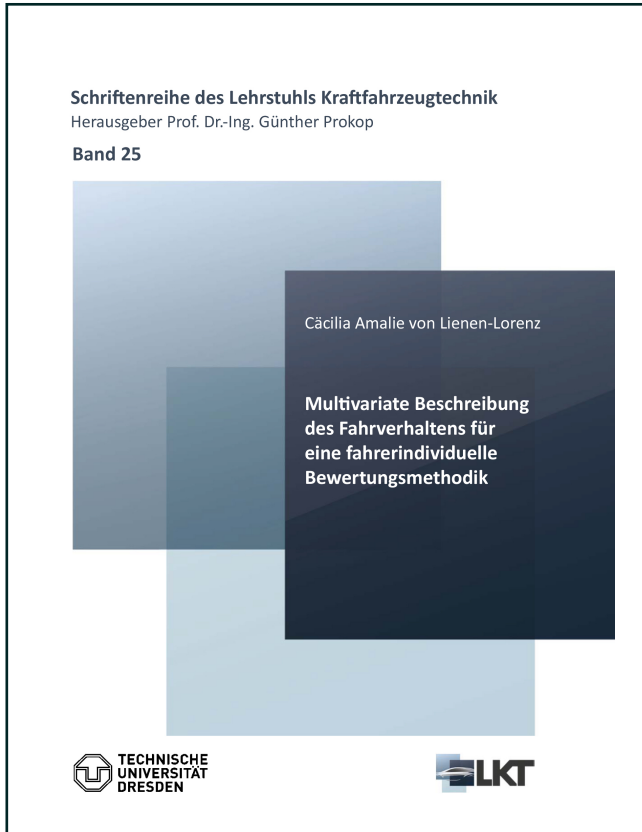




Cäcilia Amalie von Lienen-Lorenz (Autor)
**Multivariate Beschreibung des Fahrverhaltens für
eine fahrindividuelle Bewertungsmethodik**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8885>

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

1 Einleitung

Die Zahlen der Verkehrstoten und Schwerverletzten im deutschen Verkehrsgeschehen sind zwar in den letzten 10 Jahren mit ca. 36 % stark rückläufig, dennoch sind im Jahr 2021 2.562 Todesopfer im Straßenverkehr zu beklagen (Destatis, 2022). Daher ist die Verkehrssicherheit nach wie vor ein zentrales Thema, sodass die Rolle zukünftiger Fahrerassistenzsysteme (FAS) weiter zunimmt. Die Systementwicklungen zielen darauf ab, mit Hilfe von adaptiven Steuergerätefunktionen den Fahrer in komplexen Verkehrssituationen zu unterstützen. Die Prämissen der FAS sind, die Verkehrssicherheit, die Ökonomie und den Komfort des Fahrens zu steigern und damit einhergehend die Nutzerakzeptanz der Systeme zu garantieren. Mit ihrer unterstützenden Wirkung auf die Fahraufgabe durch die Weitergabe von Informationen und Warnungen an den Fahrer sowie durch gezielte fahrdynamische Regelungen sollen kritische Situationen und Unfälle vermieden werden. (Winner et al., 2015)

Es gibt bereits ganzheitliche Ansätze, die sich bewährt haben, das Fahrverhalten vorherzusagen (Benmimoun, 2015; Hong et al., 2014; Graichen, 2019; Ebersbach, 2006). Die Studien basieren auf der Analyse von Fahrverhaltensmustern gewählter Fahrerpopulationen. Die Vorhersage des Fahrstils und die damit einhergehende Regelung der FAS erfolgt innerhalb der von den Entwicklern festgelegten Grenzen und ist meist manöverabhängig. Die Vorhersage basiert oft auf binären Unterscheidungsmerkmalen, wie beispielsweise „aggressiver Fahrer“ und „nicht aggressiver Fahrer“ (Doshi et al., 2010; Johnson et al., 2011). Die Untersuchungen vernachlässigen jedoch eine objektive Bewertung geeigneter Fahrstilindikatoren sowie die Fahrerindividualität innerhalb eines Fahrers. Bisherige Mustererkennungsstrategien sind dadurch in ihrer Anwendbarkeit limitiert. Da jeder Fahrer seinen eigenen Fahrstil ausprägt, sowie situative Gegebenheiten und Ereignisse im Verkehrsgeschehen sowie zeitlich bedingte Verhaltensunterschiede beim Fahrer selbst zu Abweichungen innerhalb seines Fahrstils führen, sollten zukünftig FAS adaptiv und fahrerindividuell ausgelegt werden.

1.1 Motivation und Zielsetzung

Es ist davon auszugehen, dass Systeme, die sich auf die Fähigkeiten des Fahrers anpassen und dessen Fahrstilwunsch berücksichtigen, die objektive und subjektive Sicherheit sowie die Nutzerakzeptanz der Fahrer für adaptive FAS erhöhen. Eine

Vielzahl von Untersuchungen haben bereits das Fahrverhalten von Fahrern untersucht, um eine Typologie und die dazu gehörigen relevanten Parameter abzuleiten (vgl. Deml et al., 2007). Wie Deml et al. (2007) jedoch anmerken, gibt es durch die Vielzahl unterschiedlicher Herangehensweisen keinen einheitlichen Ansatz zur Fahrertypisierung. Des Weiteren wird angenommen, dass durch inter- und intraindividuelle Verhaltensunterschiede die Fahrer während der Normalfahrt sowie in situationsabhängigen Manövern unterschiedlich agieren und reagieren. Festner (2019) postuliert, dass ein universell ausgelegter Fahrstil nicht zielführend ist. Eine potenziell kritische Fahrsituation stellt sich für jeden Fahrer anders dar, sodass das subjektive Risikoempfinden nicht die objektive Gefahr widerspiegelt. Somit sollten die Funktionsweisen von FAS auf die situativen Anforderungen im Hinblick auf den Zusammenhang zwischen Verkehrssicherheit und fahrerindividuellem Verhalten angepasst werden. Dies vermindert unnötige Informationen und Warnhinweise an den Fahrer, erhöht die Verkehrssicherheit durch Vermeidung unangebrachter Eingriffe durch das System und steigert die Nutzerakzeptanz des Fahrers. Somit merkt auch Graichen (2015) an, dass eine Verbesserung der Erkennung von Fahrermerkmalen und Fahrerzuständen erfolgen muss.

Zur realen Beurteilung der fahrdynamischen Leistung des Fahrer-Fahrzeug-Systems bietet ein typologischer Ansatz die Möglichkeit, auf unterschiedliche Fahrmuster zurückzugreifen, um den situativen Zustand zu bewerten. Dennoch ist der Beitrag von menschlichem Verhalten in der Entwicklung zukünftiger FAS ein wesentliches Interessengebiet, um neben rein situationsbezogenen Anforderungen auch fahrerindividuelle Verhaltensweisen zu berücksichtigen (Witt, 2020; Skippon et al., 2010; Ericsson, 2000). Hierbei werden neben Stresslevel, Müdigkeit oder Gemütszustand auch die Persönlichkeits- und Risikofaktoren eines Fahrers analysiert und deren Einfluss auf das Fahrverhalten wiedergegeben. Eine weitere Möglichkeit zur Erweiterung der Fahrverhaltensanalyse findet sich in den Untersuchungen zu Komfortbereichen von Fahrern (Wegscheider, 2009; Festner, 2019; Bellem, 2017). Hierbei wird erstmals eine Unterscheidung zwischen maximal erzielten fahrdynamischen Parametern und komfortbezogenen Parametern vorgenommen. Dabei spielt die Komfortobjektivierung eine entscheidende Rolle. Hierbei muss die menschliche Komfortwahrnehmung durch statistisch signifikante Messgrößen objektiv beschrieben werden (Lerspalunganti, 2010). Die objektive Ebene bezieht sich auf fahrphysikalische Parameter, mit denen die subjektive Ebene verknüpft wird. Eine etablierte Vorgehensweise dazu ist die Anwendung der Korrelations- und Regressionsstatistik. Neben einer Komfortobjektivierung des Fahrzustandes sind jedoch die maximalen Dynamikausprägungen eines Fahrers weiterhin von Interesse,

um dessen Leistungsbereich vollumfänglich abbilden zu können. Diese Herangehensweise der Objektivierung kann auch auf das menschliche Verhalten adaptiert werden. So führen verschiedene zeitlich veränderliche Zustände einer Person zur Anwendung unterschiedlicher Verhaltensebenen innerhalb eines Menschen (Michl, 2009; Luckner & Nadler, 1997).

Die Motivation für die vorliegende Thematik ist die Anwendbarkeit von fahrerindividuellen Verhaltensweisen zur Bewertung von Fahrern, sodass sich folgende Untersuchungsziele ergeben (siehe Abbildung 1.1): Die Objektivierung von Fahrverhalten unter Berücksichtigung intraindividuellen Verhaltensweisen sowie Persönlichkeitsmerkmalen und deren Überführung in eine adaptive Fahrerbewertungsmethodik. Die hierfür benötigte Datenbasis zu den Fahrstilindikatoren und den Persönlichkeitsmerkmalen wird mit Hilfe einer Feld- sowie einer Befragungsstudie bereitgestellt. Bisherige Fahrstilbeschreibungen (vgl. Kapitel 2.2) können bereits die Unterschiede im Fahrverhalten abbilden; jedoch sind sie durch die Wahl eines allgemeinen Ansatzes in der Darstellung des zeitlich veränderlichen menschlichen Verhaltens limitiert. Durch Komfortuntersuchungen erfährt der allgemeine Fahrstil zwar bereits eine zusätzliche Ebene, repräsentiert jedoch noch nicht das gesamte Leistungsspektrum der Fahrer-Fahrzeug-Kombination. Daher erfolgt unter Zuhilfenahme statistischer Methoden zunächst eine objektive Fahrertypanalyse auf Basis eines relevanten Parameterraumes, deren Fahrverhaltensmuster durch Subebenen interpretiert werden. Somit wird die typologische Einstufung des Fahrers um verschiedene intraindividuelle Verhaltensebenen erweitert, in der ein Fahrer agiert.

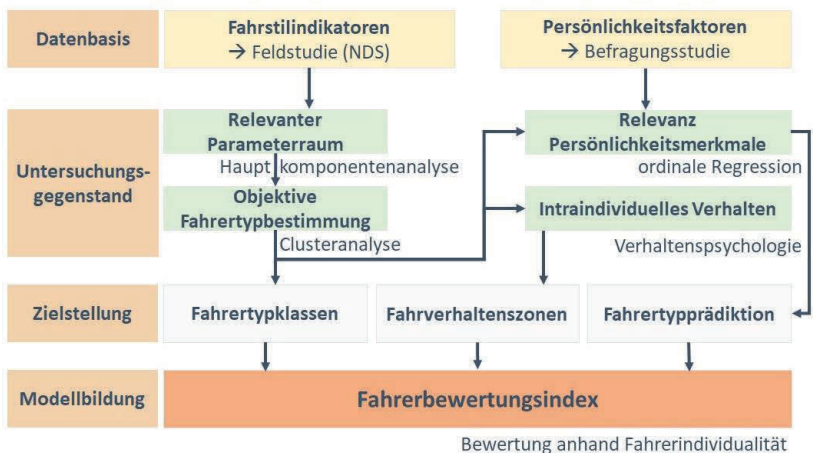


Abbildung 1.1: Schematische Darstellung des Forschungsgegenstandes

Als Ergänzung zu den zahlreichen Untersuchungen zur Einflussanalyse von Persönlichkeitsfaktoren auf das Fahrverhalten (siehe Kapitel 2.4) wird ein Prädiktionsmodell abgeleitet, dass nicht nur die Korrelationen zwischen Fahrerindividualität und Verhalten aufzeigt, sondern unmittelbar durch die persönlichen Merkmalsausprägungen des Fahrers den Fahrstil ohne die Kenntnis seiner fahrdynamischen Kennwerte prädiziert.

Neben der Auslegung von FAS werden bei deren Entwicklung geeignete Bewertungs- und Testmethoden benötigt, um die Schwachstellen und die Leistungsfähigkeit der Systeme aufzuzeigen (Bengler et al., 2012; Marstaller & Bubb, 2002). Es stellt sich die Frage nach dem Sicherheitsgewinn der Systeme, die den Fahrer auf Führungsebene assistieren. Hierfür finden die Fahrertypisierung und die Fahrverhaltensebenen Anwendung in Form eines Fahrerbewertungsmodells, das eine Indizierung des Fahrers zeitkontinuierlich ermöglicht. Die Kenntnis des fahrerindividuellen Verhaltens sollte nicht nur in Fahrerassistenzsystemen, sondern auch in anderen Mobilitätsbereichen Anwendung finden. Mögliche Bereiche sind Versicherungsunternehmen sowie Autovermietungen, die ihre Tarife in Anlehnung an den Fahrertyp und dem damit verbundenen persönlichen Risiko aufrufen können. Weitere Vorteile sind die Initialisierung und die Regelung von Assistenzsystemen, die beispielsweise bei Leih-, Miet- und Dienstwagen auf den jeweiligen Fahrer mit seinen Fahrverhaltenseigenschaften angepasst werden können. Somit könnte der Sicherheitsgewinn im Vergleich zu Systemen ohne fahreradaptive Anpassung erhöht werden. Das Wissen über den Fahrertyp ist ebenfalls beim Automobilverkauf von Interesse, da hier die Nutzerakzeptanz gegenüber Fahrzeugen sowie Fahrfunktionen hoch sein muss. Für die Automobilbranche ist es ein großer Mehrwert, die Fahreigenschaften seiner Kunden im Vorfeld zu kennen. Zum einen können gezielte Angebote unterbreitet und die Auswahl an Fahrzeugmodellen für den Kunden präzisiert werden. Zum anderen lassen sich diese Informationen im Produktentwicklungsprozess für zukünftige Modellreihen nutzen. Aus wirtschaftlicher Sicht stellt das Wissen über Fahrverhaltensausrägungen von Fahrern einen Gewinn dar, da die Hersteller Kriterien, wie die Funktionsqualität und Nutzerakzeptanz deutlich steigern können.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen objektiven Rahmen zu schaffen, der das Verständnis des Fahrstils und die verhaltenspsychologischen Vorgänge eines Fahrers kombiniert, um diesen anhand seiner Fahrerindividualität bewerten zu können. Hierbei wird ausschließlich die Fahrer-Fahrzeug-Kombination als isolierte Einheit betrachtet, sodass keine Information zu den Umgebungsbedingungen bereitstehen und die Interaktion mit der Umwelt sowie anderen Verkehrsteilnehmern

unberücksichtigt bleibt. Der Fokus liegt auf der Analyse des naturalistischen Fahrverhaltens einer Person, sodass die Annahme getroffen wird, dass Normalfahrzustände sowie situative Gegebenheiten im Fahrdatensatz inkludiert sind, diese jedoch nicht im Detail quantifiziert werden können.

1.2 Aufbau der Arbeit

Für die Arbeit wird ein kombinatorischer Ansatz gewählt, der auf verhaltens- und ingenieurwissenschaftlichen Komponenten aufbaut. Zur Modellierung des komplexen Fahrverhaltens erfolgt in Kapitel 1 zunächst eine umfassende Darstellung des Stands der Wissenschaft zum Thema Fahrverhalten mit dem Fokus Fahraufgabe, Fahrstilausprägungen sowie Einflussfaktoren durch fahrerindividuelle Eigenschaften. Durch die bereits bekannten Fahrstildefinitionen und deren Parameterräume wird das notwendige Verständnis für die gewählten Indikatoren zur Bestimmung des Fahrstils geschaffen. Die für diese Arbeit wichtigsten bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisse werden tabellarisch zusammengefasst. Des Weiteren werden Bereiche der Fahrverhaltensmodellierung sowie empirische Erhebungsmethoden aufgezeigt, um Annahmen für die eigenen Untersuchungen abzuleiten sowie deren Vor- und Nachteile aufzuzeigen.

Das wissenschaftliche methodische Vorgehen der daran anschließenden Untersuchungsmethodik wird in Kapitel 1 erläutert. Hierbei werden aufbauend auf dem bisherigen wissenschaftlichen Hintergrund die Forschungslücken sowie die Ziele der eigenen Untersuchung adressiert. Daraus leiten sich die Forschungsfragen ab, die für den weiteren Untersuchungsablauf maßgebend sind. Die verwendete Methodik zur Beantwortung der Forschungsfragen wird zunächst mit ihren statistischen Verfahren näher erläutert, um diese im weiteren Verlauf der Arbeit anzuwenden.

Darauf aufbauend werden in Kapitel 4 zwei empirische Untersuchungen vorgestellt. In der ersten Untersuchung wird eine naturalistische Feldstudie zur Analyse des Fahrverhaltens und zur Erhebung fahrdynamischer Parameter durchgeführt. Parallel dazu beinhaltet die zweite Untersuchung eine Befragungsstudie zur Bestimmung fahrerindividueller Persönlichkeitsmerkmale. Die Studien liefern einen komplexen Parameterraum und fahrerindividuelle Faktoren, die den Basisdatensatz für die multivariate Datenanalyse in Kapitel 5 zur Verfügung stellt.

Das multivariate Fahrverhalten wird durch relevante Fahrverhaltensparameter kategorisiert und die Fahrer werden anhand von Verhaltensebenen beschrieben. Zu-

nächst wird in Kapitel 5 eine globale Fahrertypisierung abgeleitet, die durch objektive Fahrverhaltensparameter definiert ist. Parallel dazu werden kurzweilig auftretende intraindividuelle Verhaltensunterschiede des Fahrers durch Fahrverhaltens Ebenen beschrieben. Des Weiteren erfolgt die Analyse fahrerindividueller Eigenschaften zur Prädiktion von Fahrertypen unabhängig von fahrdynamischen Parametern für die Initialisierung des adaptiven Bewertungsmodells.

In Kapitel 6 erfolgt die situative Analyse von Fahrern und deren Bewertung auf Basis der multivariaten Fahrverhaltensbeschreibung. Hierfür wird ein theoretisches Modell entwickelt, das mit Hilfe von mathematischen Formulierungen ein Bewertungssystem für den Fahrer liefert.

Abschließend werden alle Ergebnisse in Kapitel 7 zusammengeführt. Ausgehend von den Erkenntnissen der umfassenden Fahrverhaltensanalyse in Kapitel 1 und der Durchführung der experimentellen Versuchsreihen in Kapitel 4 wird durch das methodische Vorgehen für die multivariate Fahrverhaltensbeschreibung in Kapitel 5 eine objektive Fahrertypisierung sowie deren Verhaltens Ebenen abgeleitet. Darauf aufbauend wird ein Fahrerbewertungsmodell entwickelt, das eine situative und globale Bewertung von Fahrern anhand des Fahrzustandes ermöglicht. Zum Abschluss werden der wissenschaftliche Beitrag der Arbeit erörtert und Empfehlungen für weiterführende Forschungsmöglichkeiten gegeben (siehe Kapitel 8).

Der zusammengefasste Untersuchungsablauf der Arbeit wird schematisch in Abbildung 1.2 abgebildet.

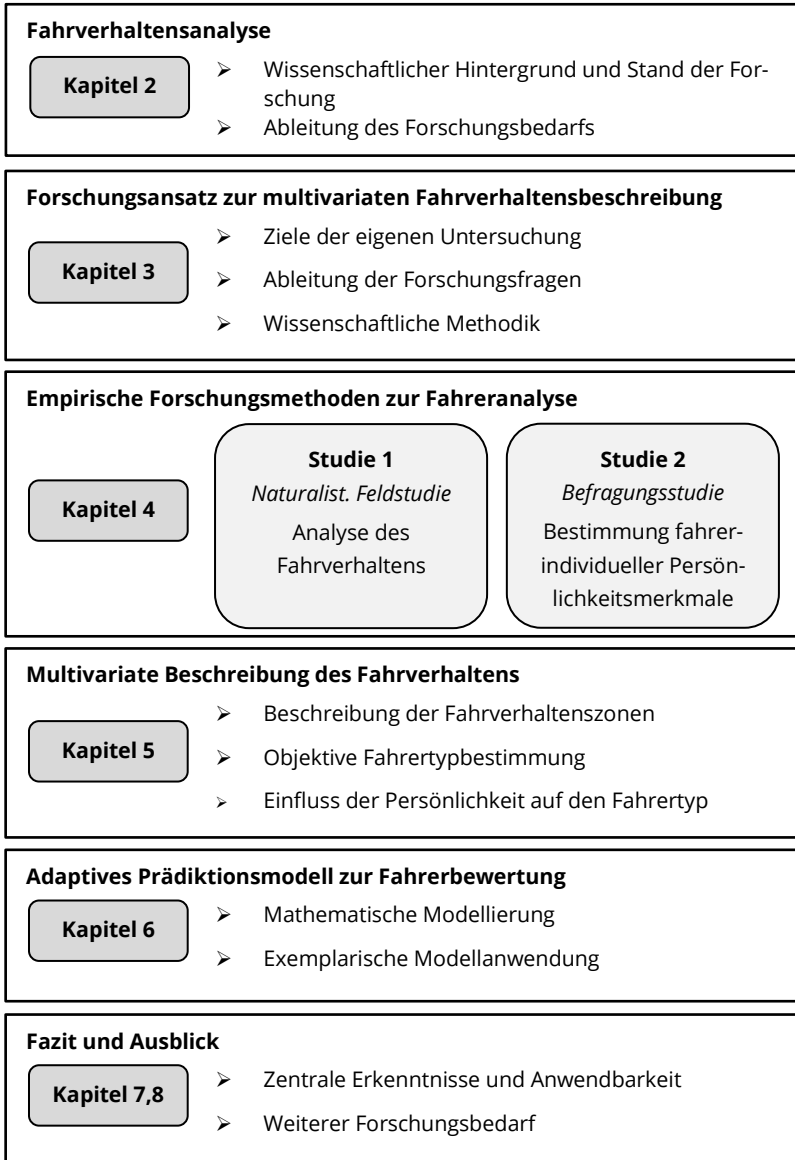


Abbildung 1.2: Schematische Darstellung des Untersuchungsablaufs und deren inhaltliche Struktur

2 Fahrverhalten

Zur Modellierung des komplexen Fahrverhaltens auf Fahrerebene (Fahrer in Kombination mit dem Fahrzeug als isolierte Einheit im Verkehr) ist eine Vielzahl von Parametern und die Kenntnis von Einflussgrößen notwendig. Im folgenden Kapitel wird der Stand der Wissenschaft zum Fahrverhalten mit dem Fokus Fahraufgabe (Kapitel 2.1), Fahrstilausprägungen (Kapitel 2.2) sowie Einflussfaktoren durch fahrerindividuelle Eigenschaften (Kapitel 2.4) behandelt. Des Weiteren werden die Bereiche der Fahrverhaltensmodellierung (Kapitel 2.3) und empirischen Erhebungsmethoden zum Fahrverhalten (Kapitel 2.5) aufgezeigt.

2.1 Fahraufgabe

Das menschliche Fahrverhalten als zielgerichtete Tätigkeit unterliegt der Fahraufgabe, beschrieben durch das 3-Ebenen-Modell nach Donges (1982). Das Modell wird in eine Navigations-, Bahnführungs- und Stabilisierungsebene gegliedert. Die Navigation als oberste Ebene umfasst die meist im Vorfeld bewusst planbaren Parameter, wie die Wahl der Fahrtroute zum entsprechenden Reiseziel sowie der voraussichtliche Zeitbedarf. Die eigentliche Fahraufgabe und die damit einhergehenden dynamischen Prozesse werden durch die Ebenen der Bahnführung und Stabilisierung erklärt. Auf der Bahnführungsebene findet ein permanenter Abgleich des Ist- mit dem Sollzustand basierend auf der geplanten Routenwahl aus der Navigationsebene statt. Die Fahraufgabe beinhaltet in dieser mittleren Ebene die antizipatorische Steuerung mit der Wahl der Geschwindigkeit, der Fahrspur und der zu tätigenen Manöver. Zur unteren Ebene, der Stabilisierungsebene, zählen korrigierende Regelungen des Fahrers (z.B.: Betätigung Gas-, Bremspedal) für die Stabilisierung des geschlossenen Regelkreises zur Minimierung von Regelabweichungen.

Der Fahrer selbst ist geprägt von seinen individuellen Persönlichkeitseigenschaften, seiner Fahrerfahrung sowie seiner Tagesform (z.B. Müdigkeit, Stress) bzw. seines Gesundheitszustandes. Diese latenten Faktoren führen zu unterschiedlichen Handlungs- und Verhaltensweisen bei der Durchführung der Fahraufgabe. Diese Fahrverhaltensunterschiede lassen sich durch interindividuelle und intraindividuelle Eigenschaften klassifizieren. Die interindividuellen Unterschiede beziehen sich auf stabile und zeitlich überdauernde Eigenschaften zwischen verschiedenen Fahrern. Hierzu zählen unter anderem Ausprägungen wie Fahrstil, Alter, Geschlecht, Persönlichkeits- und Charaktereigenschaften sowie Fahrerfahrung, Sensationslust

und Risikobereitschaft. Die intraindividuellen Faktoren sind Unterschiede im Verhalten eines einzelnen Fahrers aufgrund veränderlicher Zustände, die meist kurzweilig auftreten und sich schnell ändern. Hierzu zählen insbesondere Stress, Müdigkeit, Erkrankung, aber auch Ablenkung im Straßenverkehr durch bspw. Nebentätigkeiten.

Für die Beschreibung der kognitiven Inanspruchnahme des Menschen erfolgt eine Dimensionserweiterung der 3-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe nach Donges (1982) durch das ingenieurspsychologische Modell für zielgerichtetes Verhalten des Menschen nach Rasmussen (1983). Hierbei wird das menschliche Verhalten im Arbeitsprozess in drei Kategorien unterteilt: wissensbasiertes, regelbasiertes und fertigkeitbasiertes Verhalten. In der wissensbasierten Ebene wird ein hoher kognitiver Lösungsprozess unter Zuhilfenahme des Lang- und Kurzzeitgedächtnisses durchgeführt, um ein angemessenes Verhaltensmuster aus verschiedenen Handlungsalternativen auszuwählen. Das regelbasierte Verhalten ist charakterisiert durch routinierte Verhaltensmuster sowie abgespeicherte Regeln aus bspw. vorangegangenen situativen Gegebenheiten. Die fertigkeitbasierte Ebene basiert auf langen Lernprozessen und ist geprägt von unbewusst kontrollierten Verhaltensmustern. Dies äußert sich durch selbsttätiges, reflexartiges Reaktionsverhalten, das vom Individuum nicht bewusst beschrieben werden kann.

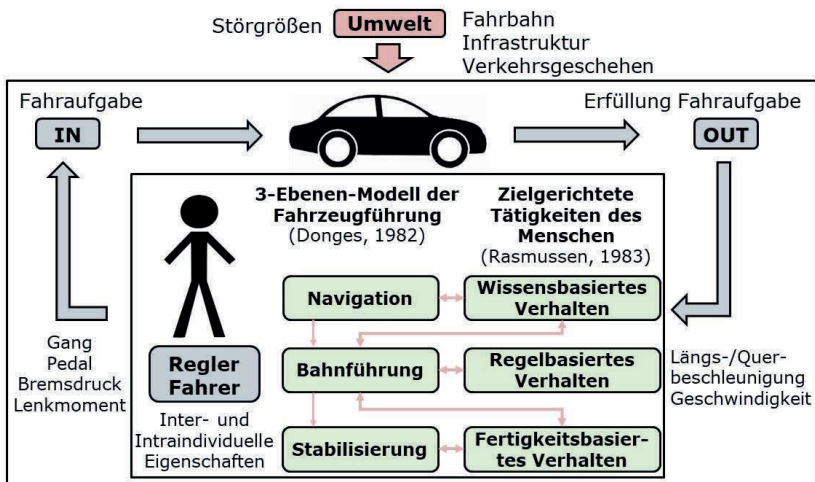


Abbildung 2.1: Geschlossener Regelkreis des Fahrverhaltens (eigene Darstellung, angelehnt an Winner et al., 2015)