

Fingerprint des Fahrers zur Adaption von Assistenzsystemen

Dipl.-Ing. Olivier Pion, Dr.-Ing. Roman Henze, Prof. Dr.-Ing. Ferit Küçükay

Institut für Fahrzeugtechnik,
TU Braunschweig
Hans-Sommer-Straße 4
D-38106 Braunschweig
o.pion@tu-bs.de
r.henze@tu-bs.de
f.kuecuekay@tu-bs.de

Abstract: Die genaue und zuverlässige Kenntnis spezifischer Fahrereigenschaften, wie sein Fahrstil, sein Steuer- und Regelverhalten, sein Leistungszustand und sein Alter, birgt ein hohes Potenzial in sich, Fahrzeugsysteme wie z.B. Assistenzsysteme an den Fahrer zu adaptieren und damit den Kundennutzen (Sicherheits- und Komfortgewinn) und die Kundenzufriedenheit zu optimieren. Aus diesem Grunde werden seit Jahrzehnten Ansätze verfolgt, das Fahrerverhalten zu identifizieren, zu objektivieren und in Systemauslegungen zu berücksichtigen.

Am Institut für Fahrzeugtechnik (IfF) wurde eine Methode entwickelt, die es ermöglicht, einen persönlichen Fingerprint des Fahrers zu identifizieren. Die Analyse des individuellen Fahrerverhaltens durch die Ermittlung von definierten Kennparametern aus seinem Längs- und Querregelverhalten, seinem Lenk- und Spurhalteverhalten und seinem Umgang mit aktiven Assistenzsystemen bilden die Basis zur Erstellung des Fingerprints und der Fahrerklassifizierung. Die Klassifizierung erfolgt durch die Zuordnung zu Gruppen, welche bestimmte Fahrereigenschaften vereinigen. Beispiele hierzu sind der Fahrstil oder das Fahreralter. Ist der Fingerprint eines Fahrers bekannt, können über identifizierte Abweichungen und Änderungen bestimmter Kennparameter Rückschlüsse auf seine Leistungsfähigkeit gezogen werden. Der Fingerprint und die damit verbundene Fahrerklassifizierung und -leistungsidentifikation bilden die Grundlage für die Adaption von Assistenzsystemen.

Im Rahmen des Beitrags werden die Methodik der Fingerprintgenerierung und ihre Anwendung im Fahrzeug mit einem adaptiven Querführungsassistenten vorgestellt. Nach der Erläuterung der Datenbasis werden hierbei sowohl die Ansätze der Analyse in Form von Fahrermodellierung und Kennparameterbildung, als auch die Vorgehensweise bei der Klassifizierung der Fahrer inklusive der Gruppendifinition und -identifikation dargestellt. Am Beispiel des Querführungsassistenten, dessen Funktion vom reinen Spurverlassenswarner bis hin zur (teil-) autonomen Spurhaltung reicht, wird die Adaption an den spezifischen Fahrer mit Hilfe des Fingerprints vorgestellt.

1. Einleitung

Auf dem Weg zum unfallfreien Fahren werden zunehmend Fahrerassistenzsysteme entwickelt, die eine weiterführende Unterstützung des Fahrers bei der Fahrzeugführung anbieten. Hierzu zählen auch Querführungsassistenzsysteme, die den Fahrer beim ungewollten Verlassen seiner Fahrspur je nach Systemausprägung entweder akustisch, haptisch oder intervenierend bei seiner Fahraufgabe unterstützen. Eine hohe Wirksamkeit dieser Systeme, auch in Bezug auf die Akzeptanz durch den Fahrer, kann erreicht werden, indem ihre Funktionalitäten an die individuellen Fahreigenschaften angepasst werden. Eine Veränderung der Systemeinstellungen wird heute zumeist durch eine vom Fahrer über entsprechende Tasten durchzuführende Selektion vorgesehen, beispielsweise bei Assistenzsystemen durch die Auswahl charakteristischer Stellparameter wie Zeitlücken oder Warnschwellen. Mit einer individuellen Adaption wird es möglich, dem spezifischen Bedarf und Wunsch des Fahrers nachzukommen, sodass ein höherer Nutzen und vor allem eine höhere Kundenakzeptanz hervorgerufen werden kann. Als Basis für eine solche Adaption dient die Kenntnis des spezifischen Fahrerverhaltens, insbesondere für intervenierende Spurführungsassistenzsysteme. Im Kontext der Anpassung müssen jedoch die grundlegenden Anforderungen an die Berechenbarkeit und die Vorhersehbarkeit von Systemfunktionen erhalten bleiben.

Einen wichtigen Aspekt des spezifischen Fahrerverhaltens stellen die altersbedingten Unterschiede dar. Da der demographische Wandel der deutschen Bevölkerung eine signifikante Zunahme älterer Teilnehmer im Verkehrsgeschehen zur Folge haben wird, birgt eine altersgerechte Adaptation von Spurführungsassistenzsystemen hohe Potentiale.

Im Folgenden werden die Messdatenbasis zur Analyse des Fahrerverhaltens und als Anwendungsbeispiel die altersgerechte adaptierte Spurführungsassistenz vorgestellt.

2. Datenbasis aus Fahrversuchen

Am Institut für Fahrzeugtechnik wurden verschiedene systematische Versuchsreihen zur Identifikation des Fahrerverhaltens durchgeführt. Unterschieden werden hier Versuchsreihen zur Abbildung des realen Kundennutzungsverhaltens nach der 3F-Methode [Kol12] und Versuchsreihen zur Datenakquisition für die Identifikation des Fahrerzustands[HBK09].

Zur Analyse des Kundenverhaltens nach der 3F-Methode müssen alle Bereiche des Kundeneinsatzraumes statistisch erfasst werden. Hierzu wurden im Rahmen von Kundennmessungen umfangreiche Studien mit über 1,5 Millionen Messkilometern mit diversen Fahrzeugen (Abbildung 1 zeigt einen der Versuchsträger) im realen Straßenverkehr durchgeführt, um Fahrerhandlungen sowie Fahrumgebungsgrößen zu erfassen und anschließend in eine Datenbank zu integrieren.



Abbildung 1: Experimentalfahrzeug mit Messtechnik und Sondereinbauten

Während der Versuchsfahrten zur Identifikation des Fahrerzustandes gaben die Fahrer in einheitlichen Zeitabständen eine Selbsteinschätzung zu ihrem subjektiven Leistungsempfinden ab. Als Bewertungsskala dient der Fahrerleistungsvermögen-Index (FLV-Index), der neun Bewertungsanker zwischen „extrem wach“ bis „Schlaf bekämpfend“ bietet. Zusätzlich wird das Fahrerverhalten mittels einer Innenraumkamera aufgezeichnet, um im Anschluss ein Expertenrating zur Fahrermüdigkeit zu ermöglichen.

Tabelle 1: Eckdaten der Versuchsreihen

	Versuchsreihe			
	1	2	3	4
Probandenanzahl	18	9	33	14/24
Gesamtmesskilometer [tkm]	28	7,4	18,9	22,8
Länge der Versuchsstr. [km]	560	367,5	Ø 575	600
Alter der Probanden	26 bis 59, Ø 36,1 Jahre	26 bis 63, Ø 32,4 Jahre	24 bis 41, Ø 30,1 Jahre	23-25, Ø24,2J 63-81, Ø68,1J

Diesen Versuchsreihen angeschlossen ist eine Kundenstudie zur Spurführungsassistenz mit zwei Probandengruppen. Hierzu wurde ein am Institut für Fahrzeugtechnik entwickelter Lane-Departure-Warning- und Heading-Control-Algorithmus mit verschiedenen Ausprägungen parametrisiert, welche das Spektrum vom rein warnenden bis hin zur annähernd autonomen Spurhalteassistenz abbilden. Diese Versuchsreihe wurde mit jungen und älteren Fahrern durchgeführt, um die Akzeptanz der verschiedenen Ausprägungen in den jeweiligen Probandengruppen zu ermitteln.

3. Identifikation des Fahrerfingerprints

Die Fingerprintgenerierung untergliedert sich in die Bereiche der Identifikation des Fahrstils, der Fahrstrategie und den leistungsbedingten Änderungen im Fahrerverhalten. Im Folgenden werden die Teilbereiche separat betrachtet und im Anschluss die Methodik vorgestellt.

3.1. Fahrstil

Der Fahrstil ist grundsätzlich als eine natürliche Eigenschaft des Fahrers zu interpretieren. Bei kurzzeitigen oder situationsabhängigen Fahrmanövern kann sich der natürliche Fahrstil jedoch kurzzeitig ändern. Dies erfordert eine statistische Langzeitbeobachtung des Fahrstils, welche Kurzeffekte erkennen und ggf. unterdrücken kann.

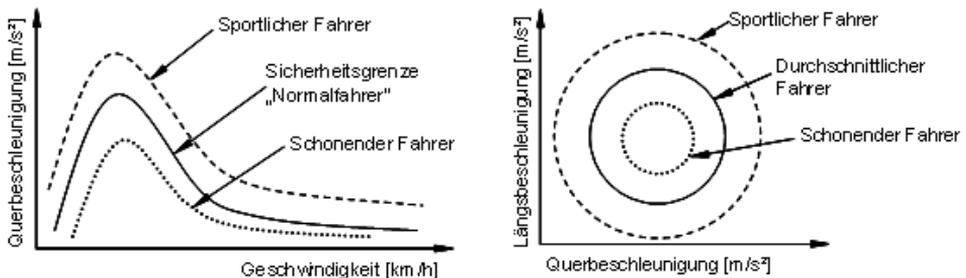


Abbildung 2: Grenzmuster aus der Korrelation von Längsbeschleunigung und Fahrzeuggeschwindigkeit sowie der Ausnutzung des Kamm'schen Reibkreises

Zur Identifikation des Fahrstils werden drei fahrzeugunabhängige Zusammenhänge verwendet, die eine objektive Aussage erlauben: die „Sicherheitsgrenze des Normalfahrers“ [SB85], die Ausnutzung des Kamm'schen Reibkreises und die Ausnutzung des Beschleunigungs- und Verzögerungspotenzials.

Dieser Ansatz zeigt signifikante Unterschiede bei unterschiedlichen Fahrern, welche deutlich zum Fahrstil korrelieren. Im Kern steht die Beobachtung, dass der Normalfahrer beispielsweise bei Fahrgeschwindigkeiten oberhalb ca. 50 km/h Querschleunigungen

größer 4 m/s^2 als unangenehm empfindet und deshalb vermeidet. Da diese Grenzen in der Literatur nur für den Normalfahrer (durchschnittlicher Fahrstil) und bis Geschwindigkeiten von 140 km/h bekannt sind, werden zur Festlegung der Grenzen des schonenden und sportlichen Fahrers die oben genannten 3F-Kundenmessungen analysiert und neu bewertet. Als zweites Kriterium wird die Ausnutzung des Kamm'schen Reibkreises (Abbildung 2 rechts) herangezogen. Dies ist eine geschwindigkeitsunabhängige Methode um den Fahrstil zu ermitteln. Sportliche Fahrer zeigen eine auffällig hohe gleichzeitige Ausnutzung des Längs- und Querschleunigungspotenzials des Fahrzeugs, z.B. beim Bremsen und Beschleunigen in der Kurve. Schonende und durchschnittliche Fahrertypen befahren Kurven hingegen zumeist ohne nennenswerte Längsbeschleunigung. Neben diesen beiden querdynamisch-orientierten Kriterien wird der Fahrstil aus längsdynamisch-orientierten Kriterien abgeleitet, wobei grundsätzlich zwischen dem Brems- und Beschleunigungsverhalten unterschieden wird (siehe Abbildung 3). Während das Beschleunigungsverhalten deutlich vom Leistungsgewicht des Fahrzeugs abhängt [HBK09], bleibt das Bremsverhalten davon nahezu unbeeinflusst.

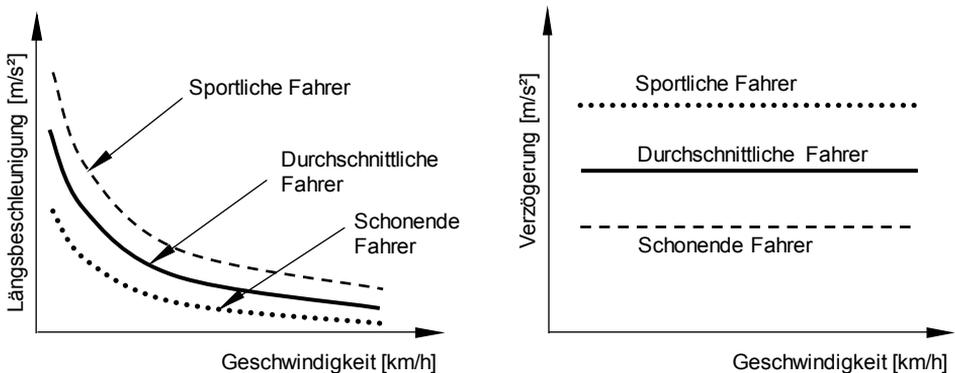


Abbildung 3: Grenzmuster aus der Korrelation von Längsbeschleunigung und Verzögerung zur Fahrzeuggeschwindigkeit beim Antreiben und Verzögern

Je nach Fahrstil kommt es zu einer bestimmten, prozentualen Annäherung an die in den Abbildung 2 und 3 dargestellten Grenzmuster. Für den individuellen Fahrer werden mit diesen Methoden zwei Fahrstilinformationen abgeleitet, welche zum einen aus der Langzeitbeobachtung und statistischen Analyse des Fahrers und zum anderen aus der Kurzzeitbeobachtung der momentanen Fahrsituation resultieren.

3.2. Fahrstrategie

Zur Identifikation des Fahrerübertragungsverhaltens wird ein Fahrermodell für die Querregelung herangezogen [2,4]. Strukturell lässt sich dieses durch einen Block der Informationsverarbeitung und eine Ebene regelungstechnischer Elemente darstellen, die das Übertragungsverhalten zwischen der Fahrerinformation und der Lenkwinkelvorgabe zur Kurshaltungsaufgabe beschreiben.

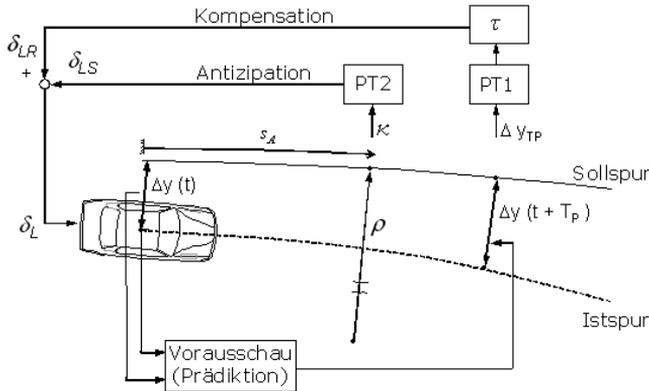


Abbildung 4: Fahrermodell für die Fahrzeugquerführung

Die regelungstechnische Modellebene untergliedert sich in einen Steuerungs- und einen kompensatorischen Anteil (Abbildung 4). Im Bereich der 'antizipatorischen Steuerung' stellt das Fahrermodell aufgrund der Straßenkrümmung κ_S einen Lenkwinkel ein. Mit den Elementen der 'kompensatorischen Regelung' wird ein zusätzlicher Lenkwinkel infolge der Soll-Ist-Kurs-Abweichungen Δy_{TP} unter Berücksichtigung der Prädiktionszeit T_P überlagert.

In Abbildung 5 rechts sind die identifizierten Kennparameter Fahrerverstärkung V_{MR} und Prädiktionszeit T_P für die kompensatorische Regelung für die Probandengruppen dargestellt. Es zeigt sich, dass die älteren Fahrer mit größeren Verstärkungsfaktoren V_{MR} und einer höheren Vorausschau T_P regeln. Die niedrigere Prädiktionszeit der jungen Fahrer verdeutlicht, dass diese weniger vorausschauend auf Querabweichungen des Fahrzeuges gegenüber dem Sollkurs reagieren, wobei sie gleichzeitig aufgrund geringerer Zeitverzögerungen durch Informationsaufnahme und -verarbeitung bereits kleinere Störungen mit einer niedrigeren Verstärkung kompensieren.

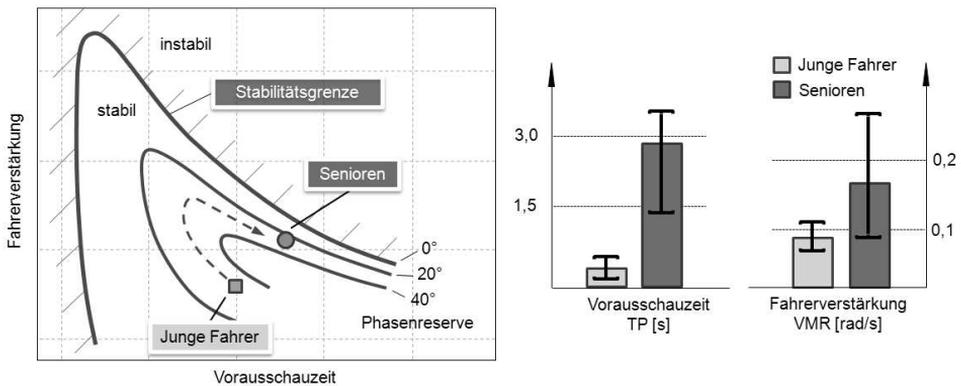


Abbildung 5: Vorausschauzeit und Fahrerverstärkung bei jungen und älteren Fahrern

Abbildung 5 links zeigt diese Bedingungen anhand des Beiwertediagramms, in dem die Fahrerverstärkung V_{MR} über der Vorausschauzeit T_P aufgetragen ist. Eingezeichnet sind die Isolinien gleicher Phasenreserve, die die Eigenschaften des Gesamtregelkreises Fahrer-Fahrzeug charakterisieren, wobei die Kurve für Phasenreserve 0° die Stabilitätsgrenze kennzeichnet. Obwohl die jüngeren und älteren Fahrer ihre Regelparameter im Mittel in unterschiedlichen Wertebereichen einstellen, bleibt in beiden Fällen eine stabile Regelung bei gleicher Phasenreserve erhalten.

Als Fingerprint wird in diesem Zusammenhang das Querführungsverhalten abgebildet, welches die Regelstrategie und das Spurhalteverhalten quantifiziert. Anhand der beschriebenen Kennparameter und ihrer typischen Wertebereiche lässt sich zudem indirekt ein Rückschluss auf das Fahreralter ziehen.

3.3. Fahrerleistungsvermögen

Trotz der Zunahme an Assistenzsystemen liegt die Verantwortung und Kontrolle des Fahrzeugs letztendlich beim Fahrer, dessen Leistungsvermögen die Güte der Fahrzeugführung bestimmt. Neben dem Talent, der Konstitution und der Erfahrung eines Fahrers, haben auch Fitness (Müdigkeit) und Aufmerksamkeit einen Einfluss auf dieses. Mit einer ganzheitlichen, kennparameterbasierten Betrachtung wird unter Berücksichtigung von fahrerspezifischen Einflüssen das Fahrerleistungsvermögen modelliert. Im Gegensatz zu heute üblichen Systemen erfolgt die Berechnung der Kennparameter sowohl aus zeit- und frequenzbezogenen Analysen von Fahrzeugmess- und Spurkamerasignalen, als auch aus dem Fahrerübertragungsverhalten anhand des in Abbildung 4 gezeigten Fahrermodells.

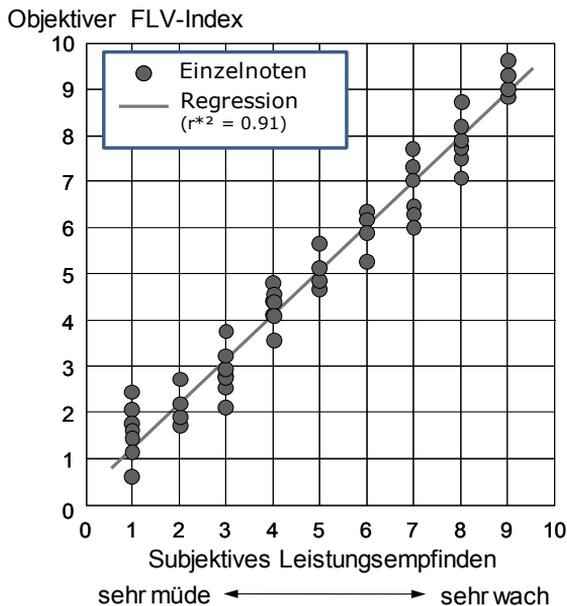


Abbildung 6: Objektiver und subjektiver FLV-Wert aus Regressionsmodell

Ein Vergleich der objektiven FLV-Kennparameter mit dem subjektiven Leistungsempfinden verdeutlicht die starke Korrelation zwischen dem Fahrerleistungsvermögen und den im Regelverhalten beobachteten Veränderungen. Mit Kenntnis der leistungsbedingten Abhängigkeiten lässt sich das Leistungsvermögen der Fahrer objektivieren. In Abbildung 6 ist der berechnete objektive FLV-Index über dem subjektiven Leistungsempfinden aus einem Regressionsmodell dargestellt.

Zur Bestimmung eines objektiven Leistungswertes werden parallel mehrere Regressionsmodelle berechnet, die eine Kombination unabhängiger Kennparameter darstellen. So stellen sich beispielsweise die verwendeten Kennparameter eines Modells aus einer Kombination definierter Kriterien aus der Analyse des Spurhalteverhaltens und dem Fahrermodell zusammen.

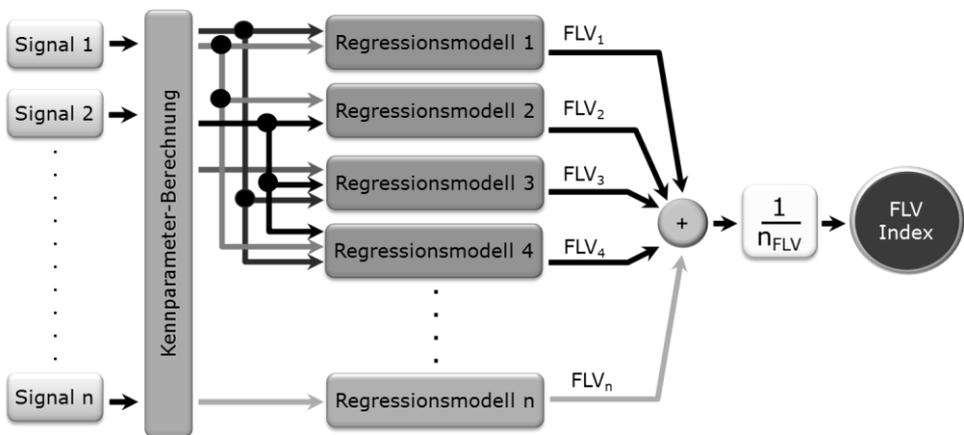


Abbildung 7: Methodik zur Bestimmung des objektiven Leistungswert (FLV-Index)

Der identifizierte Fahrerleistungsvermögenswert setzt sich in Abhängigkeit der zur Laufzeit verfügbaren Messsignale aus einem Mittelwert der objektiven Modellnoten zusammen (siehe Abbildung 7). Durch die parallele Berechnung mehrerer Regressionsmodelle kann eine permanente Verfügbarkeit des FLV-Index gewährleistet werden, auch wenn beispielsweise keine Analyse des Spurregelverhaltens aufgrund fehlender Fahrbahnmarkierungen erfolgen kann.

4. Adaption von Spurführungsassistenzsystemen

In Bezug auf die Spurführungsassistenzsysteme werden die Adaptionsansätze für die drei identifizierten Fahrercharakteristika „Fahrstil“, „Fahrstrategie“ und „Fahrerleistungs-vermögen“ beschrieben.

Die Adaption an den Fahrstil hat zur Zielsetzung, Fehleingriffe und Fehlwarnungen zu minimieren, die aus einer dynamischen Fahrweise resultieren. Sportliche Fahrer neigen zu einer höheren Ausnutzung der Fahrspurbreite, bis hin zum Überfahren der Spurmarkierungen beim „Kurvenschneiden“. Es werden sowohl die Grenzwerte der

Warnunterdrückung der Spurverlassenswarnung, als auch die Charakteristik des Heading-Control-Algorithmus angepasst. Es erfolgt eine Adaption an einen Leistungswert, um den wachen aktiven Fahrer in seinem persönlichen Fahrstil möglichst wenig zu stören, ihn jedoch bei sinkendem Leistungsvermögen im Sinne der Verkehrssicherheit zu unterstützen. Die Adaption wird dahingehend ausgelegt, dass mit steigendem Unterstützungsbedarf vom rein warnendem hin zum stark intervenierendem System variiert wird.

Aufgrund der in Abbildung 5 gezeigten altersspezifischen Unterschiede in der Fahrweise erfolgt eine Adaption dahingehend, dass ältere Fahrer durch ihre Fahrweise mit größerer Vorausschau eine stärkere Spurmittenregelung erhalten als jüngere Fahrer.

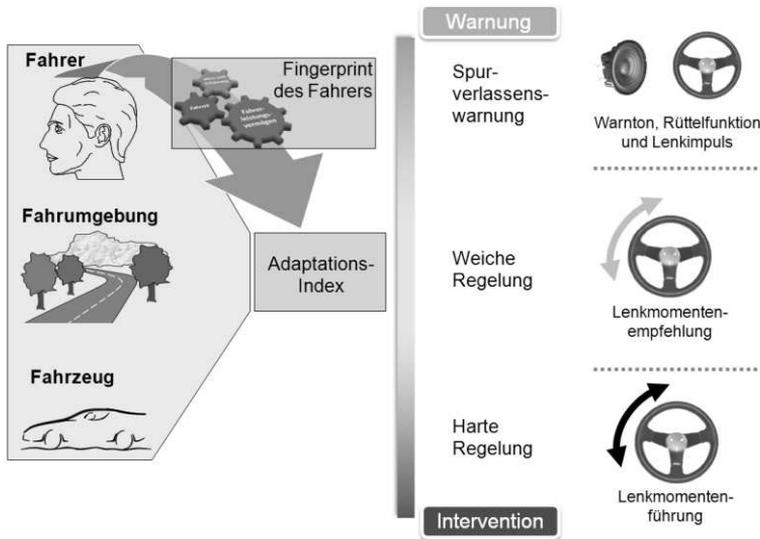


Abbildung 8: Adaptiver Algorithmus für die Spurhalteassistenten

Die in Abbildung 8 dargestellte kombinierte Adaption stellt die Vernetzung und Gewichtung der fingerprintbasierten Adaptionen dar. Grundsätzlich erfolgt die Systemgrundparametrierung anhand der fahrstilspezifischen Indikatoren. Im nächsten Schritt werden die Anforderungen aus den altersbedingten Änderungen in der Regelstrategie berücksichtigt. Diesen übergeordnet ist die Adaption an den Leistungszustand. Für den wachen Fahrer erfolgt eine Adaption fahrstil- und altersbasiert. Der müde Fahrer erhält grundsätzlich den leistungsgerecht adaptierten Algorithmus mit zusätzlicher Müdigkeitswarnung.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag wurden die Methode, die Datenbasis, sowie die Modellbasis zur Generierung des fahrerspezifischen Fingerprints vorgestellt. Letzterer untergliedert sich in drei Teilbereiche der Identifikation des Fahrstils, der Fahrstrategie und des

Fahrerleistungsvermögens. Die zuverlässige Kenntnis von objektiven Klassifikationsmerkmalen, sowie von signifikanten Bewertungsindizes eröffnet große Potentiale bei der Adaptation von Assistenzsystemen. Als Anwendungsbeispiel wurde die Anpassung eines Spurhalteassistenten angeführt. Hierbei wurde die Akzeptanz für das adaptierte System und das eigene Sicherheitsgefühl bei den Probanden im Verhältnis zum Referenzsystem signifikant gesteigert.

Um die adaptiven Assistenzfunktionen weiter zu erproben und für ein breites Kundenspektrum abzusichern, umfasst der nächste Schritt umfangreiche Systemstudien. Entsprechende Versuchsreihen befinden sich in Vorbereitung. Ebenso ist die Übertragbarkeit der Ansätze der Fingerprintgenerierung auf intervenierende Systeme für den Bereich der Längsregelung in Bearbeitung.

Literaturverzeichnis

- [AG90] Åkerstedt, T, Gilberg, M., Subjective and objective sleepiness in the actived individual, International Journal Neuroscience, 1990, 52: 29- [ABC01]
- [Ap97] Apel, A.: Modellierung des Fahrerverhaltens bei der Längs- und Querführung von Pkw. Institut für Fahrzeugtechnik, TU Braunschweig, Dissertation, 1997
- [HBK09] Henze, R., Bergholz, J., Küçükay, F.: Fahrerspezifische Adaption der Querführungsassistenz, Der Fahrer im 21.Jhd, 04.11.2009, Braunschweig, VDI- Nr. 2085
- [Hen04] Henze, R.; Beurteilung von Fahrzeugen mit Hilfe eines Fahrermodells, TU Braunschweig, Dissertation, 2004
- [Kol12] Kollmer, H.; Markspezifische Anforderungen an die Festigkeit von Fahrwerken, TU Braunschweig, Dissertation, 2012
- [SB85] Schimmelpfennig, K.-H., Nackenhorst, U.: Bedeutung der Querbeschleunigung in der Verkehrsunfallrekonstruktion, Sicherheitsgrenze des Normalfahrers. In: Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Jahrgang 1985, Heft 4, Seite 94ff