche und gesellschaftliche Kenngrößen ausgehen. Allerdings ist die Anzahl wissenschaftlicher Beiträge, die sich mit der Auswirkung der demografischen Entwicklung auf die private Kfz-Versicherungsnachfrage in Deutschland befassen, relativ gering. Ursächlich dafür sind möglicherweise zwei Aspekte. Einerseits stellt eine Anreicherung der Pkw-Zulassungen um zusätzliche Trendkomponenten einen entscheidenden Ausgangspunkt für eine hohe Prognosegüte über einen langen Prognosezeitraum dar (vgl. Dudenhöffer und Dudenhöffer 2014), sodass die Anwendung spezieller Analysemethoden unumgänglich ist. Andererseits setzen langfristige Vorausberechnungen präzise Vorhersagen voraus, wobei es sich in der Regel als schwierig erweist, aus bisherigen Entwicklungsbedingungen und -faktoren des Pkw-Bestandes auch künftige Entwicklungsbedingungen abzuleiten.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Ergebnisse bislang durchgeführter Studien zur Entwicklung des Pkw-Bestandes in Deutschland. Die Ergebnisse deuten auf veränderte Tendenzen in der Nachfrage ab 2020 hin. Es ist zu erkennen, dass die überwiegende Zahl der Studien bis zum Jahr 2020, ausgehend von 43,4 Mio. Personenkraftwagen im Jahr 2013 (vgl. Kraftfahrt-Bundesamt 2013), eine Zunahme des Pkw-Bestandes prognostiziert. Als Gründe für das Wachstum werden besonders der Ausgleich des Rückstands der Frauen und künftigen Seniorinnen durch zunehmenden Führerscheinbesitz angegeben (vgl. Bäumer und Reutter 2005). Ab 2020 weisen die Szenarien unterschiedliche Tendenzen auf: Begründet durch die abnehmende Bevölkerungszahl und die zunehmende Alterung zeigt das Shell-Szenario „Tradition“ bis 2030 trotz steigender Zulassungsquoten einen leichten Abwärtstrend auf (vgl. Shell 2004). Wobei das Topp-Szenario „Optimist“, das Knörr-Szenario und das Oeltze-Szenario „Status quo“ für 2030 sogar einen Bestand unterhalb des aktuellen Niveaus vorhersagen (vgl. Topp 2003; Knörr et al. 2012; Oeltze et al. 2006). Dagegen zeigt das „Impulse“-Szenario aus Shell (2004), das von einer expandierenden Wirtschaft ausgeht, einen deutlichen Aufwärtstrend auf. Langfristige Mobilitätsannahmen bis 2040 bzw. 2050 wurden von ExxonMobil (2013) und Oeltze et al. (2006) entwickelt.

Tab. 1 Modellrechnungen zur Entwicklung des Pkw-Bestandes in Deutschland (eigene Darstellung, kein Anspruch auf Vollständigkeit)

Modellrechnung	Auftraggeber	Stellgrößen	Betrachteter Zeitraum	Pkw-Bestand (in Millionen)				
				Szenario	2020	2030	2040	2050
ExxonMobil (2013)	Energieprognose der ExxonMobil Central Europe Holding GmbH	BIP, Bevölkerung	2014–2040	Referenzszenario Energieprognose	45	44	42	–
Knörr et al. (2012)	Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes	BIP, Bevölkerung und Alter, Haushalte, Verkehrspreise	1960–2030	Referenzszenario Verkehrsentwicklung	43	42	–	–
Oeltze et al. (2006)	Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung	BIP, Bevölkerung und Alter, Bevölkerungsverteilung, Erwerbstätigkeit, Verkehrspreise, Seniorenmobilität, Siedlungsstruktur	2002–2050	Dynamische Anpassung	–	43,5	–	41,4
				Gleitender Übergang	–	46,8	–	46,9
				Status Quo	–	42,6	–	40,5
Ratzenberger (2003)	Verkehrsprognose des Allgemeinen Deutschen Automobil-Clubs e.V.	BIP, Bevölkerung und Alter, Erwerbstätigkeit, Verkehrspreise	2010–2020	Verkehrsprognose	49,5	–	–	–
Schulz et al. (2005)	Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit	BIP, Bevölkerung und Alter, Haushalte, Erwerbstätigkeit, Führerscheinbesitz	2002–2030	Referenzszenario Energiemarktentwicklung	47,9	47,2	–	–
Shell (2001)	Szenarioanalyse der Deutschen Shell AG	BIP, Erwerbstätigkeit	2001–2020	Kaleidoskop One World	48,5 52,3	–	–	–
Shell (2004)	Szenarioanalyse der Deutschen Shell AG	BIP, Bevölkerung und Alter, Erwerbstätigkeit, Führerscheinbesitz	2003–2030	Tradition Impulse	~49 ~49	~49 53,5	–	–
Topp (2003)	–	Bevölkerung, Verkehrspreise und -verhalten, Siedlungsstruktur, Lebensstile	2003–2030	Pessimist	–	55	–	–
				Optimist	–	41	–	–

ExxonMobil (2013) kommt nach langsamem Abflachen der Pkw-Nachfrage 2040 zu einem niedrigeren Bestand als im Jahr 2013. Die Oeltze-Szenarien „Status quo“ und „Dynamische Anpassungen“ unterscheiden sich kaum von ExxonMobil (2013). Sie

Tab. 2 Entwicklung des Motorisierungsgrades (Pkw/1.000 Einwohner) nach Altersgruppen von 2002 auf 2030 in Deutschland in den Shell-Szenarien „Tradition“ und „Impulse“ (eigene Darstellung, basierend auf Shell 2004)

	Szenario „Tradition“			Szenario „Impulse“		
	2002	2030	Abw. (%)	2002	2030	Abw. (%)
<i>Motorisierungsgrad insgesamt</i>						
Erwachsene Bevölkerung	664	725	9,2	664	785	18,2
<i>Motorisierungsgrad bei Männern</i>						
18–29 Jahre	453	395	–12,8	453	480	6,0
30–39 Jahre	851	770	–9,5	851	860	1,1
40–49 Jahre	1019	1019	0,0	1019	1030	1,1
50–59 Jahre	1081	1040	–3,8	1081	1100	1,8
60–64 Jahre	960	920	–4,2	960	960	0,0
65 und mehr Jahre	767	850	10,8	767	880	14,7
<i>Motorisierungsgrad bei Frauen</i>						
18–29 Jahre	289	315	9,0	289	390	34,9
30–39 Jahre	503	560	11,3	503	635	26,2
40–49 Jahre	580	715	23,3	580	835	44,0
50–59 Jahre	489	710	45,2	489	815	66,7
60–64 Jahre	312	545	74,7	312	570	82,7
65 und mehr Jahre	146	350	139,7	146	360	146,6

sehen, begründet durch den Bevölkerungsrückgang, einen Rückgang des Pkw-Bestandes um fünf bzw. sieben Prozent bis zum Jahr 2050 gegenüber dem aktuellen Niveau vor. Wohingegen das Szenario „Gleitender Übergang“ den Pkw-Bestand für 2050 auf dem gleichen Niveau, oberhalb des aktuellen Bestands, wie 2030 ansiedelt (vgl. Oeltze et al. 2006).

Ein Vergleich der einzelnen Studienergebnisse verdeutlicht eine sehr große Spannweite der einzelnen Ergebnisse. Für das Jahr 2020 variieren die Prognosen bereits zwischen 43,0 und 52,3 Mio. Personenkraftwagen. Im Jahr 2030 ist die Prognose-Spanne noch größer. Ursächlich für die deutlichen Unterschiede der Prognosen des Pkw-Bestandes sind differierende Wachstumsannahmen, die eng verknüpft sind mit grundlegenden Rahmenbedingungen wie der Einkommens- und Wirtschaftsentwicklung, Kosten der Mobilität und der Mobilitätseinstellung (vgl. Bäumer und Reutter 2005). Demzufolge müssen die zugrundeliegenden Annahmen bei der Interpretation der Ergebnisse immer berücksichtigt werden.

In der Studie von Shell (2004) erfolgt neben der Prognose des generellen Pkw-Bestands eine Aufschlüsselung nach Altersgruppen und Geschlecht. Darüber hinaus wird die Einkommensentwicklung als maßgeblicher Einflussfaktor auf den Pkw-Bestand berücksichtigt. Den altersspezifischen und geschlechtsspezifischen Motorisierungsgrad, d. h. die Anzahl der Pkw pro 1.000 Einwohner, für die zwei eingeführten Szenarien stellt Tab. 2 für die Jahre 2002 und 2030 gegenüber. Im Basisjahr 2002 gibt es deutliche Motorisierungsunterschiede zwischen Männern und Frauen, die sich abhängig vom Szenario bis zum Jahr 2030 verringern. Bei den Männern zeichnet sich die Verteilung der Motorisierung nach der Altersstruktur im Basisjahr insbesondere durch einen geringen Pkw-Besitz in der jüngsten Altersgruppe sowie einem hohen

Pkw-Besitz in der Altersgruppe der 40- bis 59-Jährigen aus. Bei den Frauen liegt im Basisjahr in der Altersgruppe der 30- bis 49-Jährigen eine überdurchschnittliche Motorisierung vor. Bis 2030 ergeben sich im „Tradition“-Szenario bei den Männern bis zum Alter 65 überwiegend Motorisierungsrückgänge gepaart mit enormen Zuwächsen bei den Frauen, insbesondere ab dem Alter 40. Dagegen zeigen sich im „Impulse“-Szenario in fast allen Altersgruppen steigende, bei den Frauen stark steigende, Motorisierungsgrade.

Die in den bestehenden Studien aus unterschiedlichen Vorhersageszenarien resultierenden Bestandsentwicklungen liefern keine eindeutige Prognose. Vielmehr wird unter Berücksichtigung optimistischer und pessimistischer Modellannahmen ein Korridor künftiger Pkw-Bestandsentwicklung abschätzbar. Die Ergebnisse weiterer Studien, z. B. der Untersuchung zur Zukunft der Mobilität des Instituts für Mobilitätsforschung (vgl. IFMO 2010), sind vergleichbar, beziehen sich jedoch häufig auf die Entwicklung der Personenverkehrsleistung, zu der im Rahmen dieses Beitrags keine Verknüpfung hergestellt wird. Aus den Entwicklungsprognosen für den Pkw-Bestand sind veränderte Tendenzen in der Versicherungsnachfrage ab 2020 erkennbar. Das IMWF (2011) gelangt zu dem Ergebnis, dass die Nachfrage nach Pkw-Haftpflichtversicherungen bis zum Jahr 2030 um knapp 6 Mio. Verträge abnimmt. Dabei reduziert sich die aktuell größte Kundengruppe der 40- bis 49-Jährigen um 3 Mio.; die Zahl der Versicherten in der Kundengruppe der 60- bis 69-Jährigen steigt entsprechend.

Die Projektionsrechnungen des vorliegenden Beitrags stellen in mehrfacher Hinsicht eine sinnvolle Ergänzung der bestehenden Studien dar. Zunächst wird ein Zeitraum betrachtet, über den nur vereinzelte Studien Vorhersagen machen. Die meisten Studien erstrecken sich bis zum Jahr 2030 und damit bis zu einem Zeitpunkt, an dem sich die mittel- und langfristigen demografischen Effekte noch nicht abschätzen lassen. Der in diesem Beitrag betrachtete Zeitraum erstreckt sich zur Abbildung der demografischen Effekte bis zum Jahr 2060. Der lange Betrachtungszeitraum erlaubt es, den Einfluss des deutlichen Bevölkerungsrückgangs und der deutlichen Veränderung der Altersstrukturzusammensetzung abzubilden. Überdies können die Effekte der demografischen Kernkomponenten Fertilität, Migration und Lebenserwartung analysiert werden. Lediglich bei der Berücksichtigung weiterer Annahmen (bspw. technologischer Veränderungen), wird der Projektionszeitraum bis zum Jahr 2040 begrenzt, um die mit zusätzlichen Annahmen verbundene Prognoseunsicherheit einzuschränken.

Als weitere Ergänzung zu anderen Studien wird in diesem Beitrag die Verteilung der Pkw-Nachfrage auf verschiedene Altersgruppen und schließlich Kundensegmente untersucht. Dieser Aspekt ist relevant, da die Bestandszusammensetzung nach Kundensegmenten und Altersgruppen aus ökonomischer Sicht im Hinblick auf das resultierende Versichertenkollektiv entscheidend ist (VersicherungsJournal 2015; DAV Arbeitsgruppe Tarifierungsmethodik 2011). Die meisten aufgeführten Studien fokussieren auf das Verkehrsaufkommen und zwar weitgehend altersgruppenunabhängig und ohne Berücksichtigung von Verhaltensänderungen. Lediglich die Studie von Shell (2004) erlaubt eine Differenzierung nach Altersgruppen. In diesem Beitrag wird neben der Berücksichtigung verschiedener Altersgruppen zusätzlich der Einfluss von erwarteten Verhaltensänderungen bezüglich der Mobilitätseinstellungen zwischen Kohorten abgebildet.

3 Methodik

3.1 Methodik der Bevölkerungsprojektion

Die hier berücksichtigte Bevölkerungsprojektion beruht auf der sogenannten Kohorten-Komponenten-Methode. Bowles und Zuchandke (2012) geben eine ausführliche Einführung in die Methodik und zeigen zugrundeliegende Annahmen auf. Die Kohorten-Komponenten-Methode verbindet Ansätze zur Modellierung von Fertilität, Migration und Mortalität. Sie setzt auf Kohorten einer Basisbevölkerung auf, differenziert nach Einzelaltersjahr und Geschlecht, und schreibt diese für jedes Jahr des Vorausberechnungszeitraums anhand der jeweiligen Überlebenswahrscheinlichkeiten fort. Zudem werden die jeweiligen Geburtenjahrgänge um Zu- und Abwanderungen bereinigt. Abschließend wird für alle neuen Intervalle jeweils ein weiterer Geburtsjahrgang auf Basis der altersspezifischen Geburtenrate hinzugefügt (vgl. Bretz 2000).

Ausgangspunkt dieses Artikels bildet ein Basisszenario der Bevölkerungsentwicklung. Es sieht eine im Zeitverlauf konstante Fertilität von durchschnittlich 1,4 Kindern je Frau vor. Diese Annahme stimmt annähernd mit der beobachteten Geburtenrate der letzten Jahre überein (vgl. Statistisches Bundesamt 2012a). Die Projektion der Sterbewahrscheinlichkeiten erfolgt nach dem Ansatz von Bomsdorf und Trimborn (1992) unter Verwendung aller abgekürzten und allgemeinen Sterbetafeln ab 1986 (vgl. Statistisches Bundesamt 2012b). Im Rahmen der Bevölkerungsprojektion liegt der Schwerpunkt hierdurch auf der in jüngerer Zeit beobachteten Sterblichkeitsentwicklung. Aus den Sterbewahrscheinlichkeiten errechnet sich für das Jahr 2060 eine periodenbezogene Lebenserwartung bei Geburt von 87,7 Jahren bei den Männern und 89,6 Jahren bei den Frauen. Die beständig steigende Lebenserwartung spiegelt sich in der aktuellen Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes ebenfalls wider. Der Variante der 12. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes mit starkem Anstieg der Lebenserwartung folgend beträgt die Lebenserwartung bei Geburt im Jahr 2060 für Männer 87,7 und für Frauen 91,2 Jahre (vgl. Statistisches Bundesamt 2009). Die Migration betreffend wird im Basisszenario ein langfristiger jährlicher Wanderungssaldo von 100.000 Personen angenommen. Ausgehend vom jährlichen Wanderungssaldo (vorläufig) von 437.303 Personen in 2013 (vgl. Statistisches Bundesamt 2014b) wird vereinfachend ein linearer Anpassungsprozess auf 100.000 Personen in 2020 berücksichtigt; ab 2020 wird mit dem langfristigen Wert in Höhe von 100.000 Personen gerechnet. Des Weiteren wird eine jährliche Sockelwanderung in Höhe von 600.000 Personen angesetzt; dieser Wert wird im Berechnungszeitraum konstant gehalten. Die Annahmen stimmen größenordnungsmäßig mit dem beobachteten Durchschnitt der Jahre 2000 bis 2011 überein (vgl. Statistisches Bundesamt 2013).

Die Bevölkerungsvorausberechnung setzt zum 31.12. des Basisjahres 2011 bei der Bevölkerung auf Basis des Zensus 2011 an, gegliedert nach Einzelaltersjahr und Geschlecht (vgl. Statistisches Bundesamt 2014a). Der Projektionszeitraum für den Bevölkerungsbestand und die Bevölkerungsstruktur erstreckt sich, ausgehend vom Jahr 2012, bis zum Jahr 2060; damit wird die Abbildung von langfristig wirkenden Effekten des demografischen Übergangs ermöglicht. Die Bevölkerungsprog-

nose beruht auf deterministischen demografischen Verhaltensparametern (Fertilität, Mortalität und Migration), d. h. alle funktionalen Zusammenhänge lassen sich exakt beschreiben, welche den Ausgangspunkt für deterministische Sensitivitätsanalysen darstellen.

3.2 Projektion des Kfz-Bestandes

Das Vorgehen zur Berechnung zukünftiger Pkw-Zulassungen sieht eine Verknüpfung von alters- und geschlechtsspezifischen Zulassungsquoten mit der alters- und geschlechtsspezifischen Bevölkerungsstruktur vor. Die projizierte Gesamtzahl an Pkw-Zulassungen ergibt sich aus der Summe der Pkw-Zulassungen nach Altersgruppe und Geschlecht.

Die Projektionsannahmen basieren auf Untersuchungen von Verläufen der Zulassungsquoten zum 01.01. im Zeitraum 1984 bis 2013 und der sie bestimmenden Faktoren sowie auf Hypothesen über Veränderungen im Bereich der Demografie, der Technologie und dem Mobilitätsverhalten. Die Berechnung der zurückliegenden alters- und geschlechtsspezifischen Zulassungsquoten erfolgt unter Rückgriff auf Datengrundlagen der amtlichen Statistik. Die Zahl der Pkw-Zulassungen basiert auf den Fahrzeugzulassungsstatistiken des Kraftfahrt-Bundesamtes (vgl. Kraftfahrt-Bundesamt 2013), die korrespondierenden Bevölkerungszahlen auf den Bevölkerungsstatistiken des Statistischen Bundesamtes (vgl. Statistisches Bundesamt 2014c). Die Zulassungsquoten für die Altersgruppe 0 bis 17 schließen lediglich die Bevölkerungszahlen für die 17-Jährigen ein, da diese in der Regel die Fahrzeughalter dieser Altersgruppe ausmachen; auf diese Weise wird eine Verzerrung der Zulassungsquote vermieden. Da die zugrundeliegenden Fahrzeugzulassungsstatistiken nicht nach Einzeljahren ausgewiesen sind, erfolgt die Berechnung der Zulassungsquoten und folglich auch die Abschätzung der zukünftigen Bestandsentwicklung für insgesamt 15 Altersgruppen. Im Gegensatz zu den Veröffentlichungen des Kraftfahrt-Bundesamtes und des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft sind Personenkraftwagen juristischer Personen sowie von Fahrzeughaltern mit unbekanntem Alter in der Erhebung nicht enthalten.

Insgesamt werden drei unterschiedliche Szenarien der Zulassungsquotenentwicklung betrachtet. Im Basisszenario wird davon ausgegangen, dass die Zulassungsquoten im Zeitverlauf konstant bleiben auf dem Niveau zum 1. Januar 2013. Dieses Szenario lässt eine gesonderte Abbildung des demografischen Effektes zu. Abb. 1 stellt die Pkw-Zulassungsquoten in Deutschland für 2013 dar. Zu sehen ist, dass die Zulassungsquoten der Frauen in allen Altersgruppen deutlich unterhalb der Zulassungsquoten der Männer liegen. Allerdings liegt die Quote bei Frauen bis 29 Jahre nur rund 20 % unterhalb der Quote der Männer, bei Männern zwischen 55 und 69 Jahren dagegen ist die Quote rund doppelt so hoch wie bei Frauen dieser Altersgruppe. Weiter wird deutlich, dass in mittleren Altersgruppen höhere Zulassungsquoten auftreten und die Zulassungsquoten in Randgruppen vergleichsweise niedrig sind (vgl. Kraftfahrt-Bundesamt 2013). Zu beachten ist der hohe Anteil der Zweitwagen in Deutschland, der zu Zulassungsquoten über 100 % führen kann.

Szenario 2 beruht auf prognostizierten, sich im Zeitverlauf verändernden Zulassungsquoten auf Basis der Kenntnis bisheriger Trends. Die Trendanalyse differenziert

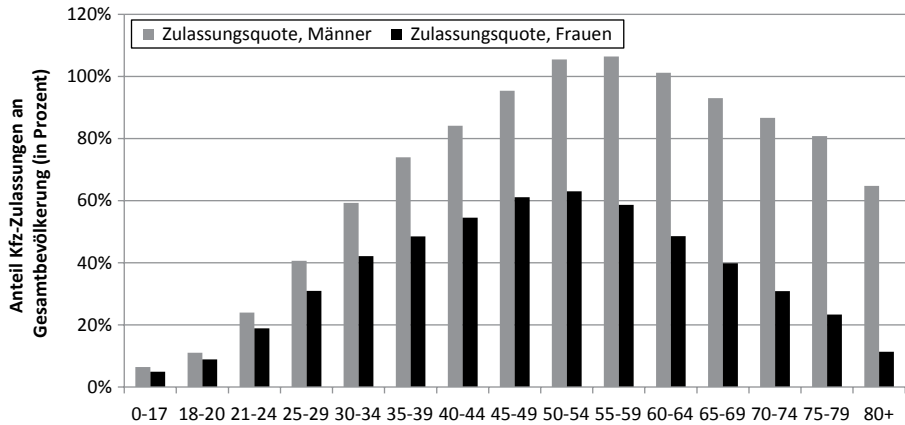


Abb. 1 Alters- und geschlechtsspezifische Pkw-Zulassungsquoten in Deutschland am 1. Januar 2013 (eigene Darstellung; basierend auf Kraftfahrt-Bundesamt 2013)

nach Alters-, Perioden- und Kohorteneffekten, um Verhaltensänderungen separat über die Zeit, über Altersgruppen und zwischen verschiedenen Kohorten abbilden zu können. Die Identifikation von Alters-, Perioden- und Kohorteneffekten erfolgt über eine Alters-Perioden-Kohorten (APC) Analyse der Zulassungsquoten von 1984 bis 2013 nach dem Ansatz von Yang et al. (2008) über einen sogenannten intrinsischen Schätzer (IE).^{1,2} Es ergeben sich die in Abb. 2 (für Männer) und 3 (für Frauen) im Zeitverlauf dargestellten Parameterschätzwerte. Sie geben die Veränderung der Zulassungsquote zum Ausgangspunkt, d. h. dem geschätzten Niveauparameter, in Bezug auf Lebensalter, Beobachtungsjahr und Geburtskohorte an.³ Für die Prognose wird der Alterseffekt um eine zunehmende Seniorenmobilität aufgrund der steigenden Lebenserwartung angepasst, der Periodeneffekt in die Zukunft extrapoliert⁴ und der Kohorteneffekt konstant fortgeschrieben. Da im betrachteten Zeitraum sowohl Daten für West-Deutschland (1984 bis 1992) als auch für die gesamte Bundesrepublik (1993 bis 2013) enthalten sind, zeigt sich ein Strukturbruch im Periodeneffekt der APC-Analyse (s. Abb. 2 und 3). Zur Vermeidung einer durch den Strukturbruch mög-

¹ Der IE zerlegt die singuläre Designmatrix, mit einem Rang weniger als vollem Rang, um eine Lösung für das APC-Identifikationsproblem mittels einer Hauptkomponentenregression herbeizuführen.

² Zur korrekten Abbildung der Kohorteneffekte erfolgt eine Transformation der in 15 Altersgruppen vorliegenden Zulassungsquoten auf Einzeljahre mit Hilfe von Splines. Dies stellt lediglich eine technische Hilfestellung dar, führt jedoch zu keiner Ergebnisverzerrung.

³ Die Zulassungsquote der betrachteten Altersklasse, Periode und Geburtskohorte folgt dabei der Regressionsgleichung $y_{ij} = \beta_0 + a_i + p_j + c_{F-p}$, mit der zu erklärenden Zulassungsquote y sowie dem Niveauparameter β_0 , Altersparameter a , Periodenparameter p und Kohortenparameter c für die Altersklasse i in der Periode j .

⁴ Schott (2014) leitet aus spezifischen sozioökonomischen Rahmenbedingungen, wie z. B. der Einkommenshöhe, Haushaltsgröße und dem Urbanisierungsgrad, eine Stabilisierung der Zulassungsquoten jüngerer Leute auf gegenwärtigem Niveau ab. Aus diesem Grund bleibt der (im Zeitverlauf zunehmende) Periodeneffekt in der Altersgruppe der 17- bis 21-Jährigen unberücksichtigt, anschließend erfolgt ein linearer Anpassungsprozess bis zur vollen Berücksichtigung ab dem Alter von 26 Jahren.

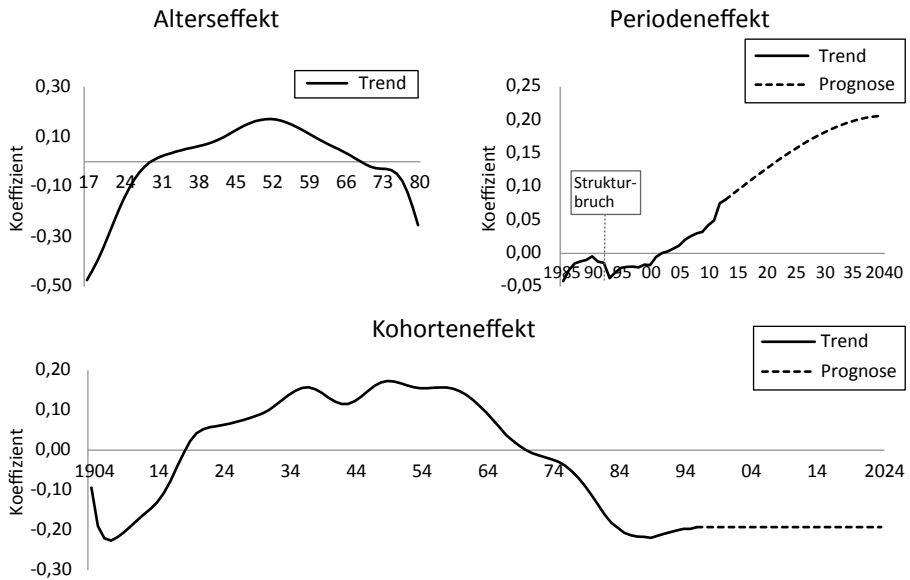


Abb. 2 IE-Koeffizienten der männlichen Alters-, Perioden- und Kohorteneffekte (eigene Berechnung)

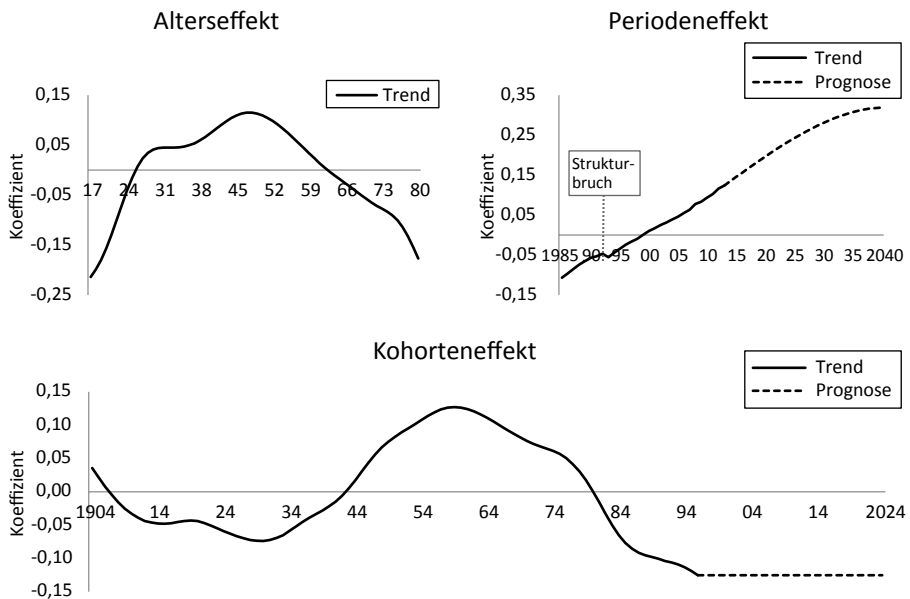


Abb. 3 IE-Koeffizienten der weiblichen Alters-, Perioden- und Kohorteneffekte (eigene Berechnung)

lichen Verzerrung in der Prognose künftiger Zulassungsquoten setzt die dafür erforderliche Extrapolation des Periodeneffektes lediglich auf den Daten für die gesamte Bundesrepublik auf. Die Fortschreibung der steigenden Tendenz im Periodeneffekt –

mit Ausnahme des Periodeneffekts in der Altersgruppe der 17- bis 21-Jährigen (s. Fußnote 4) – liefert bei den Männern in den jüngeren Altersgruppen sowie in den hohen Altersgruppen, unter zusätzlichem Einbezug zunehmender Seniorenmobilität, leicht steigende Zulassungsquoten im Zeitverlauf. Dabei handelt es sich um diejenigen Altersgruppen, die über die Zeit hinweg konstante Kohorteneffekte aufweisen; Geburtskohorten von 1984 bis 2024 zeigen einen gleichbleibenden negativen Effekt, wohingegen der Effekt bei den Kohorten zwischen 1933 und 1962 recht stabil im positiven Bereich ist. Im Unterschied dazu fällt der Kohorteneffekt zwischen den Geburtsjahren 1962 und 1984 stark ab, wobei der negative Entwicklungstrend durch den zunehmenden Periodeneffekt nicht vollständig kompensiert wird. Folglich sinken die Zulassungsquoten in den mittleren Altersgruppen der Männer im Zeitverlauf stetig.

Dagegen führt der wachsende Periodeneffekt bei den Frauen in fast allen Altersgruppen zu steigenden Zulassungsquoten; lediglich in den mittleren Altersgruppen, mit bereits überdurchschnittlich hohen Zulassungsquoten im Basisjahr, werden nach anfänglichen Zuwächsen im Jahr 2040 leichte kohortenspezifische Rückgänge verzeichnet.

Die Modellierung von Verhaltensänderungen über Alters-, Perioden- und Kohorteneffekte führt bis zum Jahr 2040 zu einem leicht veränderten Verlauf der Zulassungsquoten nach Altersgruppen im Vergleich zum Basisszenario. Bei den bis Anfang 70-Jährigen Männern zeigen sich im Jahr 2040 stetig steigende Zulassungsquoten und anschließend stark abfallende Zulassungsquoten. Die weiblichen Zulassungsquoten steigen zunächst in den jungen Altersgruppen stark an, mit zunehmendem Alter fällt diese Erhöhung jedoch immer geringer aus, bis die Zulassungsquoten im hohen Alter (80+) schließlich deutlich abfallen. Bemerkenswert ist insbesondere die deutliche Angleichung weiblicher Zulassungsquoten an die männlichen aufgrund eines stärkeren Periodeneffektes und eines wesentlich geringer ausfallenden Kohorteneffektes; Ende 2040 liegen die prognostizierten weiblichen Zulassungsquoten je nach Altersgruppe rund 20 bis 35 % unterhalb der männlichen, Ende 2012 waren es noch 20 bis 80 %.

In Szenario 3 erfolgt eine Anpassung der Zulassungsquoten derart, dass die Alters-, Perioden- und Kohorteneffekte aus Szenario 2 um Annahmen zum zukünftigen Mobilitätsverhalten sowie zu technologischen Entwicklungen ergänzt werden. Den Alterseffekt betreffend wird angenommen, dass durch höhere Fahrkomfort und leichtere Handhabung im Zuge autonomer Fahrzeuge (vgl. IEEE 2012) die Zulassungsquoten im höheren Alter künftig langsamer abfallen. Im Periodeneffekt wird einerseits von einer Stagnation der Verkehrsnachfrage aufgrund steigender Verkehrspreise in Kombination mit stagnierenden bzw. leicht sinkenden mittleren verfügbaren Einkommen, z. B. durch wachsende Aufwendungen für Gesundheit und Altersversorgung, ausgegangen (vgl. Oeltze et al. 2006). Andererseits werden raum- und siedlungsstrukturelle Entwicklungen berücksichtigt: Ein stetig steigender Reurbanisierungsgrad (vgl. United Nations 2014) mit einhergehenden verschärften Zugangsbeschränkungen für Pkw, steigenden Abgabelasten, Ausbau des ÖPNV u. a. trägt künftig zu einer sinkenden Verkehrsnachfrage bei. Der Kohorteneffekt wird beeinflusst durch veränderte Mobilitätseinstellungen, insbesondere ergibt sich eine Pkw-Reduktion aufgrund von

CarSharing (vgl. Schäfers et al. 2013).⁵ Mit diesen Strukturbrüchen sind im Vergleich zu Szenario 2 reduzierte Zulassungsquoten über alle weiblichen und männlichen Altersgruppen hinweg – auch in höheren Altersgruppen kann dieser Effekt durch die zunehmende Seniorenmobilität nicht kompensiert werden – von insgesamt rund 10% verbunden. Die Stagnation im Periodeneffekt betrifft die Zulassungsquoten der Frauen aufgrund des in Szenario 2 besonders berücksichtigten Ausgleichs des Rückstands fast doppelt so stark wie die Zulassungsquoten der Männer. Verhaltensänderungen hingegen vermindern geschlechterübergreifend die Zulassungsquoten junger Altersgruppen in besonderem Maße.

4 Ergebnisse

4.1 Einfluss der Determinanten der Bevölkerungsentwicklung

Die Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Entwicklung des Pkw-Bestandes werden für das Basisszenario, d. h. für im Zeitverlauf konstant bleibende Zulassungsquoten auf dem Niveau vom 1. Januar 2013, dargestellt. Dies erlaubt eine separate Betrachtung des Einflusses der Determinanten der Bevölkerungsentwicklung von weiteren, den Zulassungsquoten bestimmenden Faktoren.

Den Ergebnissen der Bevölkerungsprojektion zufolge zeichnet sich die Entwicklung der Pkw-Zulassungen in Deutschland durch zwei bestimmende Trends aus: Einen absoluten Rückgang der Zulassungen sowie eine Verschiebung der Zulassungsanteile von den mittleren in die älteren Altersgruppen. In Tab. 3 ist erkennbar, dass der Pkw-Bestand in Deutschland im Basisszenario von 40,1 Mio. Pkw im Jahr 2013 auf 33,2 Mio. im Jahr 2060 (–17,1%) zurückgeht. Ursächlich für den Rückgang ist eine Abnahme der Bevölkerungsgröße von 80,8 Mio. Menschen im Jahr 2013 auf 68,1 Mio. im Jahr 2060 (–15,7%). Die Bevölkerungsabnahme ist zurückzuführen auf die Annahme einer konstant niedrigen Fertilitätsrate, welche selbst durch die steigende Lebenserwartung und eine angenommene jährliche Nettomigration von 100.000 Personen nicht ausgeglichen werden kann.

Daneben kommt es zu deutlichen Verschiebungen der Zulassungen innerhalb verschiedener Altersgruppen. Die Anzahl der Pkw-Zulassungen nimmt in den jüngeren und mittleren Altersgruppen absolut und relativ zum Pkw-Gesamtbestand deutlich ab. Wohingegen der relative Anteil der Pkw-Zulassungen in den älteren Altersgruppen (60 Jahre und älter) und sogar der absolute Anteil in den hochaltrigen Altersgruppen (80 Jahre und mehr) stark steigen. Besonders in den Jahren um 2030 ist eine starke Dynamik im Strukturwandel zu beobachten, da zu diesem Zeitpunkt die geburtenstarken Jahrgänge, die heute im mittleren Alter sind, in das höhere Alter mit sinkenden Zulassungsquoten aufrücken. Die Altersgruppe der 60- bis 69-Jähri-

⁵ Periodeneffekte wie die Urbanisierung und die demografische Entwicklung sind Treiber des Bedarfs an Mobilitätskonzepten wie z. B. dem CarSharing-Konzept. Die unterschiedliche Teilnahme an Mobilitätskonzepten je nach Altersklasse, zwei Drittel aller CarSharing-Kunden sind zwischen 17 und 39 Jahren alt (vgl. Schäfers et al. 2013), deutet jedoch darauf hin, dass nicht die Periode das Verhalten erklärt sondern, dass Menschen mit gleichem Geburtsjahrgang ähnliche Verhaltensweisen zeigen. Derartige Veränderungen bzgl. Mobilitätseinstellungen werden folglich als Kohorteneffekt klassifiziert.

Tab. 3 Ergebnisse zur Entwicklung der Pkw-Zulassungen, 2013–2060, Basisszenario (eigene Berechnung)

	2013	2020	2030	2040	2050	2060
<i>Pkw-Zulassungen (in Mio.)</i>						
Auf Männer	25,6	26,2	25,8	24,9	23,6	22,2
Auf Frauen	14,4	14,3	13,6	12,7	11,8	11,0
Insgesamt	40,1	40,5	39,4	37,6	35,4	33,2
<i>Zulassungen auf Männer (in %)</i>						
Bis 24 Jahre	2,5	2,2	2,0	2,0	1,9	1,9
25–29 Jahre	4,1	3,7	3,2	3,2	3,3	3,1
30–39 Jahre	12,6	13,5	12,1	10,8	11,2	11,3
40–49 Jahre	22,1	16,9	18,3	16,6	15,2	15,9
50–59 Jahre	25,6	27,0	19,7	21,8	20,2	18,7
60–69 Jahre	16,6	19,6	23,3	17,5	20,1	18,9
70–79 Jahre	12,7	11,2	14,6	18,3	14,4	17,0
80 und mehr Jahre	3,8	5,9	6,8	9,6	13,6	13,3
<i>Zulassungen auf Frauen (in %)</i>						
Bis 24 Jahre	3,3	3,1	2,8	3,0	3,0	2,9
25–29 Jahre	5,3	5,0	4,5	4,6	4,9	4,6
30–39 Jahre	15,0	16,3	15,2	14,1	14,9	15,1
40–49 Jahre	24,6	19,7	21,9	20,8	19,4	20,6
50–59 Jahre	26,2	28,0	21,5	24,4	23,3	21,8
60–69 Jahre	14,4	17,2	20,5	16,1	18,5	17,7
70–79 Jahre	8,9	7,8	10,2	12,5	10,1	11,7
80 und mehr Jahre	2,3	2,9	3,3	4,4	5,9	5,7

gen gewinnt bis 2060 stetig größeres Gewicht zulasten der Altersgruppe der 50- bis 59-Jährigen und repräsentiert bei den Männern in 2060 die Altersgruppe mit dem höchsten Pkw-Bestand (s. Tab. 3).

Sensitivitätsanalysen im Bereich der Fertilität zeigen, dass sich eine Variation der Geburtenrate ab 2030, mit vorangehendem linearem Anpassungsprozess bis 2030, gering auf die Anzahl der Pkw-Zulassungen auswirkt. Bei einem Anstieg der allgemeinen Geburtenrate im Vergleich zum Basisszenario erhöhen sich die Pkw-Zulassungen geringfügig, wohingegen sie bei einem Rückgang der Fertilität geringfügig sinken. So reduzieren sich die Pkw-Zulassungen gegenüber dem Basisszenario (1,4 Kinder je Frau) in 2060 um 4,9% bei einer Verringerung der allgemeinen Fertilitätsrate auf 1,0 Kinder je Frau und nehmen bei einer Erhöhung der Fertilitätsrate auf 2,0 Kinder je Frau um 7,4% zu. Dieser Effekt wird umso stärker, je größer die Änderung der Fertilität und der Betrachtungshorizont sind. Begründet liegt dies in Veränderungen des Umfangs der für Zulassungen relevanten Altersgruppen im Vergleich zum Basisszenario. So führt eine Verringerung der Geburtenrate unmittelbar zu einer Abnahme der jungen Bevölkerung. Sobald diese Geburtenjahrgänge die Altersgruppen erreichen, für die steigende Zulassungsquoten charakteristisch sind, nimmt der Pkw-Bestand sukzessive ab. Verstärkt wird die Entwicklung zusätzlich durch die von Generation zu Generation sinkende Anzahl von Frauen im gebärfähigen Alter und damit einhergehende sinkende Zahl der Geburten.

Im Unterschied dazu führt eine im Vergleich zum Basisszenario steigende Geburtenrate zu einer Zunahme der jungen Bevölkerung und zeitversetzt zu einer Zunahme

des Pkw-Bestandes. Langfristig führt eine gestiegene Geburtenrate zu einer höheren Anzahl an Frauen im gebärfähigen Alter und wiederum zu einer höheren Zahl an Geburten, sodass sich der positive Effekt auf die Zulassungen verstärkt. Allerdings zeigt sich, dass selbst die kompensatorischen Effekte einer starken Erhöhung der Fertilität auf 2,0 Kindern je Frau nicht ausreichen, die Demografie bedingte Reduzierung des Pkw-Bestands vollständig zu kompensieren.

Eine Variation der Nettomigration besitzt im Gegensatz zur Variation der Fertilität einen unmittelbaren Einfluss auf die Entwicklung der Pkw-Zulassungen. Bis 2060 sinkt die Anzahl der Pkw-Zulassungen bei einem ausgeglichenen Wanderungssaldo um 9,2% im Vergleich zum Basisszenario bzw. steigt die Anzahl der Pkw-Zulassungen bei einer Anhebung des Wanderungssaldos auf 400.000 Personen p.a. um 27,6%. Dieser Effekt ergibt sich daraus, dass der größte Anteil der Nettomigration die mittlere Altersgruppe mit vergleichbar hohen Zulassungsquoten betrifft.

Eine Variation der Lebenserwartung wirkt sich unmittelbar auf die Pkw-Zulassungen im hohen Altersbereich und somit indirekt auf den Gesamtbestand aus. Eine im Vergleich zum Basisszenario um 6 Jahre niedrigere Lebenserwartung führt in 2060 zu einer Reduktion der Pkw-Zulassungen um 6,9%, wohingegen die Pkw-Zulassungen bei einer um 6 Jahre erhöhten Lebenserwartung in 2060 um 7,6% ansteigen. Dieser Effekt ergibt sich aus dem Umstand, dass veränderte Sterblichkeitsniveaus den Umfang der Bevölkerung im hohen Alter beeinflussen. Daher zeigen Sensitivitätsanalysen im Bereich der Lebenserwartung trotz vergleichsweise niedrigen Zulassungsquoten in der Randgruppe der hohen Alter moderate Veränderungen der Zulassungszahlen. Die Veränderungen werden möglicherweise unterschätzt durch den Umstand, dass der Einfluss einer veränderten Lebenserwartung auf die Seniorenmobilität im Basisszenario unberücksichtigt bleibt.

4.2 Einfluss von Trends und Strukturbrüchen auf die Pkw-Zulassungen

Wie bereits im vorhergehenden Abschnitt erläutert, kommt es in Szenario 1 aufgrund der konstanten Zulassungsquoten im Betrachtungszeitraum zu einem absoluten Rückgang des Pkw-Bestandes. Allerdings ergeben sich tendenziell, im Vergleich zu den in Szenario 1 angesetzten konstanten Zulassungsquoten, höhere Zulassungsquoten, sofern Alters-, Perioden- und Kohorteneffekte einbezogen werden, um Verhaltensänderungen abzubilden. Folglich wird der bei konstanten Zulassungsquoten resultierende Rückgang des Pkw-Bestandes unter Berücksichtigung von Trends abgemildert, wie Tab. 4 darstellt. Die Abmilderung durch die Perioden- und Kohorteneffekte weist in Szenario 2 und 3 eine stetig steigende Tendenz bis in die 2030er Jahre (auf +12,0% im Jahr 2030) und daran anschließend eine fallende Tendenz (auf +10,5% im Jahr 2040) auf. Lediglich Strukturbrüche, insbesondere wenn sie zu Veränderungen bei Mobilitätsverhalten und -konzepten führen, können reduzierend auf Zulassungsquoten und somit auf den Pkw-Bestand wirken. Steigende Verkehrspreise, in Kombination mit sinkenden verfügbaren Einkommen, ein zunehmender Reurbanisierungsgrad sowie ein wachsender Marktanteil von Mobilitätskonzepten, wie dem Car-Sharing-Konzept, reduzieren den Pkw-Bestand in den Szenario 2 und 3 in Summe um 12,7% im Jahr 2040.

Tab. 4 Einflussfaktoren auf die Entwicklung des Pkw-Bestandes (eigene Berechnung)

Einflussfaktor	Implementierung			Veränderung Pkw-Bestand ^a		
	Szen. 1	Szen. 2	Szen. 3	2020 (%)	2030 (%)	2040 (%)
Bevölkerungsentwicklung	x	x	x	+2,0	-0,8	-5,2
Perioden-, Kohorteneffekt	-	x	x	+5,8	+12,0	+10,5
Seniorenmobilität	-	x	x	+0,2	+0,5	+1,2
Automatische Fahrzeuge	-	-	x	+0,0	+0,1	+1,9
Entw. Verkehrspreise/Einkommen	-	-	x	-0,4	-4,4	-8,4
Reurbanisierung	-	-	x	-0,9	-1,9	-3,1
CarSharing	-	-	x	-0,6	-0,9	-1,1

^aVeränderung des Pkw-Bestandes gegenüber dem Basisjahr (01.01.2013)

Der Einfluss von Trends und Strukturbrüchen auf die Bestandsentwicklung ist bis zum Jahr 2040 in Abb. 4 zu sehen. Die Verläufe von Szenario 2 und 3 verdeutlichen zunächst ein Bestandswachstum, das besonders durch den Ausgleich des Rückstands der Frauen zu erwarten ist; ab 2029 in Szenario 2 bzw. 2026 in Szenario 3 geht die Zahl der Pkw-Zulassungen aufgrund der zunehmenden Alterung der geburtenstarken Jahrgänge und der Bevölkerungsabnahme sowie – Szenario 3 betreffend – gesellschaftlicher und technologischer Strukturbrüche zurück.

Die Zahl der Pkw-Zulassungen nimmt in Szenario 1, ausgehend vom Jahresanfangsstand 2013, um 5,2% auf 37,6 Mio. im Jahr 2040 ab; in Szenario 2 nimmt die Zahl der Zulassungen um 11,8% auf 44,4 Mio. bis zum Jahr 2028 zu und anschließend um 5,2% auf 42,1 Mio. im Jahr 2040 ab. Szenario 3, demzufolge die Zahl der Zulassungen um 7% auf 42,5 Mio. ansteigt und anschließend um 11,6% auf 37,5 Mio. im Jahr 2040 abfällt, lässt sich zwischen den ersten beiden Szenarien einordnen. Ein Vergleich der Szenarien zeigt, dass die Pkw-Zulassungen im Jahr 2040 in Szenario 2 und 3 11,8% höher bzw. 0,3% niedriger ausfallen als in Szenario 1.

Die Szenarien 2 und 3 machen in diesem Zusammenhang deutlich, dass im Vergleich zu Szenario 1 die Zulassungen durch einen Anstieg der Zulassungsquoten aufgrund berücksichtigter Verhaltensänderungen zwar positiv beeinflusst werden, langfristig jedoch auch hier ein genereller Abfall infolge der fortschreitenden demografischen Alterung und des Bevölkerungsrückgangs zu erwarten ist. Ferner kompensieren sich die in Szenario 3 betrachteten Mobilitätseinstellungen langfristig, sodass die Zahl der Zulassungen in Szenario 3 wieder auf das Niveau von Szenario 1 abfällt.

Die Abb. 5 bis 7 zeigen zudem die Entwicklung der relativen Anteile der Zulassungen der Altersgruppen 17 bis 24 Jahre, 25 bis 64 Jahre sowie 65 Jahre und mehr an den Gesamtzulassungen. In Szenario 1 verringert sich der relative Anteil der Zulassungen auf Männer (Frauen) der Altersgruppe der 17- bis 24-Jährigen von 1,6 (1,2)% zum Jahresbeginn 2013 auf 1,4 (1,0)% in 2040. Demgegenüber liegt der

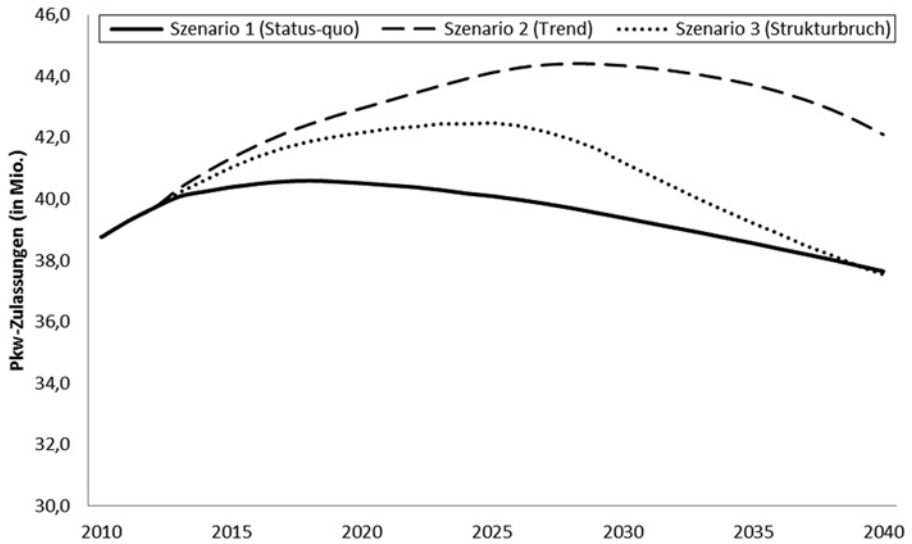


Abb. 4 Entwicklung der Pkw-Zulassungen, 2013–2040 (eigene Berechnung)

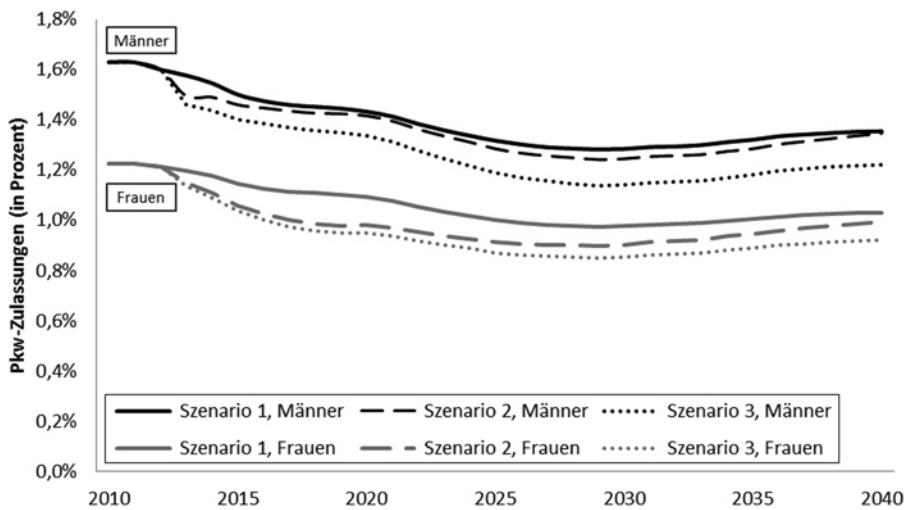


Abb. 5 Entwicklung des relativen Anteils der Pkw-Zulassungen der Altersgruppe 17–24 Jahre an den Gesamtzulassungen, 2013–2040 (eigene Berechnung)

relative Anteil im Jahr 2040 in Szenario 2 bei 1,3 (1, 0) % und in Szenario 3 bei 1,2 (0, 9) %. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass der relative Anteil der Zulassungen auf junge Leute an den Gesamtzulassungen – ebenso wie die absolute Entwicklung der Pkw-Zulassungen – im Vergleich zum Ausgangsniveau in allen drei Szenarien aufgrund des Rückgangs des Anteils dieser Altersgruppe an der Gesamtbevölkerung sinkt. Im Vergleich zu Szenario 1 wird der Effekt in Szenario 3 insbesondere durch veränderte Mobilitätseinstellungen verstärkt, bei den Frauen in Szenario 2 und 3

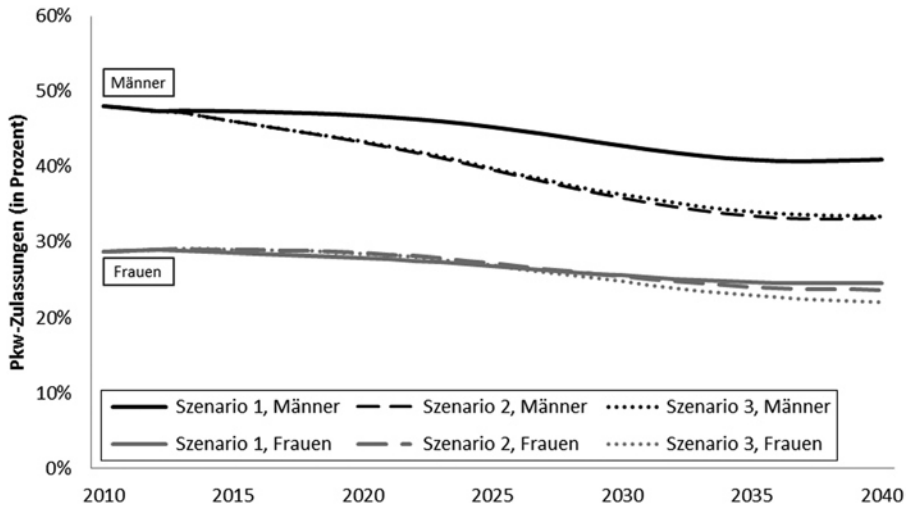


Abb. 6 Entwicklung des relativen Anteils der Pkw-Zulassungen der Altersgruppe 25–64 Jahre an den Gesamtzulassungen, 2013–2040 (eigene Berechnung)

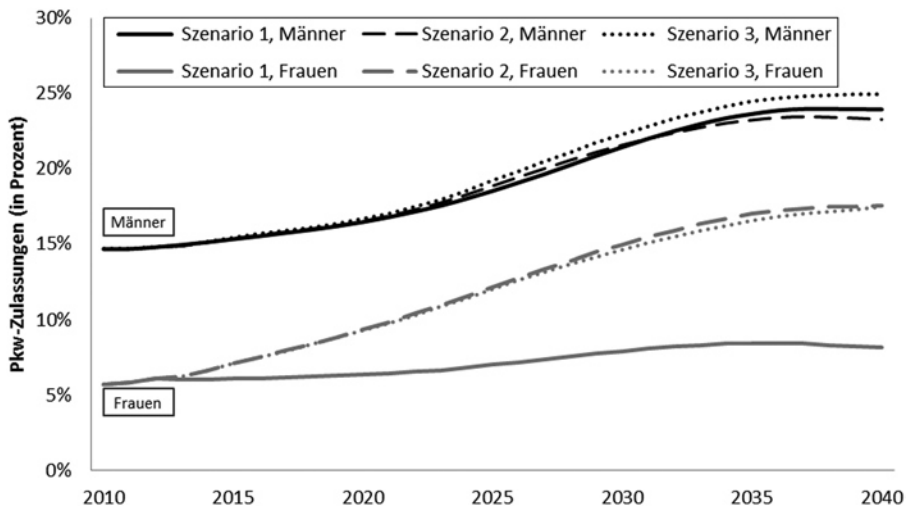


Abb. 7 Entwicklung des relativen Anteils der Pkw-Zulassungen der Altersgruppe 65 Jahre und mehr an den Gesamtzulassungen, 2013–2040 (eigene Berechnung)

zusätzlich durch den Ausgleich des Rückstands gegenüber den Männern in höheren Altersgruppen.

Ein abfallender Trend des relativen Anteils der Zulassungen ist über alle Szenarien hinweg ebenfalls in der Altersgruppe der 25- bis 64-Jährigen zu beobachten (s. Abb. 6). Bei Männern (Frauen) dieser Altersgruppe sinkt der relative Anteil in Szenario 1 von 47,4 (28,9) % zum Jahresbeginn 2013 um knapp 15% auf 40,9 (24,6) % in 2040. Deutlich stärker, um rund 30% auf 33,2 bzw. 33,4%, fällt der

relative Anteil bei den Männern in Szenario 2 bzw. 3. Bei den Frauen liefert das Szenario 2 ebenfalls eine höhere Reduktion des relativen Anteils als Szenario 1, jedoch wesentlich weniger stark als bei den Männern, auf 23,7% und das Szenario 3 auf 22,0%. Zurückzuführen ist die Absenkung des Grundniveaus um 15% auf die zunehmende Alterung der geburtenstarken Jahrgänge und der damit verbundenen Bevölkerungsreduktion in der betrachteten Altersgruppe. Szenario 2 und 3 verknüpfen hingegen die geburtenstarken Jahrgänge mit hohen Zulassungsquoten in Form eines Kohorteneffektes. Dies führt vor dem Hintergrund, dass geburtenstarke Jahrgänge die Altersgruppe zunehmend verlassen und die Zulassungsquoten der nachfolgenden Kohorten geringer sind, zu einem zusätzlichen Abwärtstrend. Bei den Frauen wird der Abwärtstrend teilweise durch die steigenden Zulassungen bei den Seniorinnen aufgrund des Nachholbedarfs kompensiert.

In der Altersgruppe 65 Jahre und mehr wird der Rückgang der relativen Anteile der Zulassungen in den bisher betrachteten Altersgruppen aufgefangen: Der relative Anteil der Zulassungen bei Männern (Frauen) der hohen Altersgruppe liegt zu Jahresbeginn 2013 bei 14,8 (6,1) % (s. Abb. 7). Im Jahr 2040 erhöht sich der Anteil in fast allen Szenarien auf rund 24,0 (17,5) % lediglich im Szenario 1 der Frauen erhöht sich der Anteil nur auf 8,1%. Ursächlich für die Zunahme sind hauptsächlich die zunehmende Alterung und das damit einhergehende Aufrücken der geburtenstarken Jahrgänge in die höhere Altersgruppe. Verstärkt wird dieser Effekt durch den Ausgleich des Rückstands der Frauen, der in Szenario 1 unberücksichtigt bleibt.

5 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass der demografische Wandel eine wichtige Determinante für die langfristige Entwicklung der Pkw-Zulassungen ist. Die Alterung der geburtenstarken Jahrgänge und die Abnahme der Bevölkerung führen zu einer Reduzierung der zukünftigen Pkw-Zulassungen und lassen sich mittel- und langfristig nicht vollständig durch ein verbessertes Fertilitäts- und Migrationsniveau sowie erhöhte Lebenserwartungen ausgleichen. Weiter zeigt sich, dass die Zulassungen nicht nur vom Bevölkerungsrückgang und der Verschiebung der Bevölkerungsstruktur abhängen, sondern auch von Verhaltensänderungen von Kohorten sowie durch den Zeitpunkt der Beobachtung, d. h. mit der Periode verbundene Ereignisse. Bemerkenswert ist, dass bisher durchgeführte Studien dennoch in der Regel nur Alterseffekte und den Periodeneffekt betreffende Wirtschaftskenngrößen berücksichtigen, die die Veränderung der Pkw-Zulassungen in der Vergangenheit nur hinreichend erklären. Dies könnte die Ursache dafür sein, dass die Betrachtung anderer Modellrechnungen zur Entwicklung der Pkw-Zulassungen zumeist höher ausfallende Ergebnisse als dieser Beitrag zeigen.

Wie bereits eingangs beschrieben, hängt die Nachfrage nach Kfz-Versicherungen wesentlich von der Entwicklung der Pkw-Zulassungen ab. Die aufgezeigte Entwicklung der Pkw-Zulassungen impliziert eine veränderte Nachfrage nach Kfz-Versicherungen in den kommenden Jahrzehnten, d. h. eine Veränderung in der Anzahl und Altersstrukturzusammensetzung der Nachfrager. Anhand der Ergebnisse lässt sich einerseits ableiten, dass langfristig eine Abnahme der Versicherungsnach-

frage im Status-quo-Szenario (Szenario 1) aufgrund der Bevölkerungsentwicklung unumgänglich ist; bis zum Jahr 2040 reduziert sich die Nachfrage um gut 2 Mio. Andererseits zeigt sich eine veränderte Nachfragesituation bezüglich einzelner Kundensegmente. Dabei reduziert sich im Trend-Szenario (Szenario 2) die aktuell größte Kundengruppe der 40- bis 59-Jährigen bis zum Jahr 2040 um knapp 6 Mio.; die Zahl der Versicherten in der Kundengruppe der über 70-Jährigen steigt um gut 8 Mio. an. Die Effekte sind vielschichtig: Direkt schlägt sich eine veränderte Versicherungsnachfrage in Volumenkenngößen wie Stückzahlen und Beitragseinnahmen nieder. In Folge des demografischen Wandels ist langfristig eine Volumenreduktion zu erwarten, sodass künftig von derzeit avisierten Wachstumszielen, ein steigendes Bestandswachstum zu erreichen, abgesehen werden muss. Zudem wirkt sich eine durch die demografische Verschiebung in der Altersstruktur veränderte Bestandszusammensetzung bereits mittelfristig auf die Ertragslage des Unternehmens aus, sofern weiterhin von einer risikoadäquaten Tarifierung nach dem Alter der Fahrzeugführer abgewichen wird. Insbesondere ist – trotz im Markt aktuell beobachteter Risikoaufschläge auf die Basisprämie in den hohen Altersgruppen mit zunehmendem Alter – im Versichertenkollektiv der Fahrzeugführer im hohen Alter die Ertragslage vergleichsweise schlecht; das Segment der Verträge, bei denen der älteste Nutzer über 75 Jahre ist, weist einen versicherungstechnischen Verlust von rund 25% der verdienten Bruttoprämien auf, das Segment der Rentner bzw. Pensionäre von rund 12% (vgl. *VersicherungsJournal* 2015). Aktuarielle Risikomerkmale, insbesondere die Altersstruktur betreffend, werden sich zur Sicherung der Ertragslage und ferner zur Vermeidung einer negativen Risikoselektion, d. h. einer ungünstigen Altersverteilung im Versichertenbestand, durchsetzen müssen. Indirekt sind der Vertrieb und die Produktgestaltung von der Entwicklung der Kundensegmente betroffen. Mittelfristig gilt es, Kfz-Versicherungsprodukte an eine alternde Gesellschaft als zahlenmäßig wichtige Kundengruppe auszurichten. Darüber hinaus gilt es, insbesondere unter der zunehmenden Bedeutung des Aspekts der Kundenbindung aufgrund der Nachfragestagnation bzw. des Nachfragerückgangs, ein besonderes Augenmerk auf die bereits gewonnenen Kundengruppen zu richten. Dies könnte die Marktdurchdringung einer Tarifierung nach dem Telematik-Konzept, d. h. eine fahrverhaltensabhängige Tarifierung mit einem Sicherheits- und Servicepaket, unterstützen.

Ein Vorteil der vorliegenden Analyse ist, dass für die Anpassung der Zulassungsquoten ein Alters-Kohorten-Perioden (APC) Modell zugrunde liegt, um Veränderungsprozesse zu quantifizieren und in die Zukunft zu extrapolieren. Hierdurch wird eine detaillierte Datengrundlage für eine alters- und geschlechtsspezifische Prognose, die eine Verteilung der künftigen Pkw-Zulassungen auf verschiedene Segmente der Bevölkerung ermöglicht, gebildet. Vorteilhaft ist weiterhin, dass die Modellrechnungen mittels einer eigenen Bevölkerungsvorausberechnung erfolgen. Dies gewährleistet ein exaktes Verständnis der Annahmen sowie funktionalen Zusammenhänge und ermöglicht detaillierte Sensitivitätsanalysen.

Allerdings sind bei der Interpretation der Ergebnisse Einschränkungen zu beachten. Diese betreffen zum einen die methodische Vorgehensweise zur Trennung der Alters-, Perioden- und Kohortenvariablen und zum anderen die generelle Unsicherheit über den tatsächlichen Verlauf der gesellschaftlichen, technologischen und wirtschaftlichen Entwicklung. Im Hinblick auf die Abbildung von Verhaltensände-

rungen muss berücksichtigt werden, dass die Trennung der Alters-, Perioden- und Kohorteneffekte analytisch mit Hilfe eines Regressionsmodells erfolgte. Dieser eher pragmatische Ansatz ermöglicht eine Quantifizierung der Effekte, jedoch ohne Ursachen-Wirkungsbeziehung. Beispielsweise kann ein Anstieg der Pkw-Zulassungen auf Frauen als Periodeneffekt u. a. durch einen zunehmenden Führerscheinbesitz und eine steigende Erwerbstätigkeit ausgelöst werden. Einschränkungen ergeben sich auch aus vielfältigen sozialen und ökonomischen Verflechtungen. So können altersbedingte gesundheitliche Einschränkungen Individuen in unterschiedlich starkem Ausmaß betreffen und den Alterseffekt verschieden wirken lassen.

Mit Blick auf die generelle Unsicherheit über die Bevölkerungsentwicklung ist zu beachten, dass der gewählte deterministische Ansatz keine Informationen über die tatsächlichen Zusammenhänge beinhaltet und daher den tatsächlichen Verlauf nur eingeschränkt abbilden kann. Zudem lassen sich mit diesem Ansatz verbundene Unsicherheiten nicht quantifizieren und somit nicht determinieren. Hinsichtlich der weiteren deterministisch gewählten gesellschaftlichen, technologischen und wirtschaftlichen Annahmen, die Alters-, Perioden- und Kohorteneffekte beeinflussen, gilt ähnliches. Ein langer Betrachtungshorizont setzt möglichst präzise Vorhersagen künftiger Entwicklungen etwa der Einkommen, Mobilitätspreise und der Mobilitätseinstellung voraus; diese Größen sind jedoch schwer vorherzusagen. Aus diesem Grund zeigen die Projektionsergebnisse eine ‚mögliche‘ Entwicklung auf.

6 Zusammenfassung

Die Entwicklung der Pkw-Zulassungszahlen in Deutschland und damit einhergehend die Entwicklung der Kfz-Versicherungsnachfrage wird maßgeblich durch die Bevölkerungsentwicklung und durch Verhaltensänderungen beeinflusst. Infolge der demografischen Alterung ist mittelfristig mit einer veränderten Altersstruktur der Nachfrager und sinkenden Nachfrage nach Kfz-Versicherungen zu rechnen, welche durch Verhaltensänderungen nicht kompensiert kann, sondern sogar verstärkt werden könnte. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Entwicklung der Pkw-Zulassungszahlen in Abhängigkeit der Bevölkerungsentwicklung und Verhaltensänderungen von Altersgruppen sowie Kohorten und durch den Zeitpunkt vor auszuberechnen, kritisch zu diskutieren und Implikationen für die Kfz-Versicherungsnachfrage abzuleiten.

Den Ergebnissen zufolge beträgt die Zahl der Pkw-Zulassungen im Jahr 2040 rund 37,6 Mio. in Szenario 1 (konstante Zulassungsquoten zu Jahresbeginn 2013), 42,1 Mio. in Szenario 2 (dem Trend angepasste Zulassungsquoten) und 37,5 Mio. in Szenario 3 (dem Trend angepasste Zulassungsquoten mit künftigen Strukturbrüchen). Der Anteil der Zulassungen der 17- bis 24-Jährigen an den Gesamtzulassungen sinkt dabei in Szenario 1 von rund 2,8 % zu Jahresbeginn 2013 auf 2,4 % in 2040; in den Szenarien 2 und 3 beträgt der Anteil 2,3 und 2,1 %. Der Anteil der Zulassungen der Altersgruppe 25–64 Jahre an den Gesamtzulassungen sinkt ebenfalls: in Szenario 1 von rund 76,3 % zu Jahresbeginn 2013 auf 65,5 % in 2040, in Szenario 2 sogar auf 56,9 % und in Szenario 3 auf 55,4 %. Dagegen steigt der Anteil der Zulassungen in der Altersgruppe der über 65-Jährigen in Szenario 1 von rund 20,9 % zu Jahresbeginn 2013 auf 32,1 % in 2040, wobei sich der Anteil in Szenario 2 und 3 auf 40,8

und 42,4 % verdoppelt. Der Entwicklungsverlauf wird dabei in allen drei Szenarien wesentlich durch die zunehmende Alterung der geburtenstarken Jahrgänge und Verhaltensänderungen von Kohorten bestimmt.

Langfristig ist mit einer sinkenden Kfz-Versicherungsnachfrage zu rechnen – dies bestätigen die eigenen Modellrechnungen und die Ergebnisse anderer Studien. Eine Veränderung der Altersstruktur führt dabei zu deutlichen Verschiebungen der Kundensegmente. Die Ergebnisse zeigen, dass selbst eine Trendfortschreibung den Einfluss des demografischen Wandels nicht kompensieren kann. Das bedeutet, dass sich die demografische Entwicklung im Allgemeinen auf die Beitragseinnahmen der Versicherungsunternehmen auswirken wird.

Literatur

- Bäumer, D., Reutter, U.: Demographische Entwicklung und gesellschaftliche Trends – Konsequenzen für die Verkehrsnachfrage, Modul 1 des Projektes „Untersuchung zentraler Rahmenbedingungen. Instrumente und Zielkriterien der Landesverkehrsplanung NRW“ – Abschlussbericht, Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen, Fachbereich Mobilität und Siedlungsentwicklung (2005)
- Bomsdorf, E., Trimborn, M.: Sterbetafel 2000. Modellrechnungen der Sterbetafel, *ZVersWiss* 81(3), 457–485 (1992)
- Bomsdorf, E., Winkelhausen, J.: Deutschlands Bevölkerung bis 2060. Modellrechnungen auf der Basis der Bevölkerungsdaten von 2011. *ifo Schnelldienst* 65, 26–41 (2012)
- Bowles, D., Zuchandke, A.: Entwicklung eines Modells zur Bevölkerungsprojektion – Modellrechnungen zur Bevölkerungsentwicklung bis 2060. Leibniz Universität Hannover, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Diskussionspapier Nr. 499, Dezember 2012
- Bretz, M.: Methoden der Bevölkerungsvorausberechnung. In: Mueller, U., Nauck, B., Diekmann, A. (Hrsg.) *Handbuch der Demographie. Modelle und Methoden*, Bd. 1, S. 643–681. Springer-Verlag, Berlin (2000)
- Cummins, J.D., Outreville, J.F.: An international analysis of underwriting cycles in property-liability insurance. *J. Risk Insur.* 54(2), 246–262 (1987)
- DAV-Arbeitsgruppe Tarifierungsmethodik (Hrsg.): *Aktuarielle Methoden der Tarifgestaltung in der Schaden-/Unfallversicherung*. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe (2011)
- Dudenhöffer, F., Dudenhöffer, K.: *Automobilmarkt-Prognosen - Modelle und Methoden*. In: Ebel, B., Hofer, M.B. (Hrsg.) *Automotive Management - Strategie und Marketing in der Automobilwirtschaft*. 2. Aufl., S. 367–377. Springer-Verlag, Berlin (2014)
- Eling, M., Luhnen, M.: Versicherungszyklen in der deutschen KFZ-Versicherung. *ZVersWiss.* 98, 507–516 (2010)
- EIOPA: Leitlinien zur vorausschauenden Beurteilung der eigenen Risiken (basierend auf den ORSA-Grundsätzen), Consultation Paper 13/09. <https://eiopa.europa.eu> (2013). Zugegriffen: 7. Aug. 2014
- Europäische Kommission: eCall: Automatischer Notruf für Verkehrsunfälle ab 2015 Pflicht in Autos. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-534_de.htm (2013). Zugegriffen: 31. Juli 2014
- ExxonMobil: *Energieprognose Deutschland 2013–2040*. ExxonMobil Central Europe Holding GmbH, Hamburg (2013)
- GDV: *Statistisches Taschenbuch der Versicherungswirtschaft 2014*. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Berlin (2014)
- Hofer, M.: *Nachfrage und Schadenentwicklung in der Kompositversicherung – Der Einfluss wirtschaftlicher und sozio-demographischer Faktoren*. Gabler Verlag, Wiesbaden (2004)
- IEEE: *Autonomous Driving and Driverless Vehicles*. Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://ieee.org> (2012). Zugegriffen: 9. Jan. 2015
- IFMO: *Zukunft der Mobilität – Szenarien für das Jahr 2030*. Institut für Mobilitätsforschung, Forschungseinrichtung der BMW Group, München (2010)
- IMWF: *Auswirkung der demografischen Entwicklung auf die Marktpotentiale von Versicherungen und Kreditinstituten*. Institut für Management- und Wirtschaftsforschung, Hamburg (2011)

- Knörr, W., Heidt, C., Schacht, A.: Aktualisierung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960–2030“ (TREMODO) für die Emissionsberichterstattung 2013 (Berichtsperiode 1990–2011). Umweltbundesamt/ifeu, Heidelberg (2012)
- Kraftfahrt-Bundesamt: Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Haltern (1981–2013). Flensburg, Daten auf Anfrage bereitgestellt (2013)
- Laas, D., Hartmann, M., Nützenadel, C., Schmeiser, H., Wagner, J.: Pricing-Strategien in der KFZ-Versicherung. St. Gallen, Zürich (2014)
- Morawetz, M.: Die Kfz-Versicherung im Jahr 2014: Langzeit- oder Zwischen-Hoch? GenRe – Publikationsreihe. Kfz-Versicherung (Jun 14), 1–8 (2014)
- Oeltze, S., Wauer, S., Schwarzlose, I., Bracher, T., Eichmann, V., Ludwig, U., Dreger, C., Lohse, D., Zimmermann, F., Heller, J.: Szenarien der Mobilitätsentwicklung unter Berücksichtigung von Siedlungsstrukturen bis 2050. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Magdeburg (2006)
- PwC: Automotive Retail – Die Zukunft beginnt jetzt!. PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, Frankfurt a. M. (2013)
- Ratzenberger, R.: Mobilität im Jahr 2020. Trends, Herausforderungen und Lösungsstrategien. Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V., München (2003)
- Schäfers, T., Sowik, N., Wittkowski, K.: AIM Carsharing-Barometer, Vol. III, Schwerpunkt: Carsharing-Kunden. EBS Business School, Oestrich-Winkel (2013)
- Schott, V.: Junge Leute – Abwendung vom Auto? Internationales Verkehrswesen. **66**(3), 68–70 (2014)
- Schulz, W., Bartels, M., Gatzert, C., Lindenberger, D., Müsgens, F., Peek, M., Seeliger, A., Steuber, D., Wissen, R., Hofer, P., Kirchner, A., Scheelhaase, J., Schlesinger, M.: Energiereport IV – Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (Berlin) Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI), Prognos AG, Köln/Basel (2005)
- Shell: Mehr Autos – weniger Verkehr? Szenarien des Pkw-Bestandes und der Neuzulassungen in Deutschland bis zum Jahr 2020. Deutsche Shell GmbH, Hamburg (2001)
- Shell: Flexibilität bestimmt Motorisierung, Szenarien des Pkw-Bestandes und der Neuzulassungen in Deutschland bis zum Jahr 2030. Deutsche Shell GmbH, Hamburg (2004)
- Statistisches Bundesamt: Bevölkerung Deutschlands bis 2060 – Ergebnisse der 12. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. <https://www.destatis.de> (2009). Zugegriffen: 25. Apr. 2014
- Statistisches Bundesamt: Natürliche Bevölkerungsbewegung, Bevölkerung und Erwerbstätigkeit, Fachserie 1, Reihe 1.1. <https://www.destatis.de> (2012a). Zugegriffen: 25. Apr. 2014
- Statistisches Bundesamt: Periodensterbetafeln für Deutschland, Allgemeine Sterbetafeln, abgekürzte Sterbetafeln, Sterbetafeln (1871/1881 bis 2008/2010). <https://www.destatis.de> (2012b). Zugegriffen: 25. Apr. 2014
- Statistische Bundesamt: Wanderungen zwischen Deutschland und dem Ausland nach Einzelaltersjahrsicht und Geschlecht (1991–2011). Wiesbaden, Daten auf Anfrage bereitgestellt (2013)
- Statistisches Bundesamt: Bevölkerung und Erwerbstätigkeit – 2011, Vorläufige Ergebnisse der Bevölkerungsforschreibung auf Grundlage des Zensus 2011. <https://www.destatis.de> (2014a). Zugegriffen: 25. Apr. 2014
- Statistisches Bundesamt: Bevölkerung und Erwerbstätigkeit – Vorläufige Wanderungsergebnisse 2013. <https://www.destatis.de> (2014b). Zugegriffen: 07. Aug. 2014
- Statistisches Bundesamt: Bevölkerung und Erwerbstätigkeit – Bevölkerung nach Alters- und Geburtsjahren (1983–2011). Wiesbaden, Daten auf Anfrage bereitgestellt (2014c)
- Topp, H.: Verkehr im Jahr 2030. Mosaik oder Version. Internationales Verkehrswesen. **55**(10), 456–459 (2003)
- United Nations (Department of Economic and Social Affairs): Population Division (1950–2050). <http://www.un.org/en/> (2014). Zugegriffen: 20. Nov. 2014
- VersicherungsJournal: Autoversicherer vergeben teure Rabatte. www.versicherungsjournal.de/ (2015). Zugegriffen: 04. März. 2015
- Yang, Y., Schulhofer-Wohl, S., Fu, W.J., Land, K.C.: The intrinsic estimator for age-period-cohort analysis: What it is and how to use it. *Am. J. Sociol.* **113**(6), 1697–1736 (2008)

Modul 4

Technische Unterstützungssysteme aus wirtschaftlichem Blickwinkel

Wiltrud Weidner

J.-Matthias Graf von der Schulenburg

Technische Unterstützungssysteme, Ed.: Weidner, R., Redlich, T., Wulfsberg, J. P., Springer

Berlin, 101-108, 2015

DOI: 10.1007/978-3-662-48383-1

With permission of Springer: Technische Unterstützungssysteme, Technische Unterstützungssysteme aus wirtschaftlichem Blickwinkel, 2015, 101-108, W. Weidner and J.-M. Graf von der Schulenburg, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

2.8 Technische Unterstützungssysteme aus wirtschaftlichem Blickwinkel

W. Weidner und J.-M. Graf von der Schulenburg

2.8.1 Veränderte Rahmenbedingungen durch gesellschaftlichen Wandel

Die mit dem demografischen Wandel verbundene Veränderung der Bevölkerungsstruktur führt in den nächsten Jahrzehnten zu weitreichenden gesellschaftlichen und ökonomischen Veränderungen in Deutschland. Die steigende Lebenserwartung bei niedriger Geburtenrate impliziert, dass die deutsche Bevölkerung altert und zahlenmäßig abnimmt [1]. Dies hat massive Auswirkungen auf die gesamte Volkswirtschaft, auf den Arbeitsmarkt, die Wertschöpfung und die Finanzierbarkeit der Sozialsysteme sowie die private Absicherung.

Demografisch bedingt wird es in Deutschland zu einem absoluten Rückgang sowie einer Alterung des Erwerbspersonenpotenzials kommen [1]. Damit einhergehend wird sich das im gesamtwirtschaftlichen Produktionsprozess eingesetzte Arbeitsvolumen und die Produktivität reduzieren. Im beitragsfinanzierten Sozialsystem wird die sinkende Anzahl der Erwerbspersonen, den Beitragszahlern, einer steigenden Zahl an Leistungsempfängern gegenüberstehen. Diese Problematik verstärkt sich im Bereich der Krankheits- und Pflegekosten durch den Sachverhalt, dass die Kosten mit dem Lebensalter stark ansteigen [2].

Auf der anderen Seite ist eine zunehmende Komplexität des Berufsalltags zu beobachten – die digitale Revolution verändert die Rahmenbedingungen auf dem Arbeitsmarkt grundlegend. „Einfache Arbeiten“ werden in den nächsten Jahrzehnten zunehmend automatisiert [3], während Tätigkeiten mit niedrigen Löhnen und niedrigem Qualifikationsniveau etwa in der Logistik, Verwaltung und im Verkauf sowie Tätigkeiten eines Fabrikarbeiters oder Bauarbeiters fachlich und körperlich anspruchsvoller werden. Künstliche Intelligenz und fortschreitende Automatisierung werden zahlreiche Berufe überflüssig machen und einen Umbau der Arbeitsgesellschaft herbeiführen [3, 4].

Entscheidend für ein künftig funktionierendes Wirtschafts- und Sozialsystems ist eine Anpassung der Erwerbsquote sowie der Ausschöpfung des Erwerbspersonenpotenzials an die demografischen Strukturveränderungen. Demografisch bedingt wird sich der Arbeitsmarkt darauf einrichten müssen, künftig mehr ältere Menschen zu beschäftigen. Der Druck auf die Unternehmen im Hinblick auf den Erhalt und die Förderung der Leistungs-, Gesundheits- und Beschäftigungsfähigkeit bis ins Rentenalter wird zunehmen. Denkbar sind präventive und operative Maßnahmen, die dem demografischen Leistungsabfall entgegenwirken: So werden neben dem Einsatz von klassischen Robotersystemen, die menschliche Arbeitskraft bei „einfachen“ Tätigkeiten ersetzen (Automatisierung), technische Systeme stehen, die zum Teil konträre Vorteile von Mensch und Maschine intelligent aufgaben- und personenspezifisch kombinieren und damit manuelle Arbeitsabläufe unterstützen und demzufolge Arbeitskraft erhalten (Deautomatisierung). Andere Unterstützungssysteme werden zur Kraft- und Mobilitätssteigerung Einsatz finden und kompensieren dabei altersspezifische Funktionseinbußen.

Robotersysteme werden derzeit noch weitgehend aus technologischer Sicht betrachtet. Untersuchungen zu den Auswirkungen auf Arbeitswelt, Gesellschaft, Volks- und Versicherungswirtschaft werden gerade erst aufgenommen [3, 4, 5, 6]. Ziel dieses Abschnitts ist es, die sich bietenden Potenziale innovativer technischer Unterstützungssysteme auf die Volkswirtschaft eingehender zu analysieren. Die Systeme zielen speziell darauf ab, Tätigkeiten im Berufs- und Alltagsleben derart zu unterstützen, dass die Invalidität und Pflegebedürftigkeit verhindert oder zumindest hinausgezögert wird. Daher bildet die Betrachtung des Berufsunfähigkeits- und Pflegefallrisiko die Grundlage für volkswirtschaftliche Schlussfolgerungen.

2.8.2 Lösungsansätze durch technische Unterstützungssysteme

Arbeitsmarktentwicklung unter Berücksichtigung der Berufsunfähigkeit

Aufgrund der demografischen Entwicklung wird die Zahl der Arbeitskräfte in Deutschland sinken und der Anteil älterer Arbeitskräfte an der Gesamtzahl der Erwerbstätigen steigen [1]. Diese Entwicklung verringert das gesamtwirtschaftliche Arbeitsvolumen [7], sogar ohne Berücksichtigung der Auswirkungen der Industrie 4.0 auf den Arbeitsmarkt. Ökonomische Folgen können durch zwei Faktoren gelindert werden: eine Erhöhung des Arbeitsvolumen und eine Steigerung der Produktivität.

Zur Steigerung von Wirtschaftsleistungen gilt es in den kommenden Jahrzehnten im Besonderen, dem künftig durch die Bevölkerungsentwicklung und -struktur reduzierten Arbeitsvolumen entgegenzuwirken. Eine höhere Erwerbsquote, eine niedrigere Erwerbslosenquote und eine höhere Zahl an Arbeitsstunden pro Erwerbstätigem wirken insgesamt erhöhend auf das Arbeitsvolumen. Vor dem Hintergrund des demografischen Wandels besteht die Herausforderung dabei insbesondere in einer deutlichen Steigerung der Zahl der älteren Arbeitnehmer, die ein höheres Invaliditätsrisiko aufweisen als Arbeitnehmer anderer Altersgruppen [8]. Ein Heraufsetzen des Rentenalters allein scheint keine Lösung zu sein. Jeder vierte Arbeitnehmer in Deutschland scheidet laut Angaben der deutschen Rentenversicherung aus gesundheitlichen Gründen vorzeitig und ungeplant aus dem Berufsleben aus. Betroffen von der Berufsunfähigkeit sind alle Altersgruppen; da das Risiko für viele Krankheiten im Alter zunimmt, sind im Bestand der privaten Berufsunfähigkeitsversicherer 52% der Leistungsfälle auf die Altersgruppe der über 50-Jährigen zurückzuführen [8]. Dieser Trend wird sich im Zuge der digitalen Revolution und der demografischen Entwicklung verstärken. Viele „einfache“ Arbeiten, vor allem manuelle Tätigkeiten ohne großen kreativen Anteil, aber zunehmend auch rationalisierbare Verwaltungsarbeiten, fallen weg [4]. Hingegen werden Tätigkeiten mit hohen Anforderungen an Geschicklichkeit, Anpassungsfähigkeit und Kreativität stärker nachgefragt [5]. Gerade individuelle Arbeiten mit Anforderungen an Geschicklichkeit und Kraftaufwand, die nicht immer durch Erfahrung zu kompensieren sind, weisen mit fortschreitendem Alter eine schnell wachsende Invaliditätsrate auf. Beispielsweise erfordern das Polieren von Oberflächen [5], das Arbeiten über Kopf oder in Hohlräumen in der Flugzeugproduktion sowie die Mikromontage von Kleinstteilen aus Mikro-, Nano- und Biotechnologie [10] sensomotorische und kognitive Fähigkeiten, die bislang keine Maschine erfüllt. Ohne Kompensati-

onsmethoden ist für derartige Tätigkeiten zwar ein gewisser Teil von weniger hoch belastbaren Mitarbeitern für einige Zeit oder für wenige Stunden einsetzbar, aber wie die Statistik lehrt, ist die damit verbrachte Lebensarbeitszeit beschränkt. Folglich nimmt der Anteil an Berufen mit einem höheren Invaliditätsrisiko bei verlagelter Beschäftigungsart unter der Industrie 4.0 zu.

Technische Unterstützungssysteme, die Mensch und Maschine zur Ausführung von Tätigkeiten innerhalb eines Systems mit gemeinsamen Regelkreislauf systematisch integrieren, beugen Gesundheitsschäden wirksam vor und gleichen Funktionseinbußen wirkungsvoll aus: Mit einer Kraft- und Mobilitätsunterstützung kann die körperliche Belastung im Arbeitsleben gesenkt werden. Auf diese Weise kann Erkrankungen des Skelett- und Bewegungsapparats begegnet werden, die in 21% aller Leistungsfälle die Ursache für eine Berufsunfähigkeit darstellen [8]. Zudem kann die psychische Belastung, in 32% aller Leistungsfälle ursächlich für eine Berufsunfähigkeit [8], durch eine Präzisionssteigerung und einer damit einhergehenden Qualitätssicherung bzw. Fehlervermeidung abnehmen.

Neben einer Erhöhung des Arbeitsvolumens trägt eine Steigerung der Produktivität zur Stabilität der Wirtschaftsleistung bei. Modulare technische Unterstützungssysteme wirken arbeitsunterstützend, wodurch die Mitarbeiterverfügbarkeit und folglich die Produktivität gesteigert werden können [10]. In diesem Zusammenhang werden die Weiterbildung zur Erlernung neuer Techniken und flexible Anpassung an Bedürfnisse wichtiger, um die mit dem digitalen Wandel einhergehende wachsende Komplexität im Berufsalltag zumindest teilweise zu kompensieren.

Mit technischen Unterstützungssystemen kann über die aufgezeigten Ansätze auf die wachsenden Anforderungen am Arbeitsmarkt reagiert werden. Die Arbeitskraft kann unter ihrem Einsatz wirksam erlangt, verbessert oder aufrechterhalten werden; einen Überblick über potentielle Anwendungsfälle liefert **Abb. 2.12**.

Entwicklung der Leistungsempfänger in der Pflegefallversicherung

Der demografische Wandel bedeutet – unter Annahme einer dauerhaft konstanten, altersspezifischen Pflegequote – eine Verdopplung des Anteils der Pflegebedürftigen an der Gesamtbevölkerung auf 6,5% bis zum Jahr 2050 und eine deutliche Alterung der Pflegebedürftigen [9]. Zugleich sinkt die Zahl der Erwerbstätigen, die Beitragszahler, immer weiter [1]. Die Umlagefinanzierung der gesetzlichen Pflegeversicherung stößt durch (zu erwartende) Ausgabensteigerungen zunehmend an ihre Grenzen. Allerdings beeinflussen, neben dem demografischen Wandel, verändernde Lebenssituationen u.a. durch steigenden Wohlstand, bessere Ernährung und weniger körperlich belastende Arbeit den Gesundheitszustand und folglich die Entwicklung der Pflegebedürftigkeit sowie die Zuordnung der Pflegebedürftigen zu den Pflegestufen [9]. Dennoch scheint die Entwicklung von Präventionsmaßnahmen gegen Pflegebedürftigkeit für eine nachhaltige Finanzierung der Pflegekosten ohne Einschränkung des avisierten hohen Leistungsniveaus unausweichlich. Dazu können technische Unterstützungssysteme in Erwägung gezogen werden, für die sich drei wesentliche Anwendungsfälle differenzieren lassen (siehe ergänzend **Abb. 2.12**):

- Prävention und Gesundheitsförderung zur Erzielung eines Gesundheitsgewinns und Leistungserhalts durch vorbeugende unterstützende Maßnahmen mittels Integration

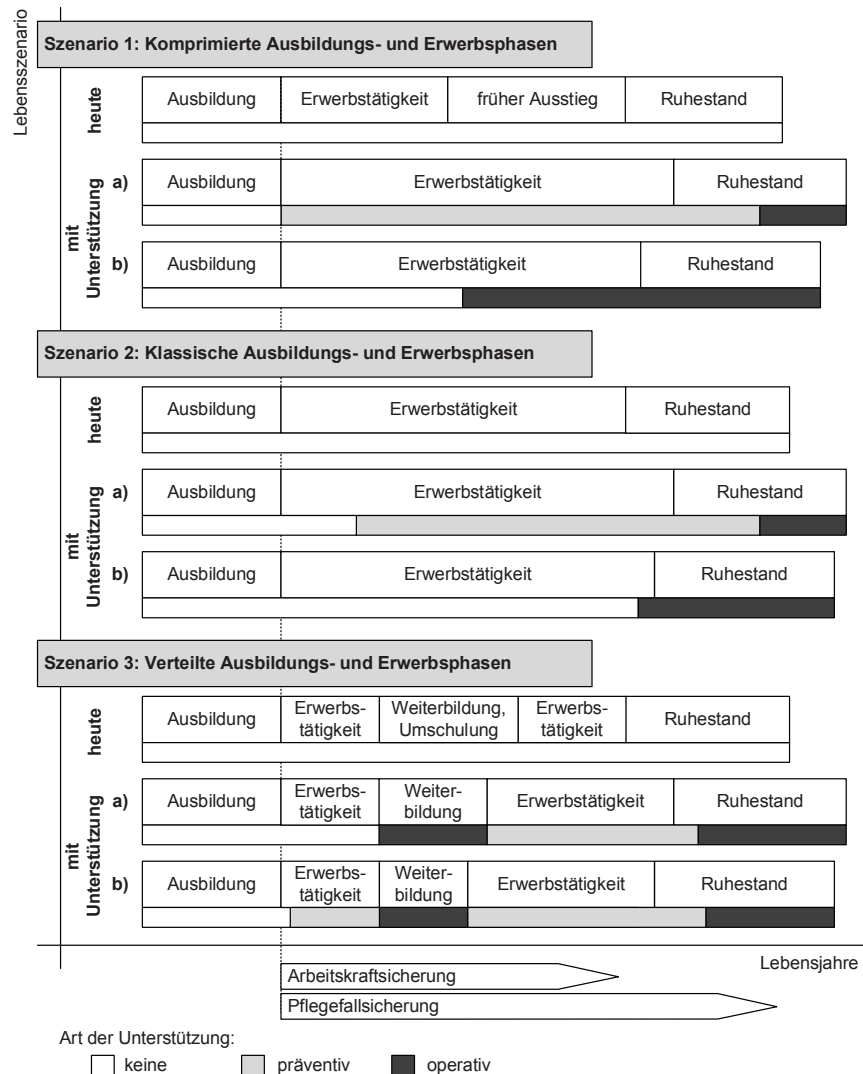


Abb. 2.12: Technische Unterstützungssysteme in Lebensszenarien

von Mensch und Maschine [10]. Dies ermöglicht den Eintritt einer Funktionseinbuße zu verhindern oder zu verzögern und somit eine Pflegebedürftigkeit aufzuschieben. Infolgedessen lassen sich Pflegezeit und -kosten reduzieren.

- Operative Unterstützung oder gar Wiedereingliederung körperlich kranker oder behinderter Personen in das berufliche und gesellschaftliche Leben durch Kopplung von technischen Elementen und Funktionalitäten mit den biologisch physiologischen Voraussetzungen des Menschen [10]. Auf diese Weise können Funktionseinbußen abgeschwächt bzw. ausgeglichen werden und z.B. Kraftverfügbarkeit, Mobilität, Koordination und Feinmotorik verbessert werden, sodass spezielle Alltagstätigkeiten weiter selbstständig ausgeführt werden können. Dem Finanzierungsproblem der Pflege

wird damit auf zweierlei Weise begegnet. Zum einen setzt die Pflegebedürftigkeit erst später ein und verkürzt damit Pflegezeit und -kosten. Zum anderen wirken sich technische Hilfsmittel bei vorliegender Pflegebedürftigkeit positiv auf die Schwere der Pflegebedürftigkeit und folglich auf die Zuordnung der entsprechenden Pflegestufe aus. Da sich die Leistungen der Pflegeversicherung nach den Pflegestufen orientieren, kommt es bei einer Eingruppierung in geringere Pflegestufen zu einer Kostenersparnis.

- Erhöhung der Pflegequalität durch Kopplung biomechanischer und technischer Systeme, z.B. zur Kraftunterstützung von Pflegekräften bei manuellen Anwendungen. Die verkürzten und vereinfachten Arbeitsabläufe führen neben einer Professionalisierung des Pflegeberufs aufgrund optimierter Aufgabenausführungen zu einer deutlichen physischen und psychischen Arbeitsentlastung und somit höheren Verfügbarkeit des Pflegepersonals. Geringere körperliche Belastungen der Pflegekräfte bewirken sinkende Invaliditätsraten (s. vorherigen Unterabschnitt). Zudem kann mit verkürzten Arbeitsabläufen der Mangel an Pflegepersonal teilweise umgangen werden. Außerdem erschließen sich durch Unterstützungssysteme zusätzliche Personenkreise für eine Ausübung pflegerischer Tätigkeiten. Es besteht sogar die Hoffnung, dass viele Menschen, die aufgrund ihrer psychischen Ausprägung für fürsorgende Berufe besonders geeignet sind, die körperlichen Anforderungen aber nicht erfüllen, in dieses Betätigungsfeld wechseln können.

2.8.3 Volkswirtschaftliche Auswirkungen technischer Unterstützungssysteme

Der demografische Wandel in Deutschland stellt insbesondere die sozialen Sicherungssysteme und die gesamtwirtschaftliche Entwicklung vor große Herausforderungen. Im vorangehenden Abschnitt wurde ein Lösungsansatz auf die sich aus der alternden Gesellschaft ergebende verringerte Erwerbsquote und erhöhte Pflegequote über präventiv und operativ einsetzbare technische Unterstützungssysteme aufgezeigt. Die dort genannten Zielwerte für den Einsatzbereich basieren weniger auf universellen, sondern wesentlich auf speziellen, spezifisch auf den momentanen Zweck gerichteten Lösungen. Zudem sind die Hilfsmittel so auszurichten, dass sie mit überall vorhandenen Werkzeugen und Werkstoffen und standardisierten Komponenten (vor allem für die Krafterzeugung und Steuerung) zeitnah und vor Ort angepasst werden können. Entscheidend für eine erfolgreiche Markteinführung wird es sein, „einfache“ Lösungen zu gestalten, die preiswert herzustellen sind.

Die Effekte des aufgezeigten Lösungsansatzes sind aus volkswirtschaftlichem Blickwinkel vielschichtig. Direkt schlägt sich der Einsatz technischer Unterstützungssysteme in einer Entlastung der beitragsfinanzierten Sozialversicherungssysteme nieder:

- In Folge einer Verringerung körperlich und psychisch belastender Arbeit ist kurz- bis mittelfristig eine stetig sinkende Invaliditätsquote zu erwarten, sodass künftig geringere Ausgaben für Erwerbsminderungsrenten anfallen. Tragen technische Unterstützungssysteme etwa zu einer 30% sinkenden Invaliditätswahrscheinlichkeit – bei linearer Anpassung über die kommenden 10 Jahre – bei, ergibt sich unter Berücksichtigung einer damit einhergehenden abnehmenden Anzahl an Rentempfängern sowie steigenden Anzahl an Krankenversicherungsbeitragszahlern für die

nächsten 10 Jahre bereits eine Leistungersparnis von rund 33 Mrd. Euro. Dies ist eine eigene untere Abschätzung auf Basis der Entwicklung der Erwerbstätigenzahl gemäß [7] sowie aktueller Zahlen der Deutschen Rentenversicherung [11].

- In ähnlicher Weise wirken präventive und operative Maßnahmen auf die Pflegebedürftigkeit. Werden mit Hilfe technischer Unterstützungssysteme Alltagstätigkeiten entlastet und die Selbstständigkeit gefördert, ist umgehend mit einem positiven Einfluss auf die Entwicklung der Pflegequote bzw. die Zuordnung zu den Pflegestufen zu rechnen. Hierbei handelt es sich weniger um lebensverlängernde Hilfsmittel und mehr um eine Reduktion von Pflegeleistungen. Um das Einsparpotenzial durch technische Unterstützungssysteme auf künftige Pflegeausgaben abschätzen zu können, wurden zwei Szenarien erstellt. Das Basisszenario geht für die Prognose der Entwicklung der Pflegebedürftigen nach Pflegestufen von konstanten altersspezifischen Pflegewahrscheinlichkeiten und trendbasierten Zuordnungsfaktoren auf die Pflegestufen [12] aus, wobei die Bevölkerungsentwicklung der 12. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamts [1] als Bezugsgröße herangezogen wird. Das Alternativszenario hingegen bezieht Auswirkungen technischer Entwicklungen ein und geht von sinkenden Pflegewahrscheinlichkeiten aus. Annahmegemäß erfolgt eine Verschiebung der Eingruppierung von 70% der Leistungsempfänger – bei linearer Anpassung über die kommenden 10 Jahre – in die nächst gelegene geringere Pflegestufe. Im Vergleich zum Status Quo ergibt sich summiert über die kommenden 10 Jahre eine Entlastung der Pflegeversicherung um rund 49 Mrd. Euro. Durch den im Zuge des Einsatzes von Unterstützungssystemen geschaffenen Aufschub der ersten Pflegestufe und folglich der Pflegebedürftigkeit könnte der demografische Effekt sogar vollständig kompensiert werden. Anzumerken bleibt an dieser Stelle allerdings, dass Einsparungen in dieser Versicherungsform erfahrungsgemäß nicht beitragsenkend sondern leistungserhöhend wirken.
- Einfluss auf die Finanzierbarkeit der Sozialversicherungssysteme hat neben der Entwicklung der Leistungsempfänger auch die Entwicklung der Erwerbsquote. Der jenseits des 50. Lebensjahres sinkenden Erwerbsquoten, aufgrund längerer Phasen der Erwerbsunfähigkeit und der Frühinvalidisierung, wird durch veränderte Arbeitsbedingungen und -belastungen unter Einbezug technischer Unterstützungssysteme aktiv entgegengewirkt. Wenn es mehr Erwerbstätige gibt, gibt es ebenfalls mehr Beitragszahler für die Sozialversicherungen.

Indirekt sollte der Einfluss technischer Unterstützungssysteme noch stärker sein. Die Nutzung technischer Unterstützungssysteme kann nachhaltigen Mehrwert schaffen und dadurch gesellschaftliche und wirtschaftliche Auswirkungen der demografischen Veränderungen auffangen:

- Der Erhalt von Arbeitskraft erhöht die Anzahl der Erwerbstätigen, die Unterstützung von Arbeitsvorgängen stellt eine hohe Produktivität (auch mit zunehmendem Alter) sicher und implizit wird neues Realkapital in der Produktion eingesetzt. Diese Komponenten tragen gemeinsam zu einer Steigerung der Wertschöpfung bei. Auf der an-

deren Seite wirken sich technische Unterstützungssysteme infolge sinkender Invaliditäts- und Pflegequoten unmittelbar auf die indirekten Arbeitskosten, die Lohnnebenkosten, aus. Diese beiden Effekte wirken positiv auf die Entwicklung des Lohnstückkostenniveaus und stärken damit die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Volkswirtschaft. Da die Komponenten von Unterstützungssystemen zur Verringerung körperlich und psychisch belastender Arbeit nicht völlig neu erforscht und entwickelt, sondern höchstens modifiziert werden müssen, sind die Entwicklungskosten schnell amortisiert. Auf diese Weise ist eine Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit effizient zu erreichen.

- Der Zuwachs der Arbeitsproduktivität kann dabei durchaus eine Arbeitszeitverkürzung bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung des Lebensstandards, also ohne Wohlstandverlust, mit sich bringen. Mit Unterstützungssystemen kann die bezahlbare Arbeit zudem auf mehr Erwerbstätige verteilt werden. In einer Wettbewerbswirtschaft ist dies die einzige Möglichkeit, der Verdichtung der Arbeit entgegenzuwirken.
- Zuletzt besteht gar die Möglichkeit von Potenzialerweiterungen. Die durch Unterstützungssysteme veränderten beruflichen Tätigkeitsfelder erlauben es, zusätzliche Personenkreise für eine Ausübung besonders nachgefragter Tätigkeiten zu erschließen und somit Marktlücken zu schließen.

Schließlich muss noch auf die Vermutung hingewiesen werden, dass technische Lösungen ökonomischer und gesellschaftlich akzeptabler sind als Einwanderung mit ähnlichem Effekt. Man darf nicht nur bezweifeln, dass Einwanderung ökonomische Werte schafft sondern auch, dass sie allgemein von der Bevölkerung akzeptiert wird, wenn ein Verdrängungswettbewerb um Arbeitsplätze entsteht.

2.8.4 Zusammenfassung und Ausblick

Der demografische Wandel bedeutet eine große Herausforderung für die deutsche Volkswirtschaft. In diesem Beitrag wird ein Lösungsansatz auf die sich aus der alternden Gesellschaft für den Arbeitsmarkt und die Finanzierbarkeit der Sozialsysteme resultierende Problematik vorgestellt, indem Auswirkungen innovativer unterstützender Technologien analysiert werden.

Zunächst zeigt sich, dass durch Unterstützungssysteme veränderte berufliche Tätigkeitsfelder den Gefährdungsgrad für eine Berufsunfähigkeit senken sowie durch Unterstützungssysteme entlasteten Alltagstätigkeiten die Selbstständigkeit fördern und folglich die Invalidität bzw. Pflegebedürftigkeit reduziert wird. Bezeichnend für technische Entwicklungen ist schwer abschätzbar, welche Anwendungsmöglichkeiten sich eröffnen und wie sie konkret aussehen. Anschließend wird die finanzielle Entlastung der Sozialsysteme auf rund 80 Mrd. Euro in den kommenden 10 Jahren quantifiziert und ein nachhaltig volkswirtschaftlicher Mehrwert in Hinsicht auf die Entwicklung von Arbeitsbedingungen, Wertschöpfung und Wettbewerbsfähigkeit abgeleitet. Technische Unterstützungssysteme stellen demnach geeignete präventive und operative Maßnahmen gegen gesellschaftliche und ökonomische Auswirkungen der demografischen Entwicklung dar. Ihr Einsatz schafft die Voraussetzungen für eine Anpassung an die veränderten Rahmenbedingungen über

ein erhöhtes Arbeitsvolumen, eine Produktivitätssteigerung sowie eine abgesenkte Pflegebedürftigkeit, insbesondere auch unter der älteren Bevölkerung.

Für eine Kosten-Nutzen-Analyse gilt es, abschließend noch die gesellschaftlichen und ökonomischen Wirkungen technischer Unterstützungssysteme um den mit der Einführung solcher Technologien verbundenen Aufwand für die Gesellschaft zu erweitern.

Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt: Bevölkerung Deutschlands bis 2060 – 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden, 2009, Internet: www.destatis.de [Stand 08.09.2014].
- [2] BaFin: Wahrscheinlichkeitstabellen in der privaten Krankenversicherung 2012. Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht, 2014.
- [3] Frey, C.; Osborne, M.: The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?. Oxford University, 2013.
- [4] Bowles, J.: The computerisation of European jobs – who will win and who will lose from the impact of new technology onto old areas of employment?. Bruegel, 2014, Internet: <http://www.bruegel.org/nc/blog/detail/article/1394-the-computerisation-of-european-jobs> [Stand 07.09.2014].
- [5] Spath, D.; Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T. und Schlund, S.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0, Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2013.
- [6] Marsiske, H.-A.: Kollege Roboter – Maschinen werden immer intelligenter. Sie verändern längst die Arbeitswelt. Und bald unser Leben. Brand eins 05/2014.
- [7] Rürup, B.; Huchzermeier, D.; Böhmer, M.; Ehrentraut, O.: Die Zukunft der Altersvorsorge – Vor dem Hintergrund von Bevölkerungsalterung und Kapitalmarktentwicklungen. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft, 2014, Internet: www.gdv.de [Stand 10.02.2015].
- [8] Morgen&Morgen: Versicherer zahlen 1,7 Mrd. Euro Rente an Berufsunfähige – Aktuelles BU-Rating von M&M zeigt positive Trends. Pressemitteilung 09. April 2014, Internet: www.morgenundmorgen.com [Stand: 12.09.2014].
- [9] Statistisches Bundesamt: Demografischer Wandel in Deutschland – Auswirkungen auf Krankenhausbehandlungen und Pflegebedürftige im Bund und in den Ländern. Heft 2, Wiesbaden, 2010. Internet: www.destatis.de [Stand 08.09.2014].
- [10] Weidner, R.; Redlich, T.; Wulfsberg, J. P.: Produktionstechnik, Montage, Mensch und Technik – Passive und aktive Unterstützungssysteme für die Produktion, in: wt Werkstatttechnik online 104(9), Düsseldorf, Springer-VDI-Verlag, 2014, S. 174-179.
- [11] Deutsche Rentenversicherung Bund: Rentenversicherung in Zahlen. DRV-Schriften 22 2014, Internet: www.deutsche-rentenversicherung.de [Stand 10.02.2015].
- [12] BMG: Pflegeversicherung – Leistungsempfänger der sozialen Pflegeversicherung am Jahresende nach Pflegestufen 1995-2013) Bundesministerium für Gesundheit, 2014, Internet: www.bmg.bund.de [Stand: 12.09.2014].

Modul 5

Identifikation neuer Ansätze zur individuellen Kfz-Tarifierung

Wiltrud Weidner

Robert Weidner

Zeitschrift für die gesamte Versicherungswissenschaft 103(2), 167-193, 2014

DOI: 10.1007/s12297-014-0268-4

The final publication is available at Springer via <http://dx.doi.org/10.1007/s12297-014-0268-4>

Identifikation neuer Ansätze zur individuellen Kfz-Tarifierung

Wiltrud Weidner · Robert Weidner

Online publiziert: 3. Juni 2014
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

Zusammenfassung In dieser Arbeit werden innovative Ansätze zur individuellen Tarifgestaltung in der deutschen Kraftfahrzeugversicherung untersucht. Verfolgt wird das Ziel der Ermittlung gerechterer Prämien im Sinne des Verbraucherschutzes sowie der Erreichung eines besseren Deckungsgrades aus Sicht des Versicherers. Dazu wird zum einen angestrebt, die Informationsasymmetrie zu verringern, indem Daten über den Fahrzeugführer, sein Fahrverhalten und seine Fahrzeugnutzung gewonnen werden. Zum anderen wird eine Optimierung des Schadenmanagements beabsichtigt. Es muss ein Trade-off zwischen der Umsetzbarkeit der Ansätze, ihrem Nutzen in der Kalkulation und nicht zuletzt dem Datenschutz gefunden werden. Im Zentrum der Analyse steht der Einbezug von Geschwindigkeitsabläufen, Beschleunigungsverhalten und Straßenartnutzung als Risikofaktoren für die Tarifikalkulation. Es lassen sich unterschiedliche Fahrprofile identifizieren, sodass im Zusammenspiel mit der Auswertung von Unfallstatistiken fahrverhaltensabhängige Risikowahrscheinlichkeiten festgelegt werden können. Sie stellen die Grundlage für eine tiefere Tariffferenzierung dar.

Abstract This paper analyzes innovative approaches to the pricing of German motor insurance. The aim is to calculate premiums more fairly in terms of consumer protection. Furthermore we aim to achieve a better level of coverage from the

W. Weidner (✉)

Institut für Versicherungsbetriebslehre, Leibniz Universität Hannover,
Königsworther Platz 1, 30167 Hannover, Deutschland
E-Mail: ww@ivbl.uni-hannover.de

R. Weidner

Institut für Konstruktions- und Fertigungstechnik, Laboratorium Fertigungstechnik,
Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg,
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg, Deutschland

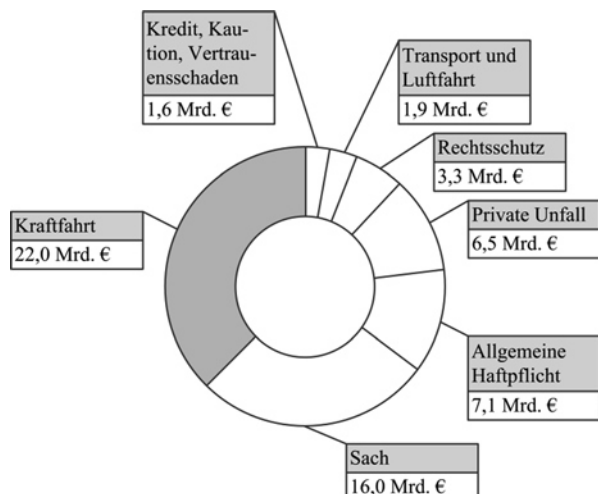
insurer's point of view. This is to be achieved through reduction of information asymmetries by collecting data respective the driver, the driving behavior and the use of vehicle as well as through optimization of claims management. There are trade-offs between the feasibilities of our different approaches, their respective benefits for calculation and data privacy. The analysis focuses on including telemetry data such as speed, acceleration as well as the used road type in the tariff calculation. Different driving profiles can be identified, which allows for determining probabilities of risk depending on driving behavior by taking into account the accident statistics. Profile-certified risk-probabilities in turn are the basis for greater tariff differentiation.

1 Einleitung

Die Kraftfahrtversicherung ist aufgrund des hohen Beitragsvolumens der wichtigste Versicherungszweig innerhalb der deutschen Schaden- und Unfallversicherung (siehe Abb. 1). Das gesamte Kfz-Geschäft macht mit 22 Mrd. Euro Beitragseinnahmen im Jahr 2012 einen Anteil von 37,5 % aus (vgl. GDV 2012). Abhängig von der Bestandsgröße des jeweiligen Versicherers und aufgrund seiner strategischen Bedeutung als „Türöffner“ für weitere Verträge beeinflusst sein versicherungstechnisches Ergebnis damit entscheidend das Ergebnis des Unternehmens. Dadurch ist dieser Versicherungszweig deregulierungsbedingt einem besonders intensiven Preiswettbewerb ausgesetzt (vgl. z. B. Laas et al. 2014).

Die Grundlage für ein effizientes Pricing, welches einen wesentlichen Einfluss auf den Deckungsgrad und die Risikoselektion hat, stellt die Festlegung risikogerechter technischer Prämien dar. Das wichtigste Tarifikriterium in der deutschen Kfz-Versicherung ist die Schadenfreiheitsklasse, daneben fließen zahlreiche weitere statistische Daten in die Kalkulation ein. Infolge der durch den starken Konkurrenzdruck erforder-

Abb. 1 Verteilung der Beitragseinnahmen in der Schaden-/Unfallversicherung 2012, Datengrundlage: GDV (2012)



derlichen schärferen Preisdifferenzierung führen die Versicherer ständig neue Tarifmerkmale ein. Kaum berücksichtigt werden Typisierungen nach der individuellen Fahrweise und -leistung, wie sie in anderen Ländern bereits üblich sind. Technisch ermöglicht durch GPS und Mobilfunktechnologie bieten führende Kfz-Versicherer in den USA oder England, z. B. Progressive, State Farm und Insurethebox, sogenannte PAYD-Tarife (Pay as you Drive) an. Neben den Preisbildungs- und Produktentwicklungsmöglichkeiten nutzen sie die sich daraus ergebenden Einflussmöglichkeiten auf das Schadenmanagement. Auch in Deutschland werden Telematiklösungen diskutiert (vgl. Towers Watson 2013; Wieser 2013; Münch 2012). Seit Januar 2014 bietet die Sparkassen Direktversicherung einen Versicherungstarif mit Telematik an (vgl. Sparkassen Direktversicherung 2013).

Das Ziel dieses Beitrages ist es, einen Überblick über innovative Ansatzpunkte zur risikogerechteren und rentablen Preisgestaltung zu geben. Im Fokus steht die Nutzung von künftigen Systemen zur Gewinnung spezifischer Informationen über die tatsächliche Fahrzeugnutzung und das individuelle Fahrverhalten. Berücksichtigung finden dabei das Kosten- und Schadenmanagement. Technisch umsetzbar und aus aktuarieller Sicht gerechtfertigt ist u. a. die Integration von Geschwindigkeitsabläufen sowie Beschleunigungsverhalten in die Prämienkalkulation. Das daraus ableitbare individuelle Fahrverhalten, welches als Grundlage zur Tariffdifferenzierung innerhalb bislang betrachteter Risikogruppen genutzt werden kann, wird von Grund auf veranschaulicht und analysiert. Definiert werden erste Systemanforderungen und in welcher Form Daten verfügbar sein müssen.

Der Rest des Beitrags ist wie folgt aufgebaut: In den Kap. 2 und 3 wird die gegenwärtige Situation der Kfz-Versicherung sowie ihrer Tarifierung dargestellt. In Kap. 4 werden potentielle künftige Tarifmerkmale eingeführt, deren Bewertung in Kap. 5 erfolgt. Abschließend wird der GPS-basierte Ansatz in Kap. 6 ausführlich inkl. eines Fallbeispiels vorgestellt. Es folgt ein Fazit in Kap. 7.

2 Gegenwärtige Tarifierung

Die Prämienkalkulation in der Kfz-Versicherung beruht auf so vielen Einflussfaktoren wie in keiner anderen Sparte der Schaden- und Unfallversicherung. Einfluss auf die Versicherungsprämie haben diverse subjektive und objektive Tarifmerkmale ebenso wie zahlreiche Rabattmerkmale (vgl. Stadler 2008), siehe Abb. 2.

Zurückzuführen ist dieser Sachverhalt auf die seit der Deregulierung in 1994 zunehmende Bedeutung einer risikoadäquaten und damit gerechten Beitragsberechnung. Der zu zahlende Beitrag eines Versicherungsnehmers mit einer geringen Schadenerwartung soll günstiger sein als der eines Versicherungsnehmers mit einer hohen Schadenerwartung. Des Weiteren erhält eine zuverlässige Schätzung der Schadenerwartung zur Steuerung des Gesamtrisikos eine zunehmende Bedeutung im Rahmen der Anpassung des Solvabilitätssystems (Solvency II).

Voraussetzung für eine risikogerechte Prämienberechnung ist es, ein zu versicherndes Risiko durch unterschiedliche, geeignete, tarifrelevante Risikomerkmale möglichst vollständig abzubilden. Tarifmerkmale sind nur dann geeignet, wenn sie im Kollektiv gute Füllgrade aufweisen und objektiv feststellbar sind (vgl. DAV-Ar-

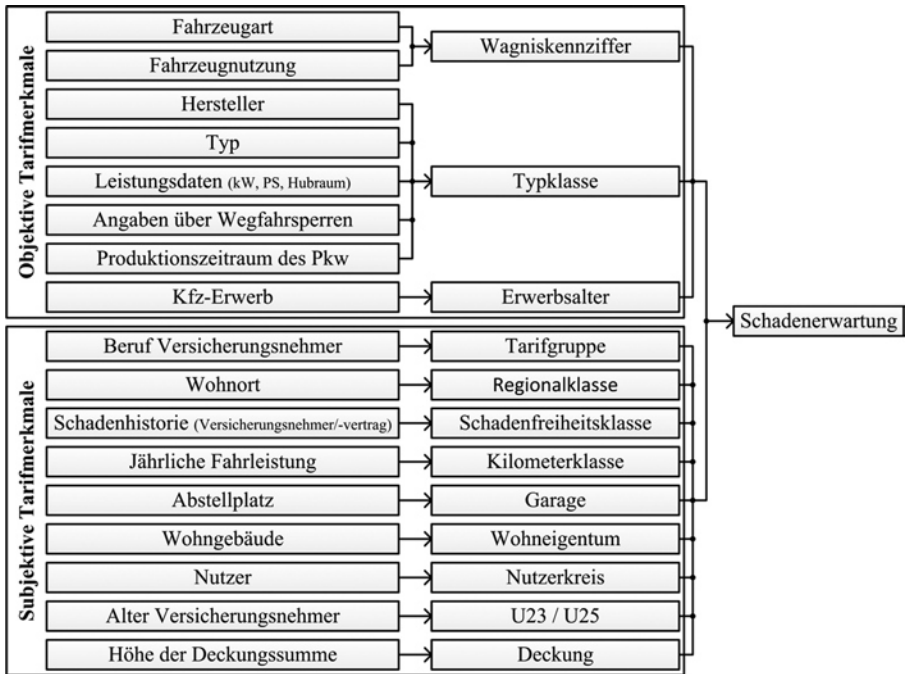
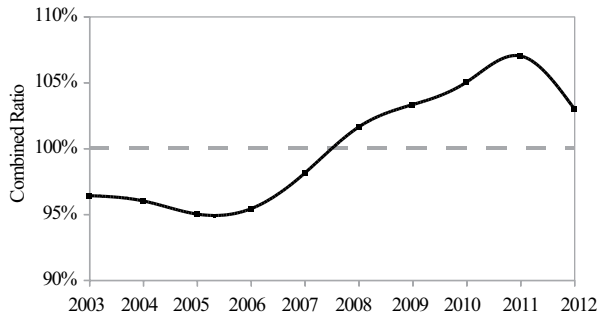


Abb. 2 Tarifkriterien der Kfz-Versicherung in Anlehnung an die GDV-Tarifempfehlung

beitsgruppe Tarifierungsmethodik 2011). Differenziert wird zwischen objektiven und subjektiven Merkmalen. Objektive Merkmale betreffen das Fahrzeug und sind unabhängig vom individuellen Risikoverhalten des Versicherungsnehmers. Zu ihnen zählen beispielsweise der Fahrzeugtyp, die Typklasse, die Wagniskennziffer (WKZ) und das Fahrzeualter. Subjektive Merkmale hingegen sind solche, die sich auf die zu versichernde Person beziehen. Dazu gehören u. a. die Schadenfreiheitsklasse, der Wohnort sowie damit einhergehend die Regionalklasse und der Beruf des Versicherungsnehmers, das Versicherungsnehmer- und Nutzeralter oder die jährliche Fahrleistung (vgl. z. B. Heep-Altiner und Klemmstein 2001). Weitere Tariffaktoren sind Nachlässe für z. B. Wohneigentum, eine Garage, eine Werkstattbindung oder für Einzelfahrer (vgl. z. B. Stadler 2008).

Grundlage für die Prämienberechnung bildet die Summe aus dem jährlichen qualitativen Risiko (Schädenerwartung) und einem Aufschlag für Regulierungs-, Verwaltungs- und Vertriebskosten sowie Gewinn-, Sicherheits- bzw. Kapitalkostenzuschlägen (vgl. DAV-Arbeitsgruppe Tarifierung 2007). Die Schätzung der Erwartungswerte erfolgt seit der Tariffreigabe üblicherweise unter dem Einsatz verallgemeinerter linearer Modelle. Sie können zunächst zur Bestimmung der Einflussfaktoren auf die Schädenerwartung verwendet werden. Weiter können sie – unter Berücksichtigung der ermittelten Variablenselektion – zur Modellierung von durchschnittlichen Schadenhöhen und erwarteten Schadenhäufigkeiten oder direkt

Abb. 3 Combined Ratios (nach Abwicklung) in der deutschen Kraftfahrtversicherung (2003–2012), Datengrundlage: GDV (2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012)



zur Modellierung der erwarteten Schadenbedarfe¹ genutzt werden (vgl. z. B. DAV-Arbeitsgruppe Tarifierungsmethodik 2011; Heep-Altiner und Klemmstein 2001). Grundlage für eine solche statistische Modellierung bilden Modell- und Verteilungsannahmen (vgl. z. B. Kaas et al. 2009).

3 Generelle Rahmenbedingungen

Die deutsche Kraftfahrtversicherung führt seit dem Jahr 2008 durchgängig zu versicherungstechnischen Verlusten (vgl. GDV 2012). In Abb. 3 ist die Entwicklung der Combined Ratio (abgewickelte Bruttoschäden und Verwaltungskosten in Relation zu den verdienten Beiträgen) im Zeitraum von 2003 bis 2012 dargestellt; überschreitet die Combined Ratio den Wert von 100 %, fällt ein versicherungstechnischer Verlust an.

Es lässt sich eine zyklische Schwankung (Versicherungszyklus) der Combined Ratio erkennen, welche ein wesentliches Charakteristikum der Schaden- und Unfallversicherung darstellt (vgl. Eling und Luhnen 2010; Cummins und Outreville 1987). Der Versicherungszyklus in Deutschland liegt begründet in verzögerten Prämienanpassungen. Bis zur Deregulierung des Versicherungsmarktes 1994 war das Bundesaufsichtsamt für das Versicherungswesen (BAV) für die Prüfung und Genehmigung der Versicherungsbedingungen sowie Tarife zuständig. Dies ging einher, dass die Versicherungsprodukte und -preise der verschiedenen Marktteilnehmer wenig differierten und Tarifanpassungen nur langsam erfolgten (vgl. Farny 1999; Rees et al. 1999). Mit der Tariffreigabe veränderten sich die Verhältnisse insbesondere in der Kraftfahrtversicherung tiefgreifend, da dieser Versicherungszweig als „Türöffner“ für weitere Geschäfte gilt. Den Versicherern wurde es ermöglicht, neue, günstige, marktorientierte Tarife einzuführen. Es entstand ein intensiver Preiswettbewerb begleitet von einer Reduktion der Gewinnspanne und einem enormen Kostendruck (vgl. z. B. Eling und Luhnen 2008; Schulenburg 2004). Bei stetig fallenden durchschnittlichen Jahresprämien und wachsenden oder gleich bleibenden Schadenaufwendungen stieg die Schadenquote, was in den vergangenen Jahren zu hohen Verlusten führte (vgl. GDV 2012).

¹Der Schadenbedarf kann als Produkt aus Schadenhäufigkeit und Schadendurchschnitt, also $SB = SH * SD$, dargestellt werden (vgl. DAV-Arbeitsgruppe Tarifierungsmethodik 2011).

Die gegenwärtige Herausforderung der Kraftfahrtversicherer besteht darin, die Combined Ratio zu verbessern unter Beachtung der aktuellen Rahmenbedingungen wie beispielsweise des vorherrschenden Versicherungszyklus. Ein zusätzlich in Betracht zu ziehender Aspekt ist die demografische Entwicklung in den nächsten Jahrzehnten. Die Gruppe der potenziellen Neukunden jüngerer Generationen wird kleiner (vgl. IMWF 2011). Die alleinige Konzentration auf das Wachstumsziel, ein steigendes Bestandsvolumen zu generieren, genügt nicht. Es gilt, besonderes Augenmerk auf die bereits gewonnene Kundengruppe zu richten und sich um die Kundenbindung zu kümmern. 2013 waren 36% der deutschen Autobesitzer wechselbereit und 65% wollten bei einer Beitragserhöhung ihre Kfz-Versicherung wechseln (vgl. Knap 2013). Da bei den Leistungen der Versicherer von Grund auf ein hoher Grad an Übereinstimmung besteht, ist zukünftig eine weitere Produkt- und Preisdifferenzierung erforderlich, um eine Kundenbeziehung aufrecht zu erhalten.

Mit ansteigender personenbezogener Datenverfügbarkeit im Zuge der elektronischen Datenverarbeitung und der daraus resultierenden zunehmenden Kenntnis über die versicherungstechnischen Risiken sowie getrieben durch den Konkurrenzdruck und nicht zuletzt durch das Unisex-Urteil² führen die Versicherer laufend weitere subjektive Merkmale ein (vgl. Domeyer 2005). Damit verfolgen sie das Ziel einer möglichst risikogerechten sowie individuellen Tarifgestaltung. Die Prämiengerechtigkeit ist notwendige Voraussetzung zur Bekämpfung der adversen Selektion.³ Die permanente Erweiterung traditioneller Tarifmerkmale hat einerseits einen stetig intransparenteren und komplexeren Markt zur Folge, in dem allgemeine Preisvergleiche schwierig sind. Andererseits müssen in die Prämienkalkulation nach dem additiven oder (meist) multiplikativen Modellansatz unter Anwendung eines verallgemeinerten linearen Modells alle möglichen Merkmalskombinationen einfließen, sodass die Anzahl der zu berücksichtigenden Tarifzellen leicht die Millionengrenze überschreitet. Die Kalkulation und Tarifanalyse ist somit nur noch mit entsprechender Rechenkapazität durchführbar. Wird das Risikomodell um Merkmale ergänzt, für die noch keine ausreichende Datenhistorie vorliegt, müssen zunächst Annahmen über die Merkmalsverteilungen im Bestand getroffen werden (vgl. DAV-Arbeitsgruppe Tarifierungsmethodik 2011).

Es kristallisieren sich folgende Fragen heraus, die sich damit befassen, wie sich ein Kraftfahrtversicherer vom Markt abgrenzen und zugleich den Umsatz und Ertrag optimieren kann:

1. Lassen sich Produkte entwickeln, mit denen auf den Schadenprozess (Leistungsversprechen, Schadenregulierung) eingewirkt werden kann?
2. Durch welche Risikomerkmale können bereits im Tarifmodell berücksichtigte Merkmale substituiert werden, um die Komplexität zu reduzieren? Welche An-

²Für Neuverträge ab dem 21.12.2012 muss die Berechnung von Prämien und Leistungen geschlechtsneutral erfolgen (Urteil des EuGH, C-236/09, 01.03.2011), sodass sowohl vorhandene als auch neue Tarifmerkmale das Merkmal Geschlecht substituieren müssen.

³Erschwerend kommt hinzu, dass es sich bei der Kfz-Haftpflichtversicherung aus Gründen des Verkehrsschutzes um eine Pflichtversicherung handelt (§ 1 Pflichtversicherungsgesetz). In § 5 des Pflichtversicherungsgesetzes ist der Kontrahierungszwang geregelt, d. h. Versicherungsunternehmen sind verpflichtet, Anträge auf Kfz-Haftpflichtversicherung anzunehmen, außer es liegen bestimmte Ablehnungsgründe vor.

forderungen sollen künftige Systeme erfüllen und welche Daten sollen verfügbar sein?

3. Wie kann die Tariffdifferenzierung mit Blick auf die Vermeidung der Antiselektion optimiert werden?

In den folgenden Abschnitten wird auf mögliche Ansätze, die sich mit der Beantwortung dieser Fragen beschäftigen, eingegangen. Berücksichtigung finden muss dabei der Datenmangel, d. h. die fehlende Erfahrung im Kollektiv, bei Einführung neuer Faktoren, welcher zunächst durch Annahmen zu kompensieren ist. Eingang finden sollten ebenfalls potentielle Auswirkungen von Fehleinschätzungen auf die Einschätzung des versicherungstechnischen Risikos.

4 Ansätze zur Tarifgestaltung

Im Kfz-Versicherungszweig bilden Tarifmerkmale die Kalkulationsgrundlage risikogerechter Prämien. Die Auswahl der Merkmale bestimmt den Grad der Abbildung des Risikoprofils maßgeblich. Eine beliebige Datensammlung sollte aber vermieden werden. Im Folgenden werden die wesentlichen Charakteristika verschiedener Ansätze schemenhaft vorgestellt:

- Ansatz 1: Gegenwärtige Tarifierungsmethodik inkl. traditioneller Tarifmerkmale
- Ansatz 2: Erweiterung von Ansatz 1 um Umweltfaktoren
- Ansatz 3: Erweiterung von Ansatz 1 um GPS-basierte Fahrzeugdaten
- Ansatz 4: Erweiterung von Ansatz 1 um ein Schadenidentifikationssystem
- Ansatz 5: Erweiterung von Ansatz 1 mittels nichtinvasiver Biodiagnostik
- Ansatz 6: Erweiterung von Ansatz 1 um technischen Fahrzeugzustand

Bei einer Erweiterung der vorherrschenden Tarifierungsmethodik ist noch zu differenzieren, ob es sich um substituierende oder komplementäre Merkmale handelt. Des Weiteren bleibt zu prüfen, inwiefern die Ansätze insbesondere mit Blick auf das Diskriminierungsverbot (siehe Art. 3 des Grundgesetzes; Art. 21 bis 23 der Charta der Grundrechte der Europäischen Union) juristisch zulässig sind.

4.1 Ansatz 1

Die Tarifgestaltung ist den deutschen Versicherungsunternehmen seit der Deregulierung weitestgehend selbst überlassen. Dennoch hat sich eine einheitliche Tarifierungsmethodik durchgesetzt. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass der GDV jährlich eine Tarifempfehlung herausgibt, an der sich viele Versicherer orientieren.

Der Beitrag der Kfz-Versicherung hängt entscheidend davon ab, in welcher SF-Klasse sich der Vertrag befindet. In der Haftpflicht- und Vollkasko-Versicherung wird abhängig von der Schadenfreiheitsstufe ein von der jeweiligen Versicherungsgesellschaft individuell festgelegter Schadenfreiheitsrabatt gewährt; in der Teilkasko-Versicherung gibt es diesen Rabatt nicht. Ferner fließen in die Tarifikalkulation statistische Daten, wie die Regional- und Typklasse, sowie weiche Tarifmerkmale, wie das Alter und der Beruf des Versicherungsnehmers, ein (siehe Kap. 2).

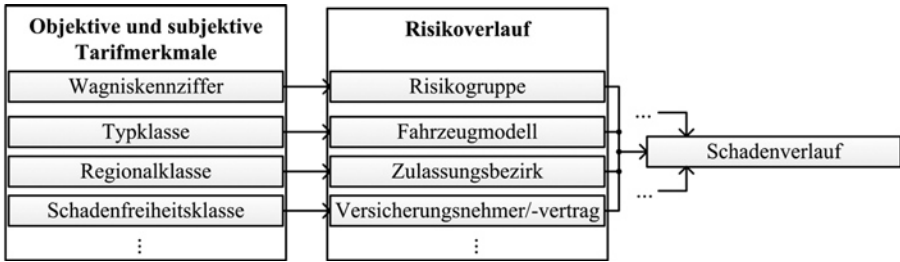


Abb. 4 Darstellung der gegenwärtigen Tarifierungsmethodik als Wirkkettenmodell

Abschließend sind in Abb. 4 die Tarifmerkmale, integriert in ein vereinfachtes Wirkkettenmodell, dargestellt. Die Wirkkette beschreibt den Informationsfluss und verläuft von den Risikomerkmale über dazugehörige Risikoverläufe zum spezifischen Schadenverlauf, aus dem eine Risikoprämie ermittelt wird. Bei diesem Ansatz fließen in die Berechnung der Kfz-Versicherungsprämie so viele individuelle Tarifmerkmale ein wie in kaum eine andere Versicherungsprämie. Die große Bandbreite an Tarifmerkmalen erlaubt es, das versicherte Risiko bereits sehr genau abzubilden.

4.2 Ansatz 2

Wird aus genannten Gründen das Ziel, die herkömmliche Tarifgestaltung stärker zu individualisieren, weiter verfolgt, kann dies über eine Erweiterung bestehender Tarifmerkmale um Umwelteinflüsse erfolgen. Die Umwelteinflüsse bilden in ihrer Gesamtheit die Witterungsverhältnisse (siehe Abb. 5); sie gehören zur Gruppe der sog. Fahrsituationsvariablen (vgl. Gerpott und Berg 2012). Unter Umweltfaktoren werden in diesem Zusammenhang die Einwirkung der Natur wie Klima, Temperatur und Licht auf die Straßen- und Sichtverhältnisse verstanden. Die Prämiengestaltung kann dabei durch Hinzunahme dieser Informationen zur Nutzung des Fahrzeuges individueller und risikoadäquater geschehen. Auswertungen der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik (vgl. Statistisches Bundesamt 2013) zeigen, dass saisonale und zeitliche Komponenten entscheidend zur Unfallschwere und -häufigkeit beitragen. Straßenhaftung und Bremswege werden von Regen, Schnee und Eis maßgeblich beeinflusst und stellen entscheidende Risikofaktoren dar. Sichtbehinderungen durch Nebel, Regen oder vorherrschende Lichtverhältnisse, etwa eine Blendung durch Sonnenlicht oder fremde Lichtquellen oder eine Einengung des Sichtfeldes durch

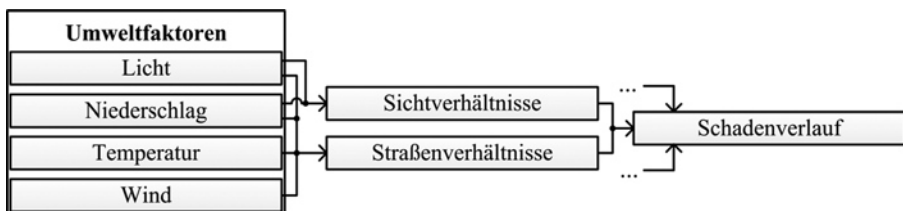


Abb. 5 Wirkkettenmodell basierend auf Umweltfaktoren

eigenes Scheinwerferlicht, erhöhen den Schadenverlauf ebenso, wenn Fahrweise und Geschwindigkeit nicht angepasst werden. Hinzu kommen äußere Umstände, die je nach Tageszeit variieren. Beispielsweise ist die Wildwechselgefahr in der Dämmerung erhöht. Aber auch die Verkehrsdichte, der Anteil an Freizeitverkehr und jungen Fahrern oder der Alkoholeinfluss unterliegen tageszeitlichen Schwankungen und spiegeln sich im Unfallgeschehen wider.

Zur Messung der genannten Parameter bedarf es einer Reihe von Sensoren, wie etwa einem Regen-, Sichtweiten- und Temperatursensor. Die Technik ist bereits weit fortgeschritten, einige Sensoren gehören inzwischen sogar zur Standardausrüstung eines jeden Fahrzeugs. Eine Schnittstelle zu fahrzeuginternen Sensorsystemen, um die Fahrsituationsinformationen übernehmen zu können, könnte somit in Erwägung gezogen werden.

4.3 Ansatz 3

Zur stärkeren Tariffdifferenzierung kann ein Ansatz verfolgt werden, der auf moderner Telekommunikation beruht. Die Telemetrie bietet Anwendungsmöglichkeiten, die zur Ermittlung fahrverhaltensabhängiger Tarife eingesetzt werden können. Die Grundlage für die Tarifgestaltung bilden dabei Informationen zum individuellen Fahrverhalten und die Art der Fahrzeugnutzung im Sinne der befahrenen Straßenarten. Dazu werden die Fahrzeugpositionen, d. h. die geographischen Fahrzeugdaten, pro Zeitintervall benötigt. Als Rohdaten sind damit Tupel aus Weg- und Zeitintervallen verfügbar, sodass der Weg als Funktion der Zeit bekannt ist. Folglich ergibt sich die Geschwindigkeit als Ableitung des Weges nach der Zeit und die Beschleunigung als Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit. Die beschriebenen Zusammenhänge sind in Tab. 1 dargestellt. Zur Identifikation der Ortslage gibt es verschiedene Möglichkeiten. Denkbar wäre ein Abgleich der Fahrzeugpositionen mit Kartenmaterial. Ebenso vorstellbar ist eine Analyse mittels der in oberen Mittelklassemodellen bereits integrierten Assistenzsysteme, die über Kameras eine Verkehrszeichenerkennung ermöglichen. Anhand der abgeleiteten Parameter, sog. Fahrverhaltensvariablen (vgl. Gerpott und Berg 2012; Zantema et al. 2008; Oberholzer 2003), kann im nächsten Schritt eine Bewertung der Fahrweise und -leistung durchgeführt werden. Dieser Prozess lässt sich vereinfacht als Wirkkette (siehe Abb. 6) darstellen. Die Versicherungsprämie kann schließlich an der Risikobereitschaft des Fahrzeugführers ausgerichtet werden. Fahrer mit einer sicheren, defensiven Fahrweise zahlen niedrigere Prämien, während risikobereite, aggressive Fahrer einen Aufschlag zahlen.

Für solche Pay-as-you-drive-Modelle gibt es bereits Best-Practice-Beispiele aus dem Ausland (vgl. z. B. Gerpott und Berg 2012; Ippisch et al. 2007). In den USA und

Tab. 1 Verknüpfung von Weg, Geschwindigkeit und Zeit

Größe	Weg	Geschwindigkeit	Beschleunigung
Berechnung über Ableitung	$s(t)$	$v(t) = \dot{s}(t)$	$a(t) = \dot{v}(t)$
Berechnung über Integration	$s(t) = \int v(t)dt$	$v(t) = \int a(t)dt$	$a(t)$
Einheit	m	m/s	m/s ²

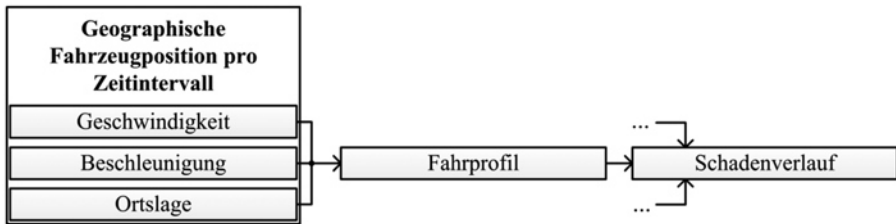


Abb. 6 Wirkkettenmodell basierend auf GPS-basierten Fahrzeugdaten



Abb. 7 Wirkkettenmodell basierend auf einem Schadenidentifikationssystem

in Großbritannien sind die Modelle bei Versicherungsunternehmen wie z. B. Progressive, State Farm, Insurethebox oder Co-operative Insurance fest etabliert. Als erster Versicherer in Deutschland bietet die S-Direkt seit 2014 einen sog. Telematik-Tarif an.

4.4 Ansatz 4

Eine Möglichkeit zur Verringerung der individuellen Schadenaufwendungen besteht in der Optimierung des Schadenmanagements. Vorteile im Schadenmanagement können sich durch ein im Fahrzeug integriertes Schadenidentifikationssystem ergeben, welches Schadenereignisse identifiziert und aufzeichnet (siehe Abb. 7). Dazu werden Sensoren zur Schadenregistrierung benötigt sowie ein System zur Protokollierung des Ereignisses inklusive der Ereigniszeit und -ortes. Daran lässt sich eine Notruf- und Pannenfunktion koppeln.⁴ Durch konkrete Informationen über das Ereignis und den genauen Standort können Schadenfälle zu ausgewählten Kooperationspartnern gelenkt sowie die Schadenabwicklung verkürzt und somit die Reparaturkosten zumindest eingeschränkt gesteuert werden. Die erhobenen Schadendaten können auch zur Rekonstruktion von Unfallhergängen und somit zur Senkung der Honorarkosten für Sachverständige verwendet werden. Die Kenntnis der Schadenursache kann z. B. bei der Entlastung des Versicherungsnehmers hilfreich sein. Im Rahmen des Betrugsmanagements können die erhobenen Daten zur Betrugsabwehr und -aufdeckung dienen (vgl. Jara 2000). Dabei geht es nicht nur um aktive Betrugs-

⁴Zu beachten ist an dieser Stelle der § 7 Abs. 2 VAG, welcher die Betreibung versicherungsfremder Geschäfte einschränkt.

fälle durch den Versicherungsnehmer, sondern auch um passive etwa durch Banden sogenannter Autobumser. Die Klarheit über den Schadenhergang kann weitere Veränderungen mit sich bringen, beispielsweise wäre das Teilungsabkommen zwischen den Versicherern obsolet. Des Weiteren kann die Fahrzeugortung als Diebstahlschutz bzw. zum Auffinden eines gestohlenen Fahrzeugs genutzt werden.

Das Schadenmanagement kann durch eine Vielzahl von Faktoren verbessert werden. Eine Reduktion der Schadenaufwendungen in Folge eines optimierten Schadenmanagements wirkt sich auf den Versicherungsnehmer durch geringere Beiträge aus. Dies zeigt sich bereits in dem von vielen Versicherungsgesellschaften angebotenen Werkstatttarif, bei dem sich der Versicherungsnehmer verpflichtet, im Schadenfall eine Partnerwerkstatt aufzusuchen. Eine erste technologische Umsetzung eines Schadenidentifikationssystems bietet das Gerät „MeinCopilot“ der Deutschen Assistance Telematik GmbH (DATG), welches in Kombination mit einer Kfz-Versicherung bei einigen deutschen öffentlichen Versicherern erhältlich ist. Es enthält einen Crashsensor, welcher im Falle eines Unfalls die Notrufautomatik auslöst. Weiter ist der sog. emergency call (eCall), ein von der Europäischen Kommission ab Oktober 2015 in Neuwagen vorgeschriebenes Notrufsystem, zu erwähnen. Das System löst bei einem Unfall automatisch einen Notruf mit Übermittlung eines Minimaldatensatzes bestehend aus u. a. dem Unfallzeitpunkt und -ort sowie der Fahrtrichtung aus (vgl. Europäische Kommission 2013). Andere Technologien zur Erfassung von Fahrzeug- bzw. Bauteilschäden unter Einsatz piezoelektrischer Folien werden erforscht.⁵

4.5 Ansatz 5

Technisch denkbar ist die Entwicklung und Anwendung innovativer Analyseverfahren in der nichtinvasiven biologischen Diagnostik (kurz: nichtinvasive Biodiagnostik), um den Allgemeinzustand des Fahrzeugführers und schließlich die Fahrtüchtigkeit festzustellen. Die Verwendung des Begriffs der Fahruntüchtigkeit ist im Zusammenhang mit dem Konsum von Medikamenten und Rauschmitteln im Straßenverkehr gebräuchlich (§§ 315a, 315b, 316 Strafgesetzbuch). Auch andere situative Zustände, die einen körperlichen oder psychischen Mangel wie z. B. Übermüdung mit sich bringen, können laut Straßenverkehrsordnung (StVO) zu einer Fahruntüchtigkeit führen. Bestimmte Krankheiten und Mängel, die das ordnungsgemäße Führen eines Fahrzeuges dauerhaft einschränken, werden im Straßenverkehrsgesetz (StVG) unter dem Begriff Fahreignung behandelt.

In Bezug auf die Kalkulation der Kfz-Versicherungsprämie spielen Verstöße aufgrund mangelnder Fahrtüchtigkeit oder Fahreignung derzeit keine Rolle, obwohl sie nachweislich (vgl. Statistisches Bundesamt 2013) zu einem höherem Schadenverlauf beitragen. Das in Abb. 8 dargestellte Wirkkettenmodell könnte künftig durchaus bei der risikogerechteren Prämiengestaltung Berücksichtigung finden. Grundvoraussetzung für die Hinzunahme von Parametern, welche den Grad der Fahrtüchtigkeit des Fahrzeugführers erfassen, in die Tarifikalkulation ist die Forschung nach effizienten

⁵Zu nennen ist hier beispielsweise das Forschungsprojekt „Konfigurierbares elektronisches Schadenidentifikationssystem (KESS)“ der Forschungsgruppe „Elektronische Fahrzeugsysteme“ der Universität Bremen in Kooperation mit bundesweiten Partnern.



Abb. 8 Wirkkettenmodell basierend auf der nichtinvasiven Biodiagnostik

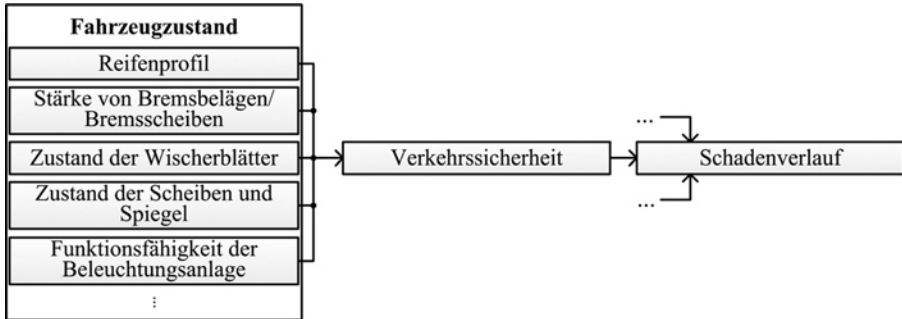


Abb. 9 Wirkkettenmodell basierend auf dem technischen Fahrzeugzustand

Lösungen für die Diagnostik und Qualitätssicherung wie Probenentnahme- und Analyseprogramme. Ein erster Ansatz, der technisch in eine vergleichbare Richtung geht, wurde mit der Alkohol-Zündschlossperre bereits umgesetzt. In Schweden, beispielsweise, ist sie präventiv in einer Großzahl LKW, Bussen und Taxen installiert (vgl. SWOV 2011). Einen anderen Ansatz liefern in Oberklassewagen bereits integrierte Aufmerksamkeits-Assistenten wie z. B. eine Müdigkeitserkennung auf Basis des Lenkverhaltens.⁶

4.6 Ansatz 6

Die Fahrsituation ist neben Umweltfaktoren durch den technischen Zustand des Fahrzeuges gekennzeichnet (vgl. Gerpott und Berg 2012). Insbesondere bei schwierigen Straßen- und Sichtverhältnissen ist ein Optimalzustand des Fahrzeuges wichtig für die Verkehrssicherheit. Bedeutende Fahrzeugmerkmale (siehe Abb. 9) sind etwa die Profiltiefe und das Alter der Reifen, die Stärke der Bremsbeläge und Bremsscheiben sowie die Funktionsfähigkeit und Güte der Beleuchtungsanlage. Die Verkehrssicherheit kann ebenfalls durch abgenutzte Wischerblätter oder eine zerkratzte Windschutzscheibe beeinträchtigt werden. Denkbar wäre eine Datenübermittlung über den Werkstatthändler bzw. direkt über den Hersteller, sofern das Fahrzeug über eine elektronische Ausrüstung zur Übertragung technischer Daten verfügt. Die Fahr-

⁶Derartige Systeme werten zur Beurteilung der Fahrtüchtigkeit des Fahrers sein Fahrverhalten aus. Dies kann durch Aggregation von Daten z. B. über das Lenkverhalten erfolgen. Diese Systematik entspricht im Wesentlichen der Herangehensweise bei Pay-as-you-drive-Modellen (vgl. Abschn. 4.3).

zeugausstattung im Hinblick auf Fahrzeugassistenzsysteme wie eine automatische Distanzregelung, ein Bremsassistent oder ein Spurhalteassistent finden bei diesem Ansatz keine separate Berücksichtigung. In erster Linie beeinflussen sie das Fahrverhalten, welches mit Ansatz 3 erfasst wird. Des Weiteren deuten Typklassen (vgl. GDV 2013) und Unfallstatistiken (vgl. z. B. Folksam 2013) darauf hin, dass leistungsstarke Fahrzeuge mit wirksamen Assistenzsystemen nicht zu der Fahrzeugklasse mit dem geringsten Schadenbedarf zählen. Assistenzsysteme dienen zur Früherkennung kritischer Situationen und Erhöhung des Komforts (vgl. z. B. Volkswagen 2014), dies ist aber nicht gleichzusetzen mit einer positiven Wirkung auf die Risikopräferenz des Fahrers.

Die beobachteten Fahrzeugmerkmale können zur Erstellung von Risikoprofilen dienen; auf diese Weise kann zwischen Kunden mit niedrigerer Risikoexposition und Kunden mit höherem Unfallrisiko unterschieden werden. Des Weiteren kann die Überwachung des Fahrzeugzustands bei einem Schadenfall aufgrund eines technischen Defizits in der Garantiezeit zur Schadenabwälzung an den Fahrzeug-Hersteller genutzt werden, sofern kein Fahrzeugmangel im Sinne der Verkehrssicherheit vorlag (vgl. Gerpott und Berg 2012).

5 Bewertung der Ansätze

Im Folgenden wird zunächst das Vorgehen zur Bewertung der im vorangehenden Abschnitt eingeführten Ansätze zur Prämiengestaltung vorgestellt. Anschließend erfolgt eine Bewertung mittels der definierten Bewertungskriterien, um einen Überblick über den Nutzen, das Realisierungspotential sowie den Realisierungsaufwand zu erhalten.

5.1 Kriterienauswahl

Die systematische Bewertung der Ansätze soll anhand von Kriterien erfolgen. Die Kriterien sind so gewählt, dass die Erfüllung der Merkmale, die ein Lösungskonzept ausmachen, bewertet wird. Dadurch wird aufgedeckt, wie die Zielsetzung einer individuellen Tarifierung am besten erreicht wird. Herangezogen werden folgende Bewertungskriterien:

- **Risikoadäquanz:** Eine risikogerechte und individuelle Tarifierung erfolgt abhängig vom spezifischen Risikoprofil basierend auf der individuellen Risikosituation. Dafür ist eine Zuordnung des Versicherungsnehmers in eine Risikoklasse auf Basis von Risikomerkmale notwendig. Zweck dieses Kriteriums ist es, zu prüfen, inwiefern ein Ansatz dazu beiträgt, die Kalkulation risikoadäquater zu gestalten.
- **Entwicklungs- und Umsetzungsaufwand:** Dieses Kriterium bewertet den Investitionsaufwand zur technischen Realisierung eines Ansatzes. Im Fokus stehen dabei die Faktoren Zeit, Kosten und Qualität. Die Ermittlung einer risikoadäquaten Prämie sollte nicht zu Lasten einer Prämiensteigerung aufgrund aufwendiger, innovativer Technik erfolgen.

- **Durchführbarkeit der Datenerhebung:** Die sogenannte Durchführungsphase sieht vor, die Daten zu erheben, die zur Bewertung des individuellen Risikoprofils verwendet werden. Zu den wesentlichen Komponenten, die bei der Datenerhebung zu berücksichtigen sind, zählen die Datenverfügbarkeit sowie -herkunft, die Datenqualität und das Datenvolumen, aber auch die Manipulationsmöglichkeiten.
- **Datenübermittlung:** Zur Datenverarbeitungsstelle müssen die erhobenen Daten übertragen werden. Anhand des Kriteriums soll beurteilt werden, inwiefern es möglich ist, das Daten- sowie Übertragungsvolumen und die Datenerfassungs- bzw. Übertragungsfrequenz zu minimieren.
- **Datenaufbereitungs- und Datenauswertungsaufwand:** Für eine statistische Analyse müssen die Daten zunächst aufbereitet werden. Die Datenaufbereitung beinhaltet eine Überprüfung der Daten und ihrer Erhebungsart. Es muss geprüft werden, ob die Datenerhebung technisch korrekt durchgeführt wurde und ob die erhobenen Daten plausibel sowie vollständig sind. Gegebenenfalls sind Korrekturen durchzuführen. Anschließend beginnt die Vorbereitung der Daten, z. B. mittels einer Kodierung oder Berechnung von Zwischengrößen, für die Weiterverarbeitung. Die statistische Datenauswertung kann z. B. durch eine Berechnung von Kennwerten erfolgen, die anschließend zu interpretieren sind. Der Aufwand für die Datenaufbereitung und -auswertung soll mit diesem Kriterium bewertet werden. Er wird insbesondere durch den Grad der Automatisierung, also der Implementierung von Algorithmen, die Datenqualität und das Datenvolumen bestimmt. Ein maßgeblicher Aspekt können dabei die Rechner- und Speicherkapazität sein.
- **Notwendige Umsetzungskompetenz:** Für die Umsetzung und Anwendung eines Ansatzes im Rahmen der Tarifgestaltung wird ein gewisses Know-how vorausgesetzt. Dieses Kriterium soll die Wissensanforderung abbilden.
- **Sicherstellung des Datenschutzes:** Mit diesem Kriterium wird überprüft, ob es Möglichkeiten zum Schutz der persönlichen Daten gibt. Ansatzpunkte wären beispielsweise eine Minimierung, Anonymisierung und Verschlüsselung des Datenflusses sowie eine Einschränkung der Zugriffsrechte auf einen kleinen Benutzerkreis. Die dabei entstehenden Kosten hängen maßgeblich von der Häufigkeit der Informationsübertragung sowie der Informationsmenge pro Übertragungsvorgang ab (vgl. z. B. Gerpott und Berg 2012; Troncoso et al. 2007; Lochmaier 2007).

5.2 Einstufung

In Tab. 2 werden die vorgestellten Ansätze den eingeführten Bewertungskriterien gegenübergestellt. Für alle Kriterien wird eine 3-stufige Bewertungsskala herangezogen. Die Bewertung erfolgt über die Skalenwerte voll zutreffend/durchführbar (●), bedingt zutreffend/durchführbar (◐), nicht zutreffend/durchführbar (○). Die Einschätzung des Erfüllungsgrads, d. h. die Bewertung mit Hilfe der 3-stufigen Skala, wird auf Grundlage der Auswertung von Informationen über den Stand der Technik sowie aus Expertenwissen durchgeführt.

Die Nebeneinanderstellung ist von Bedeutung, da aus einer formalen Umsetzbarkeit eines bestimmten Ansatzes nicht zwangsläufig folgt, dass damit ein hoher Nutzen für die Tariffdifferenzierung verbunden ist. Ebenso kann sich ein Ansatz bei hohem

Tab. 2 Bewertung der vorgestellten Ansätze

	Risikoadäquanz	Entwicklungs- und Umsetzungsaufwand	Durchführbarkeit der Datenerhebung	Datenübermittlung	Datenaufbereitungs- und Datenauswertungsaufwand	Umsetzungskompetenz	Datenschutz/-sicherheit
Ansatz 1: Gegenwärtige Tarifierungsmethodik inkl. traditioneller Tarifmerkmale	●	-	-	-	-	●	●
Ansatz 2: Erweiterung Ansatz 1 um Umweltfaktoren	●	● ^a	●	●	●	●	●
Ansatz 3: Erweiterung Ansatz 1 um GPS-basierte Fahrzeugdaten	●	● ^b	●	●	●	●	●
Ansatz 4: Erweiterung Ansatz 1 um Schadenidentifikationssystem	●	● ^c	●	●	●	●	●
Ansatz 5: Erweiterung Ansatz 1 mittels nichtinvasiver Biodiagnostik	●	● ^d	●	●	○	○	○
Ansatz 6: Erweiterung Ansatz 1 um Fahrzeugzustand	●	●	●	●	●	●	●

- Nicht relevant, ● Voll zutreffend/durchführbar, ● Bedingt zutreffend/durchführbar, ○ Nicht zutreffend/durchführbar

^av.a. bei Nachrüstung kostenintensiv

^bNachrüstung relativ kostengünstig über BlackBox-Einsatz

^cNotrufsystem verpflichtend in Neuwagen ab 2015

^dUmsetzung insb. abhängig von politischen und soziografischen Faktoren

Nutzen für die Tariffdifferenzierung sowie einer schweren Umsetzbarkeit und hohen Investitionskosten als unrentabel herausstellen. Ein Ansatz, der unter Betrachtung der Nutzen- und Kostenaspekte zweckmäßig erscheint, kann aufgrund mangelnder Technologie kaum oder zum heutigen Zeitpunkt gar nicht umsetzbar sein.

Wird aus den Einzelbewertungen eine Gesamtbewertung abgeleitet, ist festzustellen, dass sowohl der Einbezug von Umweltfaktoren als auch der Einbezug von GPS-basierten Fahrzeugdaten in die Tarifikalkulation angemessen erscheint. Im folgenden Abschnitt wird der GPS-basierte Ansatz näher beleuchtet. Zum einen können damit Rückschlüsse sowohl auf das individuelle Fahrverhalten als auch auf die Art der Fahrzeugnutzung gezogen werden. Zum anderen gilt es hier, physikalische Zusammenhänge wissenschaftlich aufzubereiten, anstatt lediglich weitere externe Einflussfaktoren als Tarifmerkmale zu klassifizieren.

6 Potentielle Ausprägungen der Merkmale des GPS-basierten Ansatzes

Exemplarisch sollen abschließend die Anwendung sowie wesentliche Merkmale und Eigenschaften des Ansatzes 3 – Erweiterung der gegenwärtigen Tarifierungsmethodik um GPS-basierte Fahrzeugdaten – aufgezeigt werden. Zielsetzung dieses Abschnittes ist es, die Bedeutung der Aufnahme von GPS-Daten in die Tarifikalkulation herauszu-

arbeiten. Hierfür werden die Risikofaktoren und Modellannahmen festgelegt. Darauf aufbauend werden Fahrprofile ermittelt und analysiert.

6.1 Individuelle Tarifgestaltung

Es wird die Idee verfolgt, die klassischen objektiven und subjektiven Tarifmerkmale um ein individuelles Fahrprofil zu erweitern. Das Fahrprofil wird dabei, wie in Abschn. 4.3 vorgestellt, aus GPS-Daten abgeleitet.

Vorab werden zwei Modellannahmen getroffen. Zum einen wird angenommen, dass sich unter Anwendung herkömmlicher Tarifmerkmale Risikogruppen in der Art herausbilden, dass die zur Gruppe gehörenden Typen untereinander möglichst homogen und die einzelnen Gruppen zueinander möglichst heterogen sind. D.h. zwischen verschiedenen Risikogruppen ist eine Tariffdifferenzierung möglich, innerhalb einer Risikogruppe nicht. Zum anderen seien das Fahrverhalten und die Fahrzeugnutzungsart entscheidend für den Risikoverlauf eines Versicherungsvertrags.

Der Lösungsansatz ist folgender:

Anhand der zur gegenwärtigen Kfz-Tarifierung herangezogenen Risikomerkmale werden charakteristische Fahrertypen festgelegt. Die Charakterisierung erfolgt nach den Merkmalen Personengruppe, Fahrzeugtyp und Fahrtstrecke. Danach werden unter Hinzunahme von Daten, die aus GPS-Signalen bestimmbar sind, idealtypische Fahrerprofile ermittelt. Betrachtet wird dabei stets ein Zeitintervall $\Delta t = t_E - t_A$ [s] mit der Anfangszeit t_A und der Endzeit t_E . Es wird angenommen, dass dies das kleinstmögliche Intervall ist, in dem GPS-Signale vorhanden sind. Des Weiteren wird vorausgesetzt, dass durch die GPS-basierten Daten in der Kalkulation bislang unberücksichtigte Risikomerkmale, wie insbesondere die Ortslage, das Beschleunigungsverhalten oder Geschwindigkeitsabläufe, abgebildet werden. Dazu wird in einem ersten Schritt anhand der GPS-Daten der Zusammenhang zwischen dem Weg und der Zeit betrachtet. Der Weg ergibt sich dabei als Differenz der GPS-Positionen zu Anfang bzw. zum Ende des betrachteten Zeitintervalls. Diese Berechnungsmethode kann z. B. bei kurvenreichen Strecken zu Ungenauigkeiten führen, wenn große Zeitintervalle betrachtet werden. Bei Annahme einer konstanten Geschwindigkeit v [m/s] ungleich Null ($v = \text{const.}, v \neq 0$) kann sich für zwei verschiedene Fahrertypen das in Abb. 10 dargestellte Weg-Zeit-Diagramm ergeben. Es stellt den im Zeitintervall Δt jeweils zurückgelegten Weg s [m] dar. Je schneller das Fahrzeug fährt, desto steiler verläuft die Gerade. Die durchschnittliche Geschwindigkeit \bar{v} lässt sich durch eine Weg- und Zeitdifferenz ausdrücken (vgl. Meschede 2010):

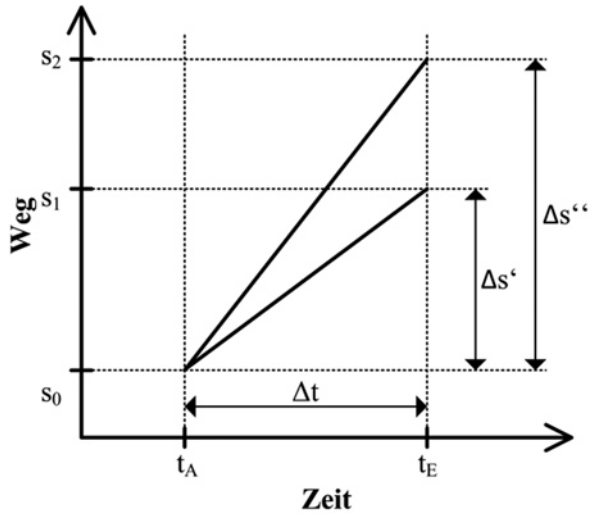
$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Die Formel der gleichmäßigen Bewegung setzt die Informationen Weg s , Geschwindigkeit v , Zeit t und Anfangsweg s_0 zueinander in Relation (vgl. Meschede 2010):

$$s = v \cdot t + s_0$$

Im zweiten Schritt lässt sich aus dem Geschwindigkeitsintervall Δv die durchschnittliche Beschleunigung \bar{a} im Zeitintervall Δt ableiten (vgl. Meschede 2010):

Abb. 10 Weg-Zeit-Diagramm bei konstanter Geschwindigkeit v_1 und v_2



$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Der Begriff Beschleunigung steht dabei für die Geschwindigkeitszunahme bzw. abnahme je Zeitintervall. Bei einer gleichmäßigen Beschleunigung, d. h. a ist konstant, kann noch der Zusammenhang zwischen der Beschleunigung und dem Weg als Funktion der Zeit beschrieben werden (vgl. Meschede 2010):

$$s = \frac{a}{2} \cdot t^2$$

Wird bei einer konstanten Beschleunigung von einer Geschwindigkeitszunahme ($a = \text{const.}, a > 0$) ausgegangen, kann sich für zwei verschiedene Fahrertypen Abb. 11 (links) ergeben; wohingegen Abb. 11 (rechts) entsteht, wenn eine Geschwindigkeitsabnahme ($a = \text{const.}, a < 0$) vorausgesetzt wird.

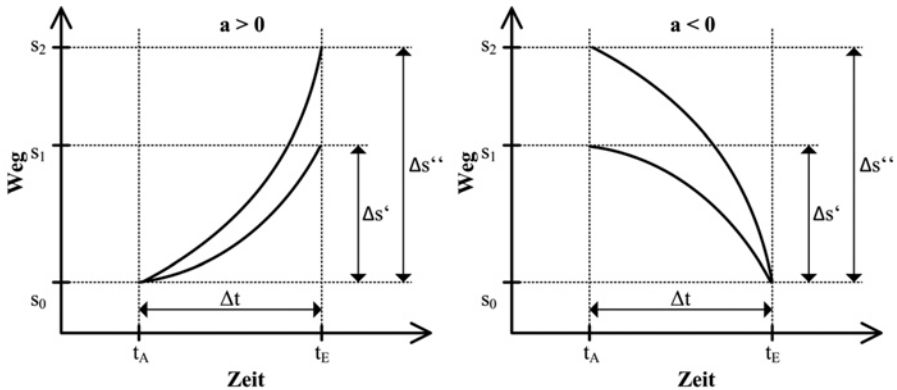
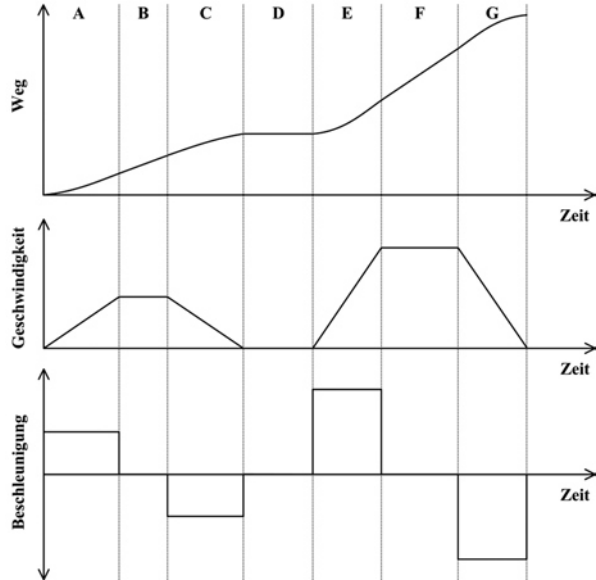


Abb. 11 Weg-Zeit-Diagramm bei konstanter Beschleunigung

Abb. 12 Zusammenhang zwischen der Zeit, dem Weg, der Geschwindigkeit und der Beschleunigung



Auf diese Art und Weise lassen sich Fahrprofile – gekoppelt an Personengruppen, Fahrzeugtypen und Fahrtstrecken – mit spezifischen Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverhalten erstellen. Wie die Zusammenhänge zwischen den Größen in der Realität über einen längeren Zeitabschnitt aussehen können, wird in Abb. 12 dargestellt. Daraus ergibt sich, dass in einem dritten Schritt zu klären ist, welche technischen Anforderungen z. B. an die Abtastfrequenz gestellt werden, um das Fahrverhalten so detailliert zu dokumentieren, dass ausreichende Rückschlüsse auf das Fahrprofil gezogen werden können. Unter der Abtastfrequenz f_A [1/s] wird dabei die Zahl der vorhandenen Abtastungen pro Sekunde verstanden (vgl. Werner 2012). Insofern stellt die Abtastfrequenz ein Qualitätsmerkmal für die Auflösung der GPS-Signale dar. Tendenziell bedeutet ein kleines f_A eine geringe Qualität, ein großes f_A hingegen eine hohe Qualität. Dieser Sachverhalt wird in Abb. 12 sichtbar. Wird eine niedrige Abtastfrequenz gewählt, können die Abschn. A bis G nicht separat abgebildet werden, sodass ein Informationsverlust akzeptiert werden muss. Indirekt bestimmt die Abtastfrequenz die zu betrachtende Länge der Zeitintervalle Δt , für die schließlich die Durchschnittsgeschwindigkeiten und Durchschnittsbeschleunigung zu berechnen sind. Idealerweise hat die Messdatenauswertung der Beschleunigung in drei Dimension, der x-, y- und z-Richtung zu erfolgen. Hierdurch ließen sich Tempoerhöhungen, Bremsvorgänge sowie Lenkvorgänge abbilden. Speziell zur Rekonstruktion der Kurvenfahrten ist eine sehr hohe Abtastfrequenz erforderlich, da die Beschleunigungsinformationen aus kleinsten Wegänderungen berechnet werden müssen. Diese Beschleunigungsdaten müssen nicht zwangsläufig über GPS-Positionen berechnet werden, sondern können bereits über im Fahrzeug integrierte Beschleunigungssensoren erfasst werden.

6.2 Risikofaktoren und ihre Ausprägungen

Im Anwendungsbeispiel wird davon ausgegangen, dass sich die verschiedenen Fahrer im Portfolio privat genutzter Pkw eines Kfz-Versicherers abhängig vom Fahrstil unterschiedlichen Risikogruppen zuordnen lassen. Es wird angenommen, dass sich der Fahrstil über die folgenden GPS-basierten Parameter beschreiben lässt:⁷

- Beschleunigung [m/s^2]: Änderung einer Bewegung im Sinne einer Geschwindigkeitszunahme oder Geschwindigkeitsabnahme (Bremsvorgang)
- Geschwindigkeit [m/s]: Bewegungszustand des Fahrzeugs (gibt an, wie schnell eine Ortsänderung in einer bestimmten Zeit stattfindet)
- Ortslage/Fahrtstrecke: Straßenkategorie mit zugehöriger Richtgeschwindigkeit bzw. Geschwindigkeitsbegrenzung

Des Weiteren wird eine Kausalität zwischen statistischen sowie personenbezogenen Merkmalen und GPS-basierten Fahrzeugdaten zu Grunde gelegt. Abhängig vom Alter, Geschlecht und Familienstand sind klare Vorhersagen zur Risikowahrscheinlichkeit möglich (vgl. Statistisches Bundesamt 2013). Fahranfänger ohne ausreichende Fahrpraxis sind häufiger an Unfällen oder Verkehrsverstößen beteiligt als beispielsweise ein 40-Jähriger Pendler. Ältere Versicherungsnehmer profitieren von ihrer Erfahrung und Umsicht. Die Altersgruppe der über 60-jährigen erhält wiederum eine ähnliche Risikoeinstufung wie die Führerscheinneulinge. Mit Blick auf die Merkmale Geschlecht und Familienstand ist festzustellen, dass sowohl Frauen als auch Eltern junger Kinder die sichereren Autofahrer sind. Es ist folglich davon auszugehen, dass sich die auf bestimmte Personengruppen bezogenen Beobachtungen aus GPS-Daten ableiten lassen. Ebenso ist das Schadenrisiko abhängig vom Fahrzeugtyp und von den Leistungsdaten. Je stärker das Fahrzeug ist, desto höher fällt die Maximalgeschwindigkeit und desto geringer die Beschleunigungszeit aus.

Der Fahrstil jedes Fahrzeugführers wird im Rahmen des vorliegenden Beitrags daher an folgende Risikofaktoren gekoppelt:

- Geschlecht: weiblich, männlich⁸
- Altersgruppe: Fahranfänger(in), 40-Jährige(r), Senior(in)
- Familienstand: verheiratet und Kinder, nicht verheiratet und keine Kinder
- Fahrzeugtyp: klein, mittel, groß
- Ortslage: innerorts, außerorts
- Fahrtstrecke: Stadtstraße, Landstraße, Autobahn (beschränkt), Autobahn (offen)

⁷Nicht differenziert wird hier zwischen Routinefahrten und unbekanntem Streckenprofilen sowie zwischen Lang- und Kurzstrecken. Außerdem könnte die Anzahl der Insassen Rückschlüsse auf Fahrzeugnutzungsart geben. Diese Komponenten haben bekanntermaßen auch einen Einfluss auf den Schadenverlauf (vgl. Statistisches Bundesamt, 2013).

⁸An dieser Stelle wird ausdrücklich auf Fußnote 2 verwiesen. Das Geschlecht darf in der Prämienkalkulation nicht mehr als Risikofaktor verwendet werden. Ein Rückschluss auf das Geschlecht kann bei einer sachlichen Einteilung in Risikoklassen aber kaum vermieden werden. Bei einer fachgerechten Kalkulation wird das Merkmal seine Bedeutung jedoch verlieren, da es zur Vereinfachung herangezogen worden war, aber durch technische Merkmale ersetzt werden kann. Die Vereinfachung der Differenzierung nach dem Geschlecht wird hier zum Zwecke der Verständlichkeit und Übersichtlichkeit dennoch angewendet.

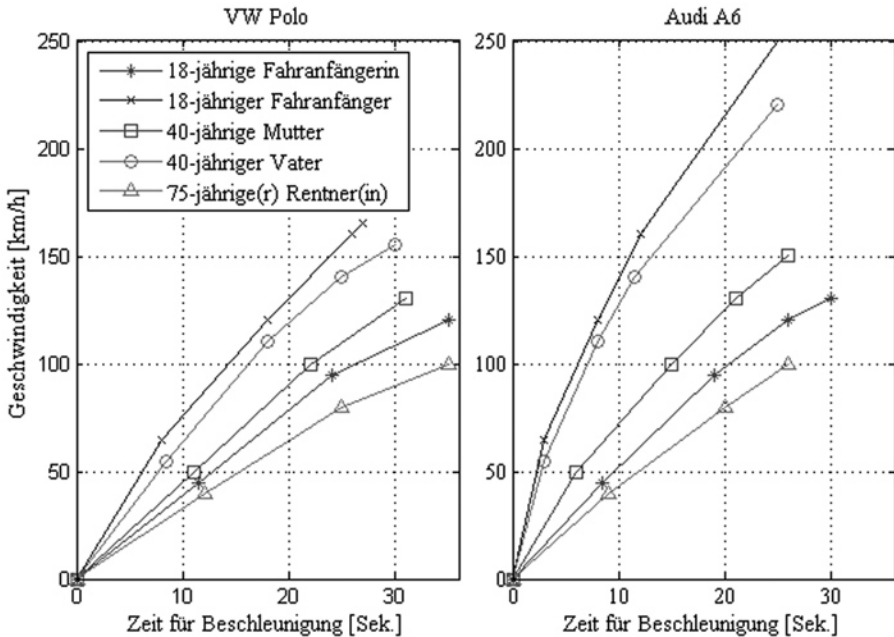


Abb. 13 Beispielhafte Beschleunigungskurven für die betrachteten Fahrertypen

Durch Kombination der Merkmalsausprägungen lassen sich die in den folgenden Abschnitten betrachteten Szenarien, also Fahrertypen inklusive dazugehörigem Fahrzeugtyp und Fahrtstrecke, herleiten.

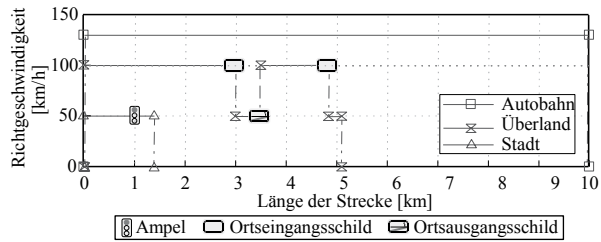
6.3 Generierung von Fahrerprofilen

In diesem Abschnitt werden beispielhaft Fahrerprofile erstellt, analysiert und gegenübergestellt. Grundlage bildet nicht eine empirische Untersuchung anhand von aufgezeichneten GPS-Daten. Vielmehr erfolgt eine analytische Berechnung auf Basis definierter Szenarien mit zugehörigen Annahmen.

Im Folgenden wird zwischen fünf Fahrertypen unterschieden. Sie ergeben sich aus der Kombination der im vorherigen Abschnitt eingeführten Ausprägungen der Risikofaktoren Geschlecht, Alter sowie Familienstand. Jedem Fahrertyp werden zwei Fahrzeugtypen zugeordnet, ein VW Polo (69 PS) stellvertretend für einen Kleinwagen und ein Audi A6 (290 PS) stellvertretend für einen Sportwagen. Zudem erfolgt eine Streckendifferenzierung nach Ortslage und Straßenart. Insgesamt lassen sich auf diese Art und Weise 40 verschiedene Szenarien definieren. Die zu jedem Szenario getroffenen Annahmen werden aus internen und externen Faktoren abgeleitet.⁹ Die internen Faktoren wie die Fahrerwunschgeschwindigkeit und -beschleunigung, das Reaktionsvermögen sowie die technischen Vorgaben des Fahrzeuges sind gekoppelt

⁹Unberücksichtigt bleiben kollektive Faktoren wie die aktuelle Verkehrsdichte und -stärke, da hier nur Grenzwerte und keine Mittelwerte betrachtet werden.

Abb. 14 Beispielhafte
Fahrtstreckenausschnitte



an den Fahrer- sowie Fahrzeugtyp. Geschwindigkeitsbeschränkungen in Abhängigkeit von der Streckenart fließen als externe Faktoren ein. Pro Fahrzeugtyp ergeben sich jeweils fünf unterschiedliche Beschleunigungskurven, welche in Abb. 13 dargestellt sind. Die Kurvenverläufe zu den verschiedenen Fahrer- und Fahrzeugtypen sind aufgrund unterschiedlicher Geschwindigkeits- und Beschleunigungsannahmen unterschiedlich steil. Die Beschleunigungsprofile geben bereits erste Anhaltspunkte über das individuelle Fahrprofil. An jeden Fahrertyp, welcher über gebräuchliche Risikomerkmale charakterisiert ist, ist eine spezifische Beschleunigungskurve geknüpft, die sich am Ende auch auf das spezifische Fahrverhalten auswirkt.

Zur Ermittlung der Fahrprofile, basierend auf den Beschleunigungskurven, werden die in Abb. 14 dargestellten Fahrtstrecken herangezogen, wobei die Stadt-, Überland- und Autobahnfahrt separat voneinander betrachtet werden. Für die Profilmodellierung werden Reaktionszeiten sowie Verweildauern an Hindernissen wie Ampeln vernachlässigt, die Anfangs- und Endgeschwindigkeit auf Null km/h gesetzt und innerhalb eines Streckentyps von einer konstanten Beschleunigung ausgegangen. Diese vereinfachenden Annahmen können bei folgenden Forschungsarbeiten ausgetauscht werden, um detailliertere Ergebnisse zu erhalten.

Exemplarisch sind die Geschwindigkeits-Beschleunigungs-Weg-Profile für die gewählten Fahrtstrecken in Abb. 15 und 16 für einen 40-jährigen Vater und einen 18-jährigen Fahranfänger mit einem VW Polo zu sehen. Erkennbar sind zwei Effekte. Zum einen unterscheiden sich die Profile eines Fahrzeugführers in Abhängigkeit von der Fahrzeugnutzung, d. h. der Fahrtstrecke. Zum anderen unterscheiden sich die zur gleichen Fahrtstrecke gehörenden Profile der beiden Fahrer. Ein ähnliches Verhalten zeigt sich bei der Betrachtung der Fahrprofile der restlichen Szenarien.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass im Besonderen zwischen Fahrprofilen innerhalb einer Risikogruppe, beispielsweise bei den jungen Fahrern mit hohen Prämien, zu differenzieren ist. Hier gibt es große Potentiale zur Differenzierung der Tarife, die mit herkömmlichen Mitteln nicht ausgereizt werden können.

Um die Genauigkeit und Unsicherheit der Abbildung eines Fahrprofils einschätzen zu können, ist eine Fehlerrechnung durchzuführen. Dabei kann nach der Art des Auftretens zwischen systematischen und statistischen Fehlern unterschieden werden (vgl. Bevington 1969). Im Folgenden werden systematische Fehler betrachtet unter der Annahme, dass keine statistischen Fehler existieren.¹⁰ Die Ursachen von systema-

¹⁰Der statistische Fehler wird nicht weiter betrachtet, da das vorliegende Beispiel auf deterministischen Annahmen beruht. Als Maß für die Streuung der Messwerte eignet sich der mittlere Fehler des arithmetischen Mittels.

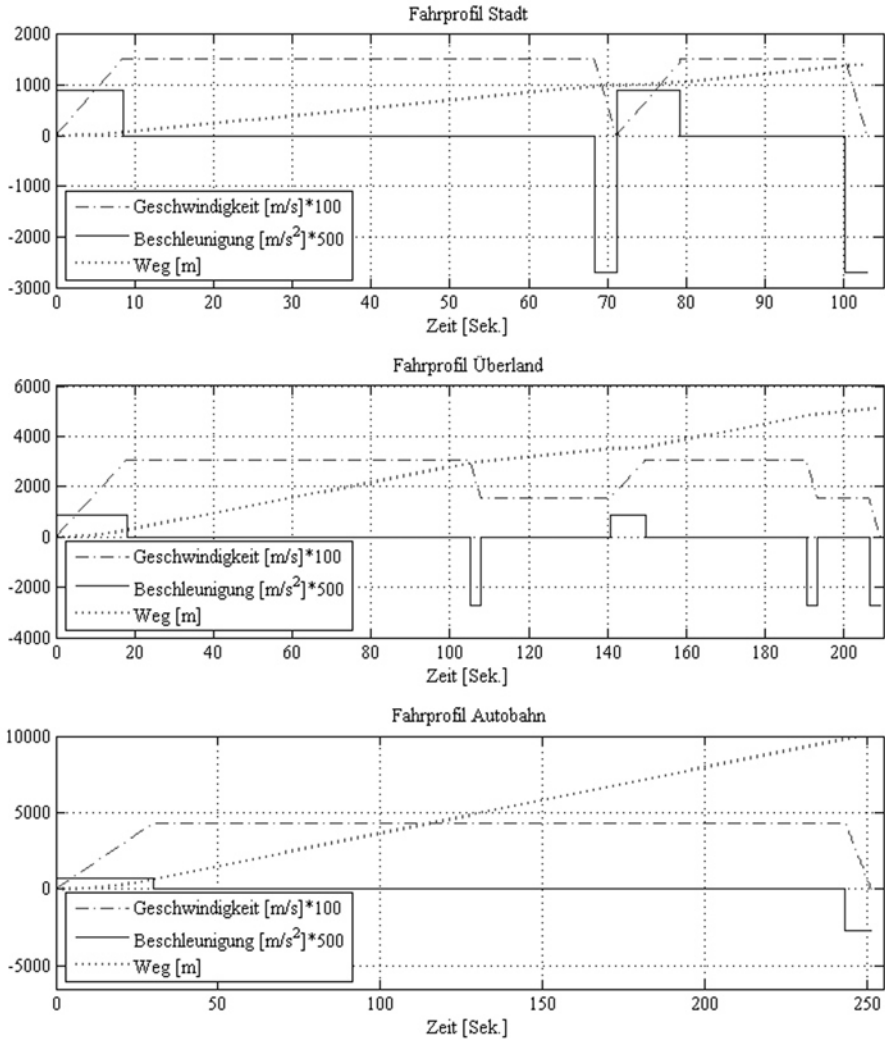


Abb. 15 Beispielhaftes Fahrprofil eines 40-jährigen Vaters im VW Polo

tischen Fehlern liegen in der Unvollkommenheit der Messgeräte und Messmethodik. Es werden zwei Arten von Fehlern berücksichtigt: Zum einen wird ein systembedingter, intrinsischer Fehler des Messgeräts $E_s = \pm 0,1$ m/s einkalkuliert. Zum anderen wird ein beschleunigungsabhängiger Teil des systematischen Fehlers betrachtet, der sich in Abhängigkeit von der Abtastfrequenz ergibt. Dieser wird mittels der Formel

$$E_a = \frac{1}{f_A} \cdot \bar{v}'(t) = \frac{1}{f_A} \cdot \bar{a}(t)$$

ermittelt, wobei \bar{a} den Mittelwert der Intervallgrenzen darstellt. Beispielhaft sind die ermittelten Einhüllungen für drei verschiedene Abtastfrequenzen im v - t -Diagramm

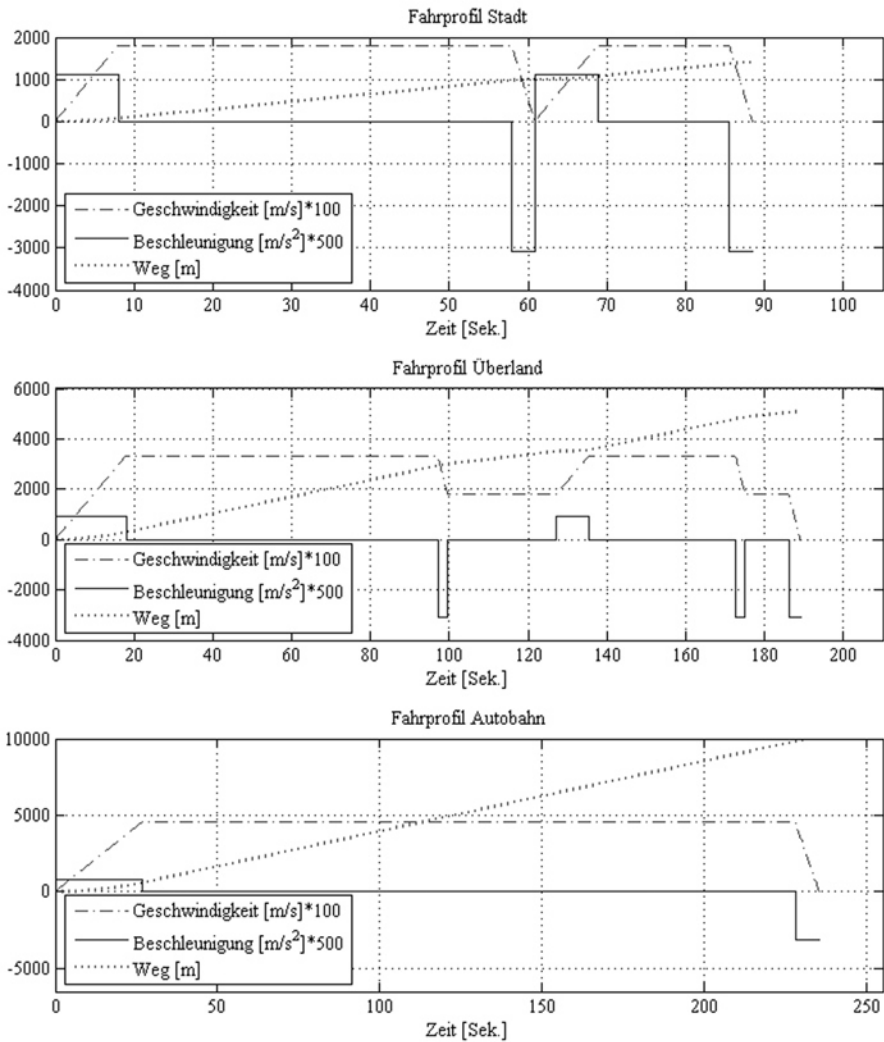


Abb. 16 Beispielhaftes Fahrprofil eines 18-jährigen Fahranfängers im VW Polo

eines Fahrprofils in Abb. 17 dargestellt. Treten zu einem bestimmten Zeitpunkt Überlappungen zwischen den Einhüllungen unterschiedlicher Fahrtstrecken auf, wie sie im v - t -Diagramm mit einer Frequenz von 0,1 Hz deutlich zu erkennen sind, ist zwischen ihnen auf Basis einer Geschwindigkeitsbetrachtung keine Differenzierung möglich. Stellen, an denen es selbst bei einer kleinen Abtastfrequenz keine Überschneidungen gibt, sind für das Profil nicht von Bedeutung. Eine solche Gegenüberstellung kann auch zwischen den gleichen Fahrtstrecken unterschiedlicher Fahrertypen erfolgen (siehe Abb. 18).

Eine solche Betrachtung der Fehlerursachen, der Größen der Fehler sowie eine Kenntnis über ihre Auswirkungen auf die Genauigkeit der Ergebnisse ist erforderlich, um die Abbildungsgüte beurteilen und schließlich System- und Datenanforde-

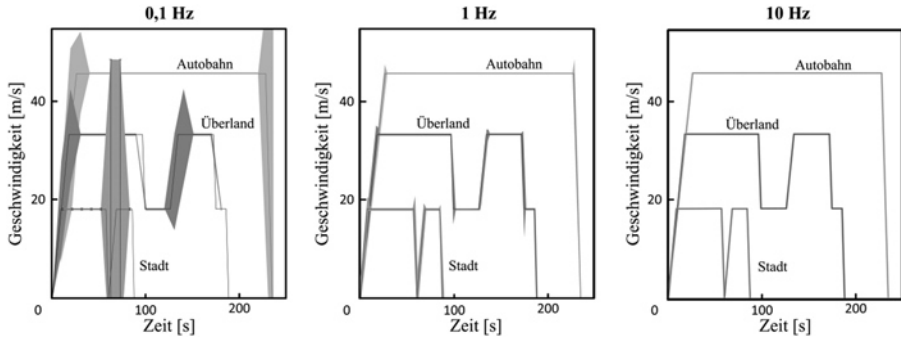


Abb. 17 Systematischer Fehler in Abhängigkeit von der Abtastfrequenz am Beispiel des 18-jährigen Fahrers

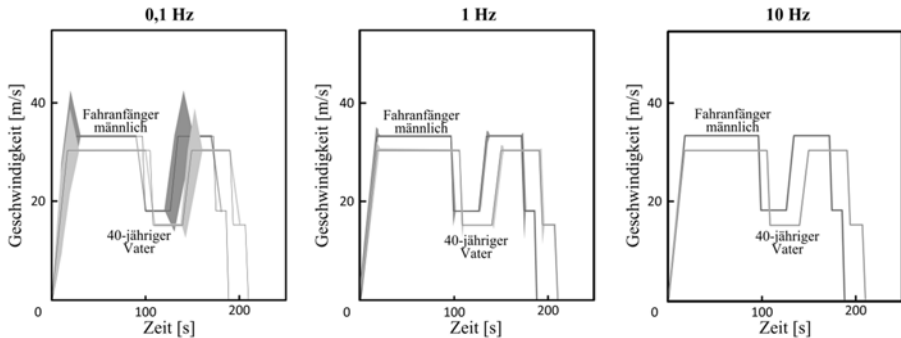


Abb. 18 Gegenüberstellung des systematischen Fehlers am Beispiel zweier Fahrprofile in Abhängigkeit von der Abtastfrequenz

rungen sinnvoll definieren zu können. Festzustellen ist, dass zur Profildifferenzierung nicht zwangsläufig eine hohe Abtastfrequenz erforderlich ist (beim Übergang von 1 Hz auf 10 Hz reduzieren sich die Fehlerbalken kaum noch). Vielmehr muss die Abtastfrequenz in Abhängigkeit von den betrachteten Fahrtstrecken und Fahrertypen unter Berücksichtigung des Aspekts, dass eine hohe Abtastfrequenz ein hohes Datenvolumen bedeutet, festgelegt werden. Wird die Abtastfrequenz geeignet gewählt, so erlaubt die Betrachtung von GPS-Daten Erkenntnisse über das individuelle Fahrverhalten sowie die Fahrzeugnutzung zu gewinnen. Diese Erkenntnisse gehen über die mit traditionell erfassten Tarifmerkmalen erzielbaren Informationen hinaus. Somit kann Informationsasymmetrien begegnet werden. Unter Einbezug von Unfallstatistiken lassen sich damit die Risikowahrscheinlichkeiten besser beschreiben und somit risikoadäquatere Prämien berechnen als dies mit den bisher eingesetzten Mittel möglich ist. Insbesondere lässt dieser Ansatz eine präzisere Tarifierung innerhalb derzeit betrachteter Risikogruppen, beispielsweise bei den Fahrern, zu. Dies hilft eine Antiselektion zu vermeiden.

7 Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurden innovative Ansätze zur tieferen Tariffdifferenzierung in der deutschen Kraftfahrzeugversicherung aufgezeigt. Zielsetzung aller Ansätze ist es, zu einer risikoadäquateren Tarifierung beizutragen. Unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit können damit die Antiselektion vermieden sowie der Deckungsgrad verbessert werden. Aus dem Blickwinkel des Verbraucherschutzes liefern risikoadäquatere Tarife gerechtere Prämien.

Betrachtet wurde ein breites Spektrum von potentiellen Tarifmerkmalen aus den Klassen Umweltfaktoren, GPS-basierte Fahrzeugdaten sowie Schadenidentifikation. Sie wurden in Hinsicht auf die Umsetzungsmöglichkeiten, die Datensammlung und den Mehrwert für die Kalkulation beleuchtet. Ein besonderes Augenmerk wurde – aus Gründen der technischen Umsetzbarkeit und des Mehrwertes – auf den sogenannten GPS-basierten Ansatz gelegt. Dieser beinhaltet die Ableitung von fahrverhaltensabhängigen Tarifen aus Geschwindigkeitsabläufen, Beschleunigungsprofilen und der Straßenartnutzung. Gezeigt wurde, dass sich Fahrprofile verschiedener Fahrertypen, die gekennzeichnet sind durch die zugehörige Personengruppe, den Fahrzeugtyp und die Fahrtstrecke, derart differenzieren lassen, dass unter Einbezug von Unfallstatistiken Aussagen zur individuellen Risikoeinstufung getroffen werden können. Dies ermöglicht z. B. eine bisher nicht durchführbare Differenzierung in der Gruppe der Fahranfänger. Ein entscheidendes Qualitätsmerkmal stellt die Abtastfrequenz dar, welche die Abbildungsgüte der Fahrprofile bestimmt.

Die meisten Lösungen auf Fragestellungen der Tarifierung und der Risikoselektion umfassen eine Ausweitung der Datensammlung, deren Auswirkungen akkurat zu berücksichtigen sind. Für alle vorgestellten Modelle gilt, dass sie sich nur dann durchsetzen werden, wenn die Vorteile die Nachteile überwiegen. D.h. insbesondere, dass sich ein Modell nicht durchsetzen wird, wenn der Staatsanwalt ‚als Beifahrer‘ mitfährt. Die Versuchung vom Staat wird – rein unter Betrachtung der Kosten-Nutzen-Relation – sicherlich groß sein, alle Daten für eigene Auswertungen zu verwenden. Dies zeigt ein Beispiel aus den Niederlanden, wo der Navigations-Geräte-Hersteller TomTom Geschwindigkeitsdaten an die Polizei verkaufte. Es wird wohl kein Weg daran vorbeiführen, bereits vorab klare Regeln und Grenzen an die Datenanforderung und für die Datennutzung zu definieren. Des Weiteren ist in Erwägung zu ziehen, den enormen technologischen Fortschritt der Verkehrstelematik bei der Suche nach neuen Tarifkriterien einzubeziehen. Berücksichtigung sollte finden, inwiefern neuartige Systeme mit bereits existierenden Automobilsystemen, wie z. B. einem Tempomat, einem Abstandshalter und einer Einparkautomatik, oder gar einem selbstfahrenden Fahrzeug gekoppelt werden können. Damit könnte ein Anstieg der Prämien durch Nutzung aufwendiger Technik zur Tarifikalkulation abgefangen werden.

Dieser Beitrag zeigt Ansatzpunkte für die künftige Tarifgestaltung auf. Nicht zuletzt wegen des Schutzes der Persönlichkeit und zur Akzeptanz, aber auch zur Verringerung des Aufwands und des Nachweises sollten Fahrertypen definiert werden, die anhand weniger Stützpunktwerte identifizierbar sind. In einem nächsten Schritt gilt es, die jeweiligen Ansätze detaillierter zu betrachten und konkrete fahrverhaltensabhängige Tarife herzuleiten.

Literatur

- Bevington, P.: *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*, Aufl. 3, McGraw-Hill, New York (1969)
- Cummins, J.D., Outreville, J.F.: An international analysis of underwriting cycles in property-liability insurance. *J. Risk Insur.* **54**(2), 246–262 (1987)
- DAV-Arbeitsgruppe Tarifierung: *Berufspflichten des Aktuars bei der Tarifgestaltung in der Schadenversicherung. Hinweis der Deutschen Aktuarvereinigung e. V., Köln* (2007)
- DAV-Arbeitsgruppe Tarifierungsmethodik: *Aktuarielle Methoden der Tarifgestaltung in der Schaden-/Unfallversicherung. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe* (2011)
- Domeyer, A.: *Spezielle Versicherungen des privaten, des gewerblichen und des Industriegeschäfts. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe* (2005)
- Eling, M., Luhnen, M.: Understanding price competition in the German motor insurance market. *ZVersWiss* **97**, 37–50 (2008)
- Eling, M., Luhnen, M.: Versicherungszyklen in der deutschen KFZ-Versicherung. *ZVersWiss* **98**, 507–516 (2010)
- Europäische Kommission: *eCall: Automatischer Notruf für Verkehrsunfälle ab 2015 Pflicht in Autos.* http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-534_de.htm. (2013). Accessed 27 Apr 2014
- Farny, D.: The development of European private sector insurance over the last 25 years and the conclusions that can be drawn for business management theory of insurance companies. *Geneva Pap. Risk Insur. – Issues and Practices* **24**(2), 145–162 (1999)
- Folksam: *Hur säker är bilen?* http://www.folksam.se/polopoly_fs/1.884731/Hur_saker_ar_bilen.pdf. (2013) Accessed 27 Apr 2014
- GDV: *Jahrbuch 2004 – Die deutsche Versicherungswirtschaft. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Berlin* (2004)
- GDV: *Jahrbuch 2005 – Die deutsche Versicherungswirtschaft. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Berlin* (2005)
- GDV: *Jahrbuch 2006 – Die deutsche Versicherungswirtschaft. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Berlin* (2006)
- GDV: *Jahrbuch 2007 – Die deutsche Versicherungswirtschaft. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Berlin* (2007)
- GDV: *Jahrbuch 2008 – Die deutsche Versicherungswirtschaft. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Berlin* (2008)
- GDV: *Jahrbuch 2009 – Die deutsche Versicherungswirtschaft. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Berlin* (2009)
- GDV: *Jahrbuch 2010 – Die deutsche Versicherungswirtschaft. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Berlin* (2010)
- GDV: *Jahrbuch 2011 – Die deutsche Versicherungswirtschaft. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Berlin* (2011)
- GDV: *Jahrbuch 2012 – Die deutsche Versicherungswirtschaft. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Berlin* (2012)
- GDV: *Komplexe Suche nach PKW-Typklassen.* <http://www.gdv-dl.de/komplexe-suche.html>. (2013) Accessed 27 Apr 2014
- Gerpott, T.J., Berg, S.: *Pay-As-You-Drive Angebote von Erstversicherern für Privatkunden: Eine betriebswirtschaftliche Analyse.* *ZVersWiss* **101**, 3–29 (2012)
- Heep-Altiner, M., Klemmstein, M.: *Versicherungsmathematische Anwendungen in der Praxis: Mit Schwerpunkt Kraftfahrt und Allgemeine Haftpflicht. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe* (2001)
- IMWF: *Auswirkung der demografischen Entwicklung auf die Marktpotentiale von Versicherungen und Kreditinstituten. Institut für Management- und Wirtschaftsforschung. Hamburg* (2011)
- Institute for Road Safety Research (SWOV): *Fact Sheet Alcolock.* http://www.swov.nl/rapport/Factsheets/UK/FS_Alcolock.pdf. (2011) Accessed 29 Jan 2014
- Ippisch, T., Thiesse, F., Fleisch, E.: *An Analysis of Sensor-Based Premium Schemes in the Car Insurance Industry.* <http://www.i-lab.ch/wp-content/uploads/2012/11/9-Ippisch-Thiesse-Fleisch-Sensor-based-premium-schemes.pdf>. (2007) Accessed 27 Apr 2014
- Jara, M.: *Zielorientierte Neugestaltung des Schadenmanagements in Versicherungsunternehmen. I.VW-HSG, St. Gallen* (2000)

- Kaas, R., Goovaerts, M., Dhaene, J., Denuit, M.: *Modern Actuarial Risk Theory*. Springer, Berlin (2009)
- Knaup, M.: Kfz-Versicherung: Wechselbereitschaft um 20 Prozentpunkte gesunken. Pressemitteilung DEVK. <http://www.devk.de/media/content/pressemitteilungen/pm2013/DEVK-PM-2013-11-19-Kfz-Wechselbereitschaft.pdf>. (2013) Accessed 27 Apr 2014
- Laas, D., Hartmann, M., Nützenadel, C., Schmeiser, H., Wagner, J.: *Pricing-Strategien in der KFZ-Versicherung*. I.VW-HSG/Solution Providers Schweiz AG., St.Gallen/Dübendorf (2014)
- Lochmaier, L.: Auto-Versicherer planen User-Tracking via GPS. *Monitor* **24**(4), 41 (2007)
- Meschede, D.: *Gerthsen Physik*. Springer, Berlin (2010)
- Münch, U.: Telematik in der Kraftfahrtversicherung – Wohin geht die Reise? *Versicherungsforen – Themendossier* (08), 1–7 (2012)
- Oberholzer, M.: *Strategische Implikationen des Ubiquitous Computing für das Nichtleben-Geschäft im Privatkundensegment der Assekuranz*. Verlag Versicherungswirtschaft, Karlsruhe (2003)
- Rees, R., Kessner, E., Klemperer, P. Matutes, C.: Regulation and efficiency in European insurance markets. *Econ. Policy* **14**(29), 363–397 (1999)
- Schulenburg, J.M.: *Versicherungsökonomik – Ein Leitfaden für Studium und Praxis*. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe (2004)
- Sparkassen Direktversicherung: Sparkassen Direktversicherung startet mit Telematik-Sicherheits-Service. <http://www.sparkassen-direkt.de/presse/telematik-sicherheits-service-startet.html>. (2013) Accessed 11 Nov 2013
- Stadler, M.: *Die Kfz-Versicherung*. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe (2008)
- Statistisches Bundesamt: *Verkehr – Verkehrsunfälle 2012*. Fachserie 8 Reihe 7, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (2013)
- Towers Watson: *Towers Watson-Studie zur Kfz-Versicherung - Mehrheit der Europäer findet Telematik-Tarife attraktiv*. www.towerswatson.com/de-DE/Press/2013/09/Towers-Watson-Studie-zur-Kfz-Versicherung. (2013) Accessed 29 Jan 2014
- Troncoso, C., Danezis, G., Kosta, E., Preneel, B.: PriPAYD: Privacy friendly pay-as-you-drive insurance. In: Yu, T. (Hrsg.) *Proceedings of the 2007 ACM Workshop on Privacy in Electronic Society*, 99–107. ACM, New York (2007)
- Volkswagen: *Assistenzsysteme - Kleine Helfer, große Wirkung*. *ViaVision* **1**, 1–12 (2014)
- Werner, M.: *Digitale Signalverarbeitung mit MATLAB®*. 5. Aufl. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, (2012)
- Wieser, A.: Die totale Überwachung. *Omnibus Revue* **11**, 14–18 (2013)
- Zanema, J., van Amelsfort, D., Bliemer, M., Bovy, P.: Pay-as-you-drive strategies: case study of safety and accessibility effects. *J. Trans. Res. Board* **2078**, 8–16 (2008)

Modul 6

Telematik in der Kfz-Versicherung: Gefährdung des Versicherungsprinzips?

Christoph Schwarzbach

Wiltrud Weidner

Der Aktuar 04.2015, 202-205, 2015

Christoph Schwarzbach und Wiltrud Weidner

Telematik in der Kfz-Versicherung: Gefährdung des Versicherungsprinzips?

Seit der Deregulierung in den 90er-Jahren steigt die Anzahl der Tarifmerkmale in der Kfz-Versicherung, im beitragsmäßig größten Versicherungszweig der Schaden- und Unfallversicherung, wettbewerbsbedingt kontinuierlich an. Dies erfolgt mit dem Ziel, eine immer differenziertere Tarifgestaltung zu erreichen [4]. Als Konsequenz des langjährigen Trends bringen aktuell erste deutsche Versicherer Telematik-Produkte auf den Markt. Vielfach wird in diesem Kontext der Vorwurf erhoben, dass die Nutzung der Verkehrstelematik zur Gewinnung von zusätzlichen und/oder genaueren Merkmalen in der Prämienkalkulation nicht dem Versicherungsprinzip – also dem Risikoausgleich im Kollektiv und in der Zeit – entspricht, sondern einer Entsolidarisierung der Versicherungswirtschaft Vorschub leistet. Diesen Einwürfen stellt sich der vorliegende Artikel, indem herausgearbeitet wird, was das Versicherungsprinzip umfasst, und der Frage nachgegangen wird, ob dieses aktuell und zukünftig durch die Aufnahme telematischer Risikofaktoren in der Kfz-Versicherung zur Abschätzung des Schadenaufkommens überhaupt gefährdet ist.

Die Aufgabe der Versicherungswirtschaft

Die Versicherungswirtschaft hat eine zentrale Bedeutung im Zuge der Stabilisierung von Gesellschaft und Volkswirtschaft, indem sie eine unverzichtbare und wichtige Absicherung gegen existenzielle Risiken ermöglicht. Dabei umfasst der Versicherungsschutz neben dem Risikogeschäft insbesondere in der Lebensversicherung auch Spar- und Entspargeschäfte, weshalb sich der Versicherer zusätzlich zu einer planmäßigen, verzinslichen Kapitalbildung bzw. einem Kapitalverzehr verpflichtet. Finanzielle Risiken sind verbunden mit einem

ungewissen, geschätzten Mittelbedarf und werden durch die Versicherungsdeckung insgesamt abschätzbar und handhabbar [1]. Der Ursprung von Risikotragegemeinschaften liegt in der Abmilderung von Konsequenzen aus Naturgefahren und Feuer [2] – also für das Individuum im weitesten Sinne mit zufälligen Ereignissen einhergehenden unvermeidbaren Risiken. Über die Jahrhunderte erweiterten sich (nicht zuletzt durch die Entwicklung versicherungsmathematischer Grundlagen) die Deckungsarten und -umfänge, vermehrt erfolgte ein Einschluss sog. „man-made“ Schäden [2]. Diese Risiken zeichnen sich dadurch aus, dass sie weitestgehend vermeidbar oder zumindest durch das Individuum beeinflussbar sind, wie z. B. der Fahrstil des Autofahrers. Hingegen nicht ganz eindeutig zuzuordnen sind beispielsweise Überschwemmungsschäden bei stark hochwassergefährdeten Gebäuden – diese sind bei Eintritt des Ereignisses unvermeidbar, allerdings stellt sich die Frage, ob das Bauen in Überschwemmungsgebieten ökonomisch ist.

Das Grundprinzip der Privatversicherung besteht im Ausgleich der individuellen Risiken im Kollektiv und in der Zeit auf der Grundlage statistisch in Anzahl und Umfang abschätzbarer Leistungen. Die Berechnung der Prämien und Rückstellungen erfolgt mittels versicherungsmathematischer Methoden [3]. In der Versicherung, die n. A. d. Lebensversicherung betrieben wird, kommt die Besonderheit hinzu, dass die Prämienhöhe derart festzulegen ist, wie sie zur Bildung der Deckungsrückstellung zur Erfüllung künftiger Verbindlichkeiten erforderlich ist [§ 141, 294 VAG n. F.]. Während Tarife n. A. d. Schadenversicherung derart kalkuliert werden, dass (im Krisenfall auch unter Rückgriff auf das Eigenkapital und einer evtl. vorhandenen Nach-

schusspflicht der Versicherten) die dauernde Erfüllbarkeit der sich aus den Versicherungsverträgen ergebenden Verpflichtungen jederzeit gewährleistet ist [§ 294 VAG n. F.]. Betriebswirtschaftlich begründet dies das Äquivalenzprinzip, das verlangt, dass sich die Risikoprämie und der Erwartungswert der Leistungen entsprechen. Nur wenn die Gesamtrisikoprämie die kollektiven Versicherungsleistungen deckt, d. h. kollektive Äquivalenz vorliegt, entsteht für die Versicherung gesamthaft kein Verlust. Bezieht sich das Äquivalenzprinzip auf ein einzelnes Risiko (individuelle Äquivalenz), muss der einzelne Versicherungsnehmer eine Risikoprämie in Höhe seines individuellen Erwartungswerts der Leistungen zzgl. eines Kosten- und Sicherheitsaufschlages aufbringen. Betriebswirtschaftlich erfolgt ex ante eine verursachungsgemäße Zurechnung der kollektiven Versicherungsleistungen auf einzelne versicherte Risiken. Eine konsequente Prämien differenzierung wirkt somit der Gefahr einer negativen Risikoauswahl entgegen [3]. Differenzierte Prämien entsprechen demnach durchaus dem Versicherungsprinzip. Der Versicherungsnehmer finanziert einen Teil seines vielleicht eintretenden Schadens selbst, indem er mit seiner Prämie in Höhe des individuellen Erwartungswerts seiner Leistungen zum finanziellen Gesamtvolumen des Versicherungskollektivs beiträgt. Überschreitet der realisierte Schaden den Erwartungsschaden, wird diese Differenz solidarisch im Kollektiv und in der Zeit ausgeglichen. In der Praxis ist es jedoch meist unmöglich, das individuelle Äquivalenzprinzip für jedes einzelne versicherte Risiko durchzusetzen, sodass bereits bei der Prämienkalkulation ein Umverteilungsprozess vollzogen wird.

Insbesondere der ursprüngliche Grundgedanke des Ausgleichs im

Kollektiv ist dabei auch ein solidarischer. Versicherte, die keinen Schaden erleiden, unterstützen mit ihren Prämien diejenigen, die von einem Schaden betroffen sind [3]. Bei starken Schwankungen im Geschäftsverlauf der Versicherung – insbesondere durch Elementarschadenereignisse – kann diese Unterstützung theoretisch sogar eine Nachschusspflicht umfassen. Eine solche sieht vor, dass die Versicherten über ihre Prämien hinaus das Kollektiv bei Unterdeckung der angefallenen Versicherungsleistungen finanziell stabilisieren. Damit stehen sie denjenigen Versicherten bei, denen ein Schaden widerfahren ist [§ 182 VAG n. F.]. Das in diesem Kontext oft erwähnte Solidaritätsprinzip selbst bildet die Grundlage für die Sozialversicherung [3] und ist daher in diesem Kontext z. B. in Hinblick auf die Existenz einer Beitragsbemessungsgrenze diskutabel. Eine direkte Anwendbarkeit auf das System der Privatversicherung hingegen erfordert eine differenzierte Diskussion.

Telematik vs. Versicherungsprinzip

Die Entwicklung von Methoden und Technologien der Industrie 4.0 zur Erfassung, Verarbeitung und Auswertung großer Datenmengen hat gerade erst begonnen. Aber bereits jetzt gibt es in der Versicherungsindustrie Anzeichen für neue Trends zur Prämiendifferenzierung insbesondere durch diese neuen Informationslieferanten [4]. Davon losgelöst zu betrachten sind Tendenzen zur Fragmentierung der Kollektive, wie sie z. B. in der privaten Krankenversicherung schon länger existieren, da dort durch den Aufbau von Alterungsrückstellungen der Wechsel in andere Tarife erschwert ist.

In der Kfz-Versicherung sorgt die Integration der Telematik nunmehr dafür, dass Prämien risikoadäquater und individueller kalkuliert werden können und somit der gesamtgesellschaftliche Schaden risikogerechter verteilt werden kann. Telematik-Daten bieten neue Informationen zur

aktuariellen Bewertung von Risiken und ermöglichen eine fahrverhaltensabhängige Preisgestaltung [4, 5]. Versicherte, die bei einer Telematik-Police weniger bezahlen, haben – unter der Annahme der mit der Telematik einhergehenden korrekteren Risikoabbildung – bisher „zu viel“ bezahlt, also z. B. den Raser subventioniert, der bisher wider sein Risikoprofil günstiger gefahren ist.

Aus individueller Unternehmenssicht ist die Hinzunahme von telematischen Tarifmerkmalen durchaus (individuell) rational. Ein Unternehmen, das weniger detaillierte Prämienberechnungen durchführt als die Konkurrenz, hat mit dem Problem der adversen Selektion zu kämpfen. Es sammelt mit der Zeit nicht nur die schlechteren Risiken im Kollektiv an, sondern muss daraus resultierend auch höhere Prämien verlangen bzw., sofern die Prämien konkurrenzfähig bleiben sollen, langfristig Verluste einkalkulieren [3]. Versicherer befinden sich somit in einer Art Gefangenendilemma, in dem es für alle Beteiligte individuell rational ist, Telematik-Tarife anzubieten, obwohl in der Gesamtschau über alle Unternehmen hinweg möglicherweise eine einfachere Prämienberechnungsmethodik günstiger wäre.

Hinsichtlich des Gerechtigkeitsempfindens wird zunächst die eingangs ausgeführte Unterscheidung zwischen vermeidbaren und unvermeidbaren Risiken aufgegriffen. Wenn beim Kfz-Telematik-Tarif der Raser, in der Risikolebensversicherung der Raucher oder bei der Unfallversicherung der Fallschirmspringer mehr bezahlen, erscheint dies noch recht fair zu sein, da das höhere Risiko dem Versicherungsnehmer zurechenbar ist. Er könnte vorschriftsmäßig fahren oder ein weniger gefährlicheres Hobby ausüben – zumindest hat er die Möglichkeit, die Tarifmerkmale und folglich die Versicherungsprämie selbst zu beeinflussen. Indessen wird die Option, sich auch gelegentlich wider die Vernunft verhalten zu dürfen, was mit der aktuell geringeren Überwachung noch kostenneutral

möglich ist, von einzelnen Autoren als Freiheitsrecht angeführt [6]. Warum riskanteres Verhalten – insbesondere im mobilen Verkehr, wo nicht restituierbare Schäden riskiert werden – als Ausdruck der individuellen Freiheit von der Gemeinschaft mitgetragen werden soll, erschließt sich allerdings nicht. Die Gefahr einer komplett „vermessenen Welt“, in der niemand mehr (hoffentlich produktive) Risiken eingeht (weil die Prämien zu hoch) und damit der Fortschritt bzw. Innovationen gehemmt werden, besteht theoretisch nicht. Die Aktuarien können nur bepreisen, was sie kennen und (statistisch signifikant) berechnen können.

Sind hingegen Risiken betroffen, auf die der Versicherungsnehmer weitestgehend keinen Einfluss nehmen kann, wie z. B. ein genetisch bedingt höheres Krebsrisiko oder die berufsinhärent höhere Verletzungsgefahr des Dachdeckers (eine volkswirtschaftlich fraglos¹ nützliche Tätigkeit), dann darf die Sinnhaftigkeit individualisierter (prohibitiv hoher) Versicherungsprämien bezweifelt werden. Abgesehen davon besteht der Kerngedanke einer jeden Haftpflichtversicherung im Schutz der Interessen Dritter (§ 1 PflVG) und somit sind aggressives Fahrverhalten oder Alkohol am Steuer – sofern feststellbar – in der Versicherungsprämie adäquat abzubilden. Hinzu kommt, dass besseres Fahrverhalten und damit einhergehend geringere Schadenhäufigkeiten und -durchschnitte [7], eine effektivere Notfall- und Schadenhilfe [4], eine Eindämmung von Betrugsfällen [3] usw. einen geringeren volkswirtschaftlichen Werteverzehr mit sich bringen. Diese und weitere Aspekte zeigen, dass die Telematik oder allgemeiner die Merkmalsausdifferen-

¹ Hier ist der Preis zur Abdeckung des Risikos aufgrund des berufsbedingten hohen Schadenbedarfs prohibitiv hoch und aus dem Ertrag der Tätigkeit nicht finanzierbar. Dies dürfte unternehmensindividuell rational sein, ist aber aus gesamtgesellschaftlicher Perspektive kritisch zu sehen; Dachdecker sind wichtige Bestandteile unseres Gemeinwesens.

zierung nicht generell abzulehnen ist, sondern es einer differenzierten Bewertung bedarf.

Im Zuge der fortschreitenden Datensammlung als fundamentale Grundlage für differenziertere Tarifikalkulationen spielen datenschutzrechtliche Aspekte eine entscheidende Rolle. Es wird befürchtet, dass für Versicherungsnehmer, die sich z. B. aus Datenschutzgründen entsprechenden Tarifen verweigern, mit der Zeit nur noch ein „Resttarif“ angeboten wird, der aufgrund der schlechteren Mischung und der risikoreicheren Mitglieder relativ teuer werden kann (vgl. adverse Selektion, [3]). Dies würde indirekt zu einem (sozialen) Teilnahmestau führen, um keine ökonomischen Nachteile hinnehmen zu müssen. Hier sind eindeutig rechtliche Fragestellungen wie der Datenschutz und die informationelle Selbstbestimmung berührt, die weitestgehend noch nicht abschließend gelöste Probleme darstellen. In der vorliegenden Abhandlung sollen diese nicht aufgegriffen werden. Langfristig müsste sich erst zeigen, ob sich einerseits die neu verwendeten Daten für eine individuellere Kalkulation als geeignet herausstellen und ob andererseits die „Resttarif“-Gruppe wirklich ein erhöhtes Risiko besitzt und somit allein aufgrund der Nichtteilnahme an der Datensammlung ein teurerer Tarif gerechtfertigt ist. Die Theorie der asymmetrischen Information lässt aber einen Erkenntnisgewinn vermuten, da ein Selbstselektionsprozess entstehen dürfte [3]. Insgesamt widerspricht diese detailliertere Prämiendifferenzierung aber nicht zwangsläufig dem Gedanken vom Ausgleich im Kollektiv und in der Zeit. Aus aktueller Sicht ist dies gewährleistet, solange für jedes einzelne Kollektiv eine ausreichende Datengrundlage zur adäquaten Prämienkalkulation gegeben ist.

Veränderungen durch die Nutzung der Telematik in der Kfz-Versicherung

Schon heute sind die Tarife der Kfz-Versicherung aufgrund des de-

regulierungsbedingten Preiswettbewerbs fein differenziert [4]. Das mit dem versicherten Fahrzeug einhergehende Risiko wird über zahlreiche Risikomerkmale beschrieben, wobei das Kollektiv zur Beschreibung des Schadenaufkommens über eine Merkmalsdifferenzierung in Risikoklassen zerlegt wird [1]. Die derzeitige Kalkulation des versicherungstechnischen Bedarfs beruht auf einem multiplikativen Risikomodell; basierend auf einem Grundschadenbedarf, der für jedes Risikomerkmale mit dem Risikofaktor skaliert wird, erfolgt eine Zuordnung zu einer Risikoklasse [8].

Risikomerkmale stellen dabei Eigenschaften der versicherten Risiken dar, von denen die Schadenverteilung ursächlich abhängt [1]. Bisher greifen Versicherer bei der Ermittlung des Risikos lediglich auf „Hilfsindikatoren“ für die Qualität der Fahrweise und die Art der Fahrzeugnutzung zurück. Dabei handelt es sich um soziodemografische und technische Daten, die das Fahrzeug und den Versicherungsnehmer (den Halter sowie den Nutzerkreis) beschreiben [9]. So geben Angaben zum Alter, Wohngebäude oder zur beruflichen Stellung des Versicherungsnehmers sowie zum Nutzerkreis und zur Schadenfreiheitsklasse Auskunft über die Fahrzeugführung, aber messen nicht deren Fahrweise. Ferner kann die personenbezogene Verteilung der Fahrzeugnutzung, von besonderer Bedeutung bei Einschluss junger Nutzer, lediglich mit dem statistischen Mittel abgeschätzt werden [10]. Im Hinblick auf die Erfahrungstarifizierung muss festgestellt werden, dass sie zu Beginn der Vertragslaufzeit aufgrund fehlender Erfahrungen und überdies bei Abschluss eines Rabattschutzes während der Vertragslaufzeit systembedingt eingeschränkt funktioniert und erst mit fortschreitender Zeit greift. Neben dem Merkmal der Schadenfreiheitsklasse hängt das Risiko zu einem großen Teil von der Typklasse ab, in die das versicherte Fahrzeug eingestuft ist. Diese reflektiert wiederum nur das Schadenaufkommen eines Fahrzeugmodells, ohne die Fahrweise der Nutzer direkt einzubeziehen. Zugleich wird

der Wohnort des Fahrzeughalters über die Regionalklasse approximativ für die Risikobeurteilung herangezogen. Unberücksichtigt bleibt dabei das mit dem tatsächlichen Fahrgebiet und der Tageszeit verknüpfte Verkehrsaufkommen.

Derartige Ersatzmerkmale werden statisch aus den Angaben des Versicherten bei Vertragsabschluss erfasst [9]. Sie haben zwar einen Einfluss auf das Risiko, berücksichtigen jedoch keine originären Schadenursachen. Unter Einbezug der Telematik-Technologie hingegen erhält der Versicherer nun reale Daten zum Fahrverhalten der Fahrzeugführer und zur Fahrzeugnutzung. Ein großer Vorteil ist, dass über Ersatzmerkmale pauschal getroffene, am Durchschnitt ausgerichtete Annahmen zur Schadenwahrscheinlichkeit und -höhe individualisiert werden [10]. Ferner können Angaben etwa zu Fahrleistung oder Abstellort durch reale Messwerte verifiziert und ggf. ersetzt werden. Dadurch wird gewährleistet, dass das individuelle Risiko genauer und mit weniger Zeitverzug eingeschätzt wird. Auf diese Weise ermöglicht die Reduktion der asymmetrischen Informationen zwischen Versicherer und Versichertem eine Verbesserung der Risikoadäquanz der Prämien.

Die Art der kurz- und mittelfristigen Integration der Telematik in die Tarifizierung ist durch aktuell fehlende Schadenerfahrungswerte in Bezug auf telematische Risikomerkmale eingeschränkt. Ohne Rückgriff auf fundierte Erfahrungswerte zur Risikoabschätzung ist die Anwendung mathematischer Tarifierungsverfahren deutlich begrenzt. Somit erlaubt die momentane Marktsituation keine Aufnahme telematischer Risikofaktoren in die klassische Schadenbedarfsanalyse, sondern lediglich eine Ex-Post-Rabattsystematik auf bereits bestehende Tarife nach klassischen Tarifmerkmalen. Die Rabatte basieren hier auf einer zusätzlichen telematischen Scoreberechnung, die etablierten aktuariellen Methoden zur Tarifgestaltung bleiben (vorerst) bestehen [5]. Allerdings können daraus vereinzelte Abweichungen vom statistischen

Mittel innerhalb bis dato vermeintlich gleicher Risikoklassen resultieren [10], wobei diese Differenzen nicht nur auf bisher nicht identifizierbaren Unterschieden beruhen müssen, sondern auch auf eine bewusste, durch die Existenz der Telematik-Box induzierte Fahrverhaltensänderung zurückzuführen sein können [7]. Durch Gewährung individueller, telematischer Zusatzrabatte werden modifizierte Teilsegmente bei der Prämienberechnung gebildet – eine (weitere) Fragmentierung des Kollektivs erfolgt dabei nicht. Auch das Versicherungsprinzip bleibt unberührt, da über das Mittel hinausgehende Schäden nach wie vor nur im Kollektiv aller Versicherten und sofern erforderlich durch die Verteilung über die Zeit ausgeglichen werden können.

Telematik – nur ein erster Schritt

Ausschlaggebende Treiber für das Angebot von Telematik-Versicherungsprodukten sind rechtliche Entwicklungen wie die verpflichtende Einführung von eCall für Neuwagen in der Europäischen Union ab 2018. Dabei ist die Telematik aller Voraussicht nach lediglich eine Vorbereitung der Versicherer auf den Trend

der Digitalisierung und Vernetzung bis hin zum autonomen Fahren. Die Digitalisierung von Informationen und intelligente Vernetzung liefern einerseits ganz neue Möglichkeiten zur Steigerung der Effizienz im Versicherungsmarkt, andererseits erfordern sie eine radikale Umgestaltung der Geschäftsmodelle. Die künftige Tarifikalkulation wird durch den Einbezug externer Daten sowie die Auswertung von großen Datenmengen gekennzeichnet sein. Etablierte Tarifierungsprozesse sind zu verändern, um sich gegenüber branchenfremden Unternehmen mit dem über Jahrzehnte aufgebauten Know-how weiterhin behaupten zu können.

Erste marktreife Telematik-Produkte sehen einen Rabatt auf normal erhobene Tarife vor, berechnet mittels einer Scoresystematik auf telematische Messgrößen. Der Umfang und die Implementierungsart von Messdaten in der Tarifierung lassen sich abschließend jedoch erst nach der Erhebung von umfangreichem statistischem Datenmaterial abschätzen [5]. Allerdings liegt bereits heute die Vermutung nahe, dass telematische Merkmale bisher herangezogene Ersatzmerkmale allmählich substituieren, sobald ihre statistische Signifikanz und Stabi-

lität aufgezeigt werden kann. Ein offenkundiges Beispiel dafür ist die jährliche Fahrleistung. Damit würden mittel- bis langfristig andere Segmente geschnitten, eine Fragmentierung der Kollektive in immer kleinere Einheiten ist damit weiterhin nicht verbunden.

Die momentane Einführungsphase von Telematik in die Tarifierung lässt nur unsichere Prognosen über die Auswirkungen auf den Versicherungsbestand, insbesondere die Selektionswirkung, zu. Die Entwicklung des Marktanteils von Telematik-Tarifen hängt in starkem Ausmaß von der Akzeptanz der Gesellschaft ab. Zum Zeitpunkt der Markteinführungen werden Anreize vornehmlich über den Preis durch Prämienabschläge erzielt. Angesprochen werden damit Kunden mit hohem Differenzierungspotenzial durch Einbezug der individuellen Fahrweise und Fahrzeugnutzung. Danach kommen Sicherheits- und Serviceaspekte vermehrt hinzu, mit denen es aus Wettbewerbssicht gilt, die mit der Technologie einhergehenden höheren Betriebskosten auszugleichen.

Literaturverweise:

[1] Farny, D. (1989), Versicherungsbetriebslehre. Verlag Versicherungswissenschaft, Karlsruhe.
 [2] Ewald, F. (1993), Der Vorsorgestaat. Suhrkamp.
 [3] Schulenburg, J.-M. Graf v. d./Lohse, U. (2014), Versicherungsökonomie: Ein Leitfaden für Studium und Praxis (2. Auflage). Verlag Versicherungswissenschaft, Karlsruhe.
 [4] Hartmann, M./Nützenadel, 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.
 [5] Weidner, W./Transchel, F. W. G. (2015), Aktuarielle Besonderheiten bei der Kalkulation von Telematik-Tarifen in der Kfz-Versicherung. Z. Vers. Wiss. 104(5), 595–614.

[6] Welzer, H. (2015), Totalitarismus ohne Uniform. SPIEGEL-Gespräch geführt von Brauck, M., Mahler, A., DER SPIEGEL 8/2015.
 [7] Towers Watson (2013), Towers Watson-Studie zur Kfz-Versicherung. <http://www.towerswatson.com/de-DE/Press/2013/09/Towers-Watson-Studie-zur-Kfz-Versicherung> [Stand 27.03.2015].
 [8] Dickmann, H. (1988), Kraftfahrtversicherungsmathematik. In: Farny, D., Helten, E., Koch, P., Schmidt, R. (Hrsg.) Handwörterbuch der Versicherung. Verlag Versicherungswissenschaft, Karlsruhe.
 [9] Heep-Altiner, M./Klemmstein, M. (2001), Versicherungsmathematische Anwendungen in der Praxis: Mit Schwerpunkt Kraftfahrt und Allgemeine Haftpflicht. Verlag Versicherungswirtschaft, Karlsruhe.
 [10] Weidner, W./Transchel, F. W. G./Weidner, R. (2015), Telematic Driving Profile Classification in Car Insurance Pricing. Working Paper.



Dr. Christoph Schwarzbach studierte BWL an der Humboldt-Universität zu Berlin und promovierte am Institut für Versicherungsbetriebslehre der Leibniz Universität Hannover. Seit 2008 beschäftigt er sich am Kompetenzzentrum für Versicherungswissenschaften mit aktuellen Fragen in der Versicherungswirtschaft.



Wiltrud Weidner, Aktuar (DAV), ist seit 2010 in der Versicherungswirtschaft tätig. Berufsbegleitend promoviert sie am Institut für Versicherungsbetriebslehre der

Leibniz Universität Hannover über die Anwendung aktuarieller Methoden bei aktuellen Entwicklungen in der Versicherungswirtschaft.

Modul 7

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

Wiltrud Weidner

Robert Weidner

Fabian W.G. Transchel

Zeitschrift für Verkehrswissenschaft 85(2), 91-121, 2015

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, zweiteere beziehen 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.

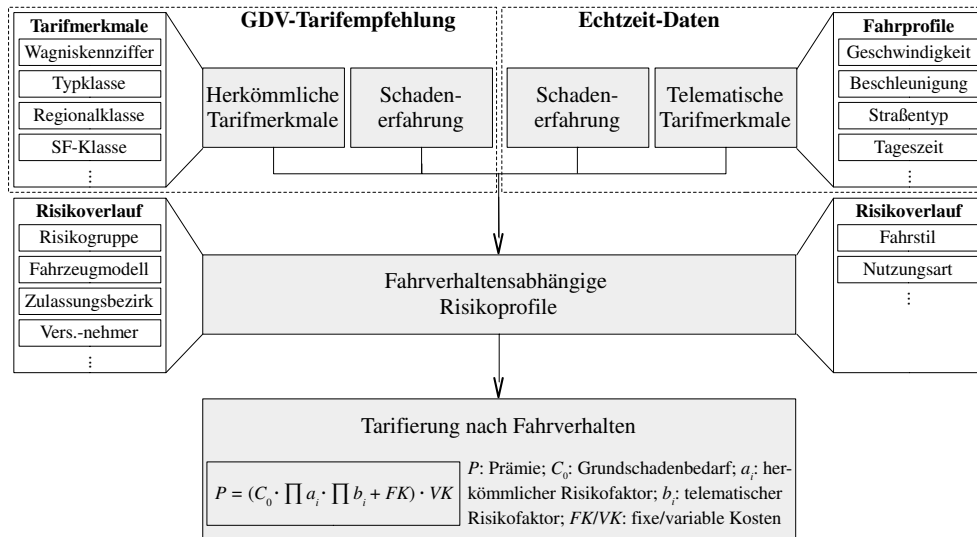
Vollkommene Informationen liegen höchstens dem Versicherungsnehmer vor, nicht aber dem Versicherungsunternehmen. Diese unvollkommenen, ungleich verteilten Informationen charakterisieren das Verhältnis zwischen Versicherten und Versicherer und führen zum bekannten Problem der Informationsasymmetrie. Daraus 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.

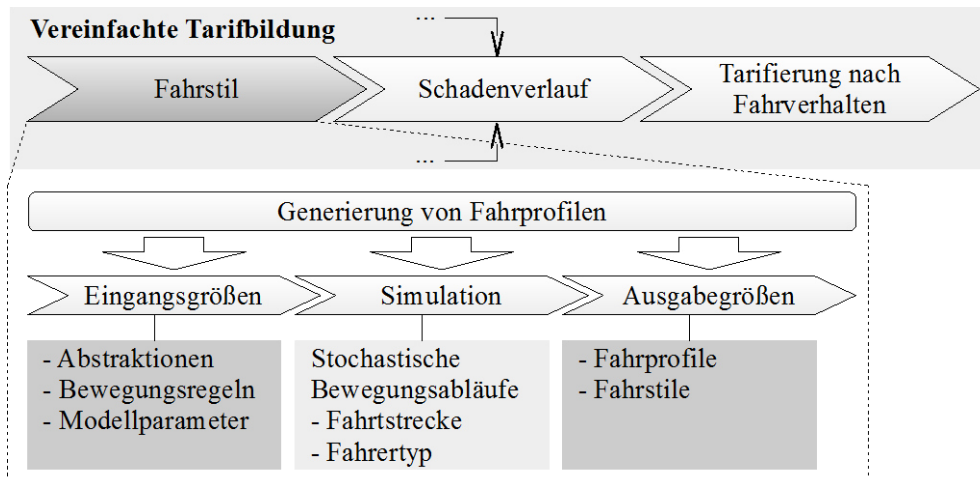
Abbildung 1: Darstellung der fahrverhaltensabhängigen Tarifierungsmethodik



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:

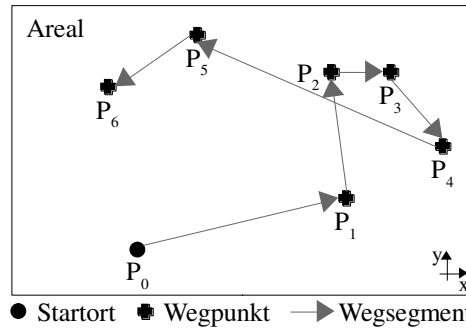
- **Höchstgeschwindigkeit:** Das Fahrzeug passt seine Geschwindigkeit in Abhängigkeit von seiner Wunschgeschwindigkeit an die angegebene Geschwindigkeitsbegrenzung bzw. Richtgeschwindigkeit an. Limitierende Faktoren wie die Verkehrsdichte oder der Straßentyp können über die Richtgeschwindigkeit widerspiegelt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

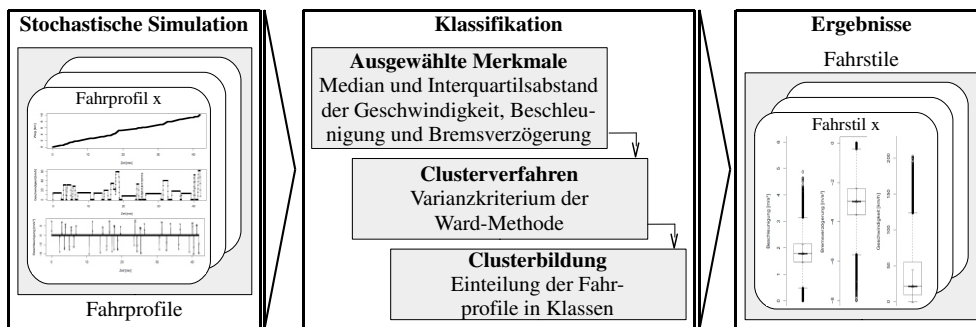
Klassifizierung der Fahrprofile

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. Segmentpezifisch 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.

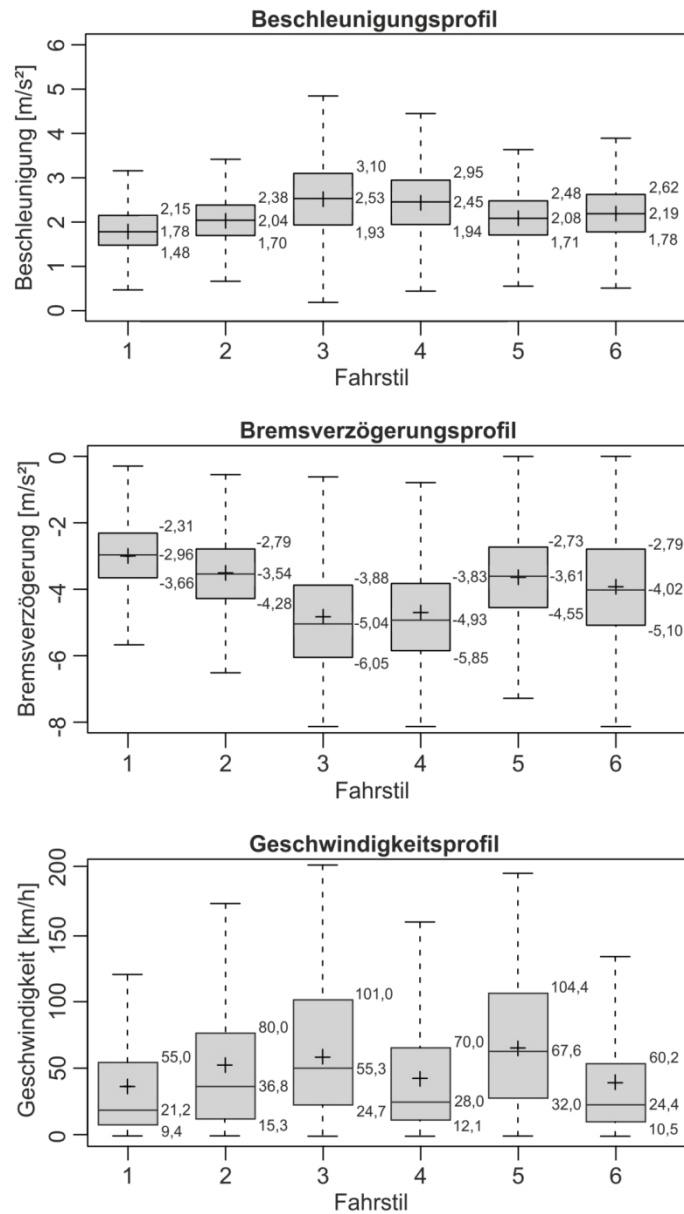
Aus den Fahrstilen für die Bremsverzögerungswerte wird ersichtlich, dass die Spannweite bis zu 8 m/s² beträgt. Ausreißer werden nur bei 1,9 % der Stichprobenwerte beobachtet. Bei drei der sechs Fahrstile kommen niedrige bzw. hohe Werte so häufig in der Stichprobe vor, dass sie gar nicht erst als Ausreißer 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



— Median + Mittelwert █ 25 % - 75 % ⊥ ausreißerfreies Intervall

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

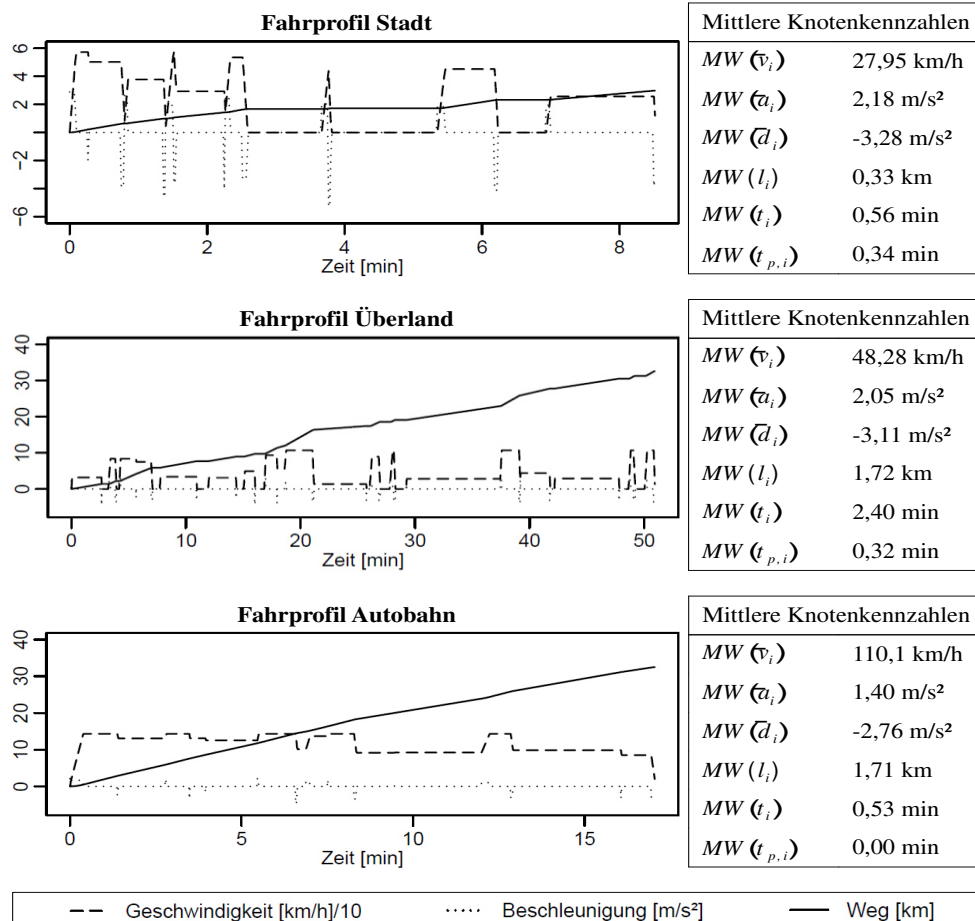
¹³ Dies liegt nicht zuletzt daran, dass die Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit die Beschleunigung ist.

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

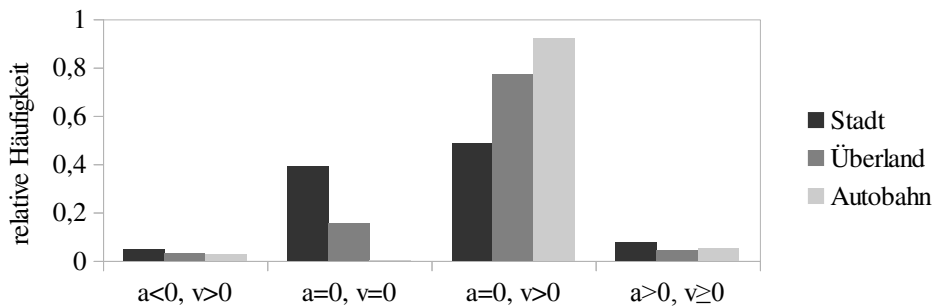
Der Fokus der Modellbildung lag auf der Generierung realistischer Fahrprofile. Ein Abgleich der Simulationsergebnisse mit der Fachliteratur zeigt, dass sich die Ergebnisse des physikalischen Modells mit der Realität decken, d.h. dass die gewählten Parameterbereiche und Verteilungsannahmen eine Übertragung 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 annahmegemäß 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 an 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.
- Zantema, 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.

Modul 8

Telematic driving profile classification in car insurance pricing

Wiltrud Weidner

Fabian W.G. Transchel

Robert Weidner

Akzeptiertes Manuskript

zur Publikation in *Annals of Actuarial Science*

Hinweis: Der Artikel erscheint demnächst in der Zeitschrift *Annals of Actuarial Science*.

Telematic driving profile classification in car insurance pricing

Wiltrud Weidner*

Institute for Risk and Insurance, Leibniz University Hannover, Hannover, Germany

Fabian W.G. Transchel

Institute for Theoretical Physics, Leibniz University Hannover, Hannover, Germany

Robert Weidner

Laboratory for Manufacturing Technology, Helmut Schmidt University, Hamburg, Germany

Abstract:

This paper presents pricing innovations to German car insurance. The purpose is to provide an effective approach to adapting actuarial pricing decision to incorporate telematic data, which differs substantially from established tariff criteria in complexity and volume. A vehicle mobility model and a real-world sample of driving profiles form the input into the analysis. We propose an allocation of the driving profiles based on velocity and acceleration parameters to specific driving styles for evaluating the driving behaviour to subsequently enable discounts or surcharges on the premiums to obtain usage-based insurance premiums. The result is highly relevant for actuaries, who calculate the tariffs, but also for managers, since they have to make a pricing decision.

Keywords:

Car insurance; Pricing innovations; Telematic; Evaluation of driving behaviour; Driving styles

* Correspondence to: Wiltrud Weidner, Institute for Risk and Insurance, Leibniz University Hannover, Otto-Brenner-Str. 1, 30159 Hannover, Germany. E-mail: ww@ivbl.uni-hannover.de

1. Introduction

The car insurance market is the globally most important line of business in the property and casualty insurance market due to high premium volume. In Europe, the motor vehicle business represents with € 130 billion in 2013 a share of about 29 % of the total premium volume (see Insurance Europe, 2014). In view of significant technological changes such as assistance systems, connected or driverless cars, it is very difficult to forecast the future of car insurance. The so-called telematic box is an intermediate step in terms of technology, which can change the rules of the pricing structure. Telematic data enable innovative, usage-based insurance premium models known as Pay-How-You-Drive (PHYD) insurance but in this regard they represent a special challenge for actuaries because of their complexity and volume.

Existing studies provide different insights into telematic insurance solutions. However, empirical studies on the implementation into actuarial pricing methods are still very limited. Jun et al. (2007, 2011) work out the relationship between mileage as well as velocity parameters and accident risk, whereas Kremslehner and Muermann (2013) examine the effect of the number of car rides, the relative distance driven on weekend respectively at night and the average speeding on risk. Toledo et al. (2008) determine risk indices and statistics identifying manoeuvre types with methods, which are not specified in detail. A classification analysis approach for aggregated pay-as-you-drive (PAYD) rate factors to actuarial-decision making with vehicle sensor data are provided in Paefgen et al. (2014). Currently, either in science or in practice there is no standardised method to achieve a clear “score” of driving behaviour; telematic approaches from abroad do not extend to the very precise German actuarial pricing due to the limited scope of their scoring methods (see Karapiperis et al., 2015). In general, a priori and a posteriori risk profile building should be included in a comprehensive model. What is missing therefore, is an effective approach for the solid evaluation of driving profiles on the basis of the limited data available, and in particular without recourse to the claims situation

which is not available.

This paper wants to give a realistic and useful evaluation method for driving profiles, which in turn can be used for innovative, optimised car insurance pricing in the private-client segment due to reduction of information asymmetry with regard to the user group. Our analysis uses a vehicle mobility model for generating potential driving profiles, which grants our study a sound, broad data basis. We link the model results to real-world data of a telematic portfolio of a large German car insurer. We determine driving styles of generated driving profiles creating the basis for a general risk categorization and validate the results by comparing them with empirical data. The combination of model results and the empirical data allows us to directly test whether a differentiation according to predefined driving styles is possible and how well the data format fits to make a valid statement on the driving styles. Furthermore, we can define a first minimum data request.

Our results not only contribute to academic research, but are also of high relevance and usefulness to insurance practice. A fundamental finding is that specific driving styles can be derived of driving profiles based on validated velocity and acceleration parameters even under consideration of severe privacy protection issues. These styles can form the basis for a risk categorization and thus for subsequent discounts or surcharges on the premiums dependent of the driving behaviour.

The remainder of this paper is divided into four sections. First of all, the key actuarial pricing aspects in German car insurance pricing are introduced, including innovative pricing strategies. In Section 3, the development of driving styles based on data using a mobility model and the process of empirical data collecting are presented. Section 4 discusses the results from the empirical study. The paper closes with conclusions and limitations of our work, and outlines suggestions for further research.

2. Overview of German car insurance pricing

2.1 Current pricing strategy

The pricing of German motor vehicle insurance is based on numerous relevant factors – more than any other segment in the German property and casualty insurance. Various subjective and objective tariff criteria, as well as numerous criteria for discounts influence the insurance premium (see, e.g., Stadler, 2008; Laas et al., 2014). This can be attributed to the increased importance of risk-adjusted premiums after the deregulation of the European Union insurance markets in 1994. A comparison of the average annual premiums and losses for each risk shows that the price is aligned to the risk over time, see Figure 1. The most important prerequisite for adequately projecting the actual risk is the selection of different, suitable and tariff-related risk characteristics.

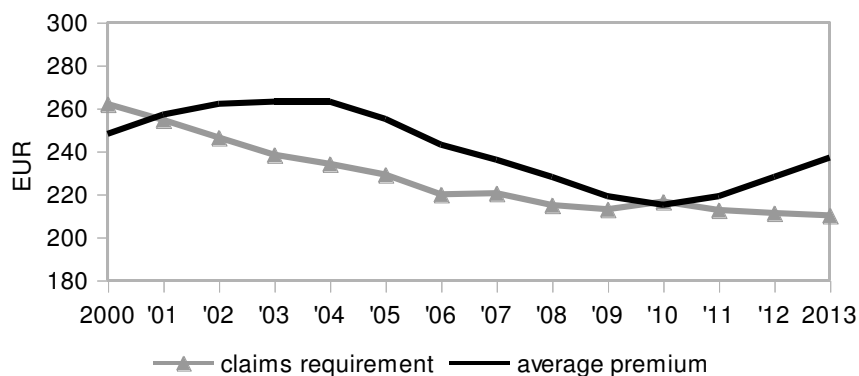


Figure 1. Average annual premiums and losses in the German motor vehicle third-party liability insurance from 2000 until 2013 (see GDV, 2012).

The German insurance industry distinguishes between objective and subjective criteria. Objective criteria concern the vehicle and a priori are independent of the policyholder's individual risk behaviour. These include, for example, the type of vehicle, type classification and age of vehicle at the time of purchase. In contrast, subjective criteria relate to the person to be insured. Such criteria include the bonus malus level, regional classification, occupation and age of the policyholder and users or the annual mileage performance (see, e.g., Heep-Altiner &

Klemmstein, 2001). Discounts such as home ownership, a garage or a workshop affiliation in the event of damage represent other factors (see, e.g., Stadler, 2008; Laas et al., 2014).

The set of tariff criteria separates policies into groups, so-called tariff classes. From the historical claims data an expected average annual loss is determined for each tariff class, which corresponds to the size of the net premium (see, e.g., DAV-Arbeitsgruppe Tarifierungsmethodik, 2015). Therefore, a large quantity of pricing variables induces a large dimensionality of an actuarial table. This fact in turn leads to an increasingly covert and complex market, of the one part, and high calculation capacity for the actuaries, of the other part. Indeed, it can be seen that, in recent years, the insurers continuously introduce more and more subjective criteria (see Domeyer, 2005; Laas et al., 2014; Hartmann & Nützenadel, 2015). There are several reasons for this: the increasing knowledge of the actuarial risks due to the rising personal data availability in the course of electronic data processing, the high competitive pressure and not least the unisex judgment. This is done to calculate the tariffs more risk-adjusted and more individualised.

2.2 Innovative pricing strategies

Each year, the German Insurance Association (GDV) submits a tariff recommendation for their member companies. Thus, a harmonised method of calculating tariffs has been established in Germany. Nowadays, the premium amount depends highly on the classification into a bonus malus system. In the third party-liability and fully comprehensive insurance, a no-claims discount is set individually for each policy and is determined by the respective insurer on the basis of the bonus malus level; the no-claims discount does not exist in the partially comprehensive insurance. Furthermore, any insurance company records statistical data, such as the insurance regional and type classification, and takes soft factors, such as age of users, group of users and occupation of the policyholder into account when setting premiums. However, the

tariffs differ between the various insurance companies – the insurance companies deviate more or less from the recommendation of the GDV in some criteria, e.g., in order to meet the legal requirements of the principle of equal treatment or to regulate migration movements and selection effects (see DAV-Arbeitsgruppe Tarifierung, 2007; Laas et al., 2014). This includes the age group of the policyholders due to the lack of social acceptance because the age is not an acceptable reason for discrimination. Therefore, the first and simplest idea to determine the premiums more risk adequately is to use the tariff criteria of the GDV correctly.

Apart from this, pricing according to driving behaviour, as shown in Figure 2, is another possibility to explore in order to achieve the aim of more individualised premiums (see Weidner & Weidner, 2014). Here, the emphasis has been placed on GPS technology (telematic) with such aspects as velocity, acceleration, road type, time of day and weather condition. Various sensors like GPS are required for measuring these parameters. Indeed, modern car technology is quite advanced and some sensors are even part of the standard equipment of each vehicle. On the basis of so-called variables of driving behaviour and driving situation (see Gerpott & Berg, 2012), the driving style and performance can be evaluated. Finally, the insurance premium can be aligned with the risk tolerance of the driver. Customers who drive safely and defensively should pay lower premiums in a telematic tariff, whereas customers who drive risky and aggressively should pay higher premiums. Such PHYD systems are already well-established in the U.S. and in Great Britain; in the U.S., every seventh new contract is based on telematics (see Stiftung Warentest, 2014). Meanwhile in Germany, first insurers now offer telematics products, which grant discounts on the premiums calculated with traditional tariff criteria.

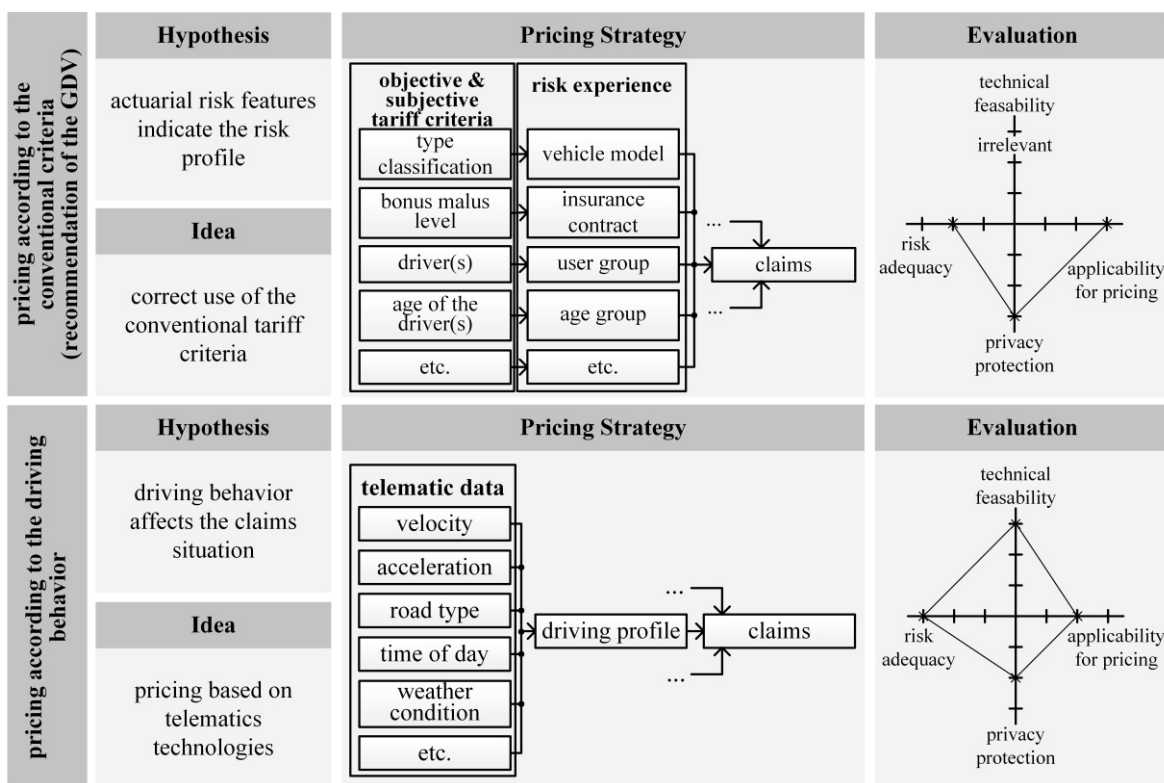


Figure 2. Conventional and telematic pricing idea comparison.

The evaluation of the two pricing approaches, see Figure 2 to the right, shows that the inclusion of telematic data in the premium calculation is associated with great benefits in particular for differentiated tariffs. This is the result of two factors: First of all, the concrete verification of driving profiles of specific driver-vehicle units at the telematic portfolio level, secondly, the weighting of differing driving behaviour at the level of a single-driver as well as within a user group (see Figure 3). With conventional tariff criteria, only vehicle and user group can be evaluated - not the actual driving behaviour. This has concrete implications to conventionally derived risk groups, where average premiums are calculated based upon the average claims requirement from the respective risk categories (see Figure 4 to the left). For example, novice drivers as a collective user group feature, on average, have a much higher claims requirement than more advanced drivers. Using only the conventional tariff criteria "novice driver", the calculated claims category for every driver from this user group is identical,

thus implying same risk exposure and same premium. Telematic variables on the other hand allow for a differentiated perspective on individual driving styles, such that deviations from the average risk exposure (see Figure 4 to the right) can be identified and incorporated into the risk category classification. Ultimately, this will enable insurers to partly remedy information asymmetry as far as risks depending on actual driving behaviour are concerned. Excess value is created for recently closed contracts, where the bonus malus level as major tariff criterion is not yet adapted to the actual risk due to missing perennial claims experience. On the other hand, there also exists information asymmetry concerning different users of a vehicle. While the policyholder is required to name additional vehicle drivers, their usage can only be understood in terms of averages entering into the analysis of claims requirement. For an individualised risk assessment of a contract of a 45-year-old father including his 18-year-old son, the precise attribution of both usage time and risk associated with driving behaviour is critical for understanding the correct claims requirement – especially if both vehicle users exhibit vastly different usage patterns. These usage patterns are one of the key elements telematic analysis of driving behaviour can reveal.

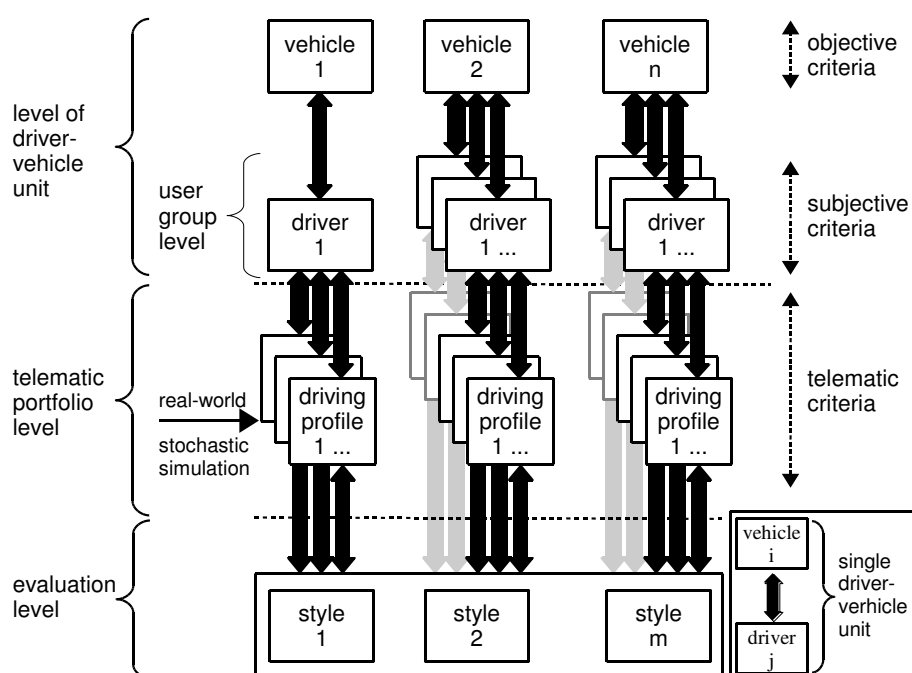


Figure 3. Schematic definitions of abstraction levels.

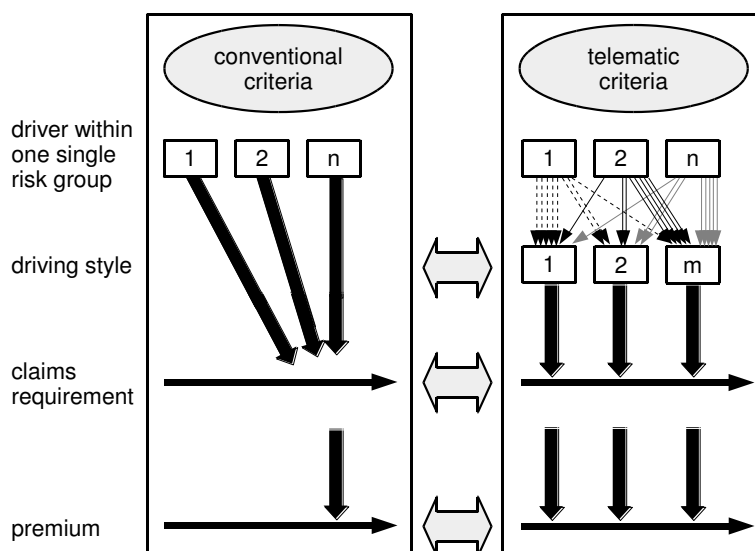


Figure 4. Valuation perspective of pricing according to conventional and telematic criteria using the example of a user group consisting of single-drivers.

A particular challenge regarding the successful implementation of a telematic product regards data protection issues. Complex motion profiles can be generated collecting telematic variables concerning the driving behaviour and the use of vehicle. Therefore, strict data protection criteria are applied to all processes used for the telematic tariff so that the insurer is able to adhere to all of the respective national privacy rules at all time. Concerning the German insurer's perspective, the prime principles of data minimization and data avoidance in accordance with Section 3 German Data Protection Act (BDSG) as well as the national data protection norms of the German insurance industry themselves, the Code of Conduct, processing or using as little personal data as possible, must be considered. Moreover, it must be ensured that every collected data point actually affects the tariff system complying with the purposeful limitation principle according to the BDSG under which personal data should only be collected and processed for specified and explicit purpose.

As regards the formal feasibility the technical conditions are already in place, although it is essential to determine the measuring and transmission logic. The application of telematic technology is in particular, among forerunners in the external data to optimize the pricing.

Applicability of other approaches is possible but not as far developed as telematics (see Weidner & Weidner, 2014) – they will certainly be discussed, once their respective technologies reach a level of mass market sophistication, like telematics do now.

Note that there are various outstanding issues as far as the applicability for pricing of the telematic approach is concerned. Beside the question of a suitable choice of telematic tariff criteria, particularly the handling of the missing risk experience is also of major relevance to be able to put the approach into perspective with conventional pricing. This means that the premiums according to the driving behaviour can not be directly determined based on the analysis of the claims requirements as the pricing is normally made. For this reason, the present approach investigates the pricing innovation that various premium discounts will be granted to the policyholders depending on their style of driving which requires a certain classification of driving behaviour. The discount on the premium per contract will be the weighted evaluation of all the driving styles belonging to the insured vehicle, because our analysis allows differentiating between different driving styles both for individual drivers as well as a mixed group of vehicle users. However, it is obvious that scoring of such differentiated findings requires further research in order to allow for risk adequacy premiums. Finally, the resulting simplified actuarial pricing process is shown in Figure 5.

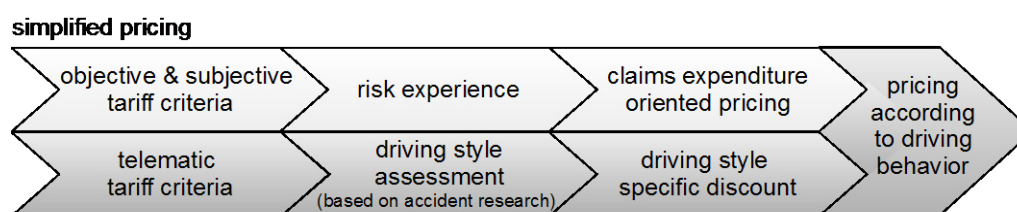


Figure 5. Incorporation of telematic data in the actuarial pricing process.

3. Telematics technologies – evaluation of driving behaviour

3.1 Methodology

The procedure for the statistical analysis of driving profiles requires high quality data and a broad database to achieve sufficient pricing precision. Since representativity of the early stages of the empirical telematic portfolio can neither be trusted nor easily verified with the existing lack of claims experience, the most efficient way to build a reliably precise telematic database is extensive stochastic modelling. Therefore, a vehicle mobility model is used for stochastic simulation of driving profiles. The modelling is based on the random waypoint (RWP) principle (see Johnson & Malz, 1996). Weidner et al. (2015) provide a detailed introduction to the method, whereas the modified underlying assumptions are listed in the appendix. The main point about choosing kinematic observables for this investigation is the realisation that contextual quantities describing the driving situation by likes of road type, maximal acceleration strength or time of day, which are currently in use in telematic assessments (see Karapiperis et al., 2015), can be treated like classical risk factors, whereas for the driving behaviour, given by the actual movement of the vehicle, this is not the case.

The RWP model, slightly modified for this approach, describes the movement behaviour of a driver-vehicle unit in a given system area. Each movement occurs in a manner, such that a driver-vehicle unit randomly selects a destination (waypoint) in the area and a respective speed limit. The driver-vehicle unit moreover moves to this destination with its specific vehicle and driver characteristics, i.e. desired velocity depending on speed limit, specific acceleration rate and brake performance, and pauses for a certain time before selecting a new destination and speed. In this way a stochastic simulation run generates simultaneously several thousand routes and types of drivers, from which specific driving profiles can be derived (see Figure 6). The choice of model parameters was made such that a wide range of individual characteristics of the driver-vehicle units and specific local conditions are depicted focusing on the representation

of average city and rush-hour traffic. The present analysis of driving profiles is based on 10.000 driver-vehicle units, each with a sequence of 20 waypoints. Sampling frequency was set to 1 Hz in order to obtain detailed driving profiles without any loss of information.¹

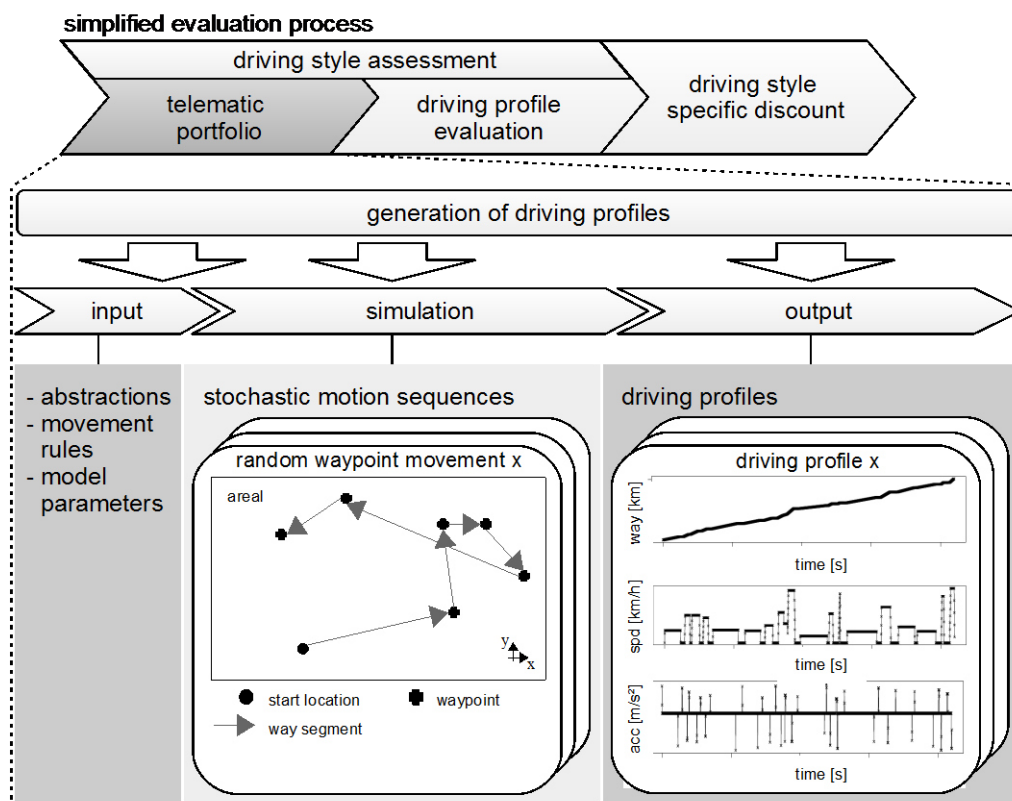


Figure 6. Model structure for generating driving profiles in the context of driving behaviour analysis.

To identify different driving styles, the generated driving profiles are classified using a cluster analysis;² such that the main objective of reducing the vast range of individual driving styles to a single driving style of each cluster is achieved.³ The different clusters constitute the

¹ Weidner and Weidner (2014) present an analysis of the systematic error that is linked with the sampling frequency.

² In this simulation study, the clusters are identified using Ward's minimum variance method (Ward, 1963), implemented recursively using the Lance-William algorithm (Lance and Williams, 1967). Applying Ward's method appears to be plausible because it is directly related to the Euclidean distance. Driving profiles with, e.g., similar acceleration values have an Euclidean distance close to zero. They are pooled into one group, and the within-group sum of squares is small. In practice, this method generates highly homogeneous, compact groups and constitutes a stable procedure (Mangiameli et al., 1996).

³ The necessity of classification of the driving profiles is based upon the fact that the tariff calculation must be carried out on robust data (DAV-Arbeitsgruppe Tarifierungsmethodik, 2015). High robustness is achieved through a reduction of the number of parameters in the calculation, and through various significant premium

specific driving styles which will be characterised in the section below. At the beginning of the clustering process, the following variables are selected for clustering because they have been identified as being most representative of the driving behaviour of the specific driver-vehicle unit: vehicle velocity and respective acceleration in the longitudinal direction (further referred to as acceleration and deceleration).^{4,5} The clustering process itself is based on medians (as robust measure of central tendencies) and interquartile ranges (as dispersion measure) which describe the distributions of each driver-vehicle unit considering the aspect of information aggregation.⁶

3.2 Simulation results

The actual simulation shows that six driving styles, shown in Figure 7, can be distinguished at a significant level taking into account all three variables collectively. There are two groups of driving styles depending on the velocity process: Those with lower velocity values and those with higher velocity values with the same or similar acceleration and deceleration value distribution.

differences between the strongly diverse driving styles. Examples, where this practice has been successfully studied for many years include the aggregation of districts (Zulassungsbezirk) to regional classes (Regionalklasse) or vehicle models to type classes (Typklasse), respectively, performed over the associated claims requirements.

⁴ The chosen variables of motion accurately and completely describe the physical movement of the vehicle up to the measurement frequency's granularity. Additionally, any other variables of motion, like position, momentum, jerk or meaningful aggregated quantities like averages or extreme value considerations of the aforementioned quantities can be derived from the used format of velocity and acceleration/deceleration, given a sufficiently fine discretisation. In the first step of investigating driving profiles in this way, only longitudinal acceleration was probed for more clarity. W.l.o.g. the method can be extended to the measurement of lateral acceleration, representing the steering behaviour.

⁵ Since the actual correlation with the risk the insurer aims to measure and, subsequently, price into the tariff are unknown with respect to any telematic observable quantities at this stage of actuarial investigation of telematics technologies, the aforementioned set of variables is chosen to ensure that any correlations of risk regarding the vehicle movement can be resolved. Once reliable information about claims experience is available, insurers might be able to further refine the measurement variables both semantically and quantitatively.

⁶ This approach delivers robust results even with originally incomparable extreme values, e.g., different peak values of the acceleration as a result of e.g., a different quality of vehicle damping.

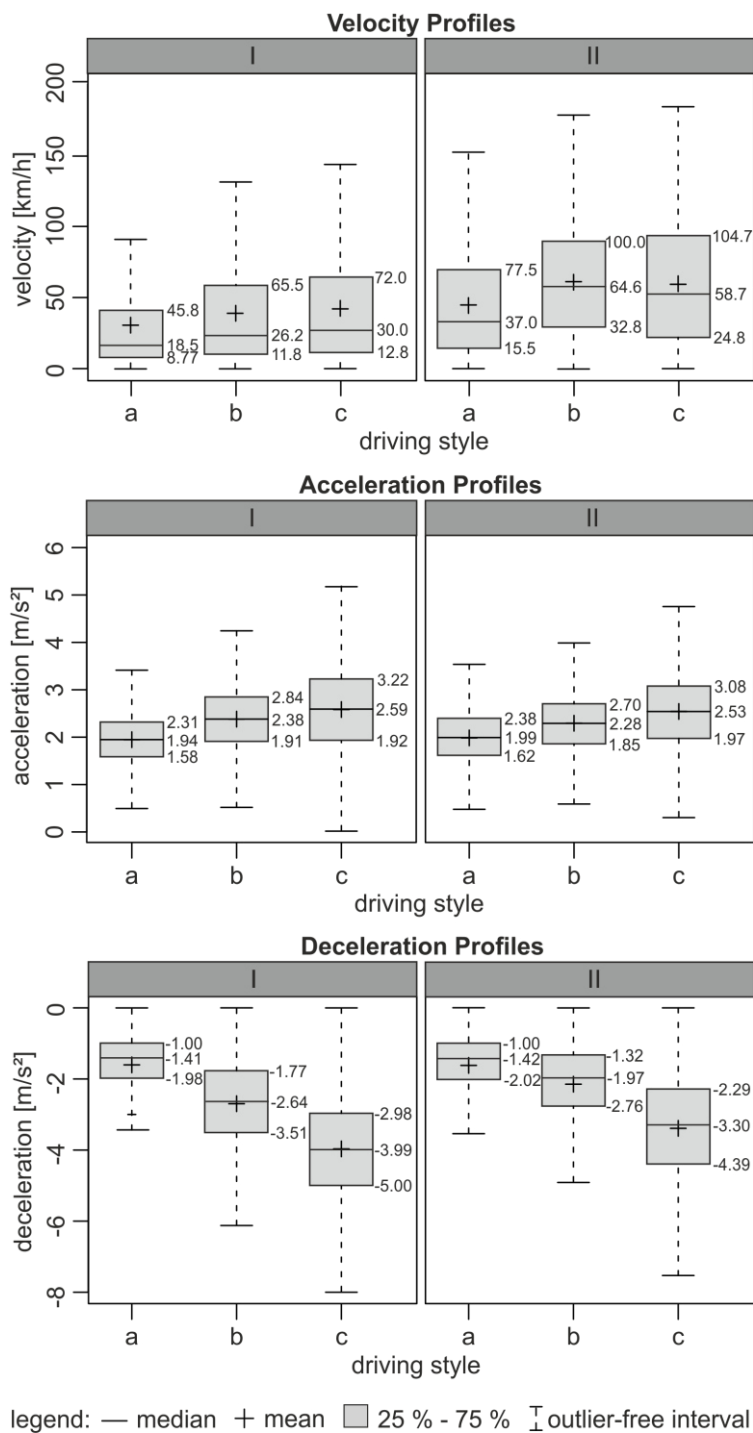


Figure 7. Box plots of data from stochastic simulation of acceleration, deceleration and velocity values.

Concerning the acceleration values, the values vary by up to 5.2 m/s², not considering outliers, and the medians of the six styles lie between 1.9 and 2.6 m/s². These values match to Lange (2006), who states a normal acceleration interval of 1.5 up to 2.5 m/s² and a maximum acceleration interval of 3.0 up to 6.0 m/s² for vehicles driving straight ahead. Extreme values,

which deviate upwards and downwards from the limits of the first and third quartile by more than 1.5 times, are not shown in the box plots. However, they appear in each of the styles and amount to around 2.3 % of the sample. Furthermore, the box plots indicate an increase in the interquartile range of the data with growing median, which in turn indicate the degree of dispersion. The interquartile ranges of different styles vary between 0.8 and 1.3 m/s².

The values of the driving styles concerning the deceleration vary by up to -8 m/s², the range of the medians is between -1.4 and -4.0 m/s². This means that the values for the deceleration are within the required wide range marked by not only individual factors such as tyres, brakes and specific breaking behaviour, but also by road conditions such as the road surface, gradient and weather condition. A deceleration of -7.0 up to -8.0 m/s² (and up to -10.0 m/s² in isolated cases) can be achieved under ideal conditions. Due to less grip on wet or smooth surface, the maximum deceleration decrease to -6 up to -7 m/s² respectively at most to -1 m/s² (see Becke, 2005). In contrast to the medians and means of the acceleration, which are on top to each other, as far as the deceleration is concerned, there are three driving styles showing means clearly below the medians. This is due to the fact that an emergency braking constitutes an exception when driving anticipatorily, but extreme values are necessarily part of even the most defensive driving profiles, although much rarer. Outliers here amount to only 1.5 % of the sample; there are so many values close to zero that they are not even classified as outliers. Thus is due to the fact that in contrast to acceleration behaviour, where the driver aims to reach the recommended speed as soon as possible, while breaking behaviour is much more anticipatory with regard to junctions or (heralded) obstacles. Also, one can see that the interquartile range tends to increase with growing absolute value of the median. The range lies between 1.0 and 2.1 m/s².

As far as the velocity is concerned, the box plots show medians between 18.5 and 64.6 km/h. It is evident that the values scatter more widely above the median than below. This means that the distribution of the values is (slightly) skewed to the right, and thus the distribution in the

lower speed range is much smaller than in the upper range. This is the result of three factors: first of all, starting and braking due to obstacles, such as traffic lights. Secondly, the speed limit. Finally, it natural matters to what extent the driver's desired velocity and speed limit could be attained (see Schüller, 2010). Moreover, there are only upwards outliers (2.3 % of the sample), because significant deviations downwards cannot occur due to the minimum speed of 0 km/h, exemplary a standstill at a traffic light. Again, the interquartile range of the velocity values tends to grow with increasing medians and varies between 37.0 and 79.8 km/h.

Interesting is the symmetry comparing driving styles regarding the acceleration with those regarding the deceleration. That means in particular, that corresponding driving styles with strong acceleration also show strong deceleration and vice versa. This indicates that the driving style is the result both of acceleration and deceleration and cannot be inferred of either alone. But not only the acceleration and the driver's braking behaviour, but also the velocity processes depend on the technical features of the vehicle and the attitude of the driver. Thus, the velocity is also linked with acceleration and braking behaviour. However only slightly⁷, since there are some factors countervailing this natural tendency. Drivers with identical acceleration and deceleration processes can choose between several road types, i.e. national roads, urban roads and highways, with different recommended speeds which is underlined by the two groups of driving styles with regard to velocity range. Furthermore, a defensive driving leads, as result of uniform traffic flow avoiding special acceleration and deceleration processes, to a higher average velocity. Again, only incorporating velocity as third parameter fully differentiates the picture of driving styles.

⁷ This is due not least to the link between the velocity and acceleration: The derivative of the velocity function with respect to time represents the instant of the acceleration.

4. Application to an empirical telematic portfolio

4.1 Methodology

For this study, we use data obtained from a database of a large German car insurer that covers several hundred vehicles from the private-client segment for a period of 12 months. Figure 8 shows the telematic portfolio structure by age of the policyholders and vehicles in comparison with the total German portfolio structure. It should be noted that only specific customer segments demand for telematic policies. The actual demand for PHYD contracts is higher for both younger and older than average policyholders with new and therefore expensive vehicles.

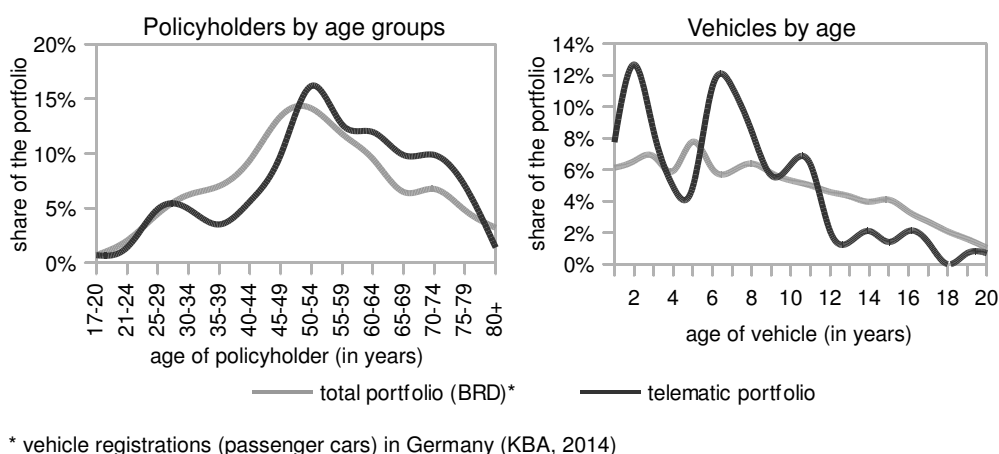


Figure 8. Structure of the telematic data.

The data set contains detailed information about vehicle activities, i.e. vehicle position data and several vehicle movement parameters; information about the concrete driver are not directly at hand due to various vehicle users, but special driving behaviour of each vehicle trip might allow conclusion to be drawn to individual person.⁸ A data point is recorded regularly by a telematic device which is installed in the insured car. The respective device sends a record after a change of direction or after two kilometres driven respectively after two minutes provided that the measured velocity is smaller than a certain threshold. After the initial editing of the

⁸ To make things easier to understand, in this section, we use the term “vehicle trip” synonymously to the term “driving profile”.

large-scale data material, including data cleansing, there remain 2,466,257 data points and a distance driven of 1,131,573 km considering 91,716 vehicle trips from 110 vehicles.⁹ Contractual data, especially tariff criteria which are unnecessary for evaluating and pricing the driving behaviour as well as claims histories are not available, because of privacy concerns.¹⁰

In the approach taken in this paper, the evaluation of driving behaviour included velocity, acceleration and deceleration data analyses to match the stochastic model already mentioned. Every reported data point contains the vehicle velocity measured at the time of record and, in addition, the maximum velocity (average value over five seconds) since the last record. Since the acceleration sensor measures data at high frequency of 100 Hz, enabling precise data of fast moving objects, in practice raw and discrete data are not available in the data set due to the large volume. Instead, the acceleration and deceleration behaviour refer to aggregate data because of the necessary information reduction. This means that the sensor provides grouped frequency distributions with various class widths when a data point is recorded; whereby the class width is to be based on pricing criteria.^{11 12}

We examine two characteristics of individual driving behaviour from the telematic data set, i.e. the velocity and acceleration performance. Figure 9 shows an overview over the distribution of the velocity data. The distribution functions are based on either the point measured velocity

⁹ We restrict the used data set to vehicle trips where a clear start and end time can be determined without resorting to movement profiles. Moreover, we correct vehicle trips with unbalanced distributions of acceleration parameters (e.g. with drift in x- (left-right) respectively y- (front-back) direction) turning the system of coordinates by the angle determined by the relation of the number of total movement trackings in the respective axis. Such drifts are likely to be caused by either a tilting of the acceleration sensor and/or incorrect calibration of the zero point hysteresis. In addition, we eliminate vehicle trips with unrealistically high values of velocity or distance between two data points. These trips reflect errors that may be attributed to connection failure with the GPS satellite and depend on the technical realization rather than the presented method.

¹⁰ It is important to note that, although contractual data is not available for this examination, this is not necessary to evaluate the results. At the current stage of development, the important question this publication aims to answer is whether telematics technologies can be used to obtain differentiable insights into the driving behaviour of a vehicle driver. Indeed, we find that there is differentiation potential in the observed driving profiles, such that an insurer with available contractual data can match their results with future claims requirements concerning the evaluation of the actual risk.

¹¹ For example, if stronger braking is considered as risk prevention and therefore should not be punished, then a single interval for all high deceleration values is enough.

¹² The exact intervals for the acceleration values are (0,0.98], (0.98,2.45], (2.45,4.41], (4.41,6.86], (6.86,12.00) and these for the deceleration are (0,-0.98], (-0.98,-1.96], (-1.96,-2.94], (-2.94,-3.92], (-3.92,-12.00).

(at the time of record) or the measured maximum average velocity (highest average value over five seconds between two data points) and differ about equal to a level shift.¹³ The maximum average velocity values dominate the point measured velocity for small amplitudes, because the dynamic of vehicles is different for the respective velocity regimes; apart from super sport vehicles, accelerating from standstill to around 50 km/h (an vice versa) goes much faster than from 50 km/h onwards. A 5-second maximum average naturally overestimates velocity compared to random, noisy point measurements. For larger velocities however the maximal average is much closer to the real values, because changes in speed behave more inert. Additionally, absorbing the fact that the respective distributions are weighted for comparison means that the point measured velocity dominates in the second part of the figure. As the point measured velocity fit better the simulated velocity, the analysis in the following part is limited to the point measured velocity instead of the maximum average velocity.¹⁴

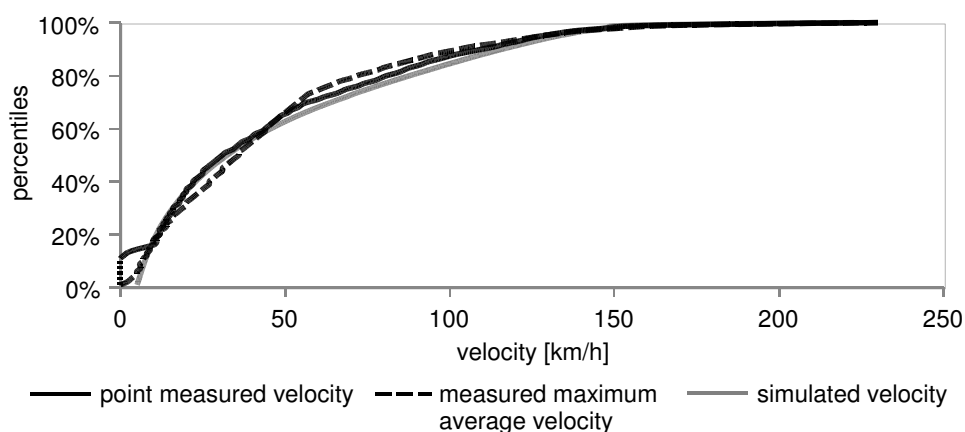


Figure 9. Distribution of the velocity.

¹³ Note that although this global average difference seems to be of little significance, the two observed measures may differ greatly when comparing individual samples. This can however not be presented due to the data security regulations of the tariff itself.

¹⁴ However, we carried out the classification for the maximum average velocity, as accident research shows that speed above a prescribed speed limit or too high for the prevailing condition is one of the main causes of accidents (Statistisches Bundesamt, 2015). The results are comparable apart from a shift of the velocity variable and therefore do not require additional elaboration.

The number of measured acceleration and deceleration values at intervals of unequal length is shown in Figure 10 and 11 in terms of percentages with interval limits. It is obvious that the empirical measurement of the telematic portfolio and the stochastic simulation yield different results. First of all, it should be mentioned that high demands are placed on the acceleration sensor whose technical realization is still poorly conceived, but is expected to improve with increasing demand for telematic tariffs respectively, since for the insurer more precise measurements are directly connected to more precise tariffs and will thus spark innovation of technical realizations. The required high sensitivity of the sensor to permit coverage of low acceleration range in the same manner as a high acceleration range induces inaccuracies and therefore many measured values close to zero.¹⁵ On the other hand, the model is designed in such a way that it focuses on real velocity adjustments, which is of real interest for describing acceleration profiles, i.e. the value range without so-called noise. Empirical data is subject to the limits of the realization and as such permeated by skews induced by real-world fluctuations such as sensor failures or misaligned equipment. Furthermore, the model excludes high-risk ranges such as full braking or acceleration behaviour of sport cars to obtain a genuine result, such that the value range in the model is smaller than that of the real data. It is also noted that the empirical acceleration and deceleration distribution – excluding noise – is quiet unbalanced across intervals. Acceleration and deceleration values in the upper two intervals are rather rare, despite its wide range of up to -12m/s^2 . This indicates that the number of intervals of the technical realization is not sufficiently detailed in order to exploit the full potential of differentiation.

¹⁵ These slightly different values close to zero, i.e. deviations in either direction from zero, are referred to as random errors. Random errors like these are considered as noise floor of the acceleration sensor that can be evaluated through a large number of observations, i.e. the ensemble of driver-vehicle units (Bevington, 1969).

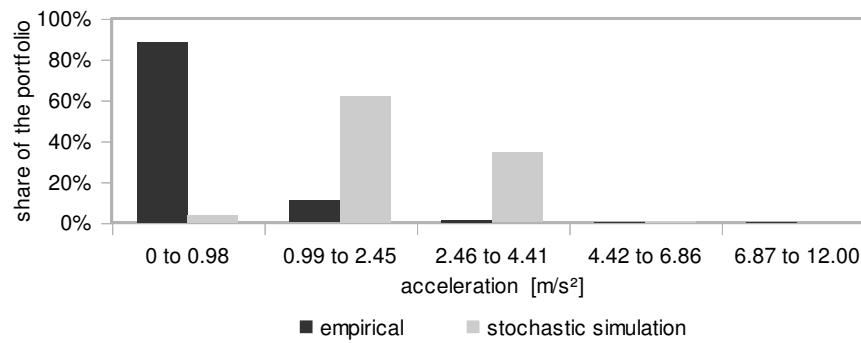


Figure 10. Frequency distribution of the acceleration.

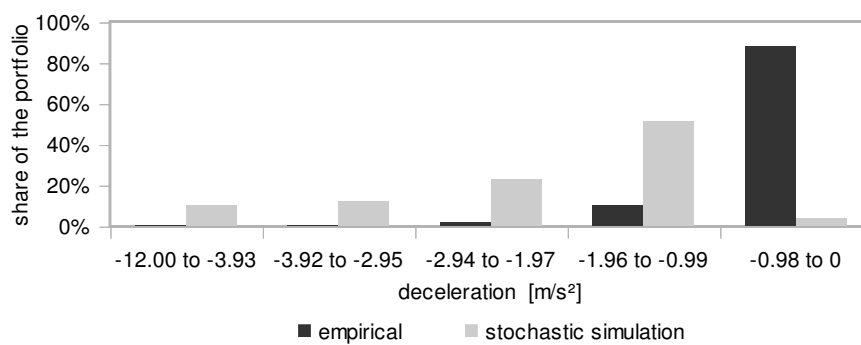


Figure 11. Frequency distribution of the deceleration.

The classifications of the driving profiles are deduced from the characteristics of driving behaviour of the telematic data set allocating them to the driving styles determined in section 3.2 based on the simulation results of the implemented vehicle mobility model. For this purpose, general statistical measures, which describe the distributions of the variables of the driving behaviour for each individual vehicle trip, need to be identified and carefully studied from the data set. The medians and interquartile ranges of the velocity, acceleration and deceleration values form the basis for classification analogous to the clustering process. We derive the velocity parameters from individual point measured velocities weighting by the duration of the measurement between the two relevant data points.¹⁶ In contrast to velocity, where discrete

¹⁶ Lemaire et al. (2015) pointed out that annual mileage is by far the most important factor determining the accident frequency and consequently is a common tariff criterion. In order to avoid interrelations with other conventional criteria, annual mileage does not appear to be an ideal weighting factor, thus we decided to use the measurement duration instead.

values are available, the medians and interquartile ranges have to be estimated with respect to acceleration and deceleration. Therefore, we make an assumption of a normal distribution for the acceleration behaviour and a gamma distribution for the deceleration respectively, based on the interval and its next neighbours. In this context, we filter the noise, i.e. replace the empirical frequencies of both intervals adjacent to the origin with those of the simulation results. In addition, we do not consider high-risk ranges, such that we only investigate the range of -8 to +8 m/s².

The classification is consequently made via distances using the following classification principle:

$$d(x_j, y_i) = \min_i \{d(x_j, y_i) | 1 \leq i \leq 6\} \Rightarrow \text{driving profile } j \in \text{driving style } i$$

where $\mathbf{x}_j = (x_1, \dots, x_6)'$ is the measured respectively gathered feature vector (i.e. standardised medians and interquartile ranges of the velocity, acceleration and deceleration) of the examined driving profile, $\mathbf{y}_i = (y_1, \dots, y_6)'$ is the feature vector of driving style i and $d(x_j, y_i) = \|x_j - y_i\|_2$ is the Euclidean distance. Thus, the underlying classification principle states that a driving profile is attributed to the driving style to which the feature vector has smallest distance. To achieve this, the medians and interquartile ranges are standardised so that they can be directly compared to one another.¹⁷

4.2 Results

In addition to the categorization of the vehicle trips into six driving styles in Figure 12, the corresponding summary statistics are also shown. Approximately 99 % of the trips can be attributed to the driving styles characterised by relatively moderate acceleration and deceleration values (see driving styles Ia and IIa). However, these driving styles differ to high

¹⁷ The standardization is performed using the following standard procedure: $z = \frac{x - m_{est}}{s_{est}}$, where m_{est} is the median, estimating of the mean, and s_{est} is the interquartile range, as an estimate of the standard deviation.

degree as far as velocity is concerned, depending on dominant road type. 16 % of all trips exhibit higher speed, whereas the velocity is average or moderate in 83 % of the trips; it should be noted though that this perspective is skewed due to the fact that total distance is even larger for the driving styles with higher speed. Also, the ratio of data points compared to the distance is much smaller with higher speed. This can be attributed to the technical fact that the present measurement apparatus takes less observations at high speed without much change parameters. Driving style IIb, in which both the acceleration and deceleration behaviour as well as the velocity processes are more speedily, seldom occurs with a meagre share of 1 % of the trips. Altogether, it is to be stated that sporty driving styles, with considerable high absolute values across at least the acceleration and deceleration parameters, do only occur occasionally. It is important to bear in mind that the clustered driving styles based on simulation data provide some substantial indications of the range of potential driving behaviour, however, without a statement about the probability of occurrence. This is due to the fact that the primary aim of the simulation is to model all possible driving styles, albeit not normalised over regular portfolio behaviour, since this is not known a priori, i.e. without gauging from empirical data.¹⁸ Only the analysis of real driving profiles evidently demonstrates that adverse driving behaviour with (assumed) higher risk and consequently higher premium is rightly rare. However, the limits of the approach should be pointed out: The vehicle trips must be divided more into several sections to select exactly the rare, adverse driving styles.

¹⁸ To complete this assessment, it seems opportune to address the question of self-sampling arising from an empirical telematic portfolio: It could very well be that driving styles of customers applying for telematic products in this introductory stage of the technology might be significantly different from a standard portfolio because of a selection effect.

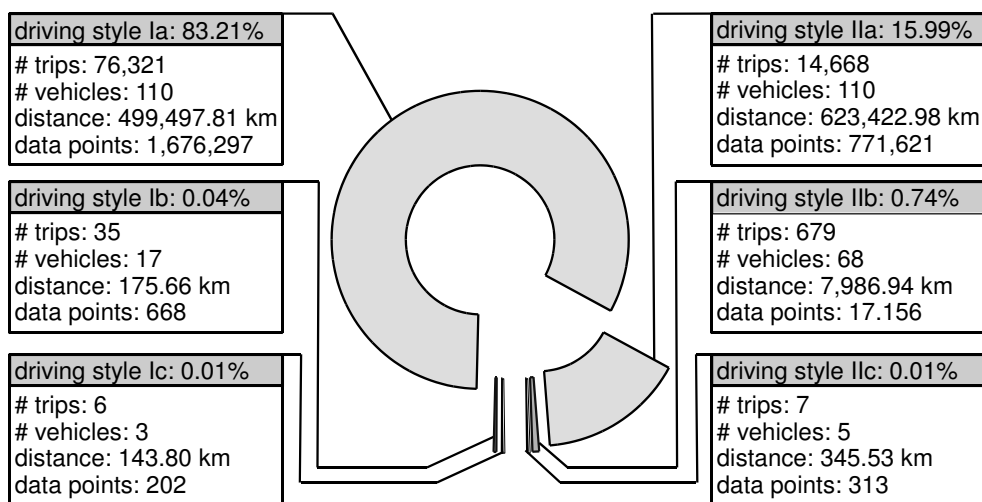


Figure 12. Distributions of the vehicle trips and corresponding summary statistics.

From the number of vehicles per driving style in Figure 12, which is in the sum over all styles considerably greater than the total number of vehicles in the whole telematic portfolio, it is clearly evident that trips of the same vehicle are not necessarily solely attributed to one driving style. This means that the driving behaviour of several different trips with the same vehicle may result in differently attributed driving styles. Figure 13 shows that the trips of each vehicle belong to at least two driving styles, the trips of 62.7 % of all vehicle even covers between three to six different driving styles. This particularly illustrates that indeed driving style differentiation can be achieved under empirical real-world conditions. Moreover, the fact that more than half of all vehicles show trips in at least one of the supposedly less defensive driving styles. The reasons for this are switching drivers and routes with different traffic load as well as local conditions and inconsistent driving behaviour in itself. Even though the classification is performed with statistical foundation and still without risk assessment, one initial, general observation for the pricing approach can be derived from these findings, namely that a discount on the premium must be the result of weighted evaluation of the driving styles.

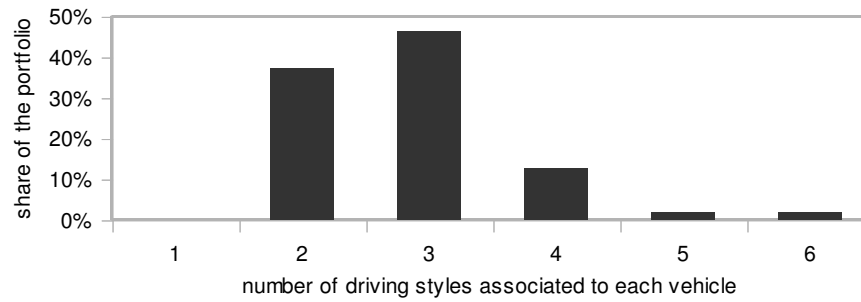


Figure 13. Survey of the number of driving style matches per vehicle.

Overall, it turns out that the driving styles based on empirical data correspond well with the driving styles deduced from simulated driving profiles. We clearly observe that driving style acceleration medians as well as deceleration medians of simulation and empirical portfolio match closely for all driving styles (see Figure 14 respectively Appendix B for a more quantitative listing).¹⁹ The good consistency of the results of the two data sets indicates that the used measures of central tendencies and dispersion, the median and interquartile range, sufficiently describe the distributions of driving behaviour for classification within the present technical realization. Thus, the classification can be carried out on aggregate data which is important in two ways. First of all, we can reduce the total data volume before transfer and consequently minimize the costs associated with transfer and storage management. Also, this way we consider the national data protection norms of the German insurance industry, with regard to data minimization and data avoidance.

¹⁹ We refrain from correlating Figure 14 with the velocity medians, since the empirical telematic portfolio covers a special customer segment, thus only realizing the simulated behaviour spectrum partially.

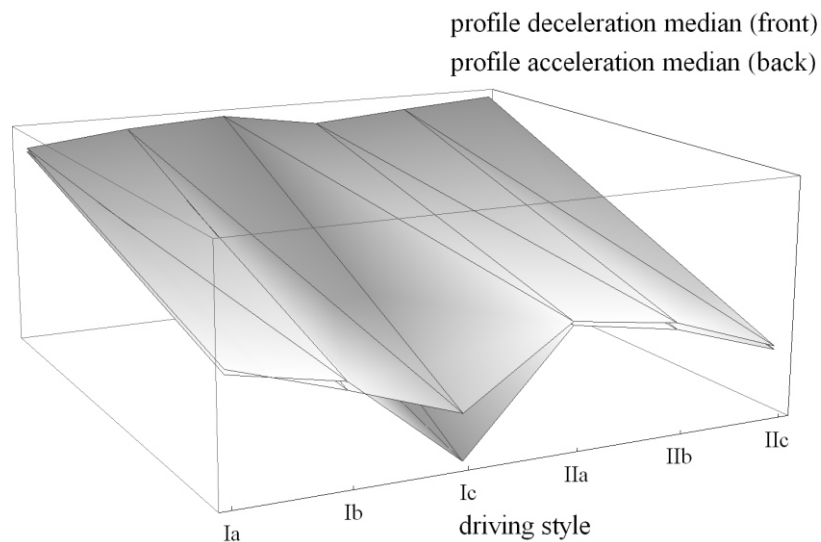


Figure 14. Polygon match of acceleration and deceleration medians (upper layer: stochastic simulation; lower layer: empirical).

5. Conclusion

It is not very likely that the high complexity of the actuarial tariff table will allow incorporating variables of driving behaviour into the table so long as an insurer has not yet established a risk experience in respect of telematic data. In spite of that, the question whether sensor data-derived tariff factors are substitutes for conventional tariff factors does not arise. However, subsequent discounts on the premiums dependent of the driving behaviour are a temporary opportunity to incorporate initial insights to telematic data. Premium reduction, which have to be determined on the basis of official accident statistics so long as no risk experience exist, acts as a stimulus to consumers concluding a telematic policy in order to establish a risk experience so that over the long term, variables of driving behaviour can substitute for conventional tariff criteria. In the actual literature several questions concerning the differentiation and evaluation of driving behaviour are not answered. Thus, this paper provides a basis for optimised short- to medium-term pricing including telematic data, presenting a classification of driving profiles. Selected driving styles, which arise when driving profiles are modelled using a stochastic simulation, are considered. This approach accounts for possible parameter ranges as well as interdependencies and exemplary focuses on velocity, acceleration and deceleration behaviour.

The analysis leads to three main findings for insurance companies, each concerning the automobile product development, generating innovations, the actuarial division, calculating tariffs, and management, undertaking pricing decision. First, a systematic method is introduced for generating specific driving styles using a vehicle mobility model. By connecting the model results to empirical insurance telematic data, we submit verification that driving profiles could be attributed to the identified driving styles. These styles are plausible and comprehensive because, as shown, the simulation model reflects the wide range of individual characteristics of driving behaviour.

Second, the analysis of the empirical telematic portfolio illustrates that the measurement and evaluation of driving behaviour should focus on essential information and furthermore exploits the full potential of differentiation. In spite of the fact that present telematic data is still subject to unfinished detection procedures, it is clearly established how partially inconclusive and possibly inaccurate telematic data can still be used to gain insights as long as the relevant features, such as the distributions main parameters, can be inferred.

Third, the introduced method for analysing specific driving behaviour also shows how the classification of driving styles can be carried out on aggregate data, i.e. measures of central tendencies as well as dispersion, using only a few variables including their interdependencies. This specific result appears of particular importance in the context of national privacy protection, in particular, with regard to the prime principles of data minimization and data avoidance be met by any telematic tariff as far as personal data is concerned.

With this in mind, some methodological and conceptual limitations should be taken into account in the interpretation of our results. The driving styles shown here should only serve as an example, encouraging the extensive use of statistical methods as a basis for analysis of driving behaviour. Although we selected detailed model data in our analysis, other empirical portfolio specific parameter sets should be applied to complete the picture. The verification of

the model results should also be replicated with real-world telematic data sets of different composition of portfolio and data granularity in order to validate our findings. Moreover, it should be useful to extend the analysis by further data, in particular variables of driving situation such as driving time or road conditions, which are far easier to analyse and can be approximated as conventional tariff criteria.

The results furthermore emphasize that the telematic risk assessment approach could have the potential for creative destruction in the matter of pricing innovation. The objective data on the individual usage of a vehicle provide new information in actuarial decision making. Thus, this approach could prospectively create a new insurance pricing structure, more differentiated and individualised than before. Insurers who use it can more adequately price the actual risk and gain competitive advantage.

Appendix A: Vehicle mobility model

Before we can introduce the RWP model, we need to present a set of abstract axioms and rules of movement necessary to describe the vehicle behaviour as close to realistic traffic conditions as possible.

Axioms

- Time-discrete system. A driving profile is given by a sequence of movement vectors in time-discrete succession – in general, GPS-based position measurements are also of this format.
- Microscopic model. The movement patterns of individual vehicles are based on the specific driving behaviour of the vehicle driver as well as the technical properties of the vehicle itself. The granularity of the description thus must be chosen such that distinctions can be drawn on the level of individual driver-vehicle units.
- Stochastic process. The driver-vehicle units as well as the environmental conditions (weather, traffic jams, resting times) are of stochastic nature.

Rules of movement

- Maximum velocity. The vehicle fits the individually desired velocity to the maximally allowed velocity. Limiting factors such as traffic density and road conditions and road type are included in the determination of the recommended speed, i.e. the velocity considered optimal under recognition of all external conditions.

This is of particular importance in Germany, where special conditions apply: On the Autobahn highways, there is not necessarily a speed limit, but rather a speed recommendation (Richtgeschwindigkeit) of 130 km/h. This means that in principle, the driver can exceed this velocity. The model accounts for this effect by weighting the deviation from the maximum speed less strictly if it is a recommendation instead of a

limit. The model thus captures driving behaviour in countries with and without strict speed limits.

- Acceleration/deceleration behaviour. Vehicles do not start and stop without transition. We decompose the route between waypoints into segments of constant acceleration, so that the vehicle will accelerate at an individual rate at the beginning of the route until it moves with the segment-specific maximum velocity and decelerates at the end, each process conditioned on the type of waypoint in question.
- Stop times. At traffic obstacles like traffic lights, zebra crossings or traffic jams, the vehicle waits for a specific, stochastic waiting time.

Simulation of movement

In essence, the RWP model describes the movement of a driver-vehicle unit in a flat, bounded rectangle $[0, a] \times [0, b] \subset \mathbb{R}^2$ (see Bettstetter et al., 2004). The spatial distribution of all possible waypoints $\mathbf{P} = (P_x, P_y)$ is then uniformly distributed. For each simulated driver-vehicle unit (i.e. a so-called RWP node) $j, j = 1, 2, 3, \dots, m$, a random waypoint $\mathbf{P}_0^{(j)}$ is chosen at the start of the simulation, then a sequence of waypoints $\mathbf{P}_i^{(j)}, i \in \mathbb{N}$, is selected from the restricted area. The movement of each node j consequently can be given as a time-discrete process:

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

The RWP node movement between waypoints is modeled by a segment-specific nominal velocity, sampled from the uniform distribution over $[v_{\min}, v_{\max}]$, where $v_{\min} > 0$ and $v_{\max} < \infty$, and a component $v(r_{i,k})$ unique to the node. Thus, the speed at point $r_{i,k}, k = 0, 1, 2, \dots, n_i$, is given by:

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

Essentially, these nominal parameters are given by speed limits, traffic density and environmental conditions, whereas the personal part $v(r_{i,k})$ depends on the specific types of driver and vehicle. In order to make this mechanism as realistic as possible, before each step a

waiting time $T_{p,i}$ is sampled from the normal distribution given by $t_{p,i} \in [0, t_{p,\max}]$ with $t_{p,\max} < \infty$. In total, the movement period of a node is given by the vector $(\mathbf{p}_{i-1}, \mathbf{p}_i, v_i(r_{i,k}), t_{p,i})$.

Driving profiles

To create specific driving profiles from the sample data we represent the stochastic process of distances between succeeding waypoints by (see Bettstetter et al., 2004):

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

with $L_i^{(j)} = \|P_i^{(j)} - P_{i-1}^{(j)}\|_2 = \left((P_{x,i}^{(j)} - P_{x,i-1}^{(j)})^2 + (P_{y,i}^{(j)} - P_{y,i-1}^{(j)})^2 \right)^{1/2}$. Keep in mind, that the

velocity between waypoints is in general not constant, such that the measurement frequency crucially determines the quality of the velocity profile. In order to obtain segments $\{s_{i,k}^{(j)}, k = 0, 1, 2, \dots, n_i\}$, we decompose every instance $l_i^{(j)}$, depending on the chosen measurement frequency. From equal-time-distance tupels $(s_{i,k}, v_i(r_{i,k}))$, $i \in \mathbb{N}_0$, $k = 0, 1, 2, \dots, n_i$, we can then refine a velocity-position profile, where for waiting delays $t_{p,i}$ we need to add tupels of the form $(0, 0)$. In practice, any details of the movement are captured precisely if the measurement frequency is high enough, because for lower frequencies, velocity changes happening below the time resolution of the measurement cannot be resolved. However, in order to recreate an approximate velocity profile, measurements can be used as (linear) interpolation values. Consequently, for the average velocity between measurements \mathbf{P}_{i-1} and \mathbf{P}_i we find that

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

where $t_{i,k}$ is the time for the segment $s_{i,k}$. Now if the measurement frequency is good enough, we can simplify the expression by taking $t_{i,k} = 1/t_A$:

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

The acceleration profile naturally emerges from the first-order derivative of the velocity profile as $a_i(r_{i,k}) = \dot{v}_i(t, r_{i,k})$, $i \in \mathbb{N}_0$, $k = 0, 1, 2, \dots, n_i$. The average acceleration is then given by:

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

where $v_{i,m_i-1} < v_{i,m_i} \geq v_{i,m_i+1}$ and $v_{i,l_i-1} \geq v_{i,l_i} < v_{i,l_i+1}$ for $a > 0$ or $v_{i,m_i-1} > v_{i,m_i} \leq v_{i,m_i+1}$ and $v_{i,l_i-1} \leq v_{i,l_i} > v_{i,l_i+1}$ for $a < 0$, respectively.

Table 1. Parameters of the vehicle mobility model.

Variational parameter	Symbol	Variational method	Parametrization
waypoint in the area $A = [0, a] \times [0, b] \subset \mathbb{R}^2$	$\mathbf{p} = (\mathbf{p}_x, \mathbf{p}_y)$	$\mathbf{P} = (\mathbf{P}_x, \mathbf{P}_y) \sim U(A)$, i.e. $\mathbf{P}_x \sim U[0, a]$, $\mathbf{P}_y \sim U[0, b]$	$a = 2$ [km] $b = 5$ [km]
pause time at waypoint	t_p	$T_p \sim N(\mu, \sigma^2)$ $t_p \in [0, t_{p,\max}]$ with $t_{p,\max} < \infty$	$\mu = 40$ [s] $\sigma = 20$ [s] $t_{p,\max} = 120$ [s]
segment specific nominal velocity	v	$V \sim U[v_{\min}, v_{\max}]$ with $v_{\min} > 0$ and $v_{\max} < \infty$	$v_{\min} = 5$ [km/h] $v_{\max} = 200$ [km/h]
scale and limit for the velocity of a driver-vehicle unit	$\mathbf{sf}_{v^{(j)}}$ $v^{(j)\max}$	$\mathbf{SF}_{v^{(j)}} \sim N(\mu_{\mathbf{sf}}, \sigma_{\mathbf{sf}}^2)$ $V^{(j)\max} \sim N(\mu_v, \sigma_v^2)$ $v^{(j)\max} > v_{\min\max}$, with $v_{\min\max} < \infty$	$M_{\mathbf{sf}} = 1.02$ $\sigma_{\mathbf{sf}} = 0.05$ $\mu_v = 140$ [km/h] $\sigma_v = 25$ [km/h] $v_{\min\max} = 70$ [km/h]
segment specific acceleration of a driver-vehicle unit	a	$A^{(j)} \sim N(\mu^{(j)}, (\sigma^{(j)})^2)$ $a^{(j)} \in [a_{\min}, a_{\max}]$ with $a_{\min} > 0$ and $a_{\max} < \infty$	$M^{(j)} \sim N(2.5, 0.4^2)$ with $\mu^{(j)} \in [a_{\min}, a_{\max}]$ and $\rho(\mu^{(j)}, \mathbf{sf}_{v^{(j)}}) = 0.90$ $\sigma^{(j)} = \min \left\{ \frac{\mu^{(j)} - a_{\min}}{2.576}, \frac{a_{\max} - \mu^{(j)}}{2.576} \right\}$ [m/s ²] $a_{\min} = 1.0$ [m/s ²] $a_{\max} = 6.0$ [m/s ²]
segment specific deceleration of a driver-vehicle unit	d	$D^{(j)} \sim \Gamma(n^{(j)}, 1/\lambda^{(j)})$ with $n^{(j)} = \mu^{(j)}\lambda^{(j)} \geq 1$ and $\lambda^{(j)} = (\sigma^{(j)}/n^{(j)})^2 > 0$ $d^{(j)} \in [d_{\min}, d_{\max}]$ with $d_{\min} > 0$ and $d_{\max} < \infty$	$M^{(j)} \sim N(2.5, 1.8^2)$ with $\mu^{(j)} \in [d_{\min}, d_{\max}]$ and $\rho(\mu^{(j)}, \mathbf{sf}_{v^{(j)}}) = 0.90$ $\sigma^{(j)} = \min \left\{ \frac{\mu^{(j)} - d_{\min}}{2.576}, \frac{d_{\max} - \mu^{(j)}}{2.576} \right\}$ [m/s ²] $d_{\min} = 1.0$ [m/s ²] $d_{\max} = 8.0$ [m/s ²]

Appendix B: Quantitative characterization of the driving profiles

Table 2. Frequency distribution of acceleration process.

driving style	data base	interval boundary [m/s ²]					
		0 to 0.98	0.99 to 2.45	2.46 to 4.41	4.42 to 6.86	6.87 to 8.00	
total	simulation	3,54%	61,78%	34,15%	0,53%	0,00%	
	empirical	3,65%	88,12%	8,04%	0,17%	0,01%	
I	a	simulation	3,83%	78,47%	17,69%	0,01%	0,00%
		empirical	3,70%	89,15%	7,03%	0,12%	0,01%
	b	simulation	3,59%	50,91%	45,12%	0,38%	0,00%
		empirical	4,73%	75,21%	14,39%	2,79%	2,88%
	c	simulation	3,62%	41,14%	52,89%	2,35%	0,00%
		empirical	9,35%	85,86%	3,63%	0,34%	0,82%
II	a	simulation	3,53%	75,24%	21,19%	0,04%	0,00%
		empirical	3,50%	85,58%	10,62%	0,28%	0,01%
	b	simulation	3,34%	58,14%	38,29%	0,23%	0,00%
		empirical	4,82%	73,39%	19,70%	1,46%	0,63%
	c	simulation	3,25%	43,21%	52,03%	1,52%	0,00%
		empirical	3,56%	87,03%	8,85%	0,56%	0,00%

Table 3. Frequency distribution of deceleration process.

driving style	data base	interval boundary [m/s ²]					
		-8.00 to -3.93	-3.92 to -2.95	-2.94 to -1.97	-1.96 to -0.99	-0.98 to 0	
total	simulation	10,24%	12,21%	22,57%	51,20%	3,78%	
	empirical	0,23%	1,93%	14,51%	79,88%	3,46%	
I	a	simulation	0,98%	4,84%	19,46%	70,54%	4,17%
		empirical	0,11%	1,75%	14,59%	80,15%	3,41%
	b	simulation	16,07%	24,48%	29,39%	26,30%	3,76%
		empirical	17,32%	11,79%	23,05%	45,14%	2,70%
	c	simulation	51,76%	23,68%	13,90%	7,05%	3,60%
		empirical	92,49%	3,31%	0,73%	1,62%	1,85%
II	a	simulation	0,98%	5,04%	20,63%	69,52%	3,84%
		empirical	0,13%	1,51%	12,24%	82,51%	3,61%
	b	simulation	6,09%	14,54%	29,43%	46,42%	3,51%
		empirical	2,74%	15,94%	45,90%	32,24%	3,19%
	c	simulation	34,63%	24,57%	22,13%	15,38%	3,30%
		empirical	52,24%	2,29%	2,61%	39,32%	3,55%

Table 4. Frequency distribution of velocity process.

driving style	data base	measure [km/h]					
		mean	median	iqr	min	max	
total	simulation	49,49	32,48	62,26	0,00	222,73	
	empirical	45,09	31,00	55,00	0,00	271,00	
I	a	simulation	34,41	18,49	37,02	0,00	202,17
		empirical	29,29	22,00	32,00	0,00	221,00
	b	simulation	43,65	26,16	54,14	0,00	205,52
		empirical	29,46	20,00	36,00	0,00	163,00
	c	simulation	46,86	29,97	59,20	0,00	222,73
		empirical	62,39	55,00	94,00	0,00	182,00
II	a	simulation	49,99	36,95	62,03	0,00	201,64
		empirical	74,87	77,00	82,00	0,00	271,00
	b	simulation	68,57	64,63	67,22	0,00	206,30
		empirical	49,91	41,00	56,00	0,00	253,00
	c	simulation	66,40	58,65	79,83	0,00	205,82
		empirical	86,68	102,00	81,00	0,00	174,00

References

- Becke, M. (2005). Unfallrekonstruktion – Geschwindigkeitsermittlung vor Bremsbeginn. VerkehrsrechtsReport, 1/2005, 20-24.
- Bettstetter, C., Hartenstein, H. & Pérez-Costa, X. (2004). Stochastic Properties of the Random Waypoint Mobility Model. *Wireless Networks*, **10(5)**, 555-567.
- Bevington, P. (1969). Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences. McGraw-Hill, New York.
- DAV-Arbeitsgruppe Tarifierungsmethodik (2015). *Aktuarielle Methoden der Tarifgestaltung in der Schaden-/Unfallversicherung*. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe.
- DAV-Arbeitsgruppe Tarifierung (2007). *Berufspflichten des Aktuars bei der Tarifgestaltung in der Schadenversicherung*. Deutsche Aktuarvereinigung e.V., Köln.
- Domeyer, A. (2005). *Spezielle Versicherungen des privaten, des gewerblichen und des Industriegeschäfts*. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe.
- Insurance Europe (2014). Statistics N°50 - European Insurance in Figures. <http://www.insuranceeurope.eu/uploads/Modules/Publications/statisticsno50europeaninsurancefigures.pdf> [accessed July 2015].
- GDV (2012). *Jahrbuch 2012 – Die deutsche Versicherungswirtschaft*. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Berlin.
- Gerpott, T.J. & Berg, S. (2012). Pay-As-You-Drive Angebote von Erstversicherern für Privatkunden: Eine betriebswirtschaftliche Analyse. *ZVersWiss*, **101**, 3-29.
- Hartmann, M. & Nützenadel, 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.
- Heep-Altiner M. & Klemmstein, M. (2001). *Versicherungsmathematische Anwendungen in der Praxis: Mit Schwerpunkt Kraftfahrt und Allgemeine Haftpflicht*. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe.
- Johnson, D.B. & Malz, D.A. (1996). Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks. In T. Imielinkis, and H.F. Korth (eds.). *Mobile Computing*. Kluwer Academic Publishers, pp. 153-181.
- Jun, J., Ogle, J. & 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. & 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.
- Karapiperis, D., Obersteadt, A., Brandenburg, A., Castagna, S., Birnbaum, B., Greenberg, A. & Harbage, R. (2015). Usage-Based Insurance and Vehicle Telematics: Insurance Market and Regulatory Implications. *CIPR Study Series*, **2015-1**, 1-79.
- KBA (2014). *Fahrzeugzulassungen (FZ) – Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern*. Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg.
- Kremslehner, D. & Muermann, A. (2013). Asymmetric Information in Automobile Insurance: Evidence from Driving Behavior. Working paper, Vienna University of Economics and Business, Wien.
- Lange, F. (2006). Unfallrekonstruktion – Anfahrbeschleunigungen. *VerkehrsrechtsReport*, **10/2006**, 377-382.
- Lance, G.N. & Williams, W.T. (1967). A General Theory of Classificatory Sorting Strategies. *Computer Journal*, **9(4)**, 373-380.
- Laas, D., Hartmann, M., Nützenadel, C., Schmeiser, H. & Wagner, J. (2014). *Pricing-Strategien in der KFZ-Versicherung*. Solution Providers Schweiz AG, Dübendorf/Zürich.
- Mangiameli, P., Chen, S.K. & West, D. (1996). A comparison of SOM neural network and hierarchical clustering methods. *European Journal of Operational Research*, **93(2)**, 402-417.
- Paefgen, J., Staake, T. & Thiesse, F. (2013). Evaluation and aggregation of pay-as-you-drive insurance rate factors: A classification analysis approach. *Decision Support Systems*, **56**, 192-201.
- Lemaire, J., Park, S.C. & Wang, K. (2015). The Impact of Covariates on a Bonus–Malus System: An Application of Taylor’s Model. *European Actuarial Journal*, **5 (1)**, 1-10.
- 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> [accessed January 2015].
- Stadler, M. (2008). *Die Kfz-Versicherung*. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe.

- Statistisches Bundesamt (2015). *Verkehrsunfälle 2014 – Fachserie 8 Reihe 7*. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- Stiftung Warentest (2014). Telematik-Tarife in der Autoversicherung: Spion fährt mit. <https://www.test.de/Telematik-Tarife-in-der-Autoversicherung-Spion-faehrt-mit-4692642-0/> [accessed July 2015].
- Toledo, T., Musicant, O. & Lotan, T. (2008). In-vehicle data recorders for monitoring and feedback on driver's behavior. *Transportation Research Part C*, **16(3)**, 320-331.
- Ward, J.H (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, **58(301)**, 236-244.
- Weidner, W. & Weidner, R. (2014). Identifikation neuer Ansätze zur individuellen Kfz-Tarifierung. *ZversWiss*, **103(2)**, 167-193.
- Weidner, W., Weidner, R. & Transchel, F.W.G. (2015). Implementierung der Pkw-Telematik in die Kfz-Tarifierung. *Zeitschrift für Verkehrswissenschaft*, **85(2)**, 91-121.

Modul 9

Aktuarielle Besonderheiten bei der Kalkulation von Telematik-Tarifen in der Kfz-Versicherung

Wiltrud Weidner

Fabian W.G. Transchel

Zeitschrift für die gesamte Versicherungswissenschaft 104(5), 595-614, 2015

DOI: 10.1007/s12297-015-0320-z

The final publication is available at Springer via <http://dx.doi.org/10.1007/s12297-015-0320-z>

Aktuarielle Besonderheiten bei der Kalkulation von Telematik-Tarifen in der Kfz-Versicherung

Wiltrud Weidner · Fabian W. G. Transchel

Online publiziert: 23. Oktober 2015
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

Zusammenfassung Die Verkehrstelematik ermöglicht einen neuartigen Ansatz zur Tarifierung von individuellem Risikoverhalten in der deutschen Kfz-Versicherung. Aufgrund des Umfangs und der Komplexität der Daten sind einfache Zusammenfassungen unzulänglich, stattdessen ist eine umfassende Analyse- und Bewertungsmethodik erforderlich. In dem für diesen Beitrag gewählten Ansatz wird erstmalig auf der Ebene einzelner Fahrstile aufgesetzt. Die Bewertung der Fahrstile erfolgt durch konvexe Linearkombinationen aller Fahrstile auf einem Simplex. Dabei wird ausgenutzt, dass für die Bewertung jeweils nur Risikoanalysen für den Vergleich zweier Fahrstile vorgenommen werden müssen. Die Form der eingeführten Scoring-Funktion erlaubt eine direkte Erweiterung der bestehenden Tariffunktion, entweder über eine Ex-post-Rabattsystematik oder aber durch eine Ex-ante-Aufnahme in das Tarifierungsmodell.

Abstract Telematic technologies enable a new approach towards the pricing of individual risk behavior in German car insurance. The extent and complexity of telematic data require comprehensive methods of analysis and assessment. The present approach is applied on the level of individual driving styles, whereby the actual scoring is achieved through the use of convex linear combinations on a simplex. We make use of the fact that the comparison can be performed on pairs of driving

W. Weidner (✉)
Institut für Versicherungsbetriebslehre, Leibniz Universität Hannover,
Otto-Brenner-Straße 1,
30159 Hannover, Deutschland
E-Mail: ww@ivbl.uni-hannover.de

F. W. G. Transchel
Institut für Theoretische Physik, Leibniz Universität Hannover,
Appelstraße 2,
30167 Hannover, Deutschland
E-Mail: fabian.transchel@itp.uni-hannover.de

styles instead of the whole ensemble. Thus, the format of the introduced scoring function allows for the direct extension of the common tariff functions, either by using ex post discounts or by entering an ex ante risk factor into the tariff model.

1 Einleitung

Es gibt verschiedene Blickwinkel für das Angebot von Telematik-Produkten im Privatkundensegment der Kfz-Versicherung. Für den Wettbewerb ist ein günstiger Tarif unumgänglich, für die Volkswirtschaft ist es der geringere Wertverzehr, wenn Schadenhäufigkeiten und -durchschnitte niedriger ausfallen. Das Finanzministerium hingegen kalkuliert mit der Versicherungsteuer und steigert seine Steuereinnahmen proportional zum Prämienvolumen. Dem Versicherer – genauer dem Shareholder – sind der Marktanteil, der Umsatz und die Effizienz der geeignete Maßstab. Letztlich wird der Verbraucher die Entscheidung anhand der magischen Faktoren Preis, Service und Sicherheit treffen (vgl. Hartmann und Nutzenadel 2015). In diesem preisgetriebenen Umfeld lautet damit die Vorgabe für den Aktuar, die Prämien durch Bildung individueller Risikoprofile stärker zu differenzieren.

Während Telematik-Tarife in den USA, Großbritannien und Italien bereits fest etabliert sind, ist die Assekuranz in Deutschland noch recht zurückhaltend. Zwar nötigt die EU-Regulierung einer verpflichtenden Einführung von eCall ab voraussichtlich 2018 (vgl. Rat der Europäischen Union 2014) die Versicherer, in den kommenden Jahren verstärkt auf das Potential von Verkehrstelematik zu setzen (vgl. Hartmann und Nutzenadel 2015), jedoch fehlen im deutschen Markt Bewertungsgrundlagen und Schadenerfahrungen für den Aufbau eines aktuariell auskalkulierten Telematik-Produktes (vgl. Morawetz 2015). Des Weiteren ist die technisch umsetzbare Granularität der Telematik-Daten aktuell unzureichend zur adäquaten Erfassung von Fahrmanövern (vgl. Nießen 2015). Erste Telematik-Lösungen deutscher Versicherer können daher lediglich als Test- und Experimentierfelder zur Sammlung von Erfahrungen mit der Verkehrstelematik eingestuft werden (vgl. Morawetz 2015).

Die Erstellung eines Bewertungssystems als Grundlage zur Integration von Telematik in die Prämienkalkulation der Kfz-Versicherung gestaltet sich als herausfordernd. Denn die Verkehrstelematik zeigt, dass die Entwicklung eines Pricingansatzes verschiedenste Bereiche innerhalb und außerhalb des Versicherungsunternehmens tangiert. In dieser Arbeit wird aufgezeigt, welche technischen, mathematischen, ökonomischen und rechtlichen Problemfelder für die telematische Produkterweiterung zu erarbeiten sind. Insbesondere wird auf einzelne Entwicklungsphasen des Scorings von tatsächlichem Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung als Erweiterung des vorherrschenden Tarifierungsmodells eingegangen.

Der weitere Beitrag ist wie folgt aufgebaut: In Kap. 2 werden zunächst die allgemeinen Herausforderungen hinsichtlich der Kalkulation von Telematik-Tarifen vorgestellt. In Kap. 3 werden Techniken zur Analyse von Fahrprofilen eingeführt. In Kap. 4 werden Lösungsansätze zur Bewertung von Fahrstilen sowie deren Integration in ein Tarifierungsmodell dargelegt. Es folgt ein Fazit in Kap. 5.

Tab. 1 Probleme bei der Kalkulation von Telematik-Tarifen (eigene Darstellung)

Tarifierungsaspekte		Anforderung	Auswertung
Technisch	Messlogik	Festlegung relevanter Messgrößen	☑
	Messgenauigkeit	Vermeidung (un)systematischer Störungen	☑
	Sendelogik	Unterteilung des Kollektivs nach Risikomerkmale	☑ ☒
	Datenvolumen	Kostenminimierung für Datenübertragung und Speicherverwaltung	☑ ☒
Versicherungsmathematisch	Risikomodell ^a	Schätzung der Schadenerwartung hinsichtlich „telematischer“ Tarifkriterien	☒
	Tarifmodell ^a	Zum Risikomodell korrespondierende Tarifikalkulation	☒
	Tarifbuch ^a	Tarifikalkulation nach Erhebung der Tarifkriterien	☑ ☒
Marktbezogen	Versicherungsprämie	Kostendeckend und kostengünstig	☑
Gesellschaftsbezogen	Akzeptanz	Individuell und risikoadäquat	☑
Rechtlich	Datensparsamkeit und -vermeidung ^b	Minimierung personenbezogener EDV	☑
	Zweckbindung ^c	Auswirkung jedes erhobenen Datenpunktes auf Tarifgestaltung	☑
	Cybercrime	Identifikation von Datenmanipulation und Datenmissbrauch	☑ ☒

☒ problematisch, ☑ etwas problematisch, ☒ nicht problematisch

^avgl. DAV-Arbeitsgruppe Tarifierung (2007), ^b§ 3a BDSG, ^c§ 31 BDSG

2 Herausforderungen hinsichtlich der Tarifierung

Die Kalkulation von Telematik-Tarifen gestaltet sich im Allgemeinen als äußerst herausfordernd, wobei die Komplexität des Kriterienkatalogs durch zum Teil untereinander konkurrierende Anforderungen aus verschiedenen Bereichen deutlich verstärkt wird. In Tab. 1 sind die wesentlichen Tarifierungsaspekte aufgelistet, auf die im Folgenden weiter eingegangen wird.

2.1 Technische Realisierungsvorgaben

An erster Stelle steht die Technologieentwicklung und Softwareimplementierung der Realisierungsvorgaben gemäß Pflichtenheft. Demzufolge ist eine konkrete Messlogik für klassische Lage- und Bewegungsparameter wie Ort, Zeitpunkt, Geschwindigkeit und Beschleunigung zu entwickeln, die alle wesentlichen Informationen extrahiert. Neben der Identifikation konkreter Messgrößen ist die Festlegung der Abtastfrequenz¹

¹Die Abtastfrequenz f_A [1/s] kennzeichnet die Häufigkeit, mit der ein kontinuierliches Signal pro Sekunde gemessen und als diskreter Wert ausgegeben wird (vgl. Werner 2012). Je dichter die Abtastzeitpunkte beieinander liegen, desto besser kann die Bewegung reproduziert werden (vgl. Weidner und Weidner 2014).

von entscheidender Bedeutung für die Güte der Abbildung der tatsächlich beobachteten Bewegung. Für die endgültige Festlegung des Umfangs und der Granularität der Echtzeitdaten-Erhebung sind auch die mit dem erheblichen Datenvolumen verbundenen Kosten für die Datenübertragung und Speicherverwaltung heranzuziehen.

Mit der Telematik-Technologie lassen sich detaillierte Beobachtungsgrößen ermitteln, die aber im praktischen Betrieb von vielfältigen Fehlerquellen (Satellitenbahnfehler, Ionosphäre, Multipath, Signalstörung, Abtastfrequenz, Messrauschen) gestört werden (vgl. z. B. Ogle et al. 2002; Zito et al. 1995). Es wird zwischen systematischen Fehlern, also durch das Messsystem verursachte, in der Regel reproduzierbare Fehler, und statistischen Fehlern, verursacht durch zufällige Schwankungen, unterschieden (vgl. Bevington 1969), wobei die Einteilung der Fehler nicht immer eindeutig ist. Zur Verminderung oder gar Eliminierung systematischer Fehler wie z. B. einen Nullpunktfehler und -hysterese beim Beschleunigungssensor, der das Ergebnis stringent in die gleiche Richtung verfälscht, muss das Messgerät oder die Messmethodik geändert werden oder müssen numerische Korrekturen der Messwerte durchgeführt werden (vgl. Huffman und Pless 2003). Zur Durchführung von Korrekturen ist ein Abgleich der Messergebnisse mit theoretischen Werten sowie Ensemble-Messungen erforderlich. Weiter kann es sinnvoll sein, zusätzliche Parameter zur Abschätzung des Fehlerausmaßes hinzuzuziehen.

Hinsichtlich der Beschleunigungsmessung kann beispielsweise die z-Achse (in Richtung der Erdanziehung) als Indikator für die Fahrzeugklasse eingesetzt werden und somit eine Approximation der Dämpfung in y-Richtung (Längsbeschleunigung) hergeleitet werden. Dahingegen können zufällige positive und negative Abweichungen beim Messen durch statistische Fehler, z. B. ein sensorspezifisches Grundrauschen, lediglich berechnet und ex post nicht korrigiert werden (DIN 1319); eine illustrative Fehlerabschätzung kann, wie beispielhaft für einen Ausschnitt aus dem Beschleunigungsprozess in Abb. 1 dargestellt, über Fehlerbalken erfolgen. Der Umgang mit dieser Fehlerart kann etwa durch den Übergang von der zeitdiskreten Messgröße auf seine Änderungsrate (zeitdiskrete Ableitung) erleichtert werden. Bei Betrachtung der Änderungsrate sind sowohl der Fehler der Beschleunigungsmessung als auch der Fehler der Zeitmessung (zeitliche Sensorauflösung) zu berücksichtigen. Die Fehlerintervalle beider Messwerte spannen eine Fläche auf und es wird ersichtlich, dass sich die Messunsicherheit bei einer adäquaten Abtastfrequenz auf diese Art und Weise reduzieren lässt. Die verringerte Messunsicherheit kann zudem bei Erhöhung der Abtastfrequenz weiter reduziert werden.

Im Anschluss an die Definition der Datenerhebung gilt es, eine Sendelogik aufzubauen, die ausreicht, um auf Basis der übermittelten Informationen eine für die Prämiendifferenzierung erforderliche Unterteilung des Kollektivs nach Risikomerkmale vornehmen zu können.

Die Qualität der Telematikdaten ist vollständig abhängig von der technischen Umsetzung der Anforderungen. Eine fragmentäre Mess- und Sendelogik sowie Messfehler bilden eine der großen Unzulänglichkeiten für eine differenzierte, risiko- adäquate Prämienberechnung.

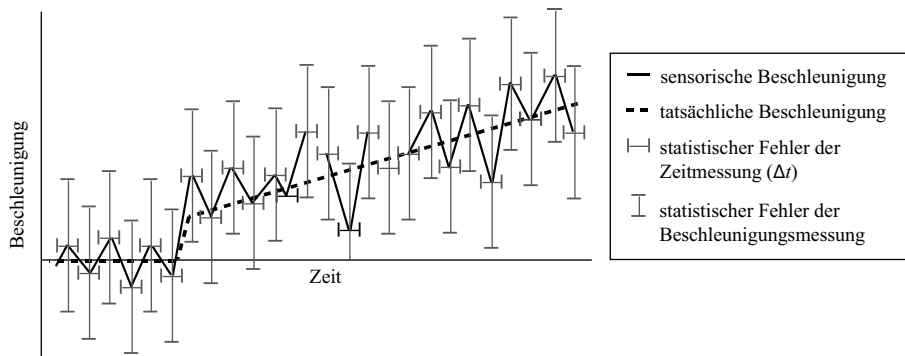


Abb. 1 Beschleunigungs-Zeit-Diagramm mit Fehlerbalken (eigene Darstellung)

2.2 Aktuarielle Kriterien

Die Kalkulation und Tarifierung in der Kfz-Versicherung erfolgt traditionell über die Erstellung eines Risikomodells mittels aktuarieller Methoden, mit dem das zukünftige Schadenaufkommen der zu versichernden Risiken abgebildet wird. Darauf basierend wird unter Hinzunahme von Kosten und Sicherheitszuschlägen eine Tarifstruktur festgelegt und schließlich eine marktbasierende Preisgestaltung mit oftmals modifizierter Merkmalsstruktur vorgenommen (vgl. DAV-Arbeitsgruppe Tarifierungsmethodik 2011).

Daten zur Fahrweise und Fahrzeugnutzung erweitern die Informationen um den Versicherungsnehmer, sodass sich das konkrete Risiko besser abbilden lässt. In Bezug auf telematische Tarifmerkmale müssen jedoch erst Schadenerfahrungswerte zur Risikoabschätzung aufgebaut werden: Wie häufig führt zu geringe Geschwindigkeit auf der Landstraße zu gefährlichen Überholmanövern? Ist starkes Bremsen als Risikoprävention oder als riskante Fahrweise zu bewerten? Landen Wochenendfahrer häufiger im Graben als Pendler? Wie oft sind Raser in Auffahrunfälle verwickelt? Ist regelmäßiges Rasen gefährlicher als eine einmalige riskante Fahrt? Das bedeutet, dass die Prämie nach dem Fahrverhalten nicht – wie herkömmlich – direkt auf Basis einer Schadenbedarfsanalyse erfolgen kann. Stattdessen Bedarf es zunächst einer detaillierten Analyse der Unfallstatistiken zur Identifikation von Risikotreibern hinsichtlich Schadenhöhen und -häufigkeiten sowie einer Implementierung einer systematischen Analysemethodik von Telematik-Variablen, um die Risiken in Bezug auf telematische Tarifkriterien approximativ einschätzen zu können. Ohne Rückgriff auf fundierte Erfahrungswerte, abgestellt auf das konkrete Risikokollektiv, ist die Vorhersehbarkeit und Kalkulierbarkeit der möglichen Schäden deutlich eingeschränkt. Die Einführung einer Ex-post-Rabattsystematik auf die bestehenden Kfz-Versicherungstarife scheint indessen umsetzbar. Aufbauend auf der Stabilität der bewährten technischen Kalkulation nach statistischen Tarifkriterien erfolgt auf diese Weise eine Modifikation des Tarifmodells durch Gewährung von individuellen Zusatzrabatten basierend auf der versicherungsmathematischen Erstellung von persönlichen Risikoprofilen. Der Ansatz kann also bereits als Verfeinerung der herkömmlichen Tarifierung angesehen werden. Ferner dienen Prämiennachlässe für Versicherungsnehmer

als Anreiz, eine telematische Produkterweiterung abzuschließen. Dieses gewonnene Telematik-Portfolio erlaubt es dem Versicherer sukzessive, eine Schadenerfahrung aufzubauen, bis letztendlich ein neuer multiplikativer Risikofaktor gemessen über telematische Tarifmerkmale wie die Geschwindigkeit, Beschleunigung, Straßentyp, Tageszeit etc. in das Risikomodell integriert werden kann.

2.3 Markt- und gesellschaftsbezogene Rahmenbedingungen

Die Kfz-Versicherung umfasst eine Vielzahl versicherter Risiken, die versucht werden, mittels diverser statistischer und objektiver Tarifmerkmale möglichst vollständig abzubilden. Dabei war über die letzten zwei Jahrzehnte hinweg eine kontinuierliche Zunahme von Tarifmerkmalen sowie deren Kombinationen zu beobachten (vgl. Domeyer 2005; Hartmann und Nützenadel 2015). Zwar wurde damit primär die Intention verfolgt, möglichst risikogerechte Beiträge zugunsten der Versicherten zu erzielen, eine vollkommen risikogerechte Tarifgestaltung wurde jedoch – auch vor dem Hintergrund von gesetzlichen Anforderungen zum Gleichbehandlungsgrundsatz – nicht erreicht. Charakteristische Beispiele sind Policen mit jungen und alten Fahrzeugnutzern. Die Tarife dieser bis dato vermeintlich gleichen Versichertenkollektive sind durch hohe Risikoaufschläge gekennzeichnet; unzulänglich differenziert wird bislang im Hinblick auf das Fahrverhalten. Die deutschen großen Kfz-Versicherer haben diesen Umstand bei der Produktgestaltung nun zur Kenntnis genommen und haben sogenannte Telematik-Tarife bereits eingeführt oder angekündigt (vgl. z. B. finanzen.de 2015). Auf diese Weise wird dem Prinzip der verursachungsgemäßen Zurechnung von Leistungen besser entsprochen und somit das individuelle Äquivalenzprinzip weniger stark verletzt. Eine derartige individuelle Tarifierungsmethodik wurde allerdings erst durch die moderne personenbezogene Datenverarbeitung im Zuge der elektronischen Datenverarbeitung möglich.

Obwohl es sich bei der Kfz-Haftpflichtversicherung um eine Pflichtversicherung handelt (§ 1 Pflichtversicherungsgesetz), ist die Akzeptanz der Prämiendifferenzierung wesentlich höher als in anderen Versicherungsarten. Im Gegensatz etwa zur Berufsunfähigkeits- oder Krankenversicherung können Versicherungsnehmer ihre Tarifierungsmerkmale der Kfz-Versicherung unmittelbar beeinflussen, z. B. durch die Wahl des Fahrzeugs oder das Fahrverhalten (vgl. z. B. Bader 2015; Versicherungsmagazin 2015). Außerdem sind aggressives Fahrverhalten oder Alkohol am Steuer mit Blick auf den Schutz der Interessen Dritter, dem Kerngedanken einer jeden Haftpflichtversicherung, keine schützenswerten Eigenschaften.

Ferner kann die Prämiendifferenzierung durch Telematik-Tarife zur Verbesserung der Verkehrssicherheit beitragen (vgl. Towers Watson 2013) und folglich in kostengünstigeren Versicherungsprämien resultieren. Die Sanktionierung des individuellen verkehrsgefährdenden Fahrverhaltens führt bereits präventiv und damit vor Eintritt eines Unfalls zu einem reduzierten Prämiennachlass. Im Gegenzug wird verkehrssichere Fahrweise direkt belohnt.

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass die Effizienz im Kfz-Versicherungsmarkt erhöht werden kann, wenn das Fahrverhalten und die Fahrzeugnutzung über telematische Risikofaktoren gemessen und in der Tarifierung genutzt werden.

2.4 Rechtliche Zulässigkeit und Instrumente

Die Verkehrstelematik eröffnet die Möglichkeit, genaue Bewegungsprofile einzelner Verkehrsteilnehmer zu erstellen, was eine völlige Öffnung der Privatsphäre bedeutet. Gesammelt werden Daten zum Fahrverhalten und zur Fahrzeugnutzung des Fahrzeugführers, d. h. Daten mit Personenbezug, die – abhängig von der Prozessorganisation – üblicherweise für den Kfz-Versicherer, den Mobilfunk-Netzbetreiber, dem IT-Dienstleister, Portal- sowie App-Anbieter und Fahrzeughalter in vollem Umfang oder zumindest teilweise zugänglich sind (vgl. z. B. Sparkassen Direktversicherung 2013; Itzehoer Versicherungen 2014). Eine solche hochgranulare Datensammlung zur Bildung von Persönlichkeitsprofilen zum Fahrverhalten ist stets datenschutzrechtlich problematisch, der Datenumgang an sich ist aber nicht notwendig datenschutzwidrig.² Das Datenschutzrecht trägt dazu bei, das Persönlichkeitsrecht zu schützen. Der Datenschutz orientiert sich dabei am Prinzip der Datensparsamkeit und Datenvermeidung (§ 3a Bundesdatenschutzgesetz) sowie der Zweckbindung (§ 31 Bundesdatenschutzgesetz).³ Die Verarbeitung personenbezogener Daten ist grundsätzlich nur dann erlaubt, wenn die erhobenen Datenpunkte für die Tarifgestaltung des konkreten Versicherungsvertrags von Bedeutung sind. Zum einen ist offensichtlich, dass die Datenerhebung und -verarbeitung zur Fahrprofilerstellung den Kerngedanken im Rahmen der Kalkulation von Telematik-Tarifen darstellt und damit unerlässlich für die Vertragsdurchführung sind (vgl. z. B. Herting 2015). Zum anderen ist eine minimale Datenanforderung nötig, um das Entstehen von Daten mit Personenbezug von vorneherein auf ein Mindestmaß zu beschränken und zudem, um gewährleisten zu können, dass tatsächlich die komplette, festgehaltene Datengesamtheit zur Bildung des Risikoprofils einbezogen wird. Sowohl aus Datenschutzsicht als auch aus wirtschaftlicher Sicht gilt es, sich auf die wenigen, richtigen, zur Big-Data-Analyse benötigten Daten zu beschränken, anstatt alle möglichen Daten zu sammeln.

Zum Datenschutz kommt das Thema der IT-Sicherheit hinzu. Es sind teure regulatorische Auflagen und Standardisierungs- bzw. Zertifizierungszwänge zu befürchten, wenn sich Sicherheitslücken herausstellen. Auch wenn das Thema möglichst aus den Medien herausgehalten wird, wird eine effiziente Betrugsabwehr aufgrund mit der Technologie verbundenen Möglichkeiten für Hacking-Angriffe von Bedeutung werden. Mit der Zielsetzung, nur noch prämienreduzierende Fahrweisen zu melden, können verschiedene Arten der Datenmanipulation interessant werden. Der wohl unkomplizierteste Weg ist die Verhinderung der Datenübertragung durch Abschalten oder Herausnahme der Telematik-Box vor markanten Fahrten. Eine Datenänderung

²Die Kfz-Versicherung ist grundsätzlich fahrzeugbezogen, d. h. versichert ist ein bestimmtes Fahrzeug (vgl. KKB 2008); lediglich die Einteilung der Risikofaktoren zur Erstellung des Risikoprofils erfolgt in Abhängigkeit vom festgelegten Nutzerkreis fahrzeug- und personenbezogen (vgl. Heep-Altiner und Klemmstein 2001). D. h., dem Versicherer ist der Fahrzeugführer zum Zeitpunkt der Datenerhebung – mit Ausnahme der alleinigen Nutzung durch den Versicherungsnehmer – nicht eindeutig bekannt. Allerdings erlauben die erhobene individuelle Fahrweise und Fahrzeugnutzung konkrete Rückschlüsse auf eine bestimmte Person (vgl. Roßnagel 2014).

³Weiter ergeben sich aus dem Datenschutzgesetz Fragen nach der Erlaubnisnorm, Datenhoheit und Verantwortlichkeit hinsichtlich der gesetzlichen Rechtfertigung der Datenerhebung. Auf die Erörterung dieser Aspekte der Rechtmäßigkeit wird verzichtet, da sie unabhängig von sonstigen aktuariellen Tätigkeiten ist.

oder Löschung kann auch durch Eingriff auf die Mess- und Sendelogik mit selbst entwickelter Software oder gar einem der Telematik-Box vorgeschaltetem Gerät zur Simulation umfangreicher Bewegungsdaten mit günstigem Risikoprofil erfolgen. Die Herausforderung besteht im ersten Schritt in der Erkennung von Unregelmäßigkeiten in aufgezeichneten Telematikdaten, z. B. eine drastische Änderung des Fahrstils oder ein zu monotoner Fahrstil, über speziell entwickelte Software.⁴ In einem zweiten Schritt ist eine Überprüfung der Auffälligkeiten durch Abgleich der fragwürdigen Fahrdaten mit Daten aus Modellen und dem gesamten Ensemble nötig. Auf diese Weise kann ermittelt werden, ob beispielsweise die Brems- und Beschleunigungsvorgänge auf den jeweiligen Fahrzeugtyp abgestimmt sind oder die Fahrweise zum regional üblichen Verkehrsaufkommen passt.

Ebenso nimmt das Potential des Crackings sensibler Daten mit Big Data zu (vgl. z. B. Kurz 2015; Krieger 2015). Im Hinblick auf den Datenmissbrauch durch unbefugte Dritte bedarf es technisch-organisierter Schutzmaßnahmen.

3 Analysemethodik hinsichtlich Fahrprofilen

Erste Versicherer in Deutschland ziehen die Telematik-Technologie zum Pricing heran. Grundlage bilden univariate Auswertungen telematischer Merkmale wie der Geschwindigkeit, Beschleunigung, Tageszeit und dem Straßentyp (vgl. z. B. Sparkassen Direktversicherung 2014). Auch wenn dieser Ansatz offensichtlich erste Implikationen im Hinblick auf die Risikobewertung zulässt, scheint es erstrebenswert, einen wissenschaftlich fundierten Ansatz zur systematischen Erfassung und Analyse des Fahrverhaltens und der Fahrsituation zu suchen (vgl. Morawetz 2015; Nießen 2015). Daher wird in diesem Abschnitt im Speziellen auf die Möglichkeiten univariater sowie multivariater Analysen eingegangen und die Clusteranalyse als strukturentdeckendes Verfahren aufgezeigt.

3.1 Minimale Datenanforderung

Aus aktuarieller Perspektive ist eine verbesserte Schadenprognose, und daraus abgeleitet eine Verfeinerung der herkömmlichen Tarifierung, das vorrangige Ziel, welches mit der Einführung eines jeden telematischen Tarifierungsmerkmals verfolgt wird. Daran ist die Wahl der telematischen Messgrößen sowohl qualitativ als auch quantitativ auszurichten. Zwar erlaubt der Einsatz von Parametern und Variablen in großem Umfang eine exakte Nachbildung von Bewegungsprofilen inklusive damit einhergehender Fahrzeug- und Umweltmerkmale. Allerdings ist es zur Erzielung einer höheren Genauigkeit der Risikoprofilabbildung unter Erhalt der Transparenz der Zusammenhänge zwischen telematischen Messgrößen erforderlich, sich auf die relevanten Größen zu beschränken.

⁴Betrugserkennungssoftware wird von deutschen Versicherern ex post zur Schadenfallprüfung bereits weitläufig eingesetzt (vgl. z. B. Köneke et al. 2015). Vergleichbar mit der Plausibilisierung und Überprüfung der Angabe von herkömmlichen statistischen Tarifmerkmalen, etwa die in der Kfz-Versicherungspolice zu niedrig angegebene jährliche Fahrleistung, ist im Falle der telematischen Big-Data-Analyse eine umfangreiche ex ante Datenmanipulationserkennung durchzuführen.

Wesentliche Bestandteile der Datenanalyse sind die Validierung, Aufbereitung und Auswertung der erfassten Telematik-Daten. Die Überprüfung der Datensätze auf Qualität und Vollständigkeit grenzt eng an die im vorangehenden Kapitel genannten technischen Aspekte an. Für die Datenauswertung wird unterschieden zwischen multivariaten oder mehrdimensionalen und univariaten oder eindimensionalen Objekten. Multivariat bedeutet hier, dass ein Objekt durch mehr als ein Merkmal ausgeprägt ist, bzw. die Merkmale nicht ursächlich unabhängig sind. Es erfolgt also eine Betrachtung mehrdimensionaler Daten, d. h. eine gemeinsame Betrachtung mehrerer (eindimensionaler) Variablen. Beispielsweise können für den Fahrstil gleichzeitig die Variablen Fahrleistung, Geschwindigkeit und Beschleunigung (in Längs- und Quer- richtung sowie in Richtung der Erdanziehung) erhoben werden. Univariat hingegen bezeichnet eine für sich getrennte, unabhängige Betrachtung einer Variablen.

Wird die Messgröße als eindimensional betrachtet, obwohl sie von mehreren Variablen abhängt, gehen Informationen verloren und werden ggf. falsche Rückschlüsse bei der Risikobewertung gezogen. Beispielsweise ist die Erkenntnis, dass das Unfallrisiko in Abhängigkeit von der tageszeitlichen Schwankung der Verkehrsnachfrage sowie von der Helligkeit bzw. Dunkelheit stark variiert nicht neu (vgl. Statistisches Bundesamt 2015). Scheinbar lässt sich dieser bivariate Sachverhalt univariat über die Tageszeit abbilden. Direkt unberücksichtigt bleiben dadurch jahreszeitbedingte Sichtverhältnisse und Straßenverhältnisse wie etwa ein erhöhtes Risiko bei winterlicher Dämmerung durch blendendes Sonnenlicht oder bei vermehrtem Wildwechsel im Herbst und Frühling. Auf die Diskussion weiterer Fahrsituationsvariablen, insbesondere von Witterungsbedingungen im Allgemeinen, wird an dieser Stelle bewusst verzichtet, um den Rahmen nicht weiter auszudehnen. Mit Blick auf das Fahrverhalten ist im Besonderen darauf zu achten, keine falsch-negativen Bewertungen durch isolierte Betrachtung einzelner Faktoren zu erlangen. Nur, wenn ein Fahrmanöver vollständig erfasst wird, kann es identifiziert und adäquat bewertet werden. Wird im Folgenden von einem „Fahrstil“ gesprochen, so steht dieser Begriff für eine differenzierte Betrachtung und Auswertung aller Bewegungsvektoren, die das Fahrverhalten beschreiben.

Entscheidend ist überdies die Verdichtung der Daten auf ein notwendiges und überschaubares Maß im Hinblick auf die Transparenz wichtiger Zusammenhänge. Zur Datenreduktion dienen statistische Maße, die eine Datenreihe zumeist über eine Zahl beschreiben. Um den Informationsverlust gering zu halten, kann es nützlich sein, statistische Kennwerte wie z. B. Lage- und Streuungsmaße in Abhängigkeit von der Datensituation und dem Skalenniveau zu kombinieren. Eine Datenreduktion kann direkt im Zuge der Datenerhebung erfolgen, z. B. durch Bildung von Durchschnittsn über festgelegte Zeitintervalle bei hoher Abtastfrequenz, und somit zugleich die Kosten für die Datenübertragung und Speicherverwaltung reduzieren. Andererseits dient eine Strukturierung der Rohdaten in der Phase der Datenaufbereitung und -analyse vorerst dazu, wesentliche Zusammenhänge hervorzuheben.

3.2 Klassifizierung von Fahrprofilen

Für die Durchführung einer Tarifikalkulation und damit bereits für die Aufstellung einer Scoring-Funktion wird eine stabile Datenbasis vorausgesetzt (vgl. DAV-Ar-

beitsgruppe Tarifierungsmethodik 2011). Diesbezüglich sind nach Durchführung der ersten Analyseschritte hinsichtlich Datengranularität und -aggregation diejenigen Erhebungsgruppen zu identifizieren, die in den jeweiligen Objekten einen hohen Erklärungsgehalt aufweisen. Im Hinblick auf die multivariate Beschreibung des Fahrverhaltens ist die Ermittlung signifikant unterschiedlicher Fahrstile von aggressiv, über sportlich und defensiv, bis hin zu übervorsichtig evtl. sogar differenziert nach Straßentypen denkbar (vgl. Weidner et al. 2015a; Weidner et al. 2015b). Bei univariater Betrachtung von Bewegungsvektoren, z. B. der Geschwindigkeit, lassen sich Grenzen für das Ausmaß von Über- und Unterschreitungen der Richtwerte herleiten und auch für die univariate Abbildung der Fahrsituation, z. B. über die Tageszeit, lassen sich Kategorien ausmachen. Die Clusteranalyse ist ein Verfahren zur Strukturierung einer komplexen Datenbasis durch die Zusammenführung von Objekten zu Gruppen. Ziel ist es, eine möglichst große Homogenität innerhalb der Gruppen und eine möglichst große Heterogenität zwischen den Gruppen zu schaffen (vgl. z. B. Han und Kamber 2006). Die Clusteranalyse liefert die Basis für das Scoring des Fahrverhaltens und der Fahrsituation durch die Reduktion der Datenkomplexität, d. h. der Anzahl an Bewertungsobjekten, sowie durch die mit stark unterschiedlichen Bewertungsobjekten verschiedener Cluster einhergehende Stabilität.

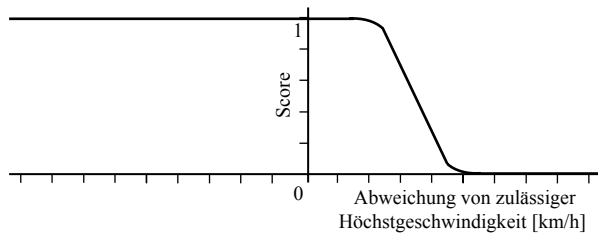
4 Bewertungsmethodik hinsichtlich Fahrverhalten

Wie im vorstehenden Abschnitt angedeutet, gibt es im Bereich der Bewertung und des Scorings für Telematikdaten zwei wesentliche Ansätze. Zum einen kann jede Messgröße wie Geschwindigkeit und Beschleunigung einzeln (univariat) bewertet werden, andererseits verspricht eine gemeinsame (multivariate) Bewertung, die Interdependenzen zwischen den Messgrößen, die den eigentlichen Fahrstil konstituieren, aufzuzeigen. Allerdings ist nicht a priori klar, wie eine Bewertung auf Basis von Fahrstilen erfolgen kann. Im Folgenden werden wesentliche Eigenschaften denkbarer Scoring-Funktionen beider Ansätze klassifiziert und abschließend eine Bewertung der Anwendbarkeit sowohl im Hinblick auf die Praktikabilität als auch Versatilität vorgenommen. Dabei wird aufgezeigt, welche Überlegungen im Speziellen zur Bewertung von multivariat gewonnenen Fahrstilanalysen einbezogen werden müssen.

4.1 Allgemeine Anforderungen an die Scoring-Funktion

Unabhängig von der Art der Implementierung telematik-basierter Informationen in die bestehenden Tarifmodelle scheint es sinnvoll, eine allgemeine Art der Normierung von Telematik-Scorings zu erreichen, die es ermöglichen, gleiche Messdaten in unterschiedliche Tarifierungskonzepte einzubeziehen. Die Grundlage dafür bietet die Proposition, für jedes zu bewertende Objekt X , genauer eine Zufallsvariable bzw. ein Zufallsvektor, eine Scoring-Funktion $s(X)$ zu fordern, die die Risikobewertung auf das Intervall $[0, 1]$ vornimmt. Dabei soll o.B.d.A. gelten, dass das maximal wünschenswerte Verhalten, bei dem das vermeintlich geringste Risiko eingegangen wird, mit dem Wert 1 bewertet wird und das maximal adverse Verhalten mit dem

Abb. 2 Exemplarische Risikobewertung der Geschwindigkeit (eigene Darstellung)



höchstmöglichen Risiko mit dem Wert 0. Weiter wird als technische Eigenschaft die Differenzierbarkeit (und damit die implizierte Stetigkeit) über dem gesamten Definitionsbereich gefordert, um die in den nachfolgenden Teilkapiteln verwendeten funktionalanalytischen Methoden ohne weitere Einschränkungen anwenden zu können; insbesondere bedeutet dies, dass derartige Scoring-Funktionen geeignet sind, lokalkonvexe Vektorräume aufzuspannen, wie sie verwendet werden, um auf dem n -Simplex aller Fahrstile eine gewichtete Gesamtscore-Funktion zu definieren.

Beispielhaft für eine Scoring-Funktion mit den gesuchten Eigenschaften wird die Betrachtung von (univariaten) Geschwindigkeitsüberschreitungen angefügt. In Abb. 2 ist eine exemplarische Bewertung dargestellt, welche Unterschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit sowie minimale Überschreitungen der Richtgeschwindigkeit um wenige km/h nicht bestraft, während ab einem bestimmten, empirisch und aufgrund von Unfallstatistiken zu bestimmenden Wert der normierte Score bis auf 0 absinkt.

An späterer Stelle wird aufgezeigt, dass durchaus andere Funktionalzusammenhänge zwischen Risiko und Score gefunden werden können. Aber allen ist gemein, dass mit Hilfe einer geeigneten Bewertungsfunktion die Abbildung auf das Intervall $[0, 1]$ möglich ist, sodass für jedes telematische Merkmal grundsätzlich ein Score gewonnen werden kann.

4.2 Univariates Scoring

Univariate Telematik-Betrachtungen sind dadurch gekennzeichnet, dass stets jeder aufgenommene Parameter einzeln ausgewertet wird. Das bedeutet bezogen auf das Scoring des gesamten Fahrverhaltens bzw. Fahrsituation, dass für jeden Parameter eine hinreichend mit dem Risiko korrelierende, gleichzeitig jedoch modellkonforme Bewertungsfunktion gefunden werden muss. Für Parameter, deren stochastische Unabhängigkeit hinreichend gesichert ist, kann eine solche Funktion meist durch Polynome geringen Grades angenähert werden. Liegen adäquate Risikoerfahrungen vor, die beispielsweise eine Verknüpfung von fahrlässiger Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit mit hohem Unfallrisiko oder die Erkenntnis erhöhter witterungsbedingter Sachschäden in den Wintermonaten zulassen, können elementare Zusammenhänge modelliert werden, die einfache Scoring-Funktionen zur Folge haben, wie in Abb. 3 veranschaulicht. Hierbei wird deutlich, dass zum einen für die beispielhaften Zusammenhänge a) bis d) elementare Funktionen geeignet sind, zum anderen nicht notwendigerweise die betrachteten telematischen Parameter direkt ausgewertet werden müssen, sondern ggf. auch abgeleitete Größen, wie z. B. die Höchstgeschwindigkeit je Fahrt ermittelt aus der gemessenen Geschwindigkeit.

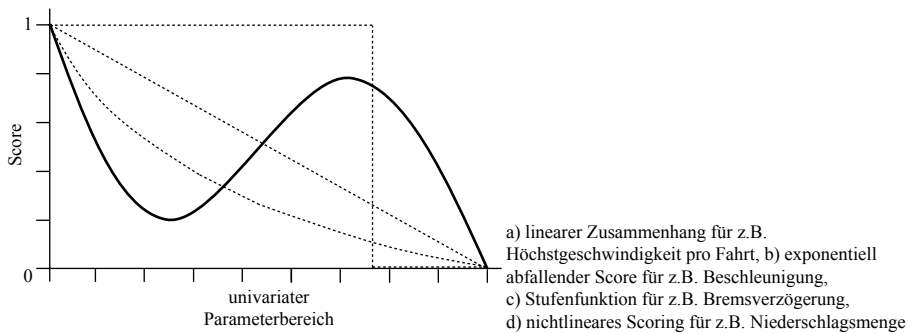
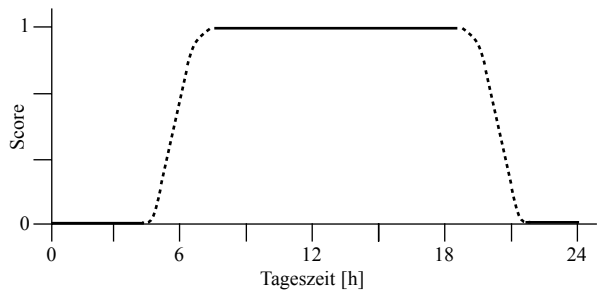


Abb. 3 Beispielfhafte Darstellung einfacher Scoring-Funktionen (eigene Darstellung)

Abb. 4 Heuristischer univariater Zusammenhang zwischen Tageszeit und Unfallrisiko (eigene Darstellung)



Andererseits jedoch ist die Bestimmung der Scoring-Funktion für eine univariate Auswertung nicht immer einfach. Wo immer klassische Tarifmerkmale eine Approximation des Nutzerverhaltens versuchen, ist zu beachten, zur Modellierung des Scores nicht Studien heranzuziehen, deren Schlussfolgerungen bereits im klassischen Modell implizit implementiert sind, sondern ergebnisoffene Annahmen zu treffen, die anhand einer telematischen Schadenhistorie zu verifizieren sind. Dabei ist es im Hinblick auf die Messdaten der Empirie entscheidend, die stochastische Unabhängigkeit von anderen telematisch erhobenen Größen nachzuweisen, sofern konsequent univariat gearbeitet werden soll.

Zur Veranschaulichung wird die Betrachtung der Tageszeit als univariates telematisches Tarifmerkmal erneut aufgegriffen, für welches die Bewertung zunächst trivial erscheint: Während tagsüber das fahrleistungsbezogene Unfallrisiko niedrig und folglich der Score nahe des Maximalwertes sein sollte, steigt das Unfallrisiko im Verlauf der Dämmerung bis zur Dunkelheit an, womit der Score bis auf den Minimalwert fällt, der durchgehend während der Nachtstunden beibehalten wird (siehe Abb. 4) (vgl. Statistisches Bundesamt 2015). Tatsächlich jedoch ist das mit der Tageszeit assoziierte Risiko situationsabhängig; die erhöhte Unfallgefahr während der Dämmerung ist im Winter speziell gekennzeichnet durch die in flachem Winkel auftreffenden Sonnenstrahlen, während sie im Frühjahr und Herbst vermehrt durch Wildwechsel verursacht wird. Sowohl die Länge und der Zeitpunkt der Dämmerungsphasen als auch das Unfallrisiko variieren folglich jahreszeitbedingt. Eine vollständige Bewertung des Parameters Tageszeit muss also in Betracht ziehen, dass das

Tab. 2 Heuristische univariate Bewertung des Fahrverhaltens (eigene Darstellung)

	Merkmalsausprägung					Univariate Bewertung				
	Stil 1 überevorsichtig	Stil 2 vorausschauend	Stil 3 unaufmerksam	Stil 4 sportlich	Stil 5 aggressiv	Stil 1 überevorsichtig	Stil 2 vorausschauend	Stil 3 unaufmerksam	Stil 4 sportlich	Stil 5 aggressiv
Geschwindigkeit	↓	↗	→	↗	↑	++	-	+	-	--
Beschleunigung	↓	↓	→	↑	↑	++	++	+	--	--
Bremsverzögerung	↑	↓	↑	→	↑	--	++	--	+	--
Gesamtergebnis ^a						+	+	+/-	-	--

↑ stark, ↗ mittelstark, → moderat, ↓ gering, ++ stark positiv, + positiv/moderat, - negativ, -- stark negativ

^aGewichtung: 50 % Geschwindigkeit, 25 % Beschleunigung, 25 % Bremsverzögerung

Unfallrisiko immer dann stark erhöht sein wird, wenn Gefahrensituationen gehäuft auftreten. Somit wird eine an erwartete Sichtverhältnisse angepasste Scoring-Funktion nicht notwendigerweise in der Dunkelheit minimal, sondern insbesondere während der Dämmerungsphasen, selbst wenn diese nur in einem gewissen Teil des Jahres relevant sind; in die Scoring-Funktion muss dann z. B. eine Gewichtung des Anteils der Tage mit schwierigen Lichtverhältnissen gegenüber normalen eingehen. Es zeigt sich, dass für die effiziente Abbildung von Sicht- und Straßenverhältnissen auf Basis der Tageszeit sekundäre Informationen heranzuziehen sind, die über eine univariate Schadenhistorie hinausgehen.

Rein univariate Bewertungen weisen zwangsweise das Problem auf, offen oder verdeckt auftretende Korrelationen mit anderen bewerteten Parametern entweder unzureichend oder gar falsch einzubeziehen. Am Beispiel des Fahrverhaltens zeigt sich, dass die univariate Bewertung von kinematischen Telematikvariablen keine risiko- adäquaten Scoring-Funktionen liefern kann. Dazu stellt Tab. 2 eine heuristische Bewertung univariat differenzierbarer Merkmalsausprägungen der Geschwindigkeit, Beschleunigung und Bremsverzögerung zusammen mit einer Gesamtwertung für verschiedene Ausprägungskombinationen der drei Teilkriterien dar. In die Gesamtwertung fließt hierbei die Geschwindigkeit mit einer 50 % Gewichtung, das Beschleunigungs- und Bremsverzögerungsverhalten jeweils mit einer 25 % Gewichtung ein. Insbesondere mit Blick auf die Stile 1 und 2 fällt auf, dass sie trotz unterschiedlichem Fahrverhalten und einem damit einhergehenden heuristisch unterschiedlichem Risiko in der Gesamtwertung nicht differenziert werden. Dies ist ein klassisches Beispiel für die Notwendigkeit der stochastischen Unabhängigkeit von Parametern bei univariaten Betrachtungen, die allgemein durch das sogenannte Anscombe-Quartett veranschaulicht wird (vgl. Anscombe 1973).

4.3 Multivariates Scoring

Bewertungsmethoden, die multivariat wirken, versuchen statt einzelner Messparameter wie der Geschwindigkeit, Beschleunigung oder Tageszeit eine gesamte Bewertung des Fahrstils zu erreichen. Dabei handelt es sich um ein innovatives Maß für das Unfallrisiko eines versicherten Fahrzeugs, das bislang durch klassische Tarifmerkmale angenähert werden muss.⁵

Zu diesem Zweck wird beispielsweise eine Clusteranalyse auf bestimmten Segmenten von aggregierten Daten durchgeführt, um Fahrstile zu differenzieren (vgl. z. B. Weidner et al. 2015a). Diese Fahrstile müssen jedoch entgegen vorschneller Heuristik ebenso wie univariate Auswertungsmethoden risikoadäquat bescored werden. Der Vorschlag dieser Arbeit besteht darin, die Bewertung der Fahrstile durch konvexe Linearkombinationen aller Fahrstile auf einem Simplex vorzunehmen. Der Vorteil dieses Ansatzes ist, dass für die Bewertung jeweils nur Risikoanalysen für den Vergleich zweier Fahrstile vorgenommen werden müssen, die den Raum aller Bewertungen aufspannen.

Gegeben n Fahrstile, sei für alle Paare $\langle i, j \rangle$ von Fahrstilen ϕ_k ($k = 1, \dots, n$) jeweils eine bivariate Scoring-Funktion $s(\phi_i, \phi_j)$ zu bestimmen, die alle Eigenschaften aus der Definition in Abschn. 4.1. aufweist. Dies kann auf zweierlei Weise erfolgen:

Liegt keine Schadenhistorie vor, so ist es möglich, zwischen den Schadenerwartungen von Stil ϕ_i und Stil ϕ_j zu interpolieren. Während bei univariater Bewertung nicht klar ist, welches Fahrverhalten zu welchem Messwert gehört, ist eine heuristische Klassifizierung der Fahrstile durchaus möglich und sinnvoll. Dazu sind die erhobenen kinematischen Telematikdaten hinsichtlich Erkenntnisse der Unfallforschung einzuordnen. Fahrstile, die auf überhöhte Geschwindigkeit hinweisen, müssen ebenso eher negativ bewertet werden wie eine übermäßige Beschleunigung, unruhiges Fahren auf gerader Strecke, ohne dass Indikationen für den Berufsverkehr vorliegen, usw. Hierzu kann es hilfreich sein, eine „heuristische Eichung“ des Fahrstil-Modells durchzuführen. Dies wäre beispielsweise möglich, indem entweder Probanden unter Aufsicht Testfahrten auf öffentlichen Straßen durchführen oder geeignete Maßnahmen zur optischen Auswertung (z. B. mittels Kameraaufzeichnung) getroffen würden, um im nächsten Schritt die synchron aufgezeichneten Telematikdaten mit dem subjektiv empfundenen Fahrstil abzugleichen.

Während vollkommen klar ist, dass signifikante Ergebnisse für diese Art der kinematischen Modellbildung nur über ausreichend differenzierte Testfahrten möglich sind, kann ferner der Faktor Fahrstil selbst ad hoc nach dem Straßentyp (Stadt, Landstraße, Bundesstraße, Autobahn) weiter differenziert werden. Somit ist je nach technischer Implementierung bei Unterscheidung von 4 bis 5 Fahrstilen anhand einer multivariaten Auswertung kinematischer Parameter vorstellbar, dass die Anzahl der

⁵Gegenwärtig versuchen fahrzeugbezogene und soziodemografische Faktoren lediglich möglichst homogene Teilkollektive zu beschreiben, sodass der stochastische Fehler, dadurch verursacht, dass Fahrzeugnutzer innerhalb einer Tarifgruppe sich in praxi sehr unterschiedlich verhalten können und damit kein individuelles Risiko bestimmt werden kann, minimiert wird.

Abb. 5 3-Simplex für vier Fahrstile (eigene Darstellung)



statistisch unterscheidbaren Fahrstile insgesamt in der Größenordnung von bis zu 20 liegt.⁶

Liegt hingegen bereits eine statistisch signifikante Schadenerfahrung zusammen mit den Telematikdaten vor, kann für jeden Fahrstil ϕ_k , aber auch für jede Kombination der Paare $\langle i, j \rangle$ von Fahrstilen ϕ_k direkt die normierte Höhe der Schadenerwartung bestimmt werden.

Ist für alle Paare $\langle i, j \rangle$ von Fahrstilen ϕ_k – mit bzw. ohne Schadenerfahrung – eine komparative Scoring-Funktion $s(\phi_i, \phi_j) \in [0, 1]$ ermittelt, besteht der nächste Schritt darin, darauf aufbauend eine Gesamtscoreing-Funktion für jede Konvexkombination

$$\begin{aligned} \phi_{gesamt} &= \alpha_1 \phi_1 + \alpha_2 \phi_2 + \dots + \alpha_n \phi_n \\ \text{mit } \alpha_k &\geq 0, \sum_{k=1}^n \alpha_k = 1, \phi_k \equiv \vec{e}_k \in R^n \end{aligned} \tag{1}$$

der n Fahrstile zu konstruieren. Dazu kann für n unterschiedliche Fahrstile der $(n-1)$ -Simplex verwendet werden, wie er exemplarisch für vier Fahrstile in Abb. 5 zu sehen ist. Dabei handelt es sich bei Wahl von o.B.d.A. $\phi_k \equiv \vec{e}_k \in R^{n-1}, k=1, \dots, n-1$, und ϕ_n linear abhängig von $\{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_{n-1}\}$ um das einfachste $(n-1)$ -dimensionale Polytop, das die konvexe Hülle des von allen Scoring-Funktionen aufgespannten Vektorraums bildet. Illustrativ ist dies von besonderer Bedeutung, da auf diese Weise klar wird, dass die konvexe Hülle als Kanten jeweils Strecken zwischen den n

⁶Selbstverständlich kann in der frühen Phase der Markteinführung nicht abgeschätzt werden, wie viele unterscheidbare Fahrstile ein tatsächliches Portfolio zeigen wird, vor allem hinsichtlich der viel größeren Zahl an potentiell verfügbaren Messdaten. Aktuell lässt sich lediglich aufzeigen, dass eine signifikante Fahrstil-Differenzierung methodisch grundsätzlich möglich ist. Dabei dient die Scoring-Funktion als Ergänzung zu klassischen Tarifmerkmalen, sodass ohne Anwendungserfahrung ebenfalls keine abschließende Bewertung der Effektivität der telematischen Merkmale erfolgen kann.

Fahrstilen aufweisen, sodass eine Abbildung von komparativen Scoring-Funktionen $s(\phi_i, \phi_j)$ darauf möglich ist.

Auf diesem Vektorraum ist die Gesamtscoreing-Funktion $\mathcal{S}(\phi_{gesamt})$ die konvexe Abbildung des Fahrstilvektors, dessen Koeffizienten gerade die gewichteten Anteile der Fahrstile $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$ am Gesamtfahrstil sind:

$$\mathcal{S}(\phi_{gesamt}) = \frac{1}{n} \sum_{\langle i,j \rangle} s\left(\frac{\alpha_i}{(\alpha_i + \alpha_j)} \cdot \phi_i, \frac{\alpha_j}{(\alpha_i + \alpha_j)} \cdot \phi_j\right) \quad (2)$$

$$\text{mit } \alpha_k \geq 0, \sum_{k=1}^n \alpha_k = 1, \phi_k \equiv \bar{e}_k \in \mathbb{R}^n$$

Die bivariaten Scoring-Funktionen $s(\phi_i, \phi_j)$ werden so zu einer dualen Basis, deren Auswertung den Score für den zu gewichtenden Fahrstil als konvexe Summe der Einzelfahrstile ermittelt. Abb. 6 veranschaulicht, wie die Risikobewertung von Konvexkombinationen dreier Fahrstile beispielhaft ausgestaltet werden kann.

Für die praktische Anwendung scheint es generell sinnvoll, die Gewichtungsfaktoren $\alpha_k \geq 0$ mit $\sum_{k=1}^n \alpha_k = 1$ anhand der festgestellten Häufigkeiten der Fahrstile in der Gesamtheit der erhobenen Einzelfahrten pro Fahrzeug festzulegen.⁷ Allerdings ist dafür zu untersuchen, auf welche Weise einzelne Fahrten zu gewichten sind.

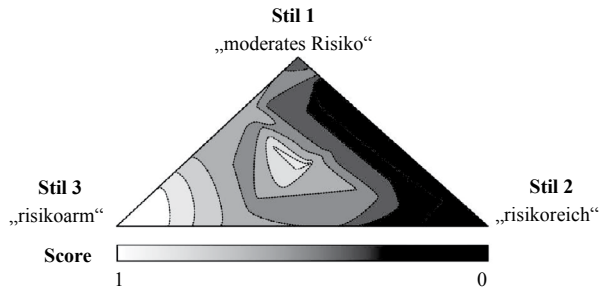
Die einfachste Möglichkeit ist, jeder Fahrt genau einen Fahrstil zuzuweisen und diese alle mit gleichem Gewicht in die Bewertung eingehen zu lassen. Während sich der Vorteil einer klaren und unkomplizierten Auswertung ergibt, ist unmittelbar erkennbar, dass naturgemäß sehr unterschiedliche Fahrten gleichen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben. Eine Besorgung von fünf Minuten Fahrtzeit, die einem defensiven Fahrstil zuerkannt wird, erhält das gleiche Gewicht wie eine mehrstündige Überlandfahrt, während der diverse, unter Umständen extrem riskante Fahrmanöver durchgeführt werden, sodass die Fahrt als sportlich-aggressiver Fahrstil eingestuft wird. Es liegt daher nahe, eine zusätzliche Gewichtung basierend auf der Zeit- oder Fahrleistung zu postulieren. Zu beachten ist bei dieser Bewertungsweise, dass auf den ökonomischen Vorteil der Bonus-Berechnung ausgerichtete Fahrer sie dafür nutzen könnten, adverses Verhalten mit wenig Aufwand wieder „gut zu fahren“. Diese Ausführungen verdeutlichen die Notwendigkeit einer skalensensitiven Bewertungsmethode, die es ermöglicht, Fahrtabschnitte derart zu bewerten, dass beispielsweise adverses Verhalten in jedem Fall die Einordnung in einen riskanten Fahrstil zur Folge hat und zudem deren Häufigkeit risikoadäquat differenziert werden kann.

4.4 Telematik-Score-adaptierte Tariffunktion

Die momentane Marktsituation lässt nur schwer eine Prognose darüber zu, welche Implementierungsart von Verkehrstelematik sich in der Tarifierung langfristig durch-

⁷Die Fahrstile auf die Ebene von Einzelfahrten herunterzubrechen scheint sinnvoll vor dem Hintergrund, dass es zu jedem versicherten Fahrzeug einen spezifischen Nutzerkreis gibt. Der Wechsel des Nutzers zwischen verschiedenen Fahrten kann dabei a priori zu unterschiedlichen Fahrstilen führen (vgl. Weidner et al. 2015b).

Abb. 6 Score-Funktion auf 2-Simplex zur Risikobewertung (eigene Darstellung)



setzen wird. Erste marktreife Produkte sahen stets eine Ex-post-Rabattierung der Jahresprämie anhand eines Punktesystems vor (vgl. z. B. Sparkassen Direktversicherung 2014). In diesem Beitrag ist herausgearbeitet worden, dass die Ergebnisse telematisch bestimmter Fahrsituationen sowie Fahrstile mittelfristig direkt in die Prognosen des Schadenbedarfs – in Ergänzung zu herkömmlichen Tarifmerkmalen – einfließen können. Auf diese Weise würde die Kalkulation von Telematik-Tarifen ermöglicht, welche basierend auf den Aufzeichnungen z. B. des Vorjahres oder Vorquartals eine individuelle Prämiengestaltung zuließen.

Die Form der hier vorgestellten Scoring-Funktion als normierte Projektion auf das Einheitsintervall erlaubt dabei, verschiedene Optionen der Integration des Fahrverhaltens in die Tariffunktion gegeneinander abzuwägen. Der für telematische Merkmale univariat bzw. multivariat ermittelte Gesamtscore bildet einen geeigneten Risikofaktor sowohl für eine Rabattsystematik als auch für eine Kalkulation über das klassische Marginalsummenverfahren.⁸ Unmittelbar aufbauend auf mit klassischen Tarifmerkmalen kalkulierten Tarifen lässt sich die zu gewährende Prämienersparnis aus dem Score-basierten Anteil am maximalen Rabatt berechnen:

$$\text{fahrstilabhg. Rabatt} = \frac{\text{max. fahrstilabhg. fahrstilabhg.}}{\text{Rabatt}} \times \text{Score} \tag{3}$$

Alternativ zu dieser Vorgehensweise ist es möglich, aus multivariat ausgewerteten telematischen Messdaten genau ein zusätzliches Tarifmerkmal zu bilden und dieses direkt in das Tarifierungsmodell aufzunehmen. In Tab. 3 stellt der für den Fahrstil ermittelte Score einen entsprechenden Risikofaktor im häufig angewendeten multiplikativen Modell dar.

Abschließend sei noch auf wesentliche Vorteile, die sich aus aktuarieller Sicht daraus ergeben, dass die Score-Berechnung unabhängig vom Tarifierungsmodell

⁸Denkbar ist auch eine Anreicherung des Marginalsummenverfahrens um verschiedene univariat ausgewertete telematische Freiheitsgrade anstelle eines einzigen aggregierten Freiheitsgrades. Dem spricht allerdings entgegen, dass damit das Ziel der Datensparsamkeit und Effizienzsteigerung bei der Tarifkalkulation verfehlt wird. Dazu kommt, dass Telematik-Daten potenziell die gleichen statistischen Informationen beschreiben wie klassische Tarifmerkmale, nämlich den Schadenbedarf eines Kraftfahrzeugs (vgl. Weidner und Weidner 2014), und der eigentliche Mehrwert durch Telematik, der Abbildung des individuellen Risikoverhaltens, lediglich von der Bewertung des univariaten Scores auf die Kalkulation im Tarifierungsmodell abgewälzt wird. Zusätzliche telematische Tarifkriterien, die inhaltlich weitestgehend redundant zu bereits aufgenommenen Tarifmerkmalen sind und in ihrer Struktur keine neuen Erkenntnisse liefern, dürften es daher eher schwer haben, implementiert zu werden.

Tab. 3 Aufnahme des Fahrstils als Risikofaktor im multiplikativen Modell (eigene Darstellung)

	Grundschadenbedarf C_0		Produkt über klassische Tarifmerkmale			
	Score	Tariffaktor	α_1	α_2	...	α_n
Fahrstil	0,0–0,2	β_1	$C_0 \alpha_1 \beta_1$	$C_0 \alpha_2 \beta_1$...	
	0,2–0,4	β_2	$C_0 \alpha_1 \beta_2$...		
	0,4–0,6	β_3	...			
	0,6–0,8	β_4				
	0,8–1,0	β_5				

erfolgt, hingewiesen. Zunächst wird durch die Abstraktion erreicht, dass nicht jeder in die Prämienberechnung involvierte Aktuar die Details der Telematik-Auswertung kennen muss. Ferner dürfte der Umgang mit einem einzelnen neuen Parameter im Tarifierungsmodell – ganz abgesehen von der Rechenkapazität – wesentlich einfacher sein, als umgekehrt die Ergebnisse aller Parameter einzeln in die bestehenden Modelle einzupflegen.

Die beschriebene Vereinfachung befreit das Aktuariat natürlich nicht von der Aufgabe, langfristig die Frage zu beantworten, inwiefern Telematik bestehende Tarifmerkmale nicht nur ergänzen sondern gar ersetzen kann – doch es dürfte noch mehrere Jahre und Auswertungen von detaillierten Schadenhistorien dauern, ehe hier ein endgültiger Schluss gezogen werden kann. Aus wissenschaftlicher Sicht wird eine spannende Frage sein, inwiefern telematische Risikofaktoren die bestehenden Risikoerwartungen bestätigen können, oder ob, wie oft leicht daher gesagt wird, bei ausreichend breitem Portfolio „das Gesetz der großen Zahlen alle Fehlannahmen automatisch korrigiert“.

5 Fazit und Ausblick

Die Telematik-Technologie beeinflusst nicht nur die Risikobewertung in der Kfz-Versicherung sondern auch das Risikoverhalten der Versicherungsnehmer. Sie dient dazu, adverse Verhaltensmuster, die klassischerweise vom Versicherer aufgrund von Informationsasymmetrien über das Kollektiv ausgeglichen werden, individuell zuzuordnen (vgl. Weidner et al. 2015b) und teilweise abzuerziehen (vgl. Towers Watson 2013), was mittelfristig zur Reduktion des Schadenbedarfs führen sollte. Welche ökonomisch-tariflichen Schlüsse der einzelne Versicherer daraus zieht, kann zwar nicht abgeschätzt werden, die konkrete Form der Kalkulation aber sehr wohl. Auch wenn es zweifellos reizvoll scheint, eine umfassende Bewertung des Fahrverhaltens zur entscheidenden Richtgröße eines Telematik-basierten Kfz-Versicherungstarifs zu machen, sieht die kurz- und mittelfristige Einführungssituation für die deutschen Versicherungsunternehmen so aus, dass telematische Tarifmerkmale die herkömmlichen Erhebungen allenfalls ergänzen können – vor allem im Hinblick auf Rabatt-basierte Tarifansätze, deren Grundprämie allein aus klassischen Tarifmerkmalen kalkuliert wird. Insbesondere bildet der Unterpunkt der konkreten Risikobewertung eine nicht zu unterschätzende Hürde dafür, Telematik als Differenzierungsmerkmal individueller Versicherungslasten zu etablieren.

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, einen systematischen Bewertungsansatz für telematisch erhobenes Fahrverhalten aufzuzeigen, der eine unmittelbare Integration der Erkenntnisse in bestehende Tarifierungsmodelle erlaubt. Zu diesem Zweck wurde als Erweiterung der GDV-Tarifierung ein neuer multiplikativer Risikofaktor gemessen über telematische Tarifmerkmale eingeführt. Bewertungsgrundlage bilden spezifische multivariate Fahrstile, die sich aus einer Klassifizierung des Fahrverhaltens ergeben. Aufbauend auf der gewählten komparativen Scoring-Funktion zweier Fahrstile lässt sich die Bewertung von Gesamtfahrstilen als Konvexkombinationen aller Fahrstile herleiten.

Selbstverständlich müssen bei der Entwicklung und Einführung eines Telematik-Tarifens neben technischer Expertise und aktuarieller Rechtfertigung viele weitere Faktoren berücksichtigt werden, weil die Akzeptanz verschiedenster Akteure wie dem Management, der Aufsicht und der Kunden zur Marktdurchdringung benötigt wird (vgl. Hartmann und Nutzenadel 2015). Zur Erfüllung aufsichtsrechtlicher Anforderung sind versicherungsmathematische Verfahren zur Ermittlung und Bewertung individueller Risikoprofile anhand von statistischem Datenmaterial zum versicherungstechnischen Bedarf notwendig. Dabei ist die jederzeitige Erfüllbarkeit der Verpflichtungen aus den Versicherungsverträgen sicherzustellen. Ferner steht eine stabile Preisgestaltung im Vordergrund, die nicht etwa mit der Zunahme von Straßenverkehrsordnungswidrigkeiten zum „Schönfahren“ des Scores einhergeht. Das Management präferiert dazu eine wettbewerbsfähige Rabattsystematik zur Erzielung ihrer Wachstumsstrategie und einer optimierten Kundenbindung, denn hohe Rabattaussichten auf ein marktdurchschnittliches Tarifniveau ziehen Kunden an und verlängern die Haltedauer.

Diese Ergebnisse sind deshalb insbesondere für die Versicherungsindustrie interessant, da hier konkrete Implementierungshinweise für die Verkehrstelematik geboten werden. Darüber hinaus kann der erarbeitete Bewertungsansatz als Grundlage für weitere Forschungsarbeiten dienen; speziell die Erfordernis eines skalensensitiven Scorings zur Erzielung einer angemessenen Bewertungsstabilität wurde bereits aufgezeigt.

Literatur

- Anscombe, F.J.: Graphs in statistical analysis. *American Statistician*. **27**(1), 17–21 (1973)
- Bader, G.: Fragmentierung der Kollektive. http://www.dvfvw.de/index.php?option=com_content&view=article&id=161:jahrestagung-2015&catid=52:tagungspraesentationen&Itemid=101 (2015). Zugriffen 23 Juli 2015
- Bevington, P.: *Data reduction and error analysis for the physical sciences*, 3. Aufl. McGraw-Hill, New York (1969)
- DAV-Arbeitsgruppe Tarifierung: *Berufspflichten des Aktuars bei der Tarifgestaltung in der Schadenversicherung*. Hinweis der Deutschen Aktuarvereinigung e. V., Köln (2007)
- DAV-Arbeitsgruppe Tarifierungsmethodik (Hrsg.): *Aktuarielle Methoden der Tarifgestaltung in der Schaden-/Unfallversicherung*. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe (2011)
- Domeyer, A.: *Spezielle Versicherungen des privaten, des gewerblichen und des Industriegeschäfts*. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe (2005)
- finanzen.de: Allianz Kfz-Versicherung: Neuer Telematik-Tarif überwacht Fahrer. <http://www.finanzen.de/news/16418/allianz-kfz-versicherung-neuer-telematik-tarif-ueberwacht-fahrer> (2015). Zugriffen 23 Juli 2015

- Han, J., Kamber, M.: Data mining: Concepts and techniques. Morgan Kaufmann, San Francisco (2006)
- Hartmann, M., Nützenadel, C.: 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, (2015)
- Herting, S.: Pay As You Live – Telematik-Tarife und der Datenschutz. <http://www.datenschutzkanzlei.de/2015/05/26/pay-as-you-live-telematik-tarife-und-der-datenschutz/> [Stand 23.07.2015] (2015)
- Heep-Altiner, M., Klemmstein, M.: Versicherungsmathematische Anwendungen in der Praxis: Mit Schwerpunkt Kraftfahrt und Allgemeine Haftpflicht. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe (2001).
- Huffman, W., Pless, V.: Fundamentals of error-correcting codes. Cambridge University Press, Cambridge (2003)
- Itzehoer Versicherungen. Datenschutzmerkblatt Pilotprojekt Telematik der Itzehoer Versicherungen. http://www.itzehoer.de/media/assets/imagescontent/produkte/fahrzeuge/pdf_5/Datenschutzmerkblatt_Pilotprojekt_Telematik.pdf (2014). Zugegriffen 23 Juli 2015
- KKB (Arbeitsgruppe Bedingungen der Kommission Kraftfahrt Betrieb): Allgemeine Bedingungen für die Kfz-Versicherung AKB 2008 – Stand 09.07.2008. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Berlin (2008)
- Köneke, V., Müller-Peters, H., Fetchenhauer, D.: Versicherungsbetrug verstehen und verhindern. Springer Galber, Köln (2015)
- Krieger, F.: Gehackte Telematik-Boxen. <http://versicherungsmonitor.de/2015/08/gehackte-telematik-boxen/> (2015). Zugegriffen 23 Juli 2015
- Kurz, R.: Digitaler Darwinismus & Versicherungsbetrug 2.0. <http://versicherungswirtschaft-heute.de/im-blick/digitaler-darwinismus-versicherungsbetrug-2-0/> (2015). Zugegriffen 23 Juli 2015
- Morawetz, M.: „Keine aktuariell auskalkulierten Telematikprodukte“. <http://versicherungswirtschaft-heute.de/koepfe/keine-aktuariell-auskalkuliertentelematikprodukte/> (2015). Zugegriffen 23 Juli 2015
- Nießen, G.: Towers Watson: „Telematik-Tarife sind in fünf Jahren etabliert“. <http://versicherungswirtschaft-heute.de/maerkte/towers-watson-telematik-tarife-sind-in-funfjahren-etabliert/> (2015). Zugegriffen 23 Juli 2015
- Ogle, J., Guensler, R., Bachman, W., Koutsak, M., Wolf, J.: Accuracy of global positioning system for determining driver performance parameters. *Transport. Res. Rec.* **1818**(1), 12–24 (2002)
- Rat der Europäischen Union: Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Anforderungen für die Typgenehmigung zur Einführung des bordeigenen eCall-Systems in Fahrzeuge und zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG. <http://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-16345-2014-INIT/de/pdf> (2014). Zugegriffen 23 Juli 2015
- Roßnagel, A.: Fahrzeugdaten – wer darf über sie entscheiden? *SVR.* **8**, 281–287 (2014)
- Sparkassen DirektVersicherung: Vereinbarung zum Telematik-Sicherheits-Service (S-Drive-Service). <https://www.sparkassen-direkt.de/fileadmin/pdf/telematik/Endkundenvertrag.A2.2.pdf> (2013). Zugegriffen 23 Juli 2015
- Sparkassen DirektVersicherung: Berechnungsregeln. https://www.sparkassen-direkt.de/fileadmin/images/divers/Telematik/2014-08-08_score-logik.jpg (2014). Zugegriffen 23 Juli 2015
- Statistisches Bundesamt: Verkehr – Verkehrsunfälle 2014. Fachserie 8 Reihe 7, Wiesbaden (2015)
- Towers Watson. 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> (2013). Zugegriffen 23 Juli 2015
- Versicherungsmagazin: Ist Versicherung (noch) solidarisch? <http://www.versicherungsmagazin.de/Aktuell/Nachrichten/195/22277/Ist-Versicherung-%28noch%29-solidarisch-.html> (2015). Zugegriffen 23 Juli 2015
- Weidner, W., Weidner, R.: Identifikation neuer Ansätze zur individuellen Kfz-Tarifierung. *Z. Vers. Wiss.* **103**(2), 167–193 (2014)
- Weidner, W., Weidner, R., Transchel, F.W.G.: Implementierung der Pkw-Telematik in die Kfz-Tarifierung. *ZfV* (im Erscheinen): (2015a)
- Weidner, W., Transchel, F.W.G., Weidner, R.: Telematic driving profile classification in car insurance pricing. Working Paper: (2015b)
- Werner, M.: Digitale Signalverarbeitung mit MATLAB®, 5. Aufl. Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden (2012)
- Zito, R., D'Este, G., Taylor, M.A.P.: Global positioning systems in the time domain: How useful a tool for intelligent vehicle-highway systems. *Transport. Res.* **3C**(4), 193–209 (1995)

Modul 10

Classification of Scale-sensitive Telematic Observables for Riskindividual Pricing

Wiltrud Weidner

Fabian W.G. Transchel

Robert Weidner

European Actuarial Journal 6(1), 3-24, 2016

DOI: 10.1007/s13385-016-0127-x

The final publication is available at Springer via <http://dx.doi.org/10.1007/s13385-016-0127-x>

Classification of scale-sensitive telematic observables for risk individual pricing

W. Weidner¹ · F. W. G. Transchel² · R. Weidner³

Received: 27 January 2016 / Accepted: 22 February 2016 / Published online: 11 March 2016
© DAV / DGVMF 2016

Abstract Using modern telematics technologies for car insurance, it is no particular challenge to produce an intractably large amount of kinematic and contextual information about driving profiles of motor vehicles. In order to evaluate this data with respect to both efficient and effective use in scoring and subsequent actuarial pricing, we propose a scale-sensitive approach that treats observations on semantically different levels. Furthermore we discuss the application of methods necessary to assess the information of different scale levels including signal processing, pattern recognition and Fourier analysis. In this way we show how maneuvers, trips and trip sections as well as the total insurance period can be analyzed to individually or collectively gain significantly scoreable insights into individual driving behaviour.

Keywords Telematics technologies · Car insurance · Driving behaviour · Pattern recognition · Actuarial pricing

1 Introduction

With the recent increase of dynamics in the field of research regarding telematics technologies for car insurance, it has become ever clearer that sensible assessment of kinematic driving profiles is indeed possible. While tariffs based on the telematic

✉ W. Weidner
ww@ivbl.uni-hannover.de

¹ Institute for Risk and Insurance, Leibniz University Hannover, Otto-Brenner-Str. 1, 30159 Hannover, Germany

² Institute for Theoretical Physics, Leibniz University Hannover, Appelstr. 2, 30167 Hannover, Germany

³ Helmut-Schmidt-University, Laboratory for Manufacturing Technology, Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg, Germany

measurement of mileage, vehicle speed, frequency of hard starts and stops and time of day are well-established in the U.S. and several European countries [1, 3, 12], the German car insurance market only sees first insurers introducing such offers. Since car insurance market is the largest line of business in the property and casualty insurance industry [10], innovations and market dynamics are expected to stay high and lead to further product differentiation [11]. To this end, insurers aim to analyze both the kinematic driving behaviour of the vehicle user as well as the context, i.e. the circumstances of the driving situation, including information about road type, lighting, weather conditions etc. [12].

The question, however, what kind of inferences can be drawn from the vast amount of data collected over real portfolios is met by the computational challenges of storing and processing these large amounts of information. Combining basic findings of the still-new science of data mining with the preliminary results of actuarial investigations of telematic test portfolios proved fruitful, however, leave open which variables of telematic assessment are precise and semantically correct [14, 16]. It is clear that univariate exposure-related driving measures can act as first estimators [12]. However, there are also studies suggesting that in order to fully represent the insured risk adequately, one has to work with multivariate models assessing driving styles [23].

A fundamental finding of this contribution is expanding the former approach by analyzing all substantial granularity levels of telematic measurements, both individually as well as collectively, in order to fully capture the complete driving situation. Therefore, we take into account a framework where different observations are treated on various levels of time resolution ranging from maneuvers taking place on a scale of seconds up to a complete insurance period.

The present article aims to treat the topic with regard to two elementary methods of data processing—pattern recognition and Fourier analysis. Up to now, a feature-based recognition of patterns in data is the goal of a rapidly growing number of fields, in particular in computer science, information theory and optical processing techniques [21], where a wide variety of techniques have been invented, ranging from text- and speech recognition and fingerprint analysis over artificial learning algorithms to computer-aided diagnosis systems [17, 26]. Besides, it can be assumed that those data science techniques will be also applied in the insurance industry in the foreseeable future [12, 20]. In this paper, we focus on distinguishing images that are transformed from original observations by discrete Fourier analysis (DFT). The DFT is known for both its computational efficiency [4] as well as its power to represent and parametrize a signal into its constituent frequency components [27], posing itself a very useful input to pattern recognition and multivariate cluster analyzes [18].

The main contribution of this paper is to show that the presented methods of pattern recognition and Fourier analysis are suitable to find new insights regarding differentiation potential associated with driving behaviour and vehicle use on various scale levels of telematic driving profiles. In particular, these results, given a priori risk experience, allow incorporating telematic risk factors into actuarial pricing decisions. Moreover, it can be concluded that overarching driving behaviour trends, observed over long periods in the whole telematic portfolio or homogenous

segments thereof, can be used to benchmark or crosscheck classical tariff assumptions.

The remainder of this paper is divided into three sections. Following the definition and explanation of methods in Sect. 2, Sect. 3 deals with the application to exemplary, albeit real telematic data sets of all introduced scale levels. Section 4 concludes by pointing out the relevant usage scenarios with respect to implementing telematic scoring into car insurance tariffs.

2 Method

2.1 Scales of driving profiles

Collected telematic driving profiles supply comprehensive information on vehicle use and driving behaviour, provided that the measurand selection is adequate in terms of both quality and quantity. However, in order to extract the essential information for identification and evaluation of a risk profile, it is important to distinguish between different scales [23]. If, for example, an overtaking maneuver is performed, high acceleration values need to be handled in a different way from an entire sporty driving style. Therefore, the assessment of telematic values is to be made by taking into account the general situation characterized by the road condition, the traffic state and, finally, the specific driving maneuver, which are only recognized completely on the basis of various sets of segments at the same time.

Furthermore, we need different degrees of granularity of the measured data depending on the problem, as not every situation can be presented equally effectively at the same level. To answer certain questions e.g. concerning signs of fatigue, we have to examine a whole measurement series, whereas questions concerning specific maneuvers can not be satisfactorily answered on the basis of aggregates.

We therefore propose scales ranging from styles per insurance period to individual driving styles per driving maneuver (see Fig. 1). At the highest level, the

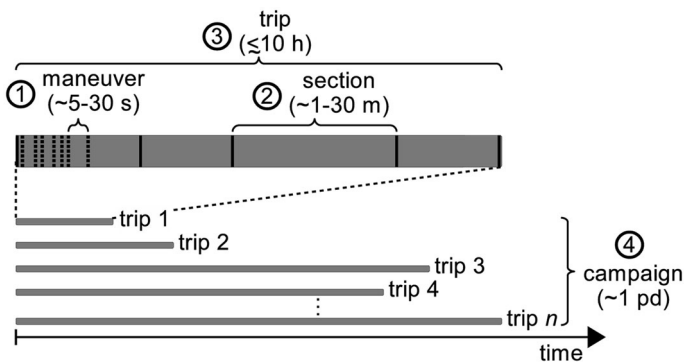


Fig. 1 Qualitative specification of the scale level: campaign > trip > section > maneuver

data is gathered over up to a whole policy period. This is the scale at the highest aggregation level—consisting of the least detail of all the scales. It offers information on general driving behaviour within defined time horizons. In particular, in this manner, a gradual change in driving behaviour during the policy period can be detected, e.g. due to changed driving ability of individual vehicle users. Another option is to investigate the driving one level below, for each individual vehicle trip. In particular, this will enable insurers to measure shares of different users [24]¹. For an even more detailed evaluation it is useful to divide driving trips into separate sections. The section level allows us to analyze individual driving habits under specific conditions such as several road types, i.e. national roads, urban roads and highways, or various road and viewing conditions due to weather influences, i.e. fog, rainfall, snowfall, ice, darkness glare from direct sunlight [23]. Moreover, it may sometimes be of interest to compare a series of sections among themselves, e.g., for identification of less reactivity on long trips or due to distraction. Lastly, at the most fundamental and granular level, the recognition of single maneuvers forms the basis for high-resolution scoring. Not only do the possible characteristics of the measured values depend strongly on the maneuver type (see Sect. 3), but also the type of accident [5, 8, 9]. If overtaking maneuvers, parking maneuvers or turning maneuvers (considering contextual information such as local weather conditions or current traffic flow) are not identified, there may not be enough precision to assess telematic data risk adequately.

It is important to bear in mind that—on every level above the most granular—we can perform statistical analysis of the findings of the (lower) level, i.e. examine the frequency of section or maneuver types and their respective classification. In this way a full score of full driving profiles merges information accessible from different time scales.

Note that there are not just specific driving situations, e.g., the already mentioned overtaking maneuvers, which are properly recognized if the finest granularity is ignored, but also situations which are not processed correctly if only the maneuver level is considered. Certain road conditions or traffic volume, for example, can force the driver to understeer or oversteer the vehicle in curves, so that general statements about individual driver characteristics can only be made until detailed analyzes of longer time periods have been carried out. This indicates that an adequate risk projection of risk does require a closer look at measured data on various scales discussed in more detail below.

2.2 Pattern recognition

A complete movement period process of a particular segment k —e.g. a single maneuver or a whole trip (see Sect. 2.1)—is given by a signal sequence $(m_{k,t}^{(j)})_{t=1,\dots,n_k}$ of a multi-dimensional vector of all physical measurable factors of driving behaviour as well as driving situation. Whereby the parameter j indicates a selected

¹ Not the insured risk, i.e. the vehicle, but the vehicle driver causes insurance losses. A driver recognition is therefore essential for an adequate assessment of the factual, underlying risk.

vehicle and the discrete time parameter t denotes the scanning signal of the vehicle movement. The task is to compare different sequences and to decide whether they are correlated or not in order to rate them with regard to its inherent risk. First of all, the prerequisite for that is pattern recognition.

Definition 1 (following [15]) A pattern is defined by the set of sequences $\Omega = \{(m_{k,t}^{(j)})_{t=1,\dots,n_k}\}$, for all observed vehicles $j = 1, 2, \dots, v$ and measured segments $k = 1, 2, \dots, s_j$, that are characteristic of a driving style.

The dimension of the feature vector is the same for all sequences, which, however, is different for various purposes. It is important to bear in mind that driving maneuvers can only be fully recorded if the feature vector contains all multiple interdependent variables. Prematurely excluding dependent variables from the sequences, information is lost and false conclusions are drawn concerning the risk (see [23]).

Following up on the extraction of patterns $(m_{k,t}^{(j)})_{t=1,\dots,n_k}$, we need to classify them:

Definition 2 (following [15]) For pattern classification, every sequence $(m_{k,t}^{(j)})_{t=1,\dots,n_k}, j = 1, 2, \dots, v$ and $k = 1, 2, \dots, s_j$, is assigned to exactly one class $\Omega_\lambda, \lambda = 1, 2, \dots, \tau$:

$$(m_{k,t}^{(j)})_{t=1,\dots,n_k} \mapsto \Omega_\lambda, \tag{1}$$

whereby the following conditions are applied for the partition $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_\tau\}$:

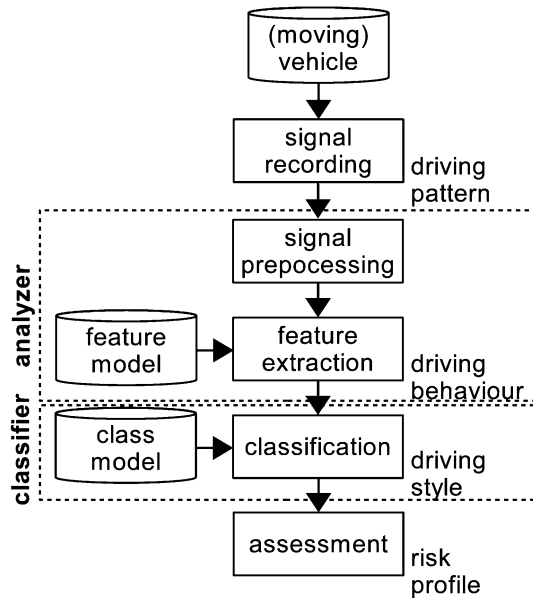
$$\Omega_\lambda \neq \emptyset, \quad \lambda = 1, 2, \dots, \tau, \tag{2}$$

$$\Omega_l \cap \Omega_\kappa = \emptyset, \quad \forall l \neq \kappa, \tag{3}$$

$$\Omega = \bigcup_{\lambda=1}^{\tau} \Omega_\lambda. \tag{4}$$

There is a variety of ways to achieve a partition of patterns complying with these conditions, but only a few of them are of real interest for practical applications. An interesting partition is characterized by the fact that the classification criteria are likely to result in classes that meaningfully differentiate the risk. This will require an immediate correlation between various patterns of specific classes and historical claims experience. The precondition is that different accident causes and types can be linked with patterns of different classes. Consequently, patterns in the same class are as similar as possible and patterns in different classes are as different as possible. However, in order to satisfy the condition of disjointness, not only the classifier but already the segmentation is the decisive factor. In particular, it is possible that a maneuver shows different patterns, that is, different driving styles. If various patterns are part of a single maneuver, then we can take into account two aspects: a finer division of several segments on the one hand and the introduction of mixed

Fig. 2 A pattern recognition principle (following [6, 15])



classes on the other hand [15]. It is nevertheless considered appropriate to require disjoint classes per scale, as the driving behaviour cannot be simultaneously assigned to more than one driving style.

Finally, please note that classes of different scale levels are not comparable. On each scale, specific driving characteristics are to be classified. Hence, at each level, we characterize scale-sensitive patterns for information extraction, such as overtaking maneuvers, parking maneuvers or turning maneuvers at the maneuver level, series of maneuvers at the section level etc. The non-comparability of course is true only for pattern classification. Concerning risk assessment, the statistical dependence of classes of various scales cannot be ruled out.

Figure 2 shows the fundamental procedure in recognition of patterns, broadly splitted into three steps: preprocessing, feature extraction and classification [6, 15]. The key idea within telematic tariff calculation is the data collection and processing, in particular, for the building of driving profiles, which represent the patterns to analyze.² Thus, there will be large data sets which have to be preprocessed in order to reach both a qualitatively good database and a tractable data volume. Essential operations in preprocessing are verification of data plausibility³, data cleansing and reduction without losing relevant information as well as data integration and transformation in order to adapt the measured data to a target structure. This

² Therefore, a sophisticated logic for measuring and transmission is the decisive quality factor, clarified further in Weidner and Transchel [23].

³ At this point fraud prevention, i.e. an extensive detection of data manipulation, should already be started. For example, a comparison of the measured data of a single vehicle and measurements of the whole ensemble is conceivable for this.

includes a segmentation of driving profiles in different scale levels in which driving situations are separated from each other (see Sect. 2.1).

The extraction of features from the conditioned data takes place in the next stage. Here, the aim is to uncover the essential structure of individual patterns or parts thereof and to make them understandable in order to achieve an assigning to special classes. What kind of features embodied in each pattern is relevant depends on the respective information and situation to be probed. Possible features are measures of central tendencies and dispersion, e.g., moments of the distributions such as the expected value or variance, the full ranges of the distribution, i.e. the minimum and maximum values as well as percentiles of the distributions such as the median or the interquartile range, which combine the characteristics of the measured patterns. In addition, information on the absolute frequencies such as the number of modes of the distributions, may also be of interest. All of these figures can be estimated using statistical methods in the feature extraction stage.

Apart from that, driving sequences can be dismantled into components and their relationships, i.e. into the frequency spectrum, using a transformation such as the discrete Fourier transformation (DFT). In contrast to classification methods such as cluster analysis the Fourier transformation is linear in its input and maps the signal to a dual space, i.e. from spatial coordinates to phase space, or the frequency domain [2]. Due to its linearity, measurement operators like the derivative can also be applied on the level of phase space, such that intrinsically, no information is lost in the transformation itself. Therefore, we resolve to the study of frequency components with the intention to investigate whether, at certain time scales, there are statistically significant outliers in driving behaviour when comparing discrete Fourier spectrums of comparable processes. For example, we could ask the question whether we can deduce driver reaction times from pronounced Fourier coefficients (see Sect. 3).

Definition 3 (following [27]) Let $(m_{k,t}^{(j)})_{t=1,\dots,n_k}$, with $j \in \{1, 2, \dots, v\}$ and $k \in \{1, \dots, s_j\}$, be a measured pattern. The discrete Fourier transformation (DFT) of $(m_{k,t}^{(j)})_{t=1,\dots,n_k}$ is defined by

$$\begin{pmatrix} \mu_{k,1}^{(j)} \\ \mu_{k,2}^{(j)} \\ \vdots \\ \mu_{k,n_k}^{(j)} \end{pmatrix} = DFT \begin{pmatrix} m_{k,1}^{(j)} \\ m_{k,2}^{(j)} \\ \vdots \\ m_{k,n_k}^{(j)} \end{pmatrix}, \tag{5}$$

where

$$(\mu_{k,t}^{(j)}) = \frac{1}{n_k} \sum_{l=0}^{n_k-1} m_{k,l+1}^{(j)} \cdot \left[\cos\left(\frac{2\pi \times t \times l}{n_k}\right) - i \sin\left(\frac{2\pi \times t \times l}{n_k}\right) \right], \quad t = 1, \dots, n_k. \tag{6}$$

The frequency spectrum consists of the DFT-coefficients $(\mu_{k,t}^{(j)})_{t=1,\dots,n_k}$ with period n_k of standardized frequencies $\frac{l}{n_k}, l = 0, 1, \dots, n_k - 1$.⁴ Basic properties of the DFT can be found in [7, 22, 27]. However, we would like to make the observation that, with respect to the Hermitian symmetry [2] of driving profiles, consisting of real numbers only, the DFT simplifies to

$$\mu_{k,n_k-t}^{(j)} \equiv \mu_{k,-t}^{(j)} = \overline{\mu_{k,t}^{(j)}} \quad \forall m_{k,l+1}^{(j)} \in \mathbb{R}, \quad t = 1, \dots, n_k, \quad l = 0, \dots, n_k - 1. \quad (7)$$

It follows that in the frequency domain, there exist independent complex coefficients for only $\frac{n_k}{2} + 1$ frequencies, whereby the zero and folding frequency always are real numbers.

The last step for pattern recognition is to either classify the features in classes or to assign the features to known patterns. The classes can be determined differently [6, 15]: On the one hand the generation of classifiers may be possible in advance for some cases; this can be done based on either a representative sample or wide-ranging expertise. These classifiers subsequently can be applied to assign the patterns. On the other hand classes can be formed directly from measured, classifiable data. Classes for driving behaviour can in each case be build automatically using clustering algorithms regardless of prior knowledge [24].

Following to the classification, the risk of individual patterns can be assessed including supplementary information to get risk profiles (see Sect. 2.3 for further details). Is there no other alternative as to process risk information heuristically, i.e. without any statistical confirmed claims experience, in addition, a pattern analysis should be carried out in order to facilitate a more illustrative understanding of the various class properties.

2.3 Scoring of driving behaviour

Currently, there is neither in science, nor in practice a standardized method to achieve a clear scoring of driving behaviour. Thus, for risk assessment, we define a scoring function which maps a set of random variables (hereafter referred to as “driving style”), representing an individual pattern $(m_{k,t}^{(j)})_{t=1,\dots,n_k}, j \in \{1, \dots, v\}$ and $k \in \{1, \dots, s_j\}$ derived from measured data recorded by telematic systems, to the real numbers.

Definition 4 Let $X = (X_1, \dots, X_n)^T$ be a vector of random variables. The scoring function⁵ is a differentiable function $s(X) : X \rightarrow [0, 1]$.

⁴ Since we are not interested in back-transforming examined frequency data, the choice of normalization is somewhat arbitrary. When looking at the self-duality of $F(F(f(x))) = f(x)$, then a choice of $1/\sqrt{(n_k)}$ for both the transform itself and the conjugate transform respectively is more reasonable from a mathematical point of view.

⁵ Although the random variables generally represent discrete signals whose information parameters take only a finite number of values, the differentiability of the scoring function $s(X)$ can be guaranteed by means of interpolation, provided that sufficient values within certain limits are available.

W.l.o.g. we consider the case in which the maximum desirable behaviour, the driving style with the lowest risk, is assigned the value 1 and the maximum adverse behaviour, the driving style with the highest risk, the value 0 [23]. Furthermore note, that the differentiability (and thereby implicitly the continuity) in the domain of the function $s(X)$ is required for applicability of functional analytic methods without restrictions. In particular, such a scoring function $s(X)$ is designed to stretch locally convex vector spaces, as used in the following.

In addition to the assessment of statistically distinguishable driving styles, also an assessment of different driving style combinations is of particular importance on each scale level for the practical application. The driving behaviour belonging to an insured vehicle and, therefore, the driving styles at any scale level differ not only by several users, but also by used road types, weather conditions or the traffic volume. This means that an insured vehicle can be assigned to different driving styles both during a trip and within a given period [23, 24]. The logical next step is to develop an overall scoring function for driving style combinations⁶

$$\phi_{total}^{sc} = \alpha_{sc,1}\phi_{sc,1} + \alpha_{sc,2}\phi_{sc,2} + \dots + \alpha_{sc,n_{sc}}\phi_{sc,n_{sc}} \tag{8}$$

on each scale level $sc = 1, \dots, m$ with shares $\alpha_{sc,l} \geq 0$, $\sum_{l=1}^{n_{sc}} \alpha_{sc,l} = 1$ and specified driving styles $\phi_{sc,l} \equiv \mathbf{e}_l \in \mathbb{R}^{n_{sc}}$, $l = 1, \dots, n_{sc}$.

For this, we can use the $(n_{sc} - 1)$ -simplex determined by n_{sc} different driving styles. Specially, if we assume w.l.o.g. that $\phi_{sc,l} \equiv \mathbf{e}_l \in \mathbb{R}^{n_{sc}-1}$, $l = 1, \dots, n_{sc} - 1$, and $\phi_{sc,n_{sc}}$ is linearly dependent of the subset $\{\phi_{sc,1}, \phi_{sc,2}, \dots, \phi_{sc,n_{sc}-1}\}$, the $(n_{sc} - 1)$ -simplex is the simplest $(n_{sc} - 1)$ -dimensional polytope which stretches the convex vector space of all scoring functions. With this, we make use of the fact that a bi-comparative score can be performed on pairs of driving styles instead of the whole ensemble [23].

Definition 5 Let V be a vector space given by

$$V = \bigoplus_{sc=1}^m \mathbb{R}^{n_{sc}}. \tag{9}$$

An overall scoring function across all scale levels is given by $S : V \rightarrow [0, 1]$, mapping convex linear combinations on a simplex to the unit interval:

$$S(\phi_{total}) = \frac{1}{\sum_{sc=1}^m d_{sc}} \sum_{sc=1}^m d_{sc} \binom{n_{sc}}{2} \sum_{\langle i,j \rangle} s\left(\frac{\alpha_{sc,i}}{\alpha_{sc,i} + \alpha_{sc,j}} \cdot \phi_{sc,i}, \frac{\alpha_{sc,i}}{\alpha_{sc,i} + \alpha_{sc,j}} \cdot \phi_{sc,j}\right) \tag{10}$$

for an entire driving style combination $\phi_{total} = d_1\phi_{total}^1 \oplus d_2\phi_{total}^2 \oplus \dots \oplus d_m\phi_{total}^m$ across all scales, where

$$\phi_{total}^{sq} = \alpha_{sc,1}\phi_{sc}^1 + \alpha_{sc,2}\phi_{sc}^2 + \dots + \alpha_{sc,n_{sc}}\phi_{sc}^{n_{sc}}, \quad sc = 1, \dots, m \tag{11}$$

⁶ In particular, this means that the classification is executed separately for each scale. Classes from different scales can resemble each other (despite the lack of comparability) by reason of similar contents, but the risk assessment of those classes can vary according to the context.

constitutes the driving style combination on each scale level with shares $\alpha_{sc,l} \geq 0$, $\sum_{l=1}^{n_{sc}} \alpha_{sc,l} = 1$ and specific driving styles $\phi_{sc,l} \equiv \mathbf{e}_l \in \mathbb{R}^{n_{sc}}$, $l = 1, \dots, n_{sc}$. In addition, the combination of different scales requires scale-specific weighting factors $d_{sc} \geq 0$, $\sum_{sc} d_{sc} = 1$.

3 Results

3.1 Maneuver scale

The research issue is to investigate the driving style at the most granular level. It is essential to this objective that specific driving maneuvers are extracted from driving profiles to analyze them. Fig. 3 shows the velocity processes together with the acceleration behaviour in the longitudinal respectively lateral direction deduced from single, albeit representative sample trips. A starting after a standstill is characterized by an increase in velocity as result of high longitudinal acceleration values (see Fig. 3a), whereas the velocity decreases in conjunction with high deceleration values during a braking process due to an obstacle (see Fig. 3b). The lateral acceleration, i.e. acceleration values to left or right when driving a turning maneuver, is of little interest in this context; for the sake of the clarity only the longitudinal acceleration is plotted in these both maneuvers. Note that the descending absolute values in the acceleration (deceleration) process at velocities of around 15, 25 and 35 km/h result from the change into a higher (lower) gear.

However, the lateral acceleration is the important parameter to determine steering or even a tack and turning maneuver. In the example (see Fig. 3c), positive acceleration values represent a right turn and negative acceleration values left

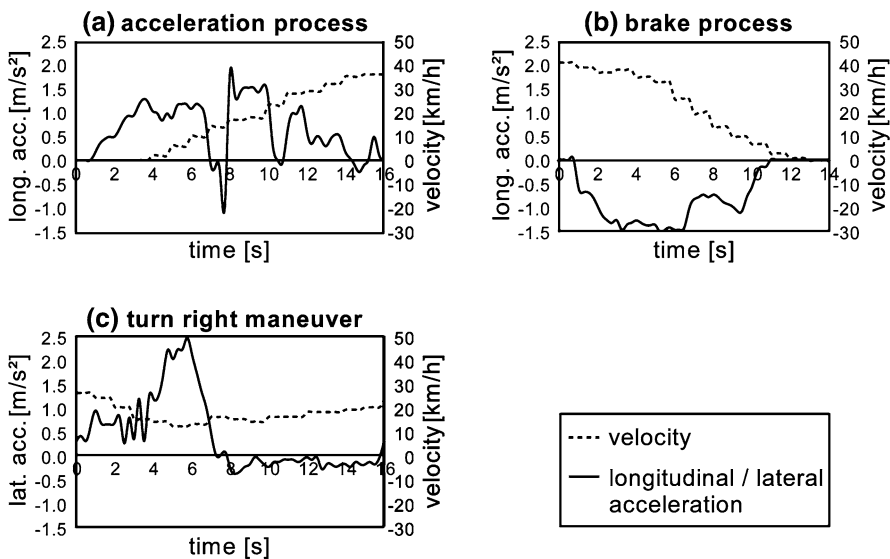


Fig. 3 Sample illustration of three specific driving maneuvers

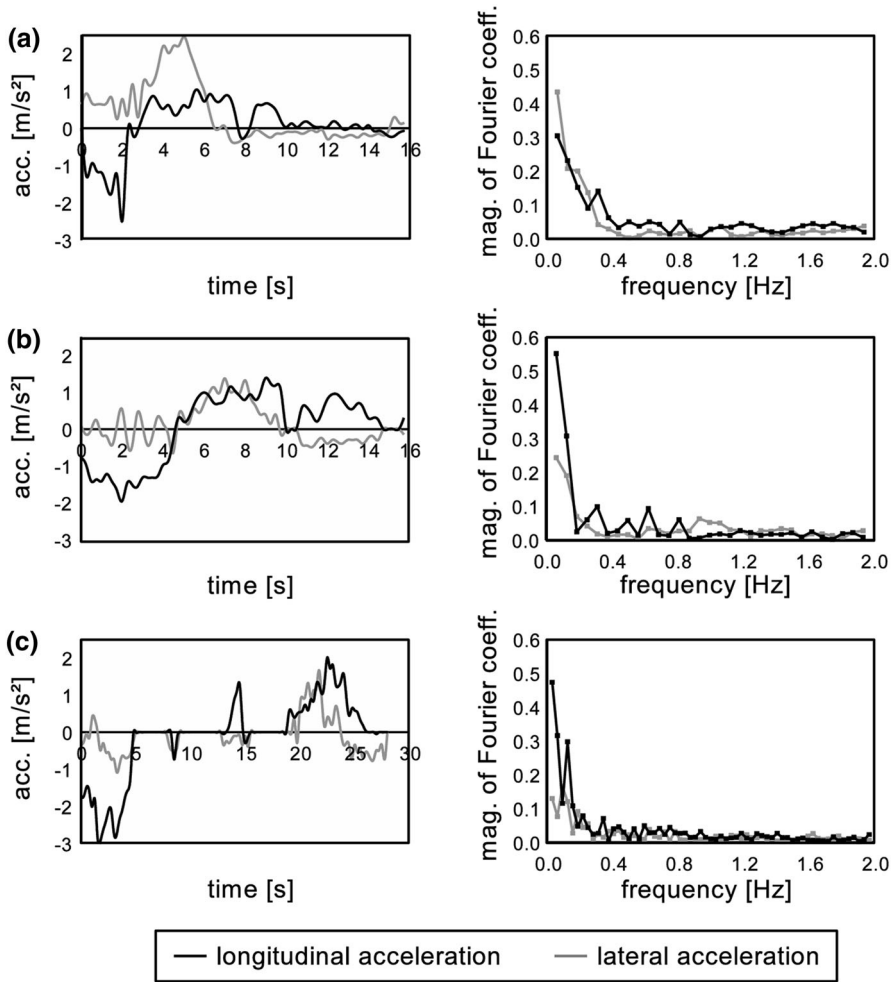


Fig. 4 Turn right maneuvers at the same crossroad (left) and their respective DFT spectrum (right)

steering respectively. The velocity (and accordingly, the longitudinal acceleration), which is reduced here before the steering force increase significantly, primarily provide additional information concerning curves in order to grade the level of risk.

Not only do the maneuvers of various maneuver types differ significantly, but also samples of the same type, to which Fig. 4 gives an exemplary overview for the acceleration behaviour including the associated Fourier coefficients.⁷ The processes (see Fig. 4, left) obviously show various measures of central tendency and

⁷ Only half of the evolution coefficients are necessary for representing of DFT-results due to Hermitian symmetry (see Sect. 2.2). Therefore, since the driving maneuver is recorded with 4 Hz, Fig. 4 (right) represents the magnitude of Fourier coefficients for frequencies from 0 to 2 Hz. Both, zero and folding frequency are neglected here because they do not provide any information about the maneuver structure.

dispersion, which are summarized in the “Appendix”. Furthermore, the Fourier analysis (see Fig. 4, right) provides direct information on the maneuver structure. The type and shape of oscillations with varying frequency and amplitude occurring in a concrete maneuver are specific: Basically, a balanced driving style with low short-periodic amplitudes is characterized by low Fourier coefficients at higher frequencies, whereas high Fourier coefficients at low frequencies reflect a generally increased level for acceleration values. In the example, the coefficients vary greatly with regard to the small frequency range. For instance, the weight of the coefficients of the five lowest frequencies concerning lateral acceleration of Fig. 4 (a) is twice as high as the weight in (b) and (c). Apart from the coefficient at the lowest frequency (0.0625 Hz, i.e. a period of 16.00 s)⁸ this is due to the high coefficient at the third lowest frequency (0.1875 Hz, i.e. a period of 5.33 s), which reflects the period of the effective turn over the entire lateral acceleration process. With respect to the longitudinal acceleration, in particular, note that the relatively low coefficient for the frequency of 0.1875 Hz in Fig. 4b is compensated in the frequency range up to 0.8 Hz.

In the high frequency range, it must be kept in mind that the turn right maneuver illustrated in Fig. 4c takes up to 30 seconds because of a standstill of 10 seconds at a crossroad. From a purely technical viewpoint, this initially leads to frequency increments half the size of those in Fig. 4a, b. Moreover, the acceleration behaviour automatically seems to be more balanced due to the long standstill. However, for all three examples, it is clearly evident that the noise in small period is reflected in Fourier coefficients with higher frequencies. For example, the coefficients concerning the lateral acceleration around the 1 Hz frequency in Fig. 4b illustrate the oscillation of the lateral acceleration up to 4 seconds.

We can conclude that magnitudes of Fourier coefficients can be considered as relevant characteristics for differentiation both between and within specific maneuver types and thus allow a classification of maneuver structures, when combined with measures of central tendencies and dispersion. The final evaluation of specific maneuver structures concerning to the risk is to be made empirical on the basis of claims expectations obtained from intuition or real experience. It seems therefore useful to build up an extensive claims history in the long term, by analogy with meaningful risk statistics of the German Insurance Association across the market legalized by the block exemption regulation 2010 (insurance sector).⁹ However, the analysis of general accident statistics [13, 19] is initially conceivable for a transitional period.

3.2 Section and trip scale

Driving behaviour analysis over longer time is the basis for determining a comprehensive driving style under specific environmental conditions. Therefore, driving profile structures divided into sections or even trips only provide the foundation. This chapter deals with the exemplary classification of sections by road

⁸ The following relationship exists for frequency f [Hz] and period duration T [s]: $T = \frac{1}{f}$.

⁹ VO (EU) Nr. 267/2010.

type.¹⁰ To this end we observe the kinematic telematic data of a single, albeit representative trip that can be decomposed into three separate sections by road type discrimination; in Fig. 5 (above) there are two vertical lines indicating the section limits as well as labels for the respective road type. From the position space data we clearly observe that the three sections differ in each observed parameter, the velocity distribution as well as longitudinal and lateral acceleration behaviour.

Moreover, Fourier coefficients (see Fig. 5, below) provide significant information about the profile structure, which is not reflected in statistical measures describing the distribution in highly aggregated form only (see “Appendix”).^{11,12} However, it should be noted that we do not analyze intrinsically periodic signals (as in the case of maneuvers recurring periodically), but try to identify hidden periodicity. For that, it is useful to fit the measured data in the DFT plots as the deviations of the coefficients from the fits indicate these characteristics.¹³

As expected, driving in an urban environment again shows unsteady levels of traffic flow, indicated by high fluctuations in the acceleration behaviour, whereas the maximum speed is limited to roughly 50 km/h. The steering behaviour is fluctuating as well. With this in mind, it is not surprising that the DFT spectrum of the city sections is qualitatively bumpy, indicating unsteady driving according to the traffic environment of cities. By looking at this single instance of a section and its Fourier transform, we show that it deviates heavily from the expected average value (see the fitted lines). With a portfolio large enough it is therefore possible to obtain

¹⁰ Since the driving behaviour naturally differs between different road types, we chose this particular selector to highlight the significance of the Fourier analysis of driving profiles. Other conditions and contexts are also possible, for example differentiation with respect to weather/light conditions or time of day.

¹¹ For the DFT, we reduced the degree of detail to the mean value of 4 seconds, i.e. to a frequency of 0.25 Hz; we thus abstract the information to the required precision at the section level. Therefore, by reason of Hermitian symmetry (see Sect. 2.2), Fig. 5 (below) represents the magnitude of Fourier coefficients for frequencies from 0 to 0.125 Hz. The zero frequency, which generally reflects the homogeneity of the telematic measurements, is also shown.

¹² Instead of processing the signal data directly, one can resort to model the auto-correlation function instead, given by $R_{m_k^{(j)}}(\tau) = \frac{1}{n_k} \sum_{t=1}^{n_k} m_k^{(j)}(t) m_k^{(j)}(t + \tau)$, where $\tau \in \mathbb{N}$ is the probed period length. However, to address the question when to use which quantity, there is no sufficient portfolio data available to define figures of merit for this particular case and this comment should be considered for brevity.

¹³ We fitted the DFT spectrum after the following considerations: Due to Parseval’s theorem, the total energy of the process (and thus, in the discrete case, the sum of all Fourier coefficients) in the frequency domain matches the integral over the velocity data in positional space. As a consequence from the fact that frequency is proportional to the inverse period, we fit the velocity transform by $F(x) \sim \mu_{k,2}^{(j)} \cdot e^{-0.57 \cdot x^{0.5}}$, where the scaling factor $\mu_{k,2}^{(j)}$ is the coefficient of the greatest period length, due to the expectation that higher frequencies must contain exponentially less energy in order to get a bounded expression. It appears as an exponentially less steeper line in the log plots. Although the longitudinal acceleration transform depends linearly on the velocity transform, its fit is almost linear due to the fact that the range of the coefficients is reduced compared to the velocity transform. It is thus sufficient to fit it by a linear expression as mean value for each Fourier coefficient per a portfolio average to indicate the expected distribution according to the central limit theorem that appears as a slightly exponentially decreasing function in the log plots. The dependent part of the lateral acceleration transform shows, like the longitudinal dimension, a limited range. Therefore, even without direct connection with the energy as in the case of the longitudinal acceleration, we fit it by a linear expression too.

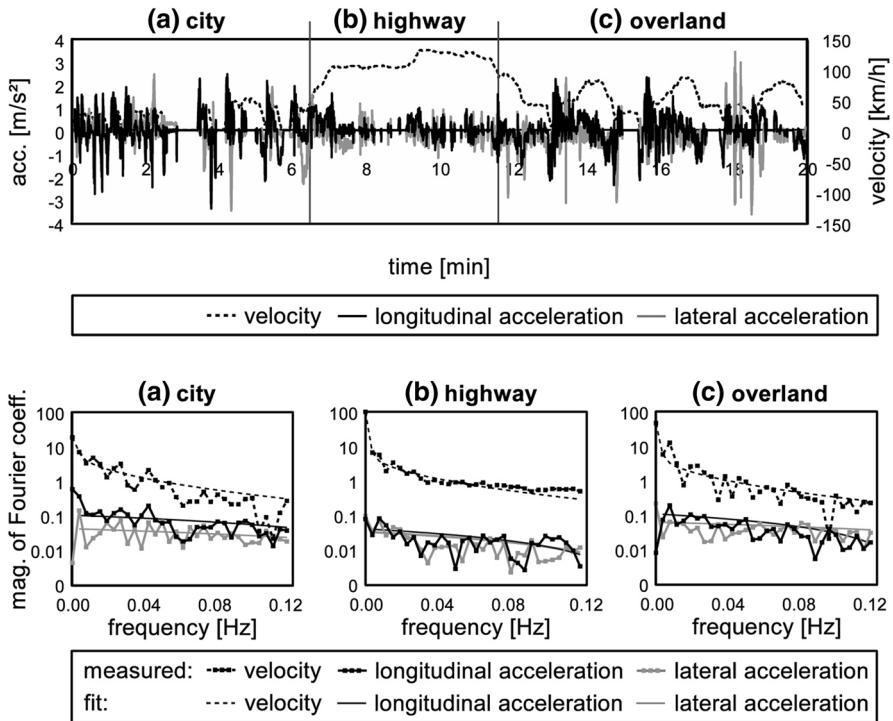


Fig. 5 Driving behaviour during a single trip separated according to road types (above) and their respective DFT spectrum (below)

significant differentiation of both measures of central tendency and spread and its associated Fourier coefficients.¹⁴

Since driving behaviour on highways is highly linear, both positional space measurements as well as their Fourier coefficients are very smooth¹⁵ in comparison to urban traffic environments. As such, most sections will match well with the expected distribution of measures of central tendency and spread as well as their respective DFT spectrum and the expectation values in mean (again depicted by the fitted lines). We conclude two important points from this observation: First of all, deviant and possibly hazardous driving behaviour on highways is easier to discover than in other environments, and secondly, it means we can economize on measured data, e.g. by limiting the DFT to even fewer coefficients. Since highways are the

¹⁴ As basic property of Fourier analysis, the longitudinal acceleration behaviour must differ from the velocity coefficients only by a constant as the former is the time derivative of the latter. As such, plotting and analyzing both measurement parameters is redundant if they are derived from the same source. If, however, as is the case with some of the emerging hardware solutions, velocity is obtained from GPS measurement whereas acceleration data is measured by respective acceleration sensors, the comparison at hand provides either redundancy or plausibility checks of either device.

¹⁵ “Smoothness” of the DFT spectrum of the acceleration behaviour is meant here as in the sense of small coefficients.

least risky road type anyway [19], it seems reasonable to limit, at the level of sections, costly pattern recognition algorithms to a minimum.

Interurban driving sections consist of quasi-periodic transitions of overland parts with (short) village transits characterized by two distinct modes of operation: In the village the maximum speed is lower than in-overland, but usually gives rise to less prominent acceleration values both, in longitudinal and lateral direction. As a consequence, in the overland parts, this kind of road type consists of many strong (longitudinal) acceleration and deceleration processes that are all of comparable scale. It is therefore prone to analysis of its discrete Fourier transform since the driving behaviour forced by the environment is as close to periodic as possible, which can be observed in section (c) of Fig. 5 (above). Consequently, the Fourier coefficients of this example trip vary greatly both in longitudinal as well as lateral direction; compared to the expected mean value [fitted line in section (c) of Fig. 5, below], overland sections show extremely diverse Fourier coefficient distributions. This indicates that at the level of individual frequency ranges a lot of information about the driving style can be acquired once a broad data base is obtained, e.g. reaction times as well as over- or understeering in roads following twisting terrain.

In conjunction with cluster analysis methods merging measures of central tendency and spread together with quantitative Fourier analysis of the respective frequency ranges, we can match the observed telematic driving profile with driving styles obtained from, e.g., Weidner et al. [25]. We consequently obtain scoreable results for both individual sections as well as full trips.

It is important to note however that the analysis of full trips is, although technically identically obtained, treating a different time scale than sections. Its analysis aims to compare trips of possibly vastly differing characteristics, whereas on the level of sections each observation (i.e., the observed stretch of a singular category, e.g., driving at a certain time with certain weather conditions on a certain road type) should be directly comparable. In practice, the level of contextual discrimination depends both on the contextual data available as well as the portfolio size in order to obtain significant results.

3.3 Insurance period scale

While the previous scales could in principle be attributed to ad-hoc data, analysis on the level of the insurance period, whenever available, aims to describe long-term behaviour that cannot be deduced from single trips. This highest aggregation level still can be of use in order to gain knowledge about the claims expectations, most notably by exploring variables that potentially change over the time of the insurance period. For example, on the level of maneuvers and sections, adding context information about weather or traffic conditions can be used to assess whether the driver conforms to the imminent environmental requirements, but not whether he is consistent over time in his behaviour. To this end we can examine, either on the level of the full insurance period or on aggregated time periods such as weeks, months or quarters, questions about the superordinate driving behaviour by aggregation. This level thus shares most similarity with regards to classical insurance tariff calculations, e.g. by comparing mileage or adherence to the overall

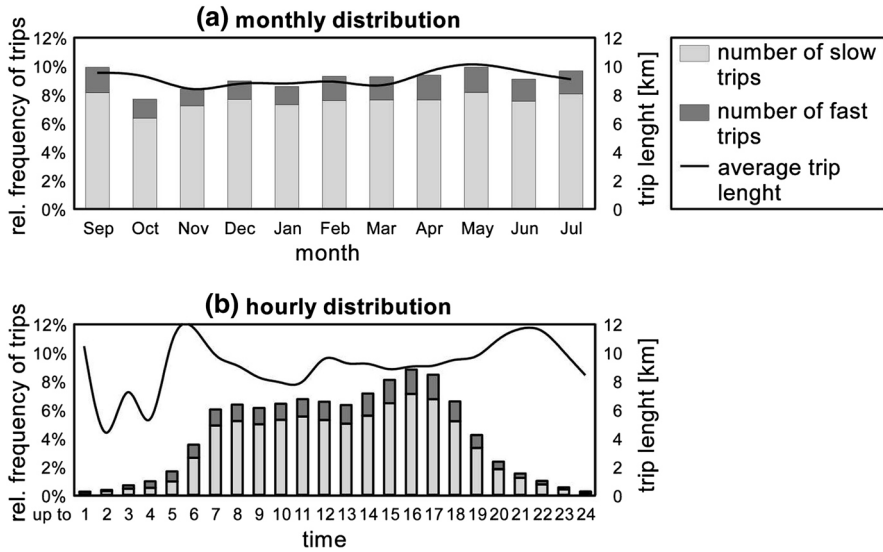


Fig. 6 Vehicle trip distribution of the telematic portfolio per month and according to time of day

regio class with the actual position of the car. Furthermore, we can compare driving styles with respect to various indirect measures, such as whether the driver undertakes regular commute trips and their respective influence on the total claims expectations.

To highlight these mentioned statistical measures, we present results from a telematic portfolio of a German car insurer that covers 199,388 trips with a total length of 1,836,123 km from several hundred vehicles for a period of 11 months (see [24], for more details). Figure 6 shows the percentage distribution of the recorded trips and the average trip length per month respectively according to time of day; a differentiation is made between the share of trips attributed to either slow or speedy driving behaviour.¹⁶

There are several observations to be drawn from the data. First of all, in the winter months (October to February), both total number of trips as well as average trip length see a significant decrease, the former being most notable in October due to German fall holidays occurring in this month. The effect of school holidays resulting in longer, albeit fewer trips can also be observed prominently in April and June; the examination of the August school break most prone to holiday traffic jams is unfortunately not part of the test interval, but we nevertheless conjecture the effect to be amplified for that month. Moreover, we can observe that the faster

¹⁶ The main point of investigation in Weidner et al. [24] was to determine representative driving styles differentiating the velocity and longitudinal acceleration behaviour for each trip. In their research, they find two groups of driving styles depending on the velocity process—with the same or similar acceleration and deceleration value distribution—those with lower (i.e. up to 50 km/h in the mean) and those with higher velocity values (i.e. more than 50 km/h in the mean), whereas no differentiation regarding road type was made.

driving style shows a significantly reduced share during the winter months, allowing us to conclude that on average the telematic portfolio drivers adapted to the more dangerous road conditions and less visibility in the winter term.

Using the time of day as the primary differentiation parameter, we observe that during the night time there are considerably less trips, whereas the rush hour of this portfolio can be located between 7 and 9 o'clock in the morning as well as 3 and 6 o'clock in the afternoon. During working hours the amount of trips is relatively constant, although the average trip length is not: Being maximal at the 5-6am and 8-9pm intervals due to above-average-length commutes, average trip length is minimal during the night¹⁷ and shows a local minimum at 11am, then rising considerably at lunch time. Regarding the driving styles it is worth noting that although the ratio of the slow and fast trips is approximately constant during the day time, it almost balances during night hours because of the extensive reduction of traffic during this time.

Taken together, these results indicate individual behavioural patterns depending on the season and time of day. For example, it would seem likely that an exploration of the expectancy claims comparing policy holders going on vacation with those staying at home would yield differentiation potential for large enough portfolios. In order to exhaust other differentiation opportunities, the relative ratio between slow and fast trips per driver can be addressed, possibly incorporating additional contextual parameters such as weather or, more explicitly, temperature. Of course in larger portfolios, one can also perform the derivation based on more detailed driving styles to gain more precise data about the respective distributions. Other questions of interest that can be examined without adding contextual information include for example detailed lighting models incorporating data about the relative angle of the sun most important at twilight conditions as well as the winter term merged with directional data predicting the amount of direct or indirect glare, more explicit distributions for the road type (either by merging with GPS-based map data or by accessing the road type by pattern matching) or changes in the driving style distribution of an individual driver-vehicle unit over time to account for changed driving habits or abilities.

3.4 Multiscale considerations

To capture insights from all investigated scales, a weighted averaging must be performed. Since the format of Definition 5 is chosen such that at all times any individual bi-comparative score function represents the statistical risk associated with the respective behaviour pattern, the overall score can be obtained by multiplication of the scores of all scales. For weighting factors between different scale levels, it is crucial that every characteristic of a trip is included in the entire

¹⁷ It is worth noting that naturally, the available amount of data for the night time is two orders of magnitudes smaller than at day time, such that all conclusions must be thoroughly checked against both portfolio size and total number of trips, especially if conclusions are drawn with respect to large personal injury and material damage occurring at night time. Consequently, for a risk-adequate scoring it is necessary to compare the distribution of the individual ratio of driving styles (per hour) with the portfolio or segment of choice, weighted with the risk associated with each driving style and time of day.

driving style combination in order to capture the risk information extracted from the respective scale. This means that these factors are best chosen as shares normalized with respect to their effective influence on the entire risk across the whole ensemble.

Keep in mind that the shares of specific driving styles within the same level need also to be selected in such a way that they properly reflect the ratios of the driving styles across all sequences collected per vehicle within the defined time horizon. One possible approach would be to define a weighting based on mileage or driven time.

4 Conclusion and Outlook

In this research we present an approach for evaluation of car insurance telematic data performed over weighted convex driving style combinations. Therefore, we subdivide telematic driving profiles into four scale levels, differing in their period length and time granularity, and differentiate driving behaviour with respect to the chosen scale. Our empirical data leads to the conclusion that, taking into account pattern recognition and Fourier analysis, we can represent driving situations accurately, demonstrate differentiation potential and, given comprehensive risk experience, can score driving behaviour for risk individual pricing.

This implies that, in practice, risk-classification can be performed as detailed as the respective technological implementation allows. It is important to note that at the current stage of development, there is no canonical way to assess the true, actuarial risk of any identified pattern—but without collecting the data and formatting it to suit advanced analyzes a priori, no analysis can be performed once the risk experience can be assessed in posteriority. If however, the information is reduced before identifying the most important observables, the precision of any analysis will inevitably be poor.

Although widely considered as transitional solution to bridging the gap toward autonomous driving, one can already see the massive impact of telematics technologies when compared to the approximate traditional tariff criteria of non-telematic insurance pricing. Not only can semantically rigorous replacement properties such as the actual garage usage of the policy owner be thoroughly tracked, but also consequently be used to verify and enhance the understanding of not only the telematic portfolio, but also, when cross-referenced with standard portfolios, expand on the sociodemographic knowledge about all policy owners.

Appendix: Measures of central tendency and dispersion

See Tables 1, 2, 3, 4, 5 and 6.

Table 1 Features concerning turn right maneuver of Fig. 4a (16 s in total)

	Longitudinal axis		Lateral axis	
	acc.	dec.	Left steer.	Right steer.
0th order of motion				
Duration [s]	10.00	5.75	8.00	7.50
Distance [m]	42.64	31.60	37.78	36.04
1st order of motion				
Min [km/h]	12.00	15.00	14.00	12.00
Max [km/h]	19.00	24.00	20.00	26.00
Median [km/h]	16.00	20.00	17.00	15.00
Iqr [km/h]	2.00	5.00	2.50	9.00
2nd order of motion				
Min [m/s ²]	0.03	0.02	0.05	0.05
Max [m/s ²]	0.96	2.47	0.39	2.45
Median [m/s ²]	0.45	0.22	0.20	0.86
Iqr [m/s ²]	0.55	1.10	0.11	1.09

acc. acceleration, i.e. all measured positive values in longitudinal direction, *dec.* deceleration, i.e. all measured negative values in longitudinal direction, *left steer.* left steering, i.e. all measured values in left lateral direction, *right steer.* right steering, i.e. all measured values in right lateral direction

Table 2 Features concerning turn right maneuver of Fig. 4b (16 s in total)

	Longitudinal axis		Lateral axis	
	acc.	dec.	Left steer.	Right steer.
0th order of motion				
Duration [s]	9.50	4.75	7.00	7.00
Distance [m]	27.30	28.68	34.18	19.93
1st order of motion				
Min [km/h]	3.00	14.00	11.00	3.00
Max [km/h]	23.00	27.00	27.00	27.00
Median [km/h]	9.00	24.00	16.00	9.00
Iqr [km/h]	10.93	7.00	6.00	10.00
2nd order of motion				
Min [m/s ²]	0.21	0.28	0.15	0.10
Max [m/s ²]	1.38	1.95	0.64	1.37
Median [m/s ²]	0.75	1.31	0.29	0.44
Iqr [m/s ²]	0.47	0.34	0.20	0.66

acc. acceleration, i.e. all measured positive values in longitudinal direction, *dec.*, deceleration, i.e. all measured negative values in longitudinal direction, *left steer.* left steering, i.e. all measured values in left lateral direction, *right steer.* right steering, i.e. all measured values in right lateral direction

Table 3 Features concerning turn right maneuver of Fig. 4c (28 s in total)

	Longitudinal axis		Lateral axis	
	acc.	dec.	Left steer.	Right steer.
0th order of motion				
Duration [s]	9.00	6.75	12.00	4.50
Distance [m]	39.38	43.47	68.75	22.57
1st order of motion				
Min [km/h]	0.00	0.00	0.00	8.00
Max [km/h]	31.00	35.00	35.00	34.00
Median [km/h]	15.00	27.00	28.00	16.50
Iqr [km/h]	16.25	14.00	32.00	9.00
2nd order of motion				
Min [m/s ²]	0.05	0.05	0.05	0.15
Max [m/s ²]	2.01	2.94	1.08	1.67
Median [m/s ²]	0.69	1.77	0.44	0.69
Iqr [m/s ²]	0.78	1.72	0.31	0.61

acc. acceleration, i.e. all measured positive values in longitudinal direction, *dec.* deceleration, i.e. all measured negative values in longitudinal direction, *left steer.* left steering, i.e. all measured values in left lateral direction, *right steer.* right steering, i.e. all measured values in right lateral direction

Table 4 Features concerning city section of Fig. 5a (329 s in total)

	Longitudinal axis		Lateral axis	
	acc.	dec.	Left steer.	Right steer.
0th order of motion				
Duration [s]	124.50	148.00	112.50	134.75
Distance [m]	710.31	944.52	769.05	790.13
1st order of motion				
Min [km/h]	0.00	0.00	0.00	0.00
Max [km/h]	49.00	48.00	48.00	49.00
Median [km/h]	20.00	26.00	27.00	24.00
Iqr [km/h]	15.00	15.00	20.00	14.00
2nd order of motion				
Min [m/s ²]	0.03	0.02	0.05	0.05
Max [m/s ²]	2.45	3.43	3.48	2.45
Median [m/s ²]	0.72	0.26	0.25	0.29
Iqr [m/s ²]	0.66	0.59	0.39	0.25

acc. acceleration, i.e. all measured positive values in longitudinal direction, *dec.* deceleration, i.e. all measured negative values in longitudinal direction, *left steer.* left steering, i.e. all measured values in left lateral direction, *right steer.* right steering, i.e. all measured values in right lateral direction

Table 5 Features concerning highway section of Fig. 5b (304 s in total)

	Longitudinal axis		Lateral axis	
	acc.	dec.	Left steer.	Right steer.
0th order of motion				
Duration [s]	83.25	58.25	116.50	32.50
Distance [m]	2345.11	1834.56	3451.97	982.93
1st order of motion				
Min [km/h]	52.00	62.00	52.00	67.00
Max [km/h]	130.00	131.00	131.00	131.00
Median [km/h]	102.00	113.00	103.00	103.00
Iqr [km/h]	26.50	24.00	24.00	24.00
2nd order of motion				
Min [m/s ²]	0.05	0.05	0.05	0.05
Max [m/s ²]	1.37	1.32	1.18	1.08
Median [m/s ²]	0.34	0.25	0.34	0.25
Iqr [m/s ²]	0.44	0.34	0.39	0.34

acc. acceleration, i.e. all measured positive values in longitudinal direction, *dec.* deceleration, i.e. all measured negative values in longitudinal direction, *left steer.* left steering, i.e. all measured values in left lateral direction, *right steer.* right steering, i.e. all measured values in right lateral direction

Table 6 Features concerning overland section of Fig. 5c (498 s in total)

	Longitudinal axis		Lateral axis	
	acc.	dec.	Left steer.	Right steer.
0th order of motion				
Duration [s]	159.75	173.00	303.50	35.75
Distance [m]	2115.44	2585.15	4420.53	398.95
1st order of motion				
Min [km/h]	0.00	0.00	0.00	0.00
Max [km/h]	90.00	92.00	92.00	88.00
Median [km/h]	47.00	54.00	49.00	38.00
Iqr [km/h]	28.00	38.00	35.00	26.00
2nd order of motion				
Min [m/s ²]	0.02	0.03	0.05	0.05
Max [m/s ²]	2.11	2.31	3.68	2.60
Median [m/s ²]	0.49	0.44	0.39	0.29
Iqr [m/s ²]	0.49	0.69	0.29	0.74

acc. acceleration, i.e. all measured positive values in longitudinal direction, *dec.* deceleration, i.e. all measured negative values in longitudinal direction; *left steer.* left steering, i.e. all measured values in left lateral direction, *right steer.* right steering, i.e. all measured values in right lateral direction

References

1. BIBA (2012) Research on telematics market. <http://www.biba.org.uk/UploadedFiles/556biba%20research%20paper.pdf>. Accessed Oct 2015
2. Bracewell RN (1986) The Fourier transform and its applications. McGraw Hill, New York
3. Bruneteau F (2015) The impact of telematics on the motor insurance business model. Focus-Motor Insurance & Reinsurance, p 14–21
4. Cooley J, Tukey JW (1965) An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. *Math Comp* 19(90):297–301
5. Daschner D, Gwehenberger H, Schwarz S, Wermuth G, Schönfelder M, Hofmann F (2010) Unfallstruktur- und Wirkpotenzialanalysen zu den AKTIV-Applikationen auf der Basis von Pkw-Haftpflichtschäden mit Personenschaden. Bericht zum Forschungsprojekt AKTIV-AS, Bundesministerium für Wirtschaft und Verkehr, München
6. Duda RO, Hart PE, Stork DG (2000) Pattern classification, 2nd edn. Wiley-Interscience, New York
7. Dym H, McKean HP (1972) Fourier Series and Integrals. Academic Press, New York
8. Unfalltypen-Katalog GDV (1998) Leitfaden zur Bestimmung des Unfalltyps. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (damals: Institut für Straßenverkehr), Köln
9. Gschwendtner K, Kiss M, Gwehenberger J, Lienkamp M (2014) “In-Depth”-Schadenanalyse, Anforderungen und Potenziale. *VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik* 272–284
10. Insurance Europe (2014) Statistics No50- European Insurance in Figures. <http://www.insuranceeurope.eu/uploads/Modules/Publications/statisticseuropeaninsuranceinfigures.pdf>. Accessed July 2015
11. KPMG, Gibt es eine Zukunft für die KFZ-Versicherung? KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, Berlin, 2015
12. Karapiperis D, Obersteadt A, Brandenburg A, Castagna S, Birnbaum B, Greenberg A, Harbage R (2015) Usage-based insurance and vehicle telematics: insurance market and regulatory implications. *CIPR Study Series* 2015–1:1–79
13. Malta L, Ljung Aust M, Faber F, Metz B, Saint Pierre G, Benmimoun M, Schäfer R (2012) Deliverable 6.4—Final results: impacts on traffic safety. http://www.eurofot-ip.eu/download/library/deliverables/eurofotsp620121121v11dld64_final_results_impacts_on_traffic_safety.pdf. Accessed Oct 2015
14. Morawetz M (2015) Keine aktuariell auskalkulierten Telematikprodukte. <http://versicherungswirtschaft-heute.de/koepfe/keine-aktuariell-auskalkulierten-telematikprodukte/>. Accessed July 2015
15. Niemann H (2003) Klassifikation von Mustern. 2nd Edition in the internet, <http://www5.cs.fau.de/fileadmin/Persons/NiemannHeinrich/klassifikation-von-mustern/m00-www.pdf>. Accessed October 2015
16. 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/>. Accessed July 2015
17. Perner P, Petrou M (eds) (1999) Machine learning and data mining in pattern recognition. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
18. Scott AJ, Knott M (1974) A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics* 30(3):507–512
19. Statistisches Bundesamt, Verkehr—Verkehrsunfälle 2014. Fachserie 8 Reihe 7, Wiesbaden, 2015
20. Swiss Re (2015) Life insurance in the digital age: fundamental transformation ahead. *Sigma* 6/2015, Zürich,
21. Theodoridis S, Koutroumbas K (2008) Pattern recognition, 4th edn. Academic Press, Boston
22. Walker JS (1988) Fourier analysis. Oxford University Press, New York
23. Weidner W, Transchel FWG (2015) Aktuarielle Besonderheiten bei der Kalkulation von Telematik-Tarifen in der Kfz-Versicherung. *ZVersWiss* 104(5):595–614
24. Weidner W, Transchel FWG, Weidner R (2015) Telematic Driving Profile Classification in Car Insurance Pricing. Working Paper
25. Weidner W, Weidner R, Transchel FWG (2015) Die Implementierung der Pkw-Telematik in die Kfz-Versicherungstarifizierung—Ein Analyse-Ansatz für Fahrprofile. *Zeitschrift für Verkehrswissenschaft* 85(2):91–121
26. Wolff DD, Parsons ML (1983) Pattern recognition approach to data interpretation. Plenum Press, New York
27. Wong MW (2011) Discrete Fourier analysis. Birkhäuser Verlag, Basel

Modul 11

Human Hybrid Robot, Next-generation Support Technology for Manual Tasks: Challenges, Perspectives and Economic Implications

Zhejun Yao
Wiltrud Weidner
Robert Weidner
Jens P. Wulfsdorf

SAE Technical Paper 2015-01-2601, 2015

DOI:10.4271/2015-01-2601



Human Hybrid Robot, Next-generation Support Technology for Manual Tasks: Challenges, Perspectives and Economic Implications

2015-01-2601
Published 09/15/2015

Zhejun Yao

Helmut Schmidt University

Wiltrud Weidner

Leibniz University Hannover

Robert Weidner and Jens Wulfsberg

Helmut Schmidt University

CITATION: Yao, Z., Weidner, W., Weidner, R., and Wulfsberg, J., "Human Hybrid Robot, Next-generation Support Technology for Manual Tasks: Challenges, Perspectives and Economic Implications," SAE Technical Paper 2015-01-2601, 2015, doi:10.4271/2015-01-2601.

Copyright © 2015 SAE International

Abstract

Despite the increasing application of automated systems, manual tasks still plays an important role in industrial production. The intelligence and flexibility of human enable quick response and adaptive production for the individual requirements and the changes in market. Moreover, some manufacturing tasks with sensible and high-value components (e.g., in electronic and aircraft production) requires attentive manual handling. Regarding the requirement of increasing productivity as well as ergonomic improvement and the aging of the employees, there is a significant need for technologies which support the staff individually by performing tasks. Human Hybrid Robot, a hybrid system with direct coupling (serial and/or parallel) of human and mechatronic elements, is a new trend in application of robotic technologies for supporting manual tasks. It realizes a synchronous and bidirectional interaction between human and mechatronic and/or mechanic elements in the same workspace. This paper will discuss the challenges to realize the concept of Human Hybrid Robot for industrial application. According to the challenges we will give an overview of relevant technologies. Finally, it will concludes with the economic implications of such systems as well as an outlook on future research.

1. Introduction

Under the impact of globalization and demographic trends, today's manufactures are facing the following challenges: rapidly changes in global market, more stringent customer demands, aging employees, increasing heterogeneity of staff (e.g., skills and knowledge) and intense world competition. In order to meet the more specific, diverse and individualized customer requirements, manufacturing process are becoming more complex. Production systems also need to be more flexible for reconfiguration due to the uncertainty of changing market demand. Under this circumstance, it is significant and necessary to keep manual tasks in production today and in future. The high intelligence,

adaptability and agility of human enable them to handle the increasing complexity and flexibility of manufacturing. Moreover, manufacturing companies are forced to improve the productivity and efficiency of their production for a long-term in order to remain competitive.

Despite the staff qualification as well as production planning and control, another two factors have growing influence on productivity and production quality in manual tasks: working ergonomics and aging of workforce. Substantial evidence have been found that working ergonomics is directly related to productivity and production quality as well as worker's compensation cost and employee turnover [1], [2]. Musculoskeletal disorders (MSDs) are the most common occupational disease as well as factor which may adversely affect the health of workers due to poor ergonomic working conditions, e.g., awkward postures, lifting or moving heavy objects and using vibrating equipment. According to the report from European Commission about 40% of the worker's compensation cost are attributable to MSDs in some EU Member States [3]. Regarding the demographic change in Europa, more than a quarter of all employees will be older than 50 years in 2020 [4], and elderly people are more susceptible to MSDs. Many companies have taken appropriate measures to reduce ergonomic-related problems, e.g., production-oriented product design, ergonomic design of workstations, implementation of lift assist device or other ergonomic handling devices. However, a considerable part of the problems is still not resolved. In summary, there is an obvious demand on new support technology that enables workers to perform manual tasks comfortably, safely, quickly and accurately without replacing by machines.

1.1. Human Hybrid Robot

The concept of Human Hybrid Robot (HHR) can be characterized by direct coupling of human, technical systems, tools and functionalities (e.g. mechanism for integrated quality assurance) [5]. The main idea is

the integration of technical and biological elements as well as the realization of a synchronous and bidirectional interaction between human and mechatronic and/or mechanic elements in the same workspace. HHR is a complementary approach which combines the strengths of both human and machines (i.e., robots): people have high intelligence, adaptability and skillful hands to deal with complex tasks and uncertainties; machines, on the other hand, are powerful, tireless and precise for repetitive and heavy tasks. Figure 1 illustrates the working principle of support systems based on the HHR-concept (abbreviate it as HHR support system). For a given task, the worker use tool to finish the task with the help of technical system, tool and other functionalities (e.g., cognitive assist), collectively referred as HHR support system. The technical system is a mechatronic and/or mechanic system, which can fit the human motion and provide physical support like reduction of musculoskeletal stress and opportune power augmentation. Cognitive assist functionalities mainly address process monitoring and quality control. The entire HHR support system is always under the control of worker and work as a part of the human body. This paper will mainly focus on the relevant technologies for the technical system and cognitive assist functionalities.

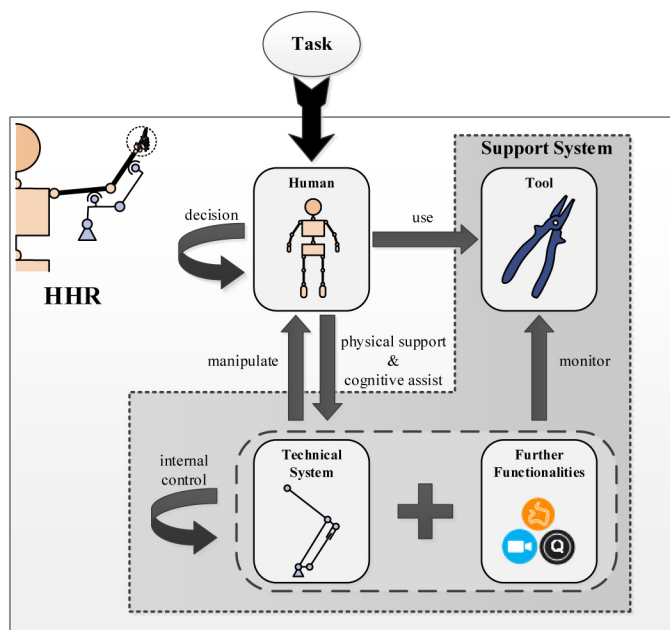


Figure 1. Working principle of Human Hybrid Robot (based on [5]).

1.2. Requirements

An overlook of main requirements of HHR support systems (not complete, but real examples) is presented in Figure 2. They are derived from three perspectives: user, business and production. The primary requirement of HHR support systems is to realize comfortable, safe, efficient and accurate manual tasks. Comfort means that, the system should fit the natural human motion rather than constrain or disturb the worker. In addition, intuitive operation is also very important for user acceptance and working efficiency. The variance in skill of workers and the difference in working status of every worker have influence on product quality. Thus, cognitive assist functions are needed to fill the gaps. Moreover, most manual tasks must be done in a complex and dynamic environment with movable co-workers, valuable devices and products. In order to avoid injuries and prevent accidental product or infrastructure damage, soft materials, safety mechanism and “fail-safe”-function are necessary.

Besides the primary requirement, the following aspects should also be considered by developing HHR: special restrictions, adaptability as well as adjustability, power supply, reliability and cost. Various restrictions from workstation should be considered by system design. For example, limited workspace and payload in fuselage only allows compact and lightweight system. Due to the diversity of manufacturing tasks, the support system should be able to satisfy different support demands, such as stabilisation of certain body part for awkward position and power augmentation for heavy payload. A fixed support system may be enough for sitting works, but is not suitable for tasks with high mobility. Under this circumstance, there is a justifiable need for a system which can be easily adapted to different use cases. On the other hand, the system should be easily adjustable for different workers. It is uneconomical to equip personalized support system for high staff turnover. For a successive production without interrupt, the system must keep robust even by rugged environment or error. Furthermore, power supply has to be provided independently and they should cover at least one shift (or an 8 hour use). The investment costs of the system should be as low as possible.

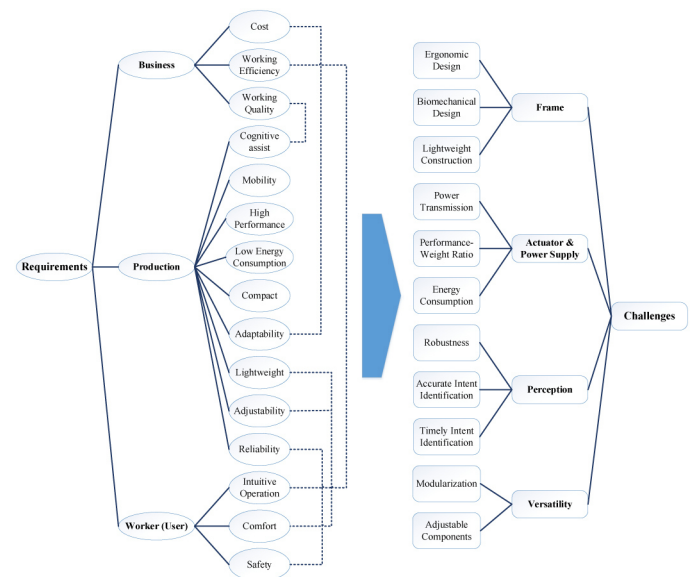


Figure 2. An overlook of main requirements and challenges of HHR support systems

2. Challenges for HHR Support Systems

According to the requirements mentioned above, a perfect HHR support system is a portable, skin-tight, adaptive and cost-efficient system with high performance and low energy consumption which can support the worker without giving discomfort and burden to him. To realize such a system, there is a series of challenges in terms of system frame, perception, actuation, power supply and versatility (see Figure 2).

The main purpose of system design is to maximize the motion compatibility between system and human. In other words, the constrained degrees of freedom on the human body should be as less as possible. For this reason special effort have to be put into biomechanical design to generate the natural human motion due to the complexity of the human musculoskeletal structure. An accurate biomechanical model is obviously needed here and it is highly dependent on further research in biomechanical engineering. Another important issue for the system design is the power transmission inside

the system as well as the transmission to human body. Despite the optimal power transmission ergonomic design should also be involved in human interface for a better use comfort, regarding material, form and location. Moreover, new technologies as well as new discoveries in the area of material and lightweight construction will help to provide a higher loading-mass ratio and to compact the system size.

An accurate and timely intent sensing is significant for an intuitive and synchronous interaction. Sensor technology, data processing methods and biomechanical analysis of human motion are relevant to this problem. Considering the uncertainties in human motion extensive information is necessary for intent identification or motion prediction. Appropriate sensors, e.g., force sensor, motion sensor and muscle activity sensor, should be firstly selected to build up a hybrid sensor system concerning their accuracy, precision, measuring speed and sensitivity. The determination of optimal measure point is another issue for a successful measurement. The total planning of the sensor network depends on the mechanical structure, type of actuators and the control strategy. As mentioned in [section 1.2](#), the sensors should be robust enough for industrial application, e.g., in rugged work environment with disturbance.

Another big barrier for compact and lightweight system structure is the actuators and their power supply. For the most actuators, the improvement of performance is normally followed by increasing mass or size. This rule is also valid for the capacity of power supply and their mass or size. Small size actuator as well as power supply with high performance-weight ratio are essential for the perfect HHR support system. Advanced power transmission technology is also necessary for that.

The diversity of worker, tool and support demand in manual tasks requires an adaptive system which can be easily adjusted or reconfigured for different applications. Adjustable design needs to be involved in the whole system, e.g., tool interface as well as user interface, for personal requirements. Modular design is a possible solution to improve the adaptability and flexibility of the system. The difficulty in modularization is the development of universal interface for easy build and transformation of force, information as well as energy.

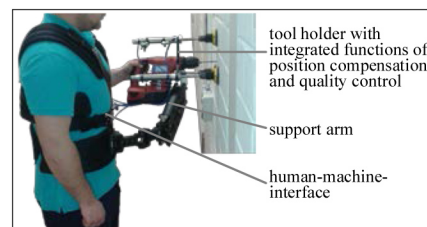
3. Overview of Relevant Technologies for HHR Support System

According to the requirements for industrial application and the challenges mentioned above, we will discuss the possibility and feasibility of different schemes for HHR support systems. Some representative example will be mentioned below in respect of physical support and cognitive assist. The recent advancements in the field of wearable robotic device, exosuit, orthopedic provide divers fundamentals for the development of HHR physical support system. An overview of the fundamentals will be conducted in following aspects: system construction, human intent estimation and actuation.

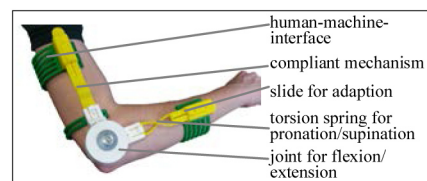
3.1. System Construction

The construction of HHR support systems deals with system architecture, human interfaces and materials. According to the support effect the system construction can be interpreted in two different ways: working as extra body parts, e.g., a third arm, or working as an external frame surrounding the human body.

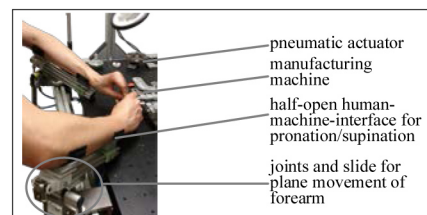
A HHR support system which works as extra body parts is not limited to anthropomorphic design. It allows any possible mechanical construction as long as the human motion never be disturbed. This provides the possibility to avoid design difficulties caused by mimicking the complex musculoskeletal structure. However, the safety problem becomes more prominent. On the one hand, the system should prevent collisions with operator as well as its surroundings; on the other hand, the system should not force the operator's body part out of their joint range of motion. Brown invented a dynamic support arm for holding and stabilization of payload such as camera [6]. The support arm functions like an unpowered lift mechanism driven by iso-elastic spring. The original application of the dynamic support arm is the "Steadicam" tool. [Figure 3 a\)](#) shows an exemplary solution with the support arm for manual assembly tasks [7]. The arm is attached to the torso of user via a vest and hold payload for the user. It works like a passive third arm led only by the operator. A tool holder with integrated functions of position compensation and quality control is connected to the support arm. Equipois integrated the iso-elastic lift mechanism to an exoskeletal arm "X-Ar" for manual tasks [8]. One end of the arm is attached to chair or workstation, while the other end is connected to the operator's arm. Its joint mechanisms allow the operator to work with full degree of motion. A further example is the Supernumerary Robotic Limbs, two wearable robotic arm designed by Parietti and Asada for aircraft fuselage assembly [9]. Each arm has 3 degrees of freedom and is powered for holding and positioning objects as well as stabilization and securing the human body.



a. [9]



b.



c.

Figure 3. Exemplary system constructions

Another type of HHR support system is like a frame fitting closely to the human body and able to follow the human motion. For example, [Figure 3 b\)](#) illustrates the concept design of a skin-tight, modular arm exoskeleton. Its joint, torsion spring as well as the compliant mechanism allows free movements of the forearm. This kind of

system structure nearly eliminates the possibility of collision between human and machine. However, it is not easy to mimic the human kinematic exactly due to the complexity of human biomechanics. Even slight misalignment can cause discomfort. The human body has around 230 joints with 244 degrees of freedom which are controlled by 630 muscles [10]. Many design issues arrive when trying to realize same degree of freedom as well as range of motion for each joint, like axis alignment and singularity. Some arm rehabilitation robot have been developed to simulate the 7 degrees of freedom in human arm: three in shoulder for flexion/extension, abduction/adduction and internal/external rotation; two in elbow for flexion/extension, pronation/supination; two in wrist for flexion/extension and radial/ulnar deviation. For instance, (CADEN)-7 designed by Rosen and Perry is a 7-DOF arm exoskeleton, allows all possible arm movements for the operator [11]. In order avoid the singularity problems in control, they moved singular configurations away from the workspace of human arm by optimizing joint arrangement. They introduced open design into human interface, semi-circular bearings with different orientations. This reduced discomfort caused by small misalignment and muscle flex. Tsagarakis and Caldwell developed a rehabilitation exoskeletal arm with seven degrees of freedom [12]. The system structure is mainly made from metal composite materials which is light, low cost but stable.

Safety and comfort are particularly important for rehabilitation robots due to the sensitivity of the patients. Anthropomorphic design enables the robot motion to align with the human motion. However, to realize full degree of freedom in the human body leads to increased complexity in system design and control. In order to simplify the problem, most available exoskeletons chose a construction whose kinematics approximates to the human kinematics. The Berkeley lower Extremity Exoskeleton (BLEEX), for example, modeled knee joint as simple rotary joint [13]. Similar to BLEEX, HAL-5 reduces the degree of freedom in elbow, shoulder, hip and knee joint to one for flexion and extension [14]. These simplification leads to obvious kinematic differences between wear and system. Large strain will be applied on wearer during inconsistent movement, if the whole system is tightly attached to wearer. Thus, it is very important to introduce compliant connection and reduce rigid connection. Rigid connections are generally located on torso, feet and forearm. A perfect connection plan should enables the system to be attached to wearer without restrictions. Based on force analyze of walking movement, the Honda walking assist aims to reduce the floor reaction force of wearer [15]. Different to other wearable robotic device, the walking assist is placed between the two legs with a seat to hold the torso. The weight of the user is transferred from the seat across the structure on to the ground through the shoes which are the only rigid connections between the device and user. [Figure 3 c\)](#) presents an support system which is mounted on a classic work bench for supporting manual tasks in e.g. microproduction. It is used to hold as well as stabilize worker's arm during the precise operations. Every armrest of the illustrated system has three degrees of freedom that enables necessary plane movements of the forearm. The half-open design of the human-machine-interface avoids rigid connections which would limit elbow pronation/supination.

Although many efforts have been made, there are still two big problems for rigid-frame exoskeletons: comfort and weight. The rigid frame adds more or less restrictions on the wearer's natural movement. Despite the misalignment of mechanical and

biomechanical joint, the rigid frame impose their inherent inertia on the wear. To overcome this inertia more power are required for actuation. That in turns leads to more payload from actuator as well as power supply on wear. Moreover, the compactness requirement from industrial application is another challenge for the rigid frame. To address these issues, some researchers have pay attention to develop soft frame with fabric linkage instead of rigid linkage. Wehner et al. developed a soft exosuit for augmentation of functional leg muscles in healthy body, comprising strong fabric bands and pneumatic muscle actuators [16]. The bands are inextensible and build up a triangular web with actuator attached. Alan et al. designed a cable-driven soft exosuit that can provide assist moments at the ankle and hip during walking [17]. The suit uses series of belts and traps to create a path to transfer loads between the ankle and the pelvis. The system frame is light and allows natural human motion without restrictions due to its fabric construction.

3.2. Human Intent/Motion Estimation

According to the requirements, the support system should follow the human motion and provide opportune and moderate support. That is to say, the system works only in the way the operator desires. This requires an accurate and timely identification of human intent, which could be measured generally in three different ways: direct measurement of the joint movement, detecting the interaction forces caused by the human motion and measurement of muscle activities. Relevant sensors are exemplary listed in [Table 1](#).

Every human motion involves joint movement and can be identified by angular position, velocity and acceleration of particular joint. Angular sensors are commonly used to detect the actual joint position, e.g., the Wearable-Agri-Robot developed by Toyama et al. for agricultural work [18]. Alwasel et al. use a magnetoresistive angle sensor to measure human joint angles [19]. Strain sensors can be applied to measuring the bending position of joint indirectly. It is placed normally around the joint and deformed with joint movement, leading to change of its electrical resistance which can be directly measured. In this way, the orientation changes of the joints can be identified. Park et al. use an in silicone rubber layer embedded strain sensor to experience the angle change of the ankle joint [20]. Gatti et al. integrate conductive fibers into skin-tight fabrics surrounding a joint for multi-axis joint angle measurements [21]. Inertial sensors, such as accelerometer and gyroscope, are widely used to monitoring the physical state thanks to their accuracy and unobtrusive wear experience during daily life in long time [18], [22]. The orientations of the body parts (e.g., arm and leg) as well as the intensity of physical activities can be estimated by using the joint angular velocity from gyroscope and the acceleration from accelerometer.

The human intent can also be estimated by measuring the force/torque from the operator on the system structure during particular movement. The detected force/torque, in this way, can be interpreted as command from human to system and used directly for actuator control. The selection of sensor type and their install location depend on the system structure and its working principle. For instance, force and pressure sensors are normally placed in human interface, while torque sensors are located around the mechanical joints [11], [13]. Honda walking assist device is equipped with force sensors to measure floor reaction

force and use it as input for assist force control [15]. Moreover, pressure sensor and footswitch are also applied for detecting foot ground contact and identify the gait cycle event [20], [17].

Muscle produce the force/torque necessary for human motion. Thus, analyzing muscle activity is another way to determine human motion especially the muscle force. EMG sensor detect the bioelectrical signal containing the motion intent transmitted from brain to muscle. This enables prediction of muscle movement before it occurs. For this reason, many exoskeletons use EMG signals as control input to make their assist action simultaneous with musculoskeletal actions, e.g., the robot suit HAL [14]. Other sensors like ultrasonic sensor, strain sensors and pressure sensors are used to monitoring the physical status of muscles. Koyama et al. developed an ultrasonic muscle activity sensor which can be integrated into clothe for muscle force detection. It estimate the muscle force by measuring the transmitting time of ultrasonic in muscle, which is changing with muscle movement [23]. Meyer et al. designed a pure textile, capacitive pressure sensor to measure muscle stiffness during musculoskeletal movement [24].

In summary, different kind of motion information are needed for an accurate and timely estimation of human intent. Interaction forces/torques can be used as command signal, while the required support force (set value for control) can be better calculated from the muscle activity information. The joint movement information shows the actual physical status of the human body and gives feedback to controller for verifying the support force. Furthermore, the measurement of joint movement and muscle activity allow a preventive monitoring of worker's physical status by working.

Table 1. Sensors for human intent/motion estimation

Measurand	Sensors
Joint Movement	Angle Sensor (e.g., Goniometry), Magnetic Sensor (e.g., Hall Sensor), Inertial Sensors (Accelerometer and Gyroscope), Strain Sensor (e.g., Fiber), Encoder, etc.
Interaction Force	Force Sensor, Torque Sensor, Pressure Sensor, Strain Sensor, Piezoelectric Sensor, Tactile Sensor, etc.
Muscle Activity	EMG, Pressure/Force Sensor (capacitive) as Muscle Stiffness Sensor, Strain Sensor, Ultrasonic Muscle Activity Sensor etc.

3.3. Actuation

Lightweight actuator with high performance and low energy consumption is always an important topic for robotics. For wearable support device “soft” is an additional requirement for actuators. In the following we will discuss both traditional and new actuator technologies which have been applied in exoskeletons and active orthosis. Table 2 shows a list of the actuators that could be used for HHR support system.

Electric motors are most widely used actuators due to their versatility, high-developed control technology and convenient power supply also for portable application, e.g., battery. According to power

transmission technology, motor-actuated systems generally falls into one of the three categories: gear drive [14], [15], direct drive [25] and cable/belt drive [9], [11], [17]. Gear and cable/belt drive can save the motor mass by amplifying the motor torque. However, it results in undesired tradeoffs like friction, backlash and nonlinear dynamics, which lead to difficulties in accurate control. Direct drive motor must be placed close to the joint, but increases rotational inertia. This could be critical for wearable system with high power requirements due to the low power-weight ratio. Cable/belt drive allows long distances power transmission without friction or backlash inherent to gears. Moreover, it is suitable for soft-frame support systems. Nevertheless, appropriate measurements are needed to overcome the difficulties caused by cable routing and nonlinear dynamics during system construction and control.

Hydraulic actuators have high performance-mass ratio, ideal linear characteristic low energy consumption and quick response. For this reason, BLEEX choose double-acting linear hydraulic actuators to assist walking [13]. Breifeld et al. presented a soft hydraulic actuator made from elastomeric bellow, inspired by dimensional peristaltic movement in worms [26]. By selection and implementation of hydraulic actuators, the leakage problem of hydraulic fluid should be carefully considered. Pneumatic actuators share the advantages of hydraulic actuators and avoids the leakage problem by using compressed air. Additionally, they are practically suitable for soft actuation application like human-robot interaction due to their inherently compliant behaviors. Tsagarakis and Caldwell developed an arm exoskeleton with pneumatic muscle actuators [8]. McKibben pneumatic actuators were chosen by Wehner et al. for a lightweight soft exosuit because of their compliance, muscle-like force length properties and easy driven by an off-board compressor [16]. Kadota et al. equip a power-assist robot arm with pneumatic artificial rubber muscles to mimic the motion of biarticular muscles [27]. Translating torques and rotational motion into linear forces is necessary for control of hydraulic and pneumatic actuators. Unlike traditional pneumatic actuator, pneumatic muscles have non-linear property which could not be ignored in control.

Shape memory material (SMM) are one kind of smart materials, which have the ability to return to a previously defined shape or size by external stimulus like temperature, stress, magnetic and electric field [28]. Recently, the shape memory effect have been found in a large variety of alloy, polymers and gel. All these materials can applied to generate force by giving particular inducement. Today many researches have been conducted to study shape memory alloy (SMA) and use it to develop new actuators. Stirling et al. use SMA to actuate an active soft orthosis for knee [29]. They form NiTi shape memory alloy wires into springs and attach them to a fabric frame. The SMA actuator is controlled by current to heat the spring and induce phase transition. De Laurentis and Mavroidis developed a prosthetic hand actuated with SMA artificial muscles [30]. The challenge for using SMA actuator is considering its hysteresis behavior by modeling and control. In compare with SMA, shape memory polymer (SMP) have easy shaping, high shape stability and adjustable transition temperature.

Table 2. Actuators for HHR

Actuator	Power Supply
Electric Motors (e.g., gear drive, direct drive, cable drive)	Electrical Energy (e.g., Battery)
Pneumatic Cylinders	Pneumatic Energy (e.g., Compressor, Pump)
Pneumatic Muscles (e.g., McKibben, Rubber Muscle)	Pneumatic Energy (e.g., Compressor, Pump)
Hydraulic Actuator (e.g., Cylinder)	Hydraulic (e.g., Accumulator, Pump)
Shape Memory Materials (e.g., Alloy, Polymer, Gel)	Electrical or Pneumatic Energy

3.4. Cognitive Assist

The primary objective of the HHR support system for industrial application is improving ergonomics as well as increasing productivity and product quality. Despite the physical ergonomics, the cognitive ergonomic has direct impact on productivity and product quality. By increasing complexity of manufacturing process and tasks, there is an obviously growing demand on cognitive assist, such as sensing augmentation, intelligent working instruction and quality control. On the other hand, worker's skill level vary with people and their physical as well as psychological status. Cognitive assist is able to reduce the influence of this variance and keep worker's effective working time as long as possible. For example, [Figure 4](#) illustrates an active support system with integrated cognitive functions for manual tasks. Besides physical support the robot also enables intelligent interaction with user, e.g. motion monitoring and haptic feedback for error prevention. The touch screen shows working instructions for the current assembly task and give user apropos feedback about his working states. A camera system is implemented for verifying the result of every assembly steps. Caudell and Mizell proposed an advanced technology to project a computer-produced diagram on a real-world object [\[31\]](#). It enables a flexible, dynamic visualization of working instruction and information without displays fixed in place. This leads to improvement of working efficiency in manual tasks. Molineros and Sharma developed an Augmented Reality interface for guiding manual assembly [\[32\]](#). It is a wearable display which can present assembly information on workstation and monitor the manual operations.

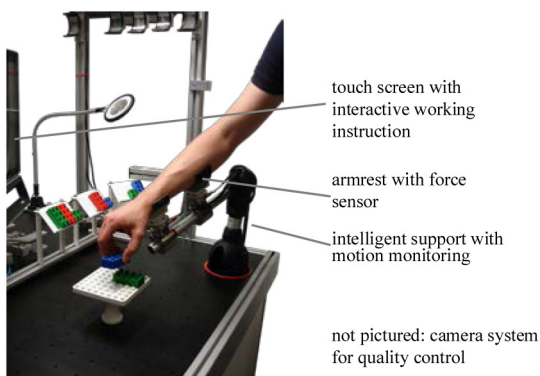


Figure 4. An active support system with cognitive functions (based on [\[7\]](#))

4. Perspectives

Although many advancement have been made in relevant technologies, there are still a large part of challenges need to be addressed. In order to meet the flexibility and adaptability requirements, a wearable structure will be the main direction for system design. There are two trends of the system construction: One is rigid-frame based on human skeletal structure; another is soft-frame inspired by muscle system. The focus for rigid-frame system is to realize a lightweight and compact structure. This needs new materials which are light, low cost but strong enough, like composite materials. Small size actuators with high power-weight ratio and low energy consumption are especially expected to improve the system performance without mass incensement. The advancement of soft-frame system depends highly on the development of soft actuators, particularly the textile-integrable actuators. Despite the structure and actuators, power supply is another big payload for the operator. For a portable system, a lightweight, standalone energy storage device is significant when it enables long-term application. Efficient power transmission technologies is a further factor for the system performance. An additional research point is accurate and oportune measurement of human intent/motion. Reliable and wearable sensor systems is necessary for day-to-day applications. The development of intelligent textile and clothing, which can be integrated with sensor, actuator, power supply and control unit, will cause an evolution of the wearable support system.

The development of HHR Support system can also benefit from some other advanced approaches and technologies, such as modular design, 3D printing and virtual imaging. Modular architecture enables high flexibility and adaptability for the system. Instead of developing a completely new system, a new variant can be finished by reconfiguration of available modules. New functionality can also be easily added to recent systems due to modularity. This will lead to reduction of development cost. 3D printing and scanning enables relative low-cost production of system frame and quick response to personal demands. Additionally, the individually customized system frame, especially the human interfaces, provide a more comfortable wear experience.

5. Economic Implications

Development and utilization of economic potentials of the systems based on the HHR concept by employees receiving work support on the one hand and companies using these technical support systems on the other have an enormous impact on national and international economy - especially under consideration of demographic change (see [Figure 5](#)). The focus here is on both preventative and operative measures with respect to working processes in order to deal with disability among an aging workforce. Human-machine interaction will induce changes in existing occupational structures. Above all, reduced invalidity is expected as a result if particularly physically strenuous work situations can be gradually avoided through the use of HHR concepts. This subsequently means lower costs for disability benefits or disability pensions as well as more capable taxpayers and contributors to social protection. As a welcome side effect, the number of people in employment will also preserve macroeconomic manpower as well as ensuring employee productivity through supporting working processes. Thus, investments in innovative support systems help to increase the added value. In turn, a reduction of charges on labor can be achieved due to an expected declining

invalidity rate. In this way, the future development of the unit labor costs is positively influenced and, moreover, international competitiveness is enhanced.

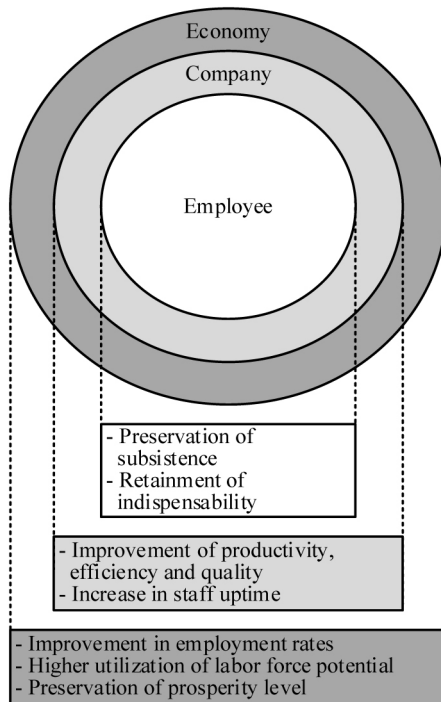


Figure 5. Compound social implications of Human Hybrid Robots.

6. Summary

Support systems based on HHR concept are supposed to be a new generation of technologies for supporting manual tasks in industrial production. The primary object of such systems are reducing physiological as well as psychological stress of workers and improving their productivity as well as working quality simultaneously. This paper discussed development challenges for HHR support systems based on the general requirements. The recent advance in the field of biomechanical engineering, robotics, material and mechatronic engineering shows different possibilities for realization of HHR concept. An overview of relevant technologies for system construction, human intent sensing, actuation and cognitive assist is presented. Several perspectives for future research are identified. In addition, the economic implications of those systems for manufactures are briefly analysed.

References

- Occupational Safety and Health Administration (OSHA), "Ergonomics Program," United States Department of Labor, 23 Nov. 1999. [Online]. Available: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=FEDERAL_REGISTER&p_id=16305. [Accessed 17 04 2015].
- Lin L., Drury C. G. and Kim S. W., "Ergonomics and quality in paced assembly lines," *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, vol. 11, no. 4, pp. 377-382, 2001.
- EU Commission, "Lighten the load" campaign - tackling musculoskeletal disorders," 4 June 2007. [Online]. Available: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-07-223_de.htm?locale=EN. [Accessed 17 04 2015].
- European Centre for the Development of Vocational Training, Skills supply and demand in Europe, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010.
- Weidner R., Kong N. and Wulfsberg J. P., "Human Hybrid Robot: a new concept for supporting manual assembly tasks," *Prod. Eng. Res.*, vol. 7, no. 6, pp. 675-684, 2013.
- Brown G. W., "Equipousing support apparatus". U.S. Patent 7618016, 17 Nov. 2009.
- Weidner R., Redlich T. and Wulfsberg J., "Passive and active support systems for production processes," *wt Werkstattstechnik online 104*, vol. 9, pp. 561-566, 2014.
- Equipois, "X-Ar," Granite State Manufacturing, [Online]. Available: <http://www.equipoisinc.com/products/xAr/>. [Accessed 20 04 2015].
- Parietti F. and Asada H. H., "Supernumerary robotic limbs for aircraft fuselage assembly: body stabilization and guidance by bracing," in *Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on*, pp. 1176-1183. IEEE, 2014.
- Zatsiorsky V. and Prilutsky B., Biomechanics of skeletal muscles., Human Kinetics, 2012.
- Rosen J. and Perry J. C., "Upper Limb Powered Exoskeleton," *International Journal of Humanoid Robotics*, vol. 4, no. 3, pp. 529-548, 2007.
- Tsagarakis N. G. and Caldwell D. C., "Development and Control of a 'Soft-Actuated' Exoskeleton for Use in Physiotherapy and Training," *J. Autonomous Robots*, vol. 15, pp. 21-33, 2003.
- Kazerooni H. and Steger R., "The Berkeley lower extremity exoskeleton," *Journal of dynamic systems, measurement, and control*, vol. 128, no. 1, pp. 14-25, 2006.
- Kawabata T., Satoh H. and Sankai Y., "Working posture control of robot suit HAL for reducing structural stress," in *Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2009 IEEE International Conference on*, pp. 2013-2018. IEEE, 2009.
- Ikeuchi Y., Jun A., Yutaka H., Hiroshi K. and Tatsuya N., "Walking assist device with bodyweight support system," in *Intelligent Robots and Systems, 2009. IROS 2009. IEEE/RSJ International Conference on*, pp. 4073-4079. IEEE, 2009.
- Wehner M., Brendan Q., Patrick M. A., Ernesto M.-V., Michael B., Leia S., Kenneth H., Robert W. and Conor W., "A lightweight soft exosuit for gait assistance," in *Robotics and Automation (ICRA), 2013 IEEE International Conference on*, pp. 3362-3369. IEEE, 2013.
- Asbeck A. T., Dyer R. J., Larusson A. F. and Conor J. W., "Biologically-inspired soft exosuit," in *Rehabilitation Robotics (ICORR), 2013 IEEE International Conference on*, pp. 1-8. IEEE, 2013.
- Toyama S. and Yamamoto G., "Development of Wearable-Agri-Robot~ mechanism for agricultural work~," in *Intelligent Robots and Systems, 2009. IROS 2009. IEEE/RSJ International Conference on*, pp. 5801-5806. IEEE., 2009.

19. Alwasel A., Elrayes K., Abdel-Rahman E. M. and Haas C., "Sensing construction work-related musculoskeletal disorders (WMSDs)," *ISARC Proc*, 2011.
20. Park Y. L., Chen B. R., Stirlin, Y. D., Wood L., R. J., Goldfield E. and Nagpal R., "Bio-inspired active soft orthotic device for ankle foot pathologies," in *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2011 IEEE/RSJ International Conference on*, pp. 4488-4495. *IEEE.*, 2011.
21. Gatti U. C., Migliaccio G. C. and Schneider S., "Wearable physiological status monitors for measuring and evaluating worker's physical strain: preliminary validation," *Computing in Civil Engineering*, 2011.
22. Cooper G., Sheret I., McMillian L., Siliverdis K., Sha N., Hodgins D. and Howard D., "Inertial sensor-based knee flexion/extension angle estimation," *Journal of biomechanics*, vol. 42, no. 16, pp. 2678-2685, 2009.
23. Koyama T., Tanaka T., Kaneko S. I., Moromugi S. and Feng M. Q., "Integral ultrasonic muscle activity sensor for detecting human motion," in *Systems, Man and Cybernetics, 2005 IEEE International Conference on, Vol. 2*, pp. 1669-1674. *IEEE.*, 2005.
24. Meyer J., Lukowicz P. and Troster G., "Textile pressure sensor for muscle activity and motion detection," in *Wearable Computers, 2006 10th IEEE International Symposium on*, pp. 69-72. *IEEE.*, 2006.
25. Gupta A. and O'Malley M. K., "Design of a haptic arm exoskeleton for training and rehabilitation," *Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on*, vol. 11, no. 3, pp. 280-289, 2006.
26. Breifeld A., Freyer H., Ulrich S., Wulfsberg J. and Bruns R., "Elastomeric bellows hydraulic actuator with integrated electrorheological control valves," in *Proceedings of 14th International Conference on New Actuators & 8th International Exhibition on*, Bremen, 2014.
27. Kadota K., Akai M., Kawashima K. and Kagawa T., "Development of Power-Assist Robot Arm using pneumatic rubbermuscles with a balloon sensor," in *Robot and Human Interactive Communication, 2009. RO-MAN 2009. The 18th IEEE International Symposium on*, pp. 546-551. *IEEE.*, 2009.
28. Mattila H., *Intelligent textiles and clothing*, Woodhead Publishing, 2006.
29. Stirling L., Yu C. H., Miller J., Wood H. E. R., Goldfield E. and Nagpal R., "Applicability of shape memory alloy wire for an active, soft orthotic," *Journal of materials engineering and performance*, vol. 20, no. 4-5, pp. 658-662, 2011.
30. De Laurentis K. J. and Mavroidis C., "Mechanical design of a shape memory alloy actuated prosthetic hand," *Technology and Health Care*, vol. 10, no. 2, pp. 91-106, 2002.
31. Caudell T. P. and Mizell D. W., "Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes," in *System Sciences, 1992. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on. Vol. 2. IEEE*, 1992.
32. Molineros J. and Sharma R., "Computer vision for guiding manual assembly," in *Assembly and Task Planning, 2001, Proceedings of the IEEE International Symposium on. IEEE.*, 2001.

The Engineering Meetings Board has approved this paper for publication. It has successfully completed SAE's peer review process under the supervision of the session organizer. The process requires a minimum of three (3) reviews by industry experts.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of SAE International.

Positions and opinions advanced in this paper are those of the author(s) and not necessarily those of SAE International. The author is solely responsible for the content of the paper.

ISSN 0148-7191

<http://papers.sae.org/2015-01-2601>

Modul 12

Auswirkungen technischer Unterstützungssysteme auf die Berufsunfähigkeits- und Pflegefallversicherung

Wiltrud Weidner

Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen, Band zur ersten Transdisziplinären Konferenz, Ed.: Weidner, R., Redlich, T., Helmut-Schmidt-Universität, 196-205, 2014

Auswirkungen technischer Unterstützungssysteme auf die Berufsunfähigkeits- und Pflegefallversicherung

W. Weidner

Leibniz Universität Hannover, Institut für Versicherungsbetriebslehre

Otto-Brenner-Str. 1, 30159 Hannover

ww@ivbl.uni-hannover.de

Kurzzusammenfassung

Dieser Beitrag befasst sich mit den Effekten innovativer, technischer Unterstützungssysteme auf die Versicherbarkeit von Invaliditätsrisiken vor dem Hintergrund des demografischen Wandels und der damit einhergehenden Problematik für die private Versicherungswirtschaft. Im Zentrum der Analyse stehen die private Berufsunfähigkeits- und Pflegefallversicherung in Hinblick auf sich durch Interaktion von Mensch und Maschine verändernde berufliche Tätigkeitsfelder sowie entlastende Alltagstätigkeiten. Es wird aufgezeigt, dass sich Invaliditätsraten bzw. Pflegequoten durch den Einsatz innovativer Technologien reduzieren lassen und dass technische Unterstützungssysteme damit einen Beitrag als präventive und operative Maßnahmen gegen ökonomische und gesellschaftliche Auswirkungen der demografischen Entwicklung leisten.

Abstract

Impacts of technical support systems on private disability and nursing insurance

In this letter we extensively study effects of innovative technical support systems on insurability of risks of invalidity, especially in terms of demographic change and the associated issues for the private insurance industry. We show how technologies for human-machine interaction will result induce changes in existing occupational structures and everyday activities and also provide an in-depth-analysis of their impact on private disability and nursing insurance. In particular, reduced invalidity and long-term care rates are expected as a result of innovative technologies. Technical support systems constitute preventative and operative measures in order to deal with the economic and social effects of the demographic development.

1 Veränderte Rahmenbedingungen durch demografischen Wandel

Der demografische Wandel führt in den nächsten Jahrzehnten in Deutschland zu massiven gesellschaftlichen Veränderungen. Die deutsche Bevölkerung nimmt ab und altert aufgrund einer geringen Geburtenzahl und einer steigenden Lebenserwartung [1]. Die Auswirkungen auf die Arbeitswelt und die Finanzierbarkeit der Sozialsysteme sowie der privaten Absicherung sind aufgrund der Veränderungen in der Altersstruktur weitreichend.

Demografische Verschiebungen wirken sich auf den Arbeitsmarkt durch zwei bestimmende Trends aus: Einen absoluten Rückgang sowie eine Alterung des Erwerbsspersonenzpotenzials

[1]. Zudem verändern technologische Entwicklungen die Rahmenbedingungen auf dem Arbeitsmarkt. Die fortschreitende Automatisierung durch Roboter und künstliche Intelligenz wird in den nächsten Jahrzehnten einen Umbau der Arbeitsgesellschaft herbeiführen und zahlreiche Berufe überflüssig machen [2, 3]. Tätigkeiten mit niedrigen Löhnen und niedrigem Qualifikationsniveau etwa in der Logistik, Verwaltung und im Verkauf sowie Tätigkeiten eines Fabrikarbeiters oder Bauarbeiters werden fachlich und körperlich anspruchsvoller, da „einfache“ Arbeiten automatisiert werden [2]. Der Druck auf die Unternehmen im Hinblick auf den Erhalt und die Förderung der Leistungs- und Beschäftigungsfähigkeit u.a. durch eine ergonomische Arbeitsplatzgestaltung, (Kraft-)Unterstützung manueller Arbeitsabläufe sowie optimierte Bewegungs- und Aufgabenausführung wird stetig zunehmen [4].

Auch für umlagefinanzierte staatliche Alterssicherungssysteme und das staatliche Gesundheitswesen sind Veränderungen in der Bevölkerungsstruktur von signifikanter Bedeutung. Eine absolut sinkende Zahl an Beitragszahlern, durch den demografisch bedingten Rückgang der Anzahl der Erwerbspersonen, steht einer absolut steigenden Zahl an Leistungsempfängern gegenüber [1]. Im Bereich der Krankheits- und Pflegekosten gilt die Problematik verstärkt, da die Kosten mit dem Lebensalter stark ansteigen [5, 6]. Bereits zum Zeitpunkt der Einführung der gesetzlichen Krankenversicherung zeichnete sich die Problematik der künftig erforderlichen Beitragszahler ab, wohingegen die Einführung der sozialen Pflegeversicherung erfolgte, als längst fest stand, dass die Beitragszahler dafür hätten bereits geboren sein müssen. Das mit Aufbau der Sozialsysteme avisierte hohe Leistungsniveau lässt sich dadurch nur noch über mehr kapitalgedeckte private und betriebliche Vorsorge erreichen. Kapitalgedeckte Systeme sind aufgrund der Altersrückstellungen weniger anfällig auf demografische Effekte. Angesichts der demografischen Entwicklung müssen diese Rückstellungen allerdings erhöht werden, um die naturgesetzlich steigenden Kosten im Alter decken zu können [5, 7].

Neben den klassischen Robotersystemen, die menschliche Arbeitskräfte bei „einfachen“ Tätigkeiten durch Automatisierung ersetzen, werden bereits Ansätze in Richtung Deautomatisierung entwickelt, bei denen der Mensch durch aufgaben- und personenspezifische, technische Systeme unterstützt wird. Diese ermöglichen es, die zum Teil konträren Vorteile von Mensch und Maschine zeitgleich auszunutzen zu können [8]. Somit unterstützen derartige Systeme manuelle Arbeitsabläufe und erhalten Arbeitskräfte. Zudem sind technische Unterstützungssysteme zur Kraft- und Mobilitätssteigerung im Bereich des Alltagslebens zur Kompensation altersspezifischer Funktionseinbußen einsetzbar. Auf diese Weise lässt sich den Herausforderungen des demografischen Wandels aktiv durch präventive und operative Maßnahmen sowie ohne Eingriff in das Leistungsniveau begegnen.

Robotersysteme werden derzeit noch weitgehend aus technologischer Sicht betrachtet. Untersuchungen zu den Auswirkungen auf die Arbeitswelt, Gesellschaft, Volks- und Versicherungswirtschaft werden gerade erst aufgenommen [2, 3, 9, 10]. Ziel dieses Beitrags ist es, die sich bietenden Potentiale und Risiken innovativer, technischer Unterstützungssysteme auf die Volks- und private Versicherungswirtschaft eingehender zu analysieren. Da die Systeme speziell auf die Unterstützung derartiger Tätigkeiten im Berufs- und Alltagsleben abzielen, dass die Invalidität und Pflegebedürftigkeit verhindert oder zumindest hinausgezögert wird, steht die Betrachtung der privaten Berufsunfähigkeits- und Pflegefallversicherung im Zentrum und wird im Folgenden näher beleuchtet.

2 Auswirkungen technischer Unterstützungssysteme auf die private Versicherungswirtschaft

2.1 Berufsunfähigkeitsversicherung

Auf die gesetzliche Rente wegen Erwerbsminderung über die gesetzliche Rentenversicherung besteht Anspruch bei einer krankheits- bzw. behinderungsbedingten teilweisen oder vollen Erwerbsminderung gem. §4 SGB VI. Dabei handelt es sich um eine Grundsicherung gem. § 41 SGB XII bei Verlust des Erwerbseinkommens durch Invalidität, der Lebensstandard kann damit in der Regel nicht gehalten werden. Sofern das Einkommen ausreicht wird oft ergänzend privater Versicherungsschutz, eine Berufsunfähigkeits- oder Unfallversicherung, abgeschlossen. Im Folgenden wird auf die Unfallversicherung nicht weiter eingegangen, da Unfälle bei nur knapp 10% der Invaliditätsfälle die Ursache für eine Berufsunfähigkeit darstellen [11]. Die Berufsunfähigkeitsversicherung hingegen verspricht dem Versicherungsnehmer Leistungen bei einer Berufsunfähigkeit infolge von Krankheit, Körperverletzung oder Kräfteverfall [12].

Versicherer zahlten 2012 für 250.000 Berufsunfähigkeitsrenten 1,7 Mrd. Euro aus. Die Bestände der Versicherungsunternehmen an Berufsunfähigkeitsversicherungen liegen 2014 bei rund 16 Millionen Verträgen [11]. Die privaten Versicherer tragen damit erheblich zur Existenzabsicherung bei. Die Absicherung des Berufsunfähigkeitsrisikos unterliegt angesichts der mangelnden exakten Verifizierbarkeit, aufgrund diverser subjektiver und unternehmensbedingter Einflussparameter neben der für die Lebensversicherung üblichen objektiven Parameter, erheblichen aktuariellen Herausforderungen [7, 13]. Das Invaliditätsrisiko und folglich die Höhe der Versicherungsprämie sind neben dem Alter und dem Gesundheitszustand im Besonderen von der beruflichen Tätigkeit abhängig. Gerüstbauer, Dachdecker und Bergarbeiter, Berufe mit schwerer körperlicher Arbeit, gehören statistisch gesehen zu den Berufen mit dem höchsten Risiko. Die niedrigste Wahrscheinlichkeit, berufsunfähig zu werden, haben Physiker, Ärzte und Maschinenbauer [14].

Jeder vierte Arbeitnehmer in Deutschland scheidet laut Angaben der deutschen Rentenversicherung aus gesundheitlichen Gründen vorzeitig und ungeplant aus dem Berufsleben aus. Veranlasst wird die Arbeitsunfähigkeit in der Regel durch extreme körperliche Belastung und Krankheit, bei jüngeren Berufstätigen ebenfalls häufig durch Unfälle im Straßenverkehr, beim Sport oder in der Freizeit. Für die Berufsunfähigkeit gibt es verschiedene Ursachen, die in Abb. 1 dargestellt sind. Besonders häufig und in den vergangenen Jahren stark gestiegen sind Nervenkrankheiten und psychische Erkrankungen, welche 32% aller Leistungsfälle ausmachen. Es folgen Erkrankungen des Skelett- und Bewegungsapparats mit 21% aller Leistungsfälle und Krebserkrankungen mit 15% [11]. Betroffen von der Berufsunfähigkeit sind alle Altersgruppen; Abb. 2 zeigt dies für den Bestand der privaten Berufsunfähigkeitsversicherung. Da das Risiko für viele Krankheiten im Alter zunimmt, sind im Bestand der privaten Versicherer 52% der Leistungsfälle auf die Altersgruppe der über 50-Jährigen zurückzuführen, deren Anteil am Versicherungsbestand nur 16% beträgt. Allerdings entfallen knapp ein Viertel der Leistungsfälle auf Versicherungsnehmer bis zum 31. Lebensjahr [11]. Weiter geht aus den M&M Ratings zur Berufsunfähigkeit hervor, dass die Leistungsfälle in den letzten fünf Jahren im Schnitt um 20%, von 34.000 auf 42.000 Fälle pro Jahr, gestiegen sind [15].

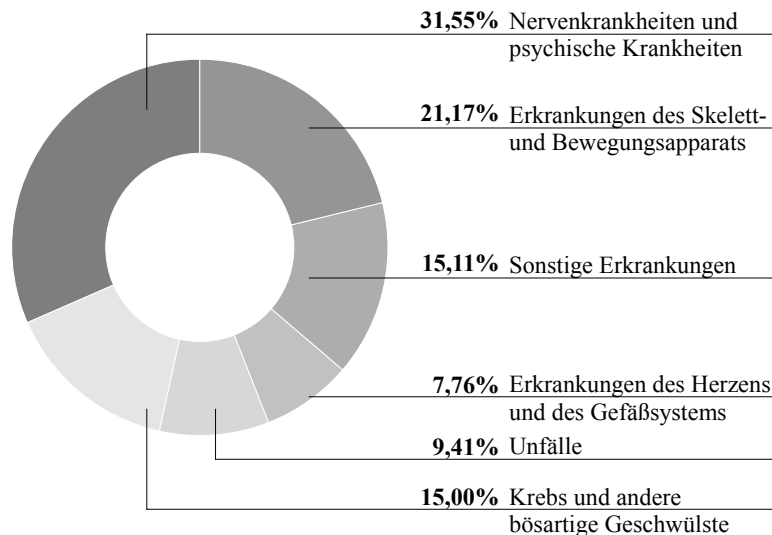


Abb. 1: Ursachen für die Berufsunfähigkeit, Stand April 2014
(Quelle: [11]; eigene Darstellung)

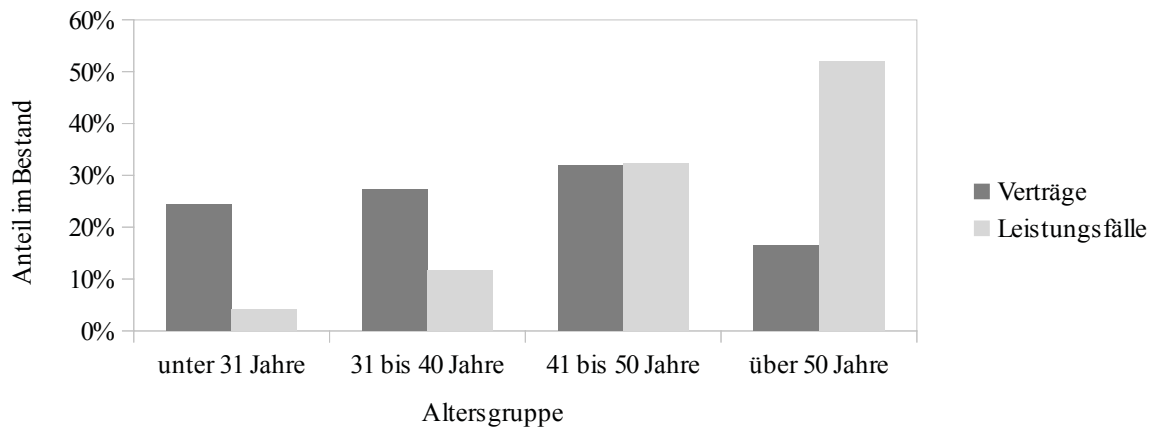


Abb. 2: Zusammensetzung des Bestandes und der Leistungen privater Versicherer an Berufsunfähigkeitsversicherungen nach Altersgruppen, Stand April 2014
(Quelle: [11]; eigene Darstellung)

Diese Trends werden sich im Zuge der digitalen Revolution und der demografischen Entwicklung verstärken. Viele „einfache“ Arbeiten, vor allem manuelle Tätigkeiten ohne großen kreativen Anteil, aber zunehmend auch rationalisierbare Verwaltungsarbeiten, fallen weg [3]. Hingegen werden Tätigkeiten mit hohen Anforderungen an Geschicklichkeit, Anpassungsfähigkeit und Kreativität stärker nachgefragt [9]. Gerade individuelle Arbeiten mit Anforderungen an Geschicklichkeit und Kraftaufwand, die nicht immer durch Erfahrung zu kompensieren sind, weisen mit fortschreitendem Alter eine schnell wachsende Invaliditätsrate auf. Beispielsweise erfordern das Polieren von Oberflächen [9], das Zusammenfügen von Bodenflächen, Drähten und großen Werkstücken über Kopf oder in Hohlräumen in der Flugzeugproduktion sowie die Mikromontage von Kleinstteilen aus Mikro-, Nano- und Biotechnologie [8] sensomotorische und kognitive Fähigkeiten, die bislang keine Maschine erfüllt. Ohne Kompensationsmethoden ist für derartige Tätigkeiten zwar ein gewisser Teil von weniger hoch belastbaren Mitarbeitern für einige Zeit oder für wenige Stunden einsetzbar. Aber wie die Statistik lehrt, ist die damit

verbrachte Lebensarbeitszeit beschränkt. Folglich nimmt der Anteil an Berufen mit einem höheren Invaliditätsrisiko bei verlagerter Beschäftigungsart zu. Durch die Veränderung der Gesellschaftsstruktur, steigt die Anzahl der älteren Berufstätigen [1], die ein höheres Invaliditätsrisiko aufweisen als Berufstätige anderer Altersgruppen [11]. Eine hochwertige und dennoch bezahlbare Berufsunfähigkeitsversicherung für Risiken in einer solch veränderten Arbeitswelt zu finden, ist schwierig. Diese Umstände machen Maßnahmen zur Schadenverhütung sowie -minderung erforderlich, um das Risiko sowie die Risikokosten einzudämmen und damit versicherbar zu machen. Technische Unterstützungssysteme, die Mensch und Maschine zur Ausführung von Tätigkeiten innerhalb eines Systems mit gemeinsamen Regelkreislauf systematisch integrieren, beugen Gesundheitsschäden wirksam vor und gleichen Funktionseinbußen wirkungsvoll aus: Mit einer Kraft- und Mobilitätsunterstützung kann die körperliche Belastung im Arbeitsleben gesenkt werden [8]. Auf diese Weise kann Erkrankungen des Skelett- und Bewegungsapparats begegnet werden. Zudem kann die psychische Belastung durch eine Präzisionssteigerung und einer damit einhergehenden Qualitätssicherung bzw. Fehlervermeidung, z.B. durch integrierte Poka-Yoke-Mechanismen, abnehmen [8]. Psychische Erkrankungen können ebenfalls durch die Umstände gesenkt werden, dass modulare technische Unterstützungssysteme zu einer höheren Mitarbeiterverfügbarkeit und einer Produktivitätssteigerung führen [8] und somit dem Zeitdruck entgegenwirken. Mit Systemen nach dem Prinzip des Human Hybrid Robot (HHR) [8] kann auf die wachsenden Anforderungen im Beruf reagiert werden. Die Arbeitskraft kann unter ihrem Einsatz wirksam verbessert oder aufrechterhalten werden; einen Überblick über potentielle Anwendungsfälle liefert Abb. 3. Schließlich führen derartige innovative Unterstützungssysteme dazu, dass auch einst nicht versicherbare Berufe in einer sich verändernden Arbeitswelt versichert werden können.

2.2 Pflegefallversicherung

Die Pflegefallversicherung, als ein Produkt der Invaliditätsversicherung, sichert Versicherte finanziell gegen eine eventuell eintretende Pflegebedürftigkeit ab. Ihre Bedeutung als soziale Vorsorge nimmt nicht zuletzt aufgrund des gesellschaftlichen Wandels sowie der sich verändernden Altersstruktur der Gesellschaft stetig zu [7]. Die 1995 gem. SGB XI eingeführte Pflegepflichtversicherung leistet einen Zuschuss zu Pflegekosten. Mit einer privaten Pflegezusatzversicherung (Pflegekosten-, Pflegerenten-, Pflegetagegeldversicherung) können die Leistungen der Pflegepflichtversicherung aufgestockt werden. 2013 waren in Deutschland 79,4 Millionen Personen in der Pflegeversicherung versichert – davon 69,87 Millionen Personen über die soziale Pflegeversicherung [16] und 9,54 Millionen Personen über die private Pflegeversicherung [17]. Zudem bestanden 23,5 Millionen private Zusatzversicherungen [17].

Abb. 4 veranschaulicht die Zunahme der Pflegebedürftigen und die Kostenexplosion im Zeitverlauf von 1995 bis 2013. Die Zahl der Leistungsempfänger in der sozialen Pflegeversicherung stieg von 1995 bis 2013 von 1,06 auf 2,48 Millionen Leistungsempfänger an (+134%) [18]. Die Ausgaben stiegen zwischen 1995 und 2013 von 4,97 auf 24,33 Milliarden Euro (+390%) [19]. Die Umlagefinanzierung der gesetzlichen Pflegeversicherung stößt zunehmend an ihre Grenzen. Während der Anteil der Pflegebedürftigen an der Gesamtbevölkerung 2013 bei 3,1% lag [18], wird er – unter Annahme einer dauerhaft konstanten, altersspezifischen Pflegequote – bis zum Jahr 2030 auf 4,4% ansteigen und sich bis 2050 auf 6,5% verdoppeln [20]. Zugleich sinkt der erwerbsfähige Bevölkerungsanteil, die Beitragszahler, um etwa ein Drittel [1]. Zudem sind

deutliche Verschiebungen bei den Altersstrukturen zu erwarten. 2030 wird knapp die Hälfte (48%) aller Pflegebedürftigen 85 Jahre oder älter sein, 2050 sogar 59% aller Pflegebedürftigen, während es im Jahr 2013 rund ein Drittel (34,7%) der Pflegebedürftigen waren [16, 20].

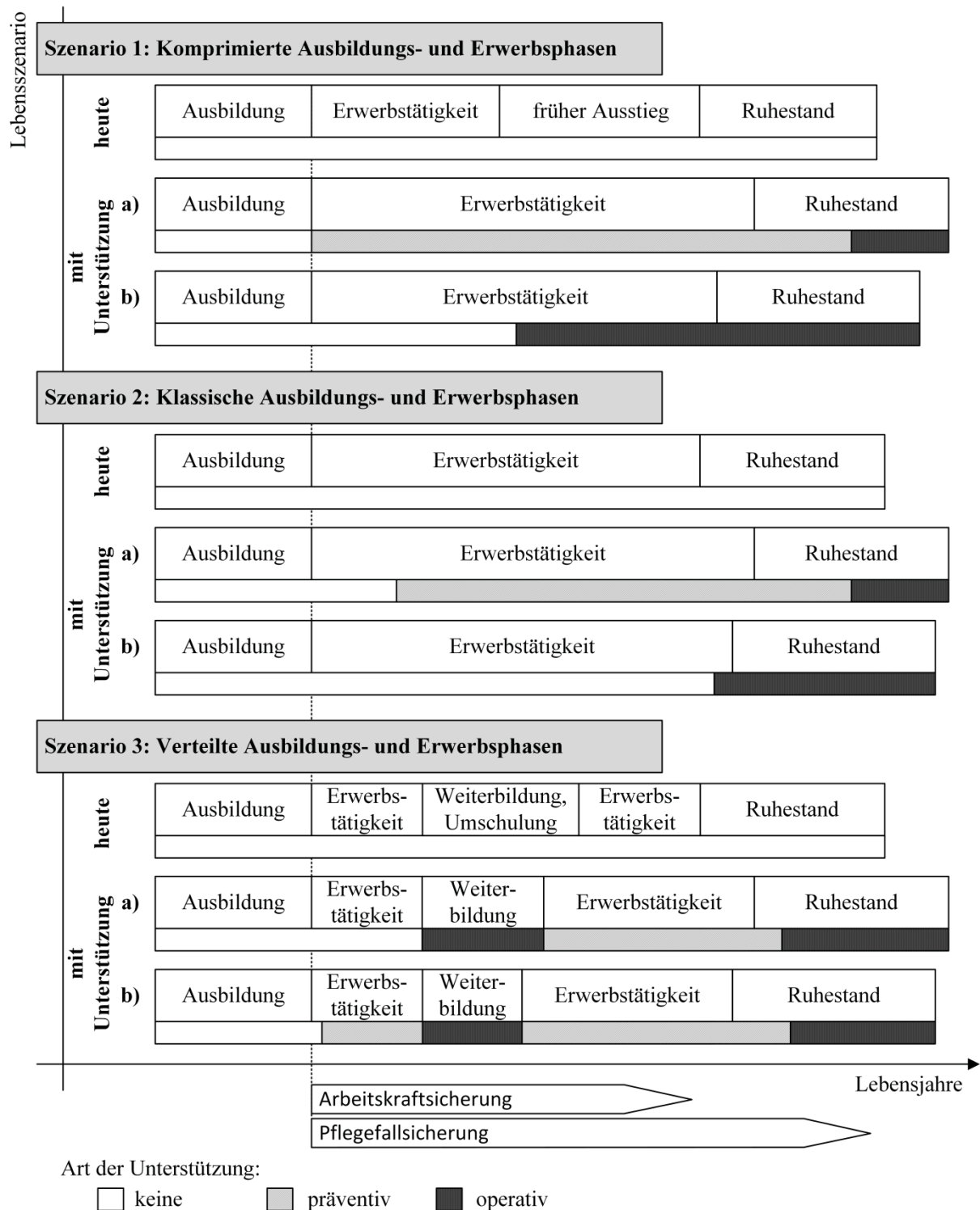


Abb. 3: Technische Unterstützungssysteme in Lebenszeitszenarien (Quelle: eigene Darstellung)

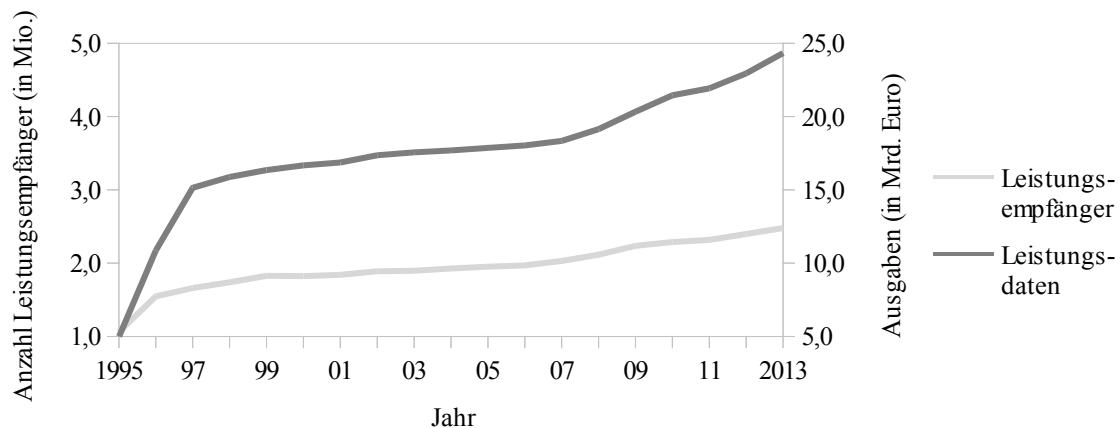


Abb. 4: Anzahl der Pflegebedürftigen (in Millionen) und Ausgaben (in Milliarden Euro) der sozialen Pflegeversicherung in Deutschland in den Jahren 1995 bis 2013
(Quelle: [18, 19]; eigene Darstellung)

Das demografisch bedingte Finanzierungsproblem der gesetzlichen Pflegeversicherung führt zur Notwendigkeit einer zusätzlichen kapitalgedeckten privaten Vorsorge. Neben einer nachhaltigen Finanzierung der Pflegekosten wird die Zielsetzung einer Steigerung der Qualität sowie eine Verbesserung der Pflege- und Arbeitsbedingungen in der Pflege verfolgt [21]. Die Zahlen des Bundesministeriums für Gesundheit zeigen einen Trend hin zu einer Eingruppierung in geringere Pflegestufen [18], begründet liegt dies in einer verschärften Einstufungspraxis unter dem enormen Kostendruck aufgrund der demografischen Bevölkerungsentwicklung. Vor diesem Hintergrund ist zu bedenken, dass der Anstieg der Zahl der Pflegebedürftigen sowie die Entwicklung der Zuordnung der Pflegebedürftigen zu den Pflegestufen in den kommenden Jahrzehnten neben der demografischen Entwicklung davon abhängig ist, inwiefern sich veränderte Lebenssituationen u.a. durch steigenden Wohlstand, bessere Ernährung und weniger körperlich belastende Arbeit auf den Erhalt des Gesundheitszustands auswirken [20]. Trotz des Umstands einer potentiellen Verbesserung der individuellen Altersgesundheit ist in Anbetracht einer älter werdenden Gesellschaft die Entwicklung von Präventionsmaßnahmen gegen Pflegebedürftigkeit unabdingbar. Dazu können technische Unterstützungssysteme in Erwägung gezogen werden, für die sich drei wesentliche Anwendungsfälle differenzieren lassen (siehe ergänzend Abb. 3):

- Prävention und Gesundheitsförderung zur Erzielung eines Gesundheitsgewinns und Leistungserhalts durch vorbeugende unterstützende Maßnahmen mittels Integration von Mensch und Maschine [22]. Dies ermöglicht den Eintritt einer Funktionseinbuße zu verhindern oder zu verzögern und somit eine Pflegebedürftigkeit aufzuschieben. Infolgedessen lassen sich Pflegezeit und -kosten reduzieren.
- Operative Unterstützung oder gar Wiedereingliederung körperlich kranker oder behinderter Personen in das berufliche und gesellschaftliche Leben durch Kopplung von technischen Elementen und Funktionalitäten mit den biologisch physiologischen Voraussetzungen des Menschen [22]. Auf diese Weise können Funktionseinbußen abgeschwächt bzw. ausgeglichen werden und z.B. Kraftverfügbarkeit, Mobilität, Koordination und Feinmotorik verbessert werden, sodass spezielle Alltagstätigkeiten weiter selbstständig ausgeführt

werden können. Dem Finanzierungsproblem der Pflege wird damit auf zweierlei Weise begegnet. Zum einen setzt die Pflegebedürftigkeit erst später ein und verkürzt damit Pflegezeit und -kosten. Zum anderen wirken sich technische Hilfsmittel bei vorliegender Pflegebedürftigkeit positiv auf die Schwere der Pflegebedürftigkeit und folglich auf die Zuordnung der entsprechenden Pflegestufe aus. Da sich die Leistungen der Pflegeversicherung nach den Pflegestufen orientieren, kommt es bei einer Eingruppierung in geringere Pflegestufen zu einer Kostenersparnis.

- Erhöhung der Pflegequalität durch Kopplung biomechanischer und technischer Systeme, z.B. zur Kraftunterstützung von Pflegekräften bei manuellen Anwendungen. Die verkürzten und vereinfachten Arbeitsabläufe führen neben einer Professionalisierung des Pflegeberufs aufgrund optimierter Aufgabenausführungen zu einer deutlichen physischen und psychischen Arbeitsentlastung und somit höheren Verfügbarkeit des Pflegepersonals. Geringere körperliche Belastungen der Pflegekräfte bewirken sinkende Invaliditätsraten (s. vorherigen Abschnitt). Zudem kann mit verkürzten Arbeitsabläufen der Mangel an Pflegepersonal teilweise umgangen werden. Der sich aus der erwarteten Zunahme der Pflegebedürftigen ergebende höhere Bedarf an Pflegepersonal ist aber vorerst nicht aufzuhalten. Allerdings erschließen sich durch Unterstützungssysteme zusätzliche Personenkreise für eine Ausübung pflegerischer Tätigkeiten. Es besteht sogar die Hoffnung, dass viele Menschen, die aufgrund ihrer psychischen Ausprägung für fürsorgende Berufe besonders geeignet sind, die körperlichen Anforderungen aber nicht erfüllen, in dieses Betätigungsfeld wechseln können.

3 Fazit und Ausblick

Der demografische Wandel bedeutet eine große Herausforderung. In diesem Beitrag wird ein Lösungsansatz auf die sich aus der alternden Gesellschaft für die private Versicherungswirtschaft ergebende Problematik vorgestellt, indem Auswirkungen innovativer, unterstützender Technologien analysiert werden. Es wird aufgezeigt, inwiefern das durch Unterstützungssysteme veränderte berufliche Tätigkeitsfeld den Gefährdungsgrad sowie die durch Unterstützungssysteme entlasteten Alltagstätigkeiten die Selbstständigkeit und folglich die Invalidität bzw. Pflegebedürftigkeit beeinflussen. Technische Unterstützungssysteme stellen geeignete präventive bzw. operative Maßnahmen gegen ökonomische und gesellschaftliche Auswirkungen der demografischen Entwicklung dar. Ihr Einsatz schafft die Voraussetzungen für eine Anpassung an die veränderten Rahmenbedingungen über eine erhöhte Erwerbsquote und eine erniedrigte Pflegequote, vor allem unter den Älteren. Klarerweise sind mit der Entwicklung und Einführung solcher Technologien zusätzliche Kosten für die Gesellschaft verbunden, die es vorab noch zu analysieren gilt.

Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt: Bevölkerung Deutschlands bis 2060 – 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden. Internet: www.destatis.de [Stand 08.09.2014]. 2009.
- [2] Frey, C. und Osborne, M.: The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?. Oxford University 2013.

- [3] Bowles, J.: The computerisation of European jobs – who will win and who will lose from the impact of new technology onto old areas of employment?. Bruegel (2014). Internet: <http://www.bruegel.org/nc/blog/detail/article/1394-the-computerisation-of-european-jobs/> [Stand 07.09.2014].
- [4] Pack, J.; Buck, H.; Kistler, E.; Mendius, H. G.; Morschhäuser, M. und Wolff, H.: Zukunftsreport demographischer Wandel – Innovationsfähigkeit in einer alternden Gesellschaft. Veröffentlichung aus dem Förderschwerpunkt „Demographischer Wandel“, Bonn 2000.
- [5] Milbrodt, H.: Aktuarielle Methoden der deutschen Privaten Krankenversicherung. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Wiesbaden 2005.
- [6] BaFin: Wahrscheinlichkeitstabellen in der privaten Krankenversicherung 2012. Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht 2014.
- [7] Dienst, H.-R.: Zur aktuariellen Problematik der Invaliditätsversicherung: unter Verwertung internationaler Erfahrungen. Deutsche Gesellschaft für Versicherungsmathematik, Schriftenreihe Angewandte Mathematik H27, Verlag Versicherungswirtschaft, Karlsruhe 1995.
- [8] Weidner, R.; Kong, N.; Wulfsberg, J. P.: Human Hybrid Robot: a new concept for supporting manual assembly tasks. *Production Engineering* 7(6), S. 675-684, 2013.
- [9] Spath, D.; Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T. und Schlund, S.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0, Fraunhofer Verlag, Stuttgart 2013.
- [10] Marsiske, H.-A.: Kollege Roboter – Maschinen werden immer intelligenter. Sie verändern längst die Arbeitswelt. Und bald unser Leben. *Brand eins* 05/2014, 2014.
- [11] Morgen&Morgen: Versicherer zahlen 1,7 Mrd. Euro Rente an Berufsunfähige – Aktuelles BU-Rating von M&M zeigt positive Trends. Pressemitteilung 09. April 2014. Internet: www.morgenundmorgen.com [Stand: 12.09.2014].
- [12] GDV: Berufsunfähigkeit in der Privatversicherung. Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft, Ausschuss für Versicherungsmedizin, Risiko- und Leistungsprüfung, 2006. Internet: www.gdv.de [Stand: 12.09.2014].
- [13] Kloster, N.; Loebus, H.; Mörtlbauer, W.: Neue Rechtsgrundlagen für die Berufsunfähigkeitsversicherung DAV1997. *Blätter der DGVM* 23(4), S. 519-592, 1998.
- [14] map-report: Risiko: Berufe und Berufsunfähigkeit. *map-report* (2011), S. 781-783.
- [15] Morgen&Morgen: Deutlich mehr Leistungsfälle in der Berufsunfähigkeit – Versichererkompetenz ist entscheidend. Pressemitteilung 18. April 2013, Internet: www.morgenundmorgen.com [Stand: 12.09.2014].
- [16] BMG: Pflegeversicherung – Versicherte der sozialen Pflegeversicherung am Jahresende nach Altersgruppen (1995-2013). Bundesministerium für Gesundheit, 2014, Internet: www.bmg.bund.de [Stand: 12.09.2014].
- [17] PKV: Zahlen und Fakten – Die wichtigsten Zahlen auf einen Blick. Verband der privaten Krankenversicherer, Köln 2014. Internet: www.pkv.de [Stand: 12.09.2014].
- [18] BMG: Pflegeversicherung – Leistungsempfänger der sozialen Pflegeversicherung am Jahresende nach Pflegestufen (1995-2013). Bundesministerium für Gesundheit, 2014. Internet: www.bmg.bund.de [Stand: 12.09.2014].
- [19] BMG: Geschäfts- und Rechnungsergebnisse der sozialen Pflegeversicherung. Bundesministerium für Gesundheit, 2014. Internet: www.bmg.bund.de [Stand: 12.09.2014].

- [20] Statistisches Bundesamt: Demografischer Wandel in Deutschland – Auswirkungen auf Krankenhausbehandlungen und Pflegebedürftige im Bund und in den Ländern. Heft 2, Wiesbaden, 2010. Internet: www.destatis.de [Stand 08.09.2014].
- [21] BMG: Bericht der Bundesregierung über die Entwicklung der Pflegeversicherung und den Stand der pflegerischen Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Bundesministerium für Gesundheit, 2011. Internet: www.bmg.bund.de [Stand: 12.09.2014].
- [22] Weidner, R.; Redlich, T.; Wulfsberg, J. P.: Produktionstechnik, Montage, Mensch und Technik – Passive und aktive Unterstützungssysteme für die Produktion. wt Werkstattstechnik online 104(9), Düsseldorf, Springer-VDI-Verlag, S. 174-179, 2014.