

AUTOREN



Prof. Bernhard Schick
ist Leiter des Forschungsbereichs HAF/FAS der Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten.



Dr.-Ing. Florian Fuhr
ist Leiter HAF/FAS Fahrdynamik und Applikation bei der Porsche AG in Stuttgart.



Dr.-Ing. Manuel Höfer
ist Sachgebietsleiter HAF/FAS Fahrdynamik und Applikation – lenkende Systeme bei der Porsche AG in Stuttgart.



Prof. Dr. Peter E. Pfeffer
ist Vorstand der MdynamiX AG in München.

Eigenschaftsbasierte Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen

Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren sind ein Megatrend in der Fahrzeugindustrie. Dabei stellen sich folgende Fragen: Können sich die Fahrzeughersteller auch noch in Zukunft markenspezifisch differenzieren, oder fahren alle Fahrzeuge gleich? Wie lässt sich eine Marken-DNA implementieren, und wie erzielt man den Übergang von Fahrspaß zum Spaß am Gefahrenwerden? Um Antworten zu generieren, sind klare Fahreigenschaftsziele „vor Kunde“ und daraus die Anforderungen an die Fahrzeugsysteme und -komponenten abzuleiten. Aber was sind Fahreigenschaften im Kontext des assistierten und automatisierten Fahrens, und wie können diese in einer Entwicklung gezielt erreicht werden? Dieser Herausforderung hat sich Porsche gemeinsam mit der Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten und MdynamiX angenommen.



© Porsche

1	MOTIVATION
2	EVOLUTION DER FAHRERASSISTENZ
3	METHODIK
4	FAHREIGENSCHAFTSBEWERTUNGEN IN DER ENTWICKLUNG
5	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

1 MOTIVATION

Vorangegangene Studien der Hochschule Kempten und der MdynamiX mit über 120 Probanden und aktuellen Benchmark-Fahrzeugen im Hinblick auf die automatisierte Querführung haben gezeigt, dass die derzeit erreichten Funktionsausprägungen und Fahreigenschaften noch viel Optimierungspotenzial bieten und die Kundenakzeptanz noch verhältnismäßig gering ist [1-3]. Die Herausforderung bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen (FAS) und hochautomatisierten Fahrfunktionen (HAF) besteht für Fahrzeughersteller zusätzlich in der Schwierigkeit, sich (marken-

typisch) zu differenzieren. Die markenspezifischen Eigenschaften und die Markenposition der Fahrzeugmarken werden im Rahmen der Funktionsentwicklung bisher kaum berücksichtigt. Für Porsche gilt es, sowohl das Produkt als auch die Marke im Zeitalter FAS/HAF markentypisch erlebbar zu gestalten, sodass beim Kunden spezielle – von anderen Marken und Produkten differenzierbare – Emotionen ausgelöst werden. Am Beispiel der assistierten Querführung sollte ein generisches Vorgehensmodell entwickelt werden, wie sich subjektive Kundenerlebnisse in subjektive Expertenbewertungen und schlussendlich in objektive Kennwerte (Key Performance Indicators, KPI) mit definierten Fahrmanövern überführen lassen [4]. Damit sollen objektive Eigenschaftsziele für eine Porsche-typische Ausprägung definierbar und in allen Phasen der Entwicklung – von der Simulation bis hin zum Fahrversuch – jederzeit validierbar sein. Das Vorgehensmodell soll sich anschließend auf die assistierte Längsführung und auf Fahrfunktionen höherer Automatisierungslevels übertragen lassen.

2 EVOLUTION DER FAHRERASSISTENZ

Als Sportwagenhersteller bot Porsche bis zur Ersteinführung des Panamera im Jahr 2009 seinen Kunden lediglich einige Sicherheitsfunktionen sowie eine Geschwindigkeitsregelanlage an. Bei der Ausweitung von Fahrerassistenzsystemen verfolgte Porsche in den Folgejahren eine Late-Follower-Strategie und fokussierte sich dabei vorrangig auf den Panamera und die SUV-Baureihen. Seit Einführung der zweiten Generation des Panamera in 2016 wurde eine Trendwende eingeleitet. Mit vorausschauenden Längsregelfunktionen wie Porsche InnoDrive führt Porsche erstmals eine eigenentwickelte Fahrerassistenzfunktion ein und optimiert bestehende Funktionen durch Porsche typische Erweiterungen, wie zum Beispiel einer Sportlichkeitserkennung [5]. Porsche verfolgt dabei den Ansatz, durch Einhaltung markentypischer Attribute wie Zuverlässigkeit, Souveränität, Performance, Intelligenz und Vertrauen Fahrerassistenzfunktionen mit einer eigenen DNA anzubieten. Um diesen Anspruch für zukünftige assistierte und auch hochautomatisierte Fahrfunktionen erfolgreich umzusetzen, bedarf es professioneller Methoden für eine eigenschaftsbasierte Entwicklung.

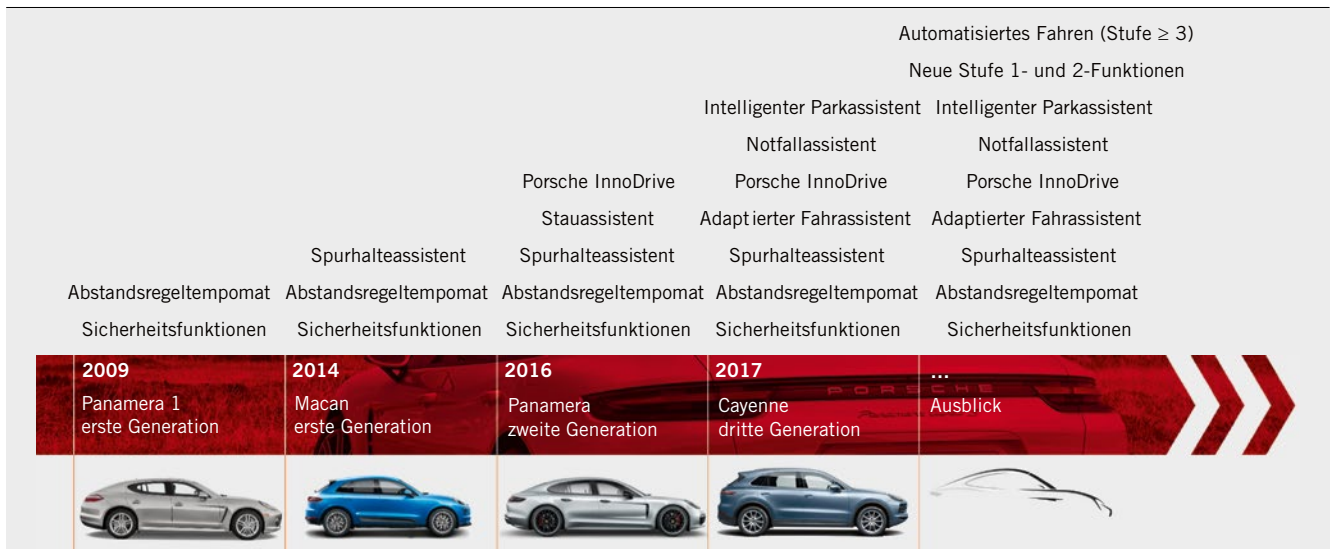


BILD 1 Evolution der Fahrerassistenz bei Porsche (© Porsche)

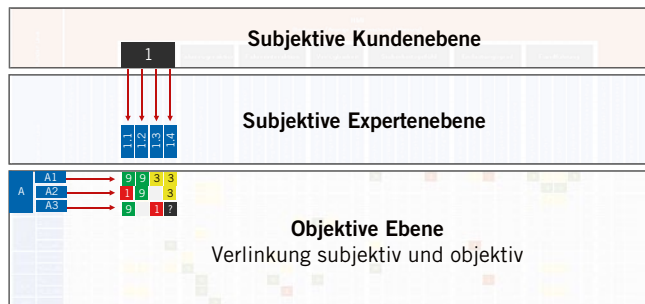


BILD 2 Ebenenmodell (© Hochschule Kempten)

3 METHODIK

Am Beispiel der assistierten Querführung wurde ein generisches Vorgehensmodell entwickelt. Hierbei wurden Prinzipien und Ansätze der Fahrdynamik- und Fahrwerksentwicklung angewendet [6].

3.1 EBENENMODELL

In zahlreichen Expertenworkshops, Benchmark-Tests und Messkampagnen wurden die relevanten Attribute für die assistierte Querführung systematisch und strukturell entwickelt. Die dabei definierten subjektiven und objektiven Merkmale wurden in ein sogenanntes Ebenenmodell übertragen und verknüpft [4], **BILD 2**. Dieses Modell besteht aus den Ebenen subjektive Kundenbewertung, subjektive Expertenbewertung, Messsignale und KPI, die in definierten Fahrmanövern/Fahrscenarien zu erheben sind. Auf der obersten Kundenebene befinden sich Hauptkriterien wie Spurführungsgüte, Fahrer-Fahrzeug-Interaktion, Fahrzeugreaktion, Verfügbarkeit, Entlastungsgrad, Sicherheitsgefühl und HMI (Bedienung, Anzeige, Überwachung, Warnung). Auf der Expertenebene wurden die Hauptkriterien in vier bis sechs Subkriterien heruntergebrochen. Im nächsten Schritt wurden in Expertenworkshops alle relevanten und messbaren Fahrzeugsignale ausgearbeitet, in denen die subjektiven Expertenkriterien eine deutliche Sichtbarkeit erwarten ließen. Basierend auf dem Expertenwissen fand anschließend eine Verlinkung subjektiver und messbarer Fahrzeugsignale statt. Hierbei wurde von den Experten der Grad der zu erwarteten

Sichtbarkeit mit hoch (9), moderat (3), gering (1), keine (0) oder unbekannt (?) bewertet, **BILD 2**. Daraus wurden KPIs für die relevanten Signale, entsprechend der einzelnen Expertenkriterien in Analogie zu Kennwerten der Fahrdynamik, entwickelt.

3.2 MESSMETHODE GROUND TRUTH

Zur objektiven Bewertung der Fahreigenschaften im Kontext FAS/HAF mussten neue Mess- und Testmethoden entwickelt werden. In der Fahrdynamikbeurteilung ist bestens bekannt, dass eine Bewertung im Regelkreis Fahrer/Fahrzeug/Umwelt erfolgen sollte. Hierzu wird der Input ins Fahrzeug, wie Fahrereingabe, Straßenbeziehungswise Verkehrsanregung, Regeleingriff und die resultierende Fahrzeugreaktion/-bewegung in allen notwendigen Freiheitsgraden bewertet. Übertragen auf die assistierte Querführung gilt, dass man sich hierbei hohe Kenntnisse der Streckenanregung (im Wesentlichen Fahrbahnmarkierungen und Oberflächenbeschaffenheit) und des Fahrerinputs verschaffen muss, um die resultierende Fahrzeugreaktion entsprechend bewerten zu können. Bei der assistierten Längsführung muss man sich vielmehr eine hohe Kenntnis des Umgebungsverkehrs verschaffen.

Umgebungssensoren wie Kamera, Radar oder Lidar [7] sind, wie alle Sensoren, fehlerbehaftet und nicht in allen Situationen verfügbar oder hinreichend genau. Dies kann die Fahreigenschaften maßgebend beeinflussen. So kann die Kamera beispielsweise die Kurvenkrümmungen teilweise unzureichend wiedergeben, was Auswirkungen auf den Spurregler verursacht. Daraus entstehen immer wieder Unsicherheiten, ob Fahreigenschaften einer mäßigen Performance der Sensoren, Trajektorien, Regler, Aktoren oder der mäßigen Reaktion des Fahrzeugs als Ergebnis von Lenkung, Achsen, Reifen und Fahrwerksregelsysteme geschuldet sind. Um diese Wirkkette zu untersuchen, muss eine deutlich genauere Referenzmessmethode als Grundwahrheit (Ground Truth) eingesetzt werden. Hier wurde der Ansatz gewählt, eine hochgenau gemessene Fahrzeugposition und -bewegung in hochgenaue digitale Ground-Truth-Karten zu integrieren, **BILD 3** (links). Atlatec hat eine Methode entwickelt, um digitale Ground-Truth-3-D-Karten mit hoher Genauigkeit zu erzeugen. Damit sind verschiedene Landstraßen und Autobahnen rund um Weissach und Kempten vermessen worden. Zur Positions- und Bewegungsmessung wurde eine ADMA pro von Genesys (Inertia Measurement Unit, IMU) mit faseroptischer Kreiselmessstechnik, Kalmanfilter, RTK-DGPS und Sapos-Korrekturdienst verwendet [8].

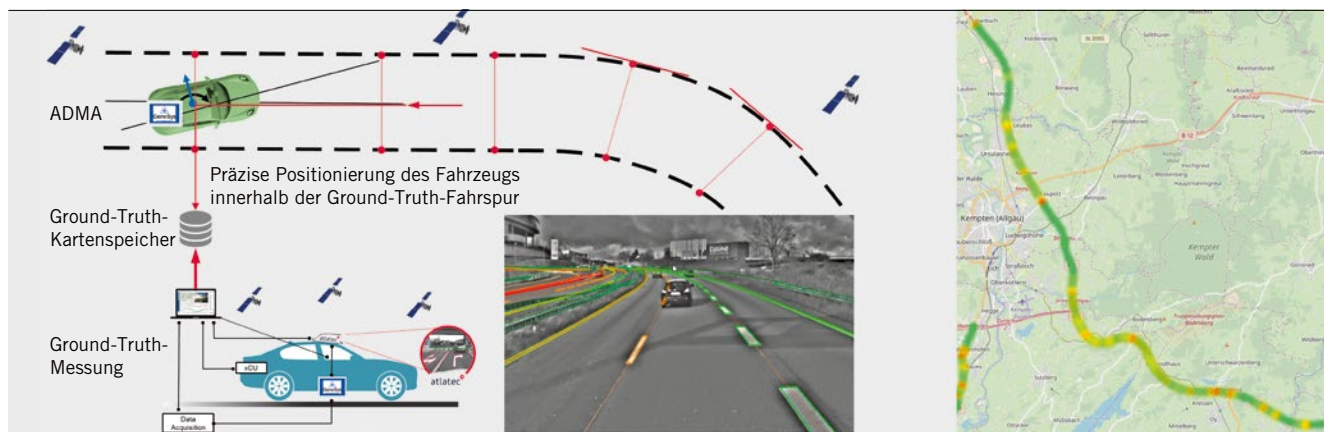


BILD 3 Messmethode Ground Truth (links) und GPS-Abdeckung (rechts) (© Hochschule Kempten)

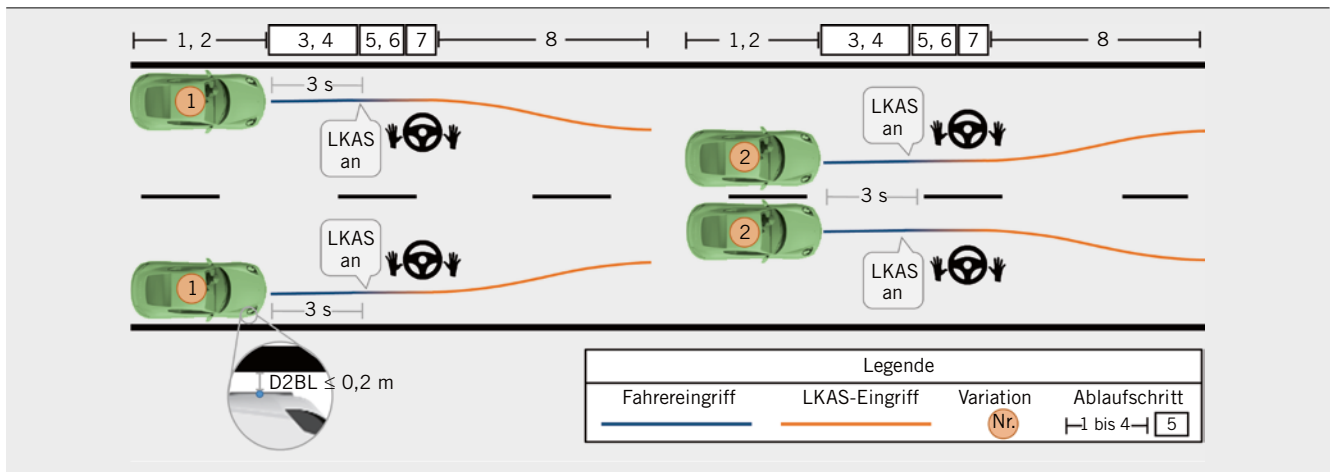


BILD 4 Beispiel eines definierten Fahrmanövers (Spurhalteassistentensystem (Lane Keeping Assistance System, LKAS)) © Hochschule Kempten)

Große Anstrengungen wurden unternommen, um das Ziel einer relativen Genauigkeit zwischen beiden absoluten Messungen (digitale Karte, Fahrzeugposition) von kleiner ± 5 cm zu erreichen. Selbst im Freigelände kann die Satellitenabdeckung durch Brücken, Böschungen, Senken so schlecht sein, dass die IMU mit reiner Koppelnavigation und interner Stützung weiterarbeiten muss. Je länger die Abdeckungslücken, **BILD 3** (rechts), desto größer sind die Positionsfehler. Dies ist abhängig von der Driftqualität der IMU. Mittels zusätzlicher Geschwindigkeitsstützverfahren und Driftkorrekturen oder durch Vorwärts-/Rückwärts-Kalmanfilter konnte eine ausreichend robuste Genauigkeit erreicht werden [8].

Um das Eigenfahrzeug in der Datenverarbeitung präzise in der Spur zu lokalisieren, wurde ein Streckenbeschreibungsformat (Curved Regular Objects, CRO) auf Basis von OpenCRG entwickelt und die Atlatec-Messungen wurden entsprechend überführt. In verschiedenen Schichten kann ein orthogonales regelmäßiges Gitter in beliebiger Auflösung erzeugt, Objekttypen genau zugeordnet und jederzeit erweitert werden. Schicht 1 beschreibt die 3-D-Fahrbahnoberfläche, Schicht 2 die Fahrbahnmarkierung, Schicht 3 die Leitplanken und Schilder, Schicht 4 die Bebauung. Das Datenformat wurde zusätzlich um Informationen wie die Krümmung, Kurswinkel und Attribute als Lock-up-Tabelle angereichert. Regelmäßige Gitter ermöglichen die recheneffiziente Berechnung von Sprungmarken, zum Beispiel zur aktuell gemessenen Fahrzeugposition/-richtung oder Vorausschau. Damit ist eine Lokalisierung und Bewegungsberechnung in den digitalen Karten auch in Echtzeit möglich [8].

Ergänzend dazu wurde ein Kistler-Messlenkrad optimiert und adaptiert, um als Referenz die echten Lenkwinkel/-geschwindigkeiten und Lenkmoment/-gradienten zu messen. Hierbei wurde darauf Wert gelegt, dass das originale Lenkrad verwendet werden kann, um Haptik, Bedienfunktionen, Hands-off-Erkennung und die Airbagfunktion vollständig zu erhalten. Die Messungen können im Hinblick auf die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion charakterisiert werden und ermöglichen eine Bewertung der Güte der Onboard-Sensorik. Das Messkonzept ist so aufgebaut, dass die Fahreigenschaftsbewertung mit allen Benchmark-Fahrzeugen ohne Buseingriff erfolgen kann. Zusätzlich können alle Bussignale wie die Objektlisten der Sensoren gemessen und positionsgenau zugeordnet werden. Damit lässt sich die Güte der Umfeldsensoren, Tra-

jektorie, Regler und der Fahrzeugreaktion in der gesamten Wirkkette untersuchen und die Anforderung der einzelnen Komponenten im Hinblick auf die Gesamteigenschaften definieren.

3.3 STRECKEN- UND MANÖVERKATALOG

Um die Fahreigenschaften in umfassenden Fahrsituationen bewerten zu können, reichen die bisherigen Standardverfahren wie Euro NCAP [9] oder ISO bei Weitem nicht aus. Die Varianz an möglichen realen Streckenereignissen wie Straßentypen, Kurvenradien, Fahrbahnmarkierungen, Querneigungen, Fahrbahnverschränkung und sonstige Fahrbahnanregungen sind viel zu groß. Zu diesem Zweck wurde ein umfassender Streckenkatalog entwickelt, der dem bestimmungsgemäßen Gebrauch der Funktionen entspricht und die erforderliche Anregungsvarianz darstellt. In dem Streckenkatalog wurden die Strecken, Sektionen, Abschnitte und Events unterteilt und typisiert. Die Wegpunkte und GPS-Positionen wurden genau dokumentiert und alle Strecken wurden als Referenzstrecken für den Fahrversuch und die Simulation als digitale Ground-Truth-Karten erzeugt.

Zusätzlich wurde ein umfangreicher Manöverkatalog erstellt, in dem jedes einzelne Manöver genau definiert wurde, **BILD 4**. In der sogenannten Freifahrt wurden mittels Fahrweisungen definierte Betriebspunkte in den Sektionen, Abschnitten und Events mit verschiedenen Fahrern und Tageszeiten angefahren. Ergänzend wurden gezielte Fahrmanöver wie zum Beispiel Spurwechseltest (mit und ohne Blinker), Einschwingtest, Rückführungstest, stationäre Kurvenfahrt als Abwurf- und Performancetest, On-Center-Handling-Test und Step-Steer-Test entwickelt und analog zu einer ISO genau in einem Dokument beschrieben.

3.4 OBJEKTIVE FAHREIGENSCHAFTSBEWERTUNG MITTELS KPIS

Mittels geeigneter Algorithmen lassen sich aus den Messdaten weitere Signale berechnen und anschließend die KPIs automatisiert erzeugen. Zu diesem Zweck werden zum Beispiel Referenzsignale der Gierrate und Querschleunigung, basierend auf der Ground-Truth-Krümmung, als Soll-Werte erzeugt und die Abweichung zur Ist-Messung bewertet. Für die Freifahrt werden statistische Verteilungen oder Zählverfahren, wie für das Verfügbarkeitsmaß, Spurpräzisionsmaß oder Ruckmaß ebenso eingesetzt, wie

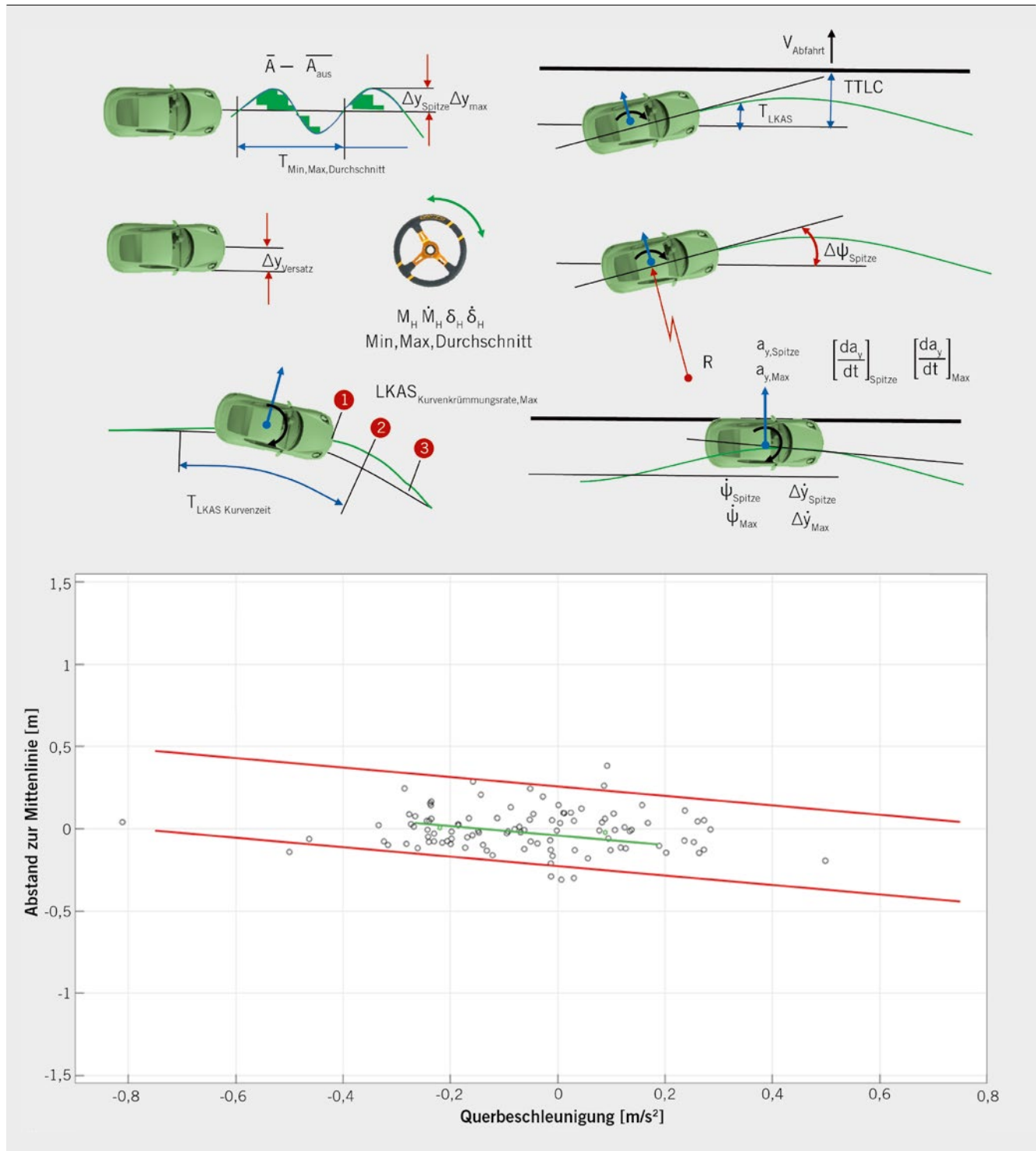


BILD 5 Konzept der objektiven Kriterien (oben) und Seitenablage bei Geradeaus- und Kurvenfahrt (unten) (© Hochschule Kempten)

das Finden von spezifischen Zuständen mittels Eventfinder. So werden beispielsweise die stationären Zustände selektiert, woraus sich die stationäre Querablage über der Querbeschleunigung darstellen lässt. In einem komprimierten Chart, **BILD 5** (unten), gibt dies unter anderem Aufschluss darüber, wie das Fahrzeug nach außen getragen (negative Steigung) wird oder besser die Kurven leicht schneidet (positive Steigung). Zusätzlich zeigt das Chart die

Mittenablage bei Geradeausfahrt (Offset bei $a_y = 0$) und die Streuung als Maß der Präzision. Weiterhin werden zum Beispiel die Querbeschleunigungslimits, Lenkradmomentlimits, Abwurfgrenzen, Response-, Einregel- und Einrastzeiten, Lenkradmomentgradienten, Lenkhysterese und die Driftgeschwindigkeit ermittelt. In diesem Schema konnten über 80 % der subjektiven Expertenbewertungen objektiviert werden, **BILD 5** (oben).

4 FAHREIGENSCHAFTSBEWERTUNGEN IN DER ENTWICKLUNG

Gerade in dem sehr innovativen Umfeld von FAS/HAF ist es unbedingt notwendig die Leistungsfähigkeit und Lösungsansätze von Wettbewerberfahrzeugen zu beobachten – vom Guten zu lernen und das Schlechte zu vermeiden. Für Porsche gilt es, das Produkt auch im Zeitalter FAS/HAF markentypisch erlebbar zu gestalten und sich zu differenzieren. Hierzu sind klar erkennbare Fahreigenschaften erforderlich, die mit der Marke Porsche in Verbindung gebracht werden und mit dem Benchmark verglichen werden können. Vertraute Markenattribute wie Fahrspaß, Performance, Präzision, Fahrer-Feedback, Transparenz und Zuverlässigkeit sollen bei hoher Alltagstauglichkeit auch hier adressiert werden. Von einem Porsche würden die Kunden beispielsweise erwarten, dass er sehr präzise einer flüssigen Fahrlinie folgt und dem Fahrer stets ein angenehmes, aber nicht störendes Feedback über den Fahrzustand gibt. Hierzu fand eine Verlinkung der gewünschten Markenattribute zu den Kriterien im Ebenenmodell statt, **BILD 2**. Damit lassen sich objektive Eigenschaftsziele für eine Porsche-typische Ausprägung definieren und in allen Phasen der Entwicklung – von der Simulation bis zum Fahrversuch – jederzeit validieren.

4.1 SIMULATIONSBASIERTER ENTWICKLUNGSPROZESS

Um die Eigenschaftsziele in allen Phasen der Entwicklung auf Gesamtfahrzeugebene validieren zu können, wurde eine modulare Simulationsumgebung, bestehend aus der Umfeldsimulation Vires VTD, Porsche-Fahrdynamikmodell und einem Reglersystemverbund inklusive Spurhalterregler aufgebaut. Die Co-Simulationsplattform AVL Model.Connect stellt dabei die Vernetzung der einzelnen Simulationen/Modelle dar und bietet entsprechende Funktionen, um diese durchgängig in den Verfahren Model in the Loop (MiL), Software in the Loop (SiL) und Hardware in the Loop (HiL) einzusetzen **BILD 6**. Um die Spurführungsgüte, Fahrzeugreaktion und Fahrer-Fahrzeug-Interaktion realistisch abbilden zu können, ist ein gutes Lenkmodell mit Effekten im On-Center-Bereich notwendig. Zu diesem Zweck wurde das Pfeffer-Lenkungsmodell von MdynamiX in das Porsche Fahrdynamikmodell integriert. Die Ground-Truth-Karten des Strecken- und Fahrmanöverkatalogs wurden analog zum Fahrversuch implementiert. Um in allen Phasen vergleichbare Ergebnisse für die Bewertung des Entwicklungsfortschrittes zu erhalten, wurden die Auswerte- und Bewertungsalgorithmen in das Porsche-Post-Processing-Werkzeug Veda Post integriert. Dies lässt sich durchgängig, von der Simulation bis in den Fahrversuch, einsetzen und gewährleistet stets vergleichbare Auswertungen, **BILD 6**. Damit können effiziente Kalibrierungen für einheitliche Fahreigenschaften über alle Baureihen und Fahrzeugvarianten erreicht werden.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Für die Marke Porsche gewinnen FAS/HAF eine große Bedeutung. Am Beispiel der assistierten Querführung wurde erfolgreich ein Vorgehensmodell etabliert, wie eine Porsche-typische Ausprägung effektiv in einer eigenschaftsbasierten Entwicklung erreichbar ist. Das Vorgehensmodell wird derzeit auf die assistierte Längsführung und auf Fahrfunktionen höherer Automatisierungsniveaus sowie auf länderspezifische Kalibrierungen, zum Beispiel China, übertragen.

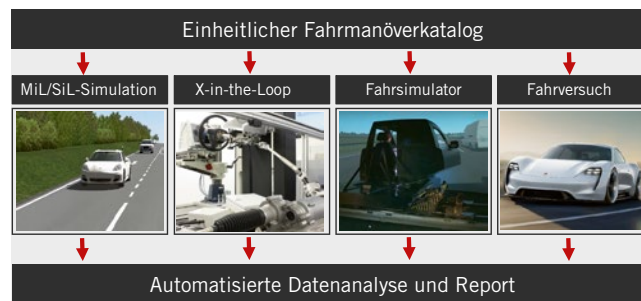


BILD 6 Simulationsbasierter Entwicklungsprozess (© Hochschule Kempten)

LITERATURHINWEISE

- [1] Schick, B.; Seidler, C.; Aydogdu, S.; Kuo, Y.-J.: Driving Experience versus Mental Stress with Automated Lateral Control from the Customer's Point of View. ATZ live: 9th International Munich Chassis Symposium, München, 2018
- [2] Seidler, C.; Schick, B.: Stress and Workload when using the Lane Keeping Assistant – Driving Experience With Advanced Driver Assistance Systems. Colloquium Automobile and Engine Technology, Aachen, 2018
- [3] Aydogdu, S.; Schick, B.; Wolf, M.: Claim and Reality? Lane Keeping Assistant – the Conflict between Expectation and Customer Experience. Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology, Aachen, 2018
- [4] Schick, B.; Resch, S.; Yamamoto, M.; Kushiro, I.; Hagiwara, N.: Optimization of steering behavior through systematic implementation of customer requirements in technical targets on the basis of quality function deployment. FISITA, Yokohama, 2006
- [5] Höfer, M.: Fahrerzustandsadaptive Assistenzfunktionen. Stuttgart, Fraunhofer, Dissertation, 2015
- [6] Pfeffer, P.; Harrer, M.: Steering Handbook. Springer International Publishing, 2017
- [7] Maurer, M.; Gerdes, J.; Lenz, B.; Winner, H.: Autonomes Fahren. Berlin/Heidelberg: Springer Vieweg, 2015
- [8] Schneider, D.; Huber, B.; Lategahn, H.; Schick, B.: Measuring method for function and quality of automated lateral control based on high-precision digital Ground Truth maps. VDI-Tagung: Fahrerassistenzsysteme und automatisches Fahren, Wolfsburg, 2018
- [9] N. N.: European New Car Assessment Program (Euro NCAP). Test Protocol – Lane Support Systems Version 2.0.2. Euro NCAP, 2018



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge: www.atz-worldwide.com