Bewertungsmethode für manuelle und automatische Einparkmanöver

Für viele Autofahrer ist das Einparken eine tägliche Herausforderung, für die einen mehr, für die anderen weniger. Ebenso gibt es in modernen Fahrzeugen Einparkassistentensysteme, die diese Aufgabe sehr gut erledigen, und solche, die sie viel schlechter erledigen. Um sowohl manuelle Einparkmanöver als auch Parkmanöverassistenten objektiv bewerten zu können, hat die Hochschule Kempten in Zusammenarbeit mit MdynamiX eine Kundenstudie mit 21 Teilnehmern und verschiedenen Einparkassistenten durchgeführt.

■ Eine Studie von Bosch hat gezeigt, dass Parkmanöverassistenten (PMA) zu den am weitesten verbreiteten Fahrerassistenzsystemen in Neuwagen zählen, wobei hier nicht zwischen einfachen Einparksystemen mit rein akustischen Warnungen oder teil- bis vollautoma-

tischen Assistenten unterschieden wurde [1]. Eine Marktanalyse von Baumeister [2] ergab einen stetigen Anstieg um 20 % bei der Ausstattung von Neufahrzeugen von 2010 bis 2019 mit solchen Assistenzfunktionen. Folglich ist eine stets wachsende Bedeutung der PMA mit

© MdynamiX

AUTOREN

Thomas Boscher, B. Eng.
ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter für Fahrerassistenzsysteme an der Hochschule Kempten.

Adrian Günther, M. Sc.
ist Projektingenieur für Fahrerassistenzsysteme bei der MdynamiX AG in Benningen.

Korbinian Scheck, B. Sc.
ist Masterstudent im Bereich Fahrdynamik/Autonomes Fahren an der Hochschule München.

der Zulassung zukünftiger Fahrzeuge zu erkennen. Gründe hierfür können die stetig wachsende Bevölkerung und die damit einhergehende Zunahme des Fahrzeugbestands insbesondere in den Städten und die damit verbundene abnehmende Anzahl an verfügbaren Parkplätzen sowie eine mögliche Minimierung der Stellplätze sein. Infolgedessen wächst der Wunsch, das Parken effizienter und sicherer zu gestalten.

LEISTUNGSANALYSE NOTWENDIG

Obwohl das Einparken eine wesentliche Aufgabe des täglichen Fahrens ist, steht es derzeit kaum im wissenschaftlichen Fokus der Entwicklung automatisierter Fahrerassistenzsysteme (FAS). Dennoch hat das Einparken enormes Potenzial, eine der ersten SAE-Level-3-Funktionen zu werden. Vorstudien sowie Untersuchungen der Hochschule Kempten und MdynamiX zeigen, dass aktuelle PMA-Versionen noch ein erhebliches Verbesserungspotenzial in ihren Funktionseigenschaften haben und in ihrer Kundenakzeptanz nicht zufriedenstellend sind. Nur wenn eine Funktion ihre Fahraufgabe mindestens genauso gut oder besser erfüllen kann als der Fahrer selbst, wird sie Begeisterung auslösen und sich so am Markt etablieren. Für die Leistungsanalyse von PMA ist neben einer subjektiven Bewertung auch eine objektive Analyse der grundlegenden Fahrfunktionen notwendig. Nur durch eine Analyse mit objektiven Parametern des Einparkmanövers kann der PMA gezielt optimiert werden, zu einem besseren subjektiven Erlebnis beitragen und die Kundenakzeptanz erhöhen. Bei der Entwicklung von FAS wird auch die Etablierung von markenspezifischen Fahreigenschaften seitens der Automobilhersteller immer wichtiger. Auch bei Einparksystemen verfolgen verschiedene Automobilhersteller unterschiedliche Ansätze für die Fahraufgabe. Mithilfe einer vollständigen Objektivierung eines Einparkmanövers kann die Grundlage für die Validierung und Definition herstellerspezifischer Ziele geschaffen und ein markenunabhängiger Vergleich durchgeführt werden.

In der Literatur gibt es nur wenige objektive Bewertungen von manuellen Einparkmanövern und PMAs, insbesondere mit Fokus auf detaillierte objektive Analysen und den direkten Vergleich

zwischen Systemen, Menschen oder untereinander. Darüber hinaus wird nie detailliert auf die Gesamtlenkstrategie oder die einzelnen Phasen eines Einparkvorgangs, ob manuell oder automatisiert, eingegangen. Beispiele in der Literatur sind hier Zhang [3], Hua [4] oder Barbe [5].

ALLGEMEINE BEWERTUNG VON PARKMANÖVERN

In einem Forschungsprojekt der Hochschule Kempten und Hochschule München wurde eine objektive Bewertungsmethode für Parkmanöver von Boscher et al. [6] entwickelt. Diese objektive Bewertungsmethode basiert auf sogenannten Performance-Indikatoren (PIs) und Key-Performance-Indikatoren (KPIs), die die objektive Gesamtqualität/Leistung eines Einparkmanövers auf Experten-orientiertem Niveau in möglichst vielen Facetten erfassen. Die Methode fokussiert dabei in erster Linie auf die Analyse von längs- und querführenden Fahreigenschaften mit Schwerpunkt auf Fahrkomfort und Performance. Die PIs und KPIs sind Bewertungsindikatoren, die so detailliert wie nötig, aber so oberflächlich wie möglich sind. Ziel dieser neuen Bewertungsmethode war es, das Parkmanöver in seinen verschiedenen Phasen zu analysieren, von der Auswahl des Parkplatzes bis zum Ausparken, und dabei die essenzielle Schnittstelle für die Transformation der subjektiven Nutzeranforderungen an die Entwicklungsseite von PMA zu bilden.

Die Grundlage der allgemeinen Bewertung von Parkmanövern wird durch subjektive Bewertungsindikatoren (Subjective Assessment Indicators, SAIs) gebildet, die alle notwendigen Aspekte eines Parkmanövers abdecken. Eine detaillierte Einführung in die Entwicklung der SAIs findet sich in [7]. Für eine Bewertung in allen relevanten Bereichen eines Parkmanövers müssen dabei die Bewertungskriterien neben den fahrdynamischen Eigenschaften auch die statische Fahrzeugposition im Verhältnis zur Umgebung in der Parklücke umfassen.

Die SAIs umfassen einerseits alle notwendigen Kundenaspekte eines Einparkmanövers, andererseits sind die SAIs so allgemein wie möglich gehalten und stellen nur die wichtigsten subjektiven Aspekte für die Leistungsbewertung

VIRTUALISIERUNG DER ABSICHERUNG

Komplexität beherrschbar machen.

Die rasant zunehmende Systemkomplexität und der damit verbundene Anspruch an Qualität und Nachhaltigkeit erfordern neue, innovative Absicherungsmethoden.

Komplexität intelligent absichern - Das heißt ganzheitliche Teststrategien und intelligente Testautomatisierung: Mit unserer Methodenexpertise unterstützen wir Sie als Engineering Partner in ihrer Absicherungsstrategie über alle Testebenen hinweg und entwickeln ein maßgeschneidertes Testkonzept unter Einbindung modernster Technologien wie CI/CD auf Cloud Infrastrukturen mit virtuellen Steuergeräten.

ITK Engineering GmbH –
Ihr Partner für virtuelle Absicherung und
sicheres Testen in der Cloud.

www.itk-engineering.de

BILD 1 Wichtigste Charakteristiken der subjektive Bewertungsindikatoren [6], Phasenmodell für Parkmanöver (© MdynamiX)

eines Parkmanövers dar. Die objektive Analyse eines Parkmanövers mit dem Fokus auf die längsführende sowie querführende Fahrstrategie basiert auf den folgenden SAIs aus dem Bewertungsschema von [7]:

- Lenkradbewegung
- Parkkomfort
- dynamische Performance.

Der SAI Lenkradbewegung berücksichtigt dabei Komfortaspekte in Bezug auf das Lenkrad. Der Parkkomfort hingegen konzentriert sich nur auf Komfortaspekte in Bezug auf die Bewegungen des Fahrzeugaufbaus. Im Prinzip kann die Lenkradbewegung als Teil des Parkkomforts betrachtet werden. In [7] wird jedoch gezeigt, dass es keine relevante Korrela-

tion zwischen diesen SAIs gibt und eine separate Bewertung empfohlen wird. Zusammenfassend können die SAIs Lenkradbewegung und Parkkomfort der Kategorie Fahrkomfort zugeordnet werden. Die getrennte Betrachtung der Lenkradbewegung und des aufbaubezogenen Fahrkomforts eignet sich besonders gut als Grundlage für die Entwicklung der PIs der objektiven Bewertung, da hier eine explizite Analyse der Quer- sowie Längsfahrstrategie ermöglicht werden soll. Ob das Parkmanöver letztendlich zu schnell oder zu langsam durchgeführt wurde, erfolgt mit der Bewertung des SAIs Dynamische Performance.

Die in [6] beschriebene Methode zur objektiven Bewertung von Parkmanö-

vern basiert auf den Merkmalen dieser SAIs. Dementsprechend wurden für die objektive Bewertung für jeden dieser einzelnen Bewertungsindikatoren passende objektive Bewertungskriterien gebildet, die die Leistung der jeweiligen SAIs in objektiver und detaillierter Form wiedergeben. Im Fokus standen hierbei die nach [8] essenziellen Charakteristiken der individuellen SAIs, BILD 1.

Parkmanöver an sich können viele verschiedene Formen und Varianten annehmen. Zu den grundlegenden Unterschieden gehören der Automatisierungsgrad und die Parkplatzgeometrie. Um sowohl manuelle als auch teil- oder vollautomatisierte Manöver in Längs- oder Querparklücken vollständig vergleichen zu können, ist eine einheitliche Bewertungsgrundlage erforderlich. Hierzu dient ein Phasenmodellansatz als Grundlage, der die Parkvorgänge in unabhängige Abschnitte unterteilt. BILD 2 zeigt einen Ausschnitt der Unterteilung in fünf prägnante Phasen, die zeitlich aufeinander aufbauen.

Um die Phänomene im Detail untersuchen und im weiteren Verlauf der Studie chronologisch zuordnen zu können, werden die definierten Phasen in einzelne Abschnitte unterteilt. Diese werden mit eindeutigen Bezeichnungen gekennzeichnet, und es werden auch individuelle Start- und Endzeiten festgelegt. Das konkrete Einparkmanöver in Phase 3 stellt den primären Fokus für die Entwicklung objektiver Leistungsindikatoren dar.

Aufgrund dieser generischen Struktur des Phasenmodells kann jedes beliebige Parkmanöver analysiert und bewertet werden. Lediglich einige Aufgaben können bei manuell durchgeführten Parkmanövern vernachlässigt werden, wie zum Beispiel die Übergabe von Aufgaben an das System oder vom System an den

BILD 2 Ausschnitt Phasenmodell [6] (© MdynamiX)

Männlich	Weiblich	Durchschnittsalter	Altersspanne	Nicht-Experten	Semi-Experten
17	4	31	23–51	10	11

TABELLE 1 Zusammensetzung der Probandenkohorte (© MdynamiX)

BILD 3 Anzahl der Parkzüge [6] (© MdynamiX)

Fahrer. Für die Art und Weise der Durchführung des Parkmanövers werden keine konkreten Vorgaben gemacht.

OBJEKTIVE SCHLÜSSELINDIKATOREN

Basierend auf den Ergebnissen der subjektiven Datenauswertung in [8] werden die PIs und KPIs mittels Korrelationsanalyse aus deskriptiven und intuitiven Bewertungsparametern ermittelt. Dazu wurden individuelle Bewertungsformeln erstellt und auf möglichst geeignete Koeffizienten angepasst, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll. Die detaillierten Formelbeschreibungen und Definitionen finden sich in [6]. Die wichtigsten KPIs für die hier

vorgestellte Analyse von Parkmanövern lauten dabei wie folgt:

- Lenkradwinkel
- Lenkradgeschwindigkeit
- Konsistenz der Lenkradbewegung
- Standlenken
- Geschwindigkeitskonstanz
- Ruck
- Gesamtzeit
- Anzahl der Parkzüge.

STUDIE PARKMANÖVER

Die objektive Bewertungsmethode wurde in einer umfassenden Fahrstudie auf einem privaten Parkplatz der Fachhochschule Kempten durchgeführt. Insgesamt 21 Teilnehmer, TABELLE 1, nahmen an den Fahrversuchen unter Sonderbedin-

gungen der Covid-19-Pandemie teil. Die Teilnehmer dieser Studie waren in erster Linie Semi-Experten, das heißt Ingenieure mit Testerfahrung, aber keine Experten, die täglich PMAs testen, und Nicht-Experten. Hierbei wurden zwei verschiedene Fahrzeuge (ausgestattet mit einer umfangreichen Messausrüstung) in Längsparksituationen getestet. Die Teilnehmer führten jedes Einparkmanöver sowohl manuell als auch vollautomatisch durch. Die Ergebnisse der Studie dienen der Analyse und dem Vergleich der Fahrstrategie von vollautomatischen Parkmanöverassistenten mit der Fahrstrategie des Menschen selbst, TABELLE 1.

Jedes Manöver wurde von den Teilnehmern dreimal nacheinander durchgeführt. Jedes Fahrmanöver wurde vom Beginn eines Einparkmanövers bis zum endgültigen Anhalten in der Parklücke aufgezeichnet. Die Größe der Parklücken wurde entsprechend der minimalen Erkennungslücke der vollautomatischen Parkmanöverassistenten gewählt.

ERGEBNISSE

Die Marktanalyse von Baumeister [2] hat gezeigt, dass es sich sowohl bei den teil- als auch bei den vollautomatisierten PMAs um mitunter die unbeliebtesten Fahrerassistenzsysteme handelt. Auch die subjektive Analyse von Parkmanöverbewertungen von Scheck und Pfeffer [7] deutet darauf hin, dass die Leistung von PMAs der menschlichen Leistung nicht ausreichend überlegen ist. Für den objektiven Vergleich zwischen Mensch und Maschine und die damit verbundene Hypothesen-Überprüfung gilt es daher anzunehmen, dass die Systemleistung der PMAs schlechter ist als die Leistung manuell durchgeführter Manöver. In der Untersuchung von Boscher et al. [6] wur-

OriginPro bietet speziell für die Automobilindustrie:

- aussagekräftige Reports mit publikationsreifen Grafiken
- flexiblen Datenimport
- einen optionalen ASAM-ODS-Browser
- präsentationsfähige Grafiken in 2D & 3D, auch OpenGL
- automatisierbare Testauswertungen
- Lebensdaueranalysen
- eine C- und Python-Programmierungsumgebung
- vollständige Automation, OEM-Versionen, Webapplikationen

den mehrere Hypothesen aufgestellt, um in erster Linie im Bereich des Fahrkomforts (Fokus auf Standlenken) sowie der dynamischen Performance Rückschlüsse bezüglich des konkreten Leistungsunterschieds zwischen Mensch und Maschine zu ermöglichen. Basierend auf den genannten Studienergebnissen und der entwickelten Methode wurden dabei die folgenden Hypothesen überprüft:

- Automatisierte Einparkmanöver benötigen mehr Züge.
- Automatisierte Einparkmanöver brauchen mehr Zeit.
- Automatisierte Einparkmanöver lenken mehr im Stand.

Aufgrund von Unterschieden in den Fahrfähigkeiten und der Erfahrung der Fahrer ist die Anzahl der manuell durchgeführten Einparkvorgänge breit gestreut, was bedeutet, dass es keine Normalverteilung der Anzahl der Vorgänge gibt. **BILD 3** zeigt jedoch, dass auch die automatisierten Einparkvorgänge keine Gaußverteilung aufweisen. Ein Mann-Whitney-Test zeigt keinen signifikanten Unterschied in der Anzahl der erforderlichen Einparkvorgänge für Fahrzeug A oder B. Eine deskriptive Auswertung zeigt, dass manuell durchgeführte Einparkvorgänge im Durchschnitt etwa einen Vorgang mehr benötigen.

BILD 4 Einparkzeit [6] (© MdynamiX)

Da die benötigte Einparkzeit eine mittlere positive Korrelation mit der Anzahl der erforderlichen Einparkvorgänge aufweist, kann die Verteilung auch als nicht normalverteilt angesehen werden, **BILD 4**. Der Unterschied in der Einparkzeit zwischen manuell und automatisch durchgeführten Manövern ist jedoch bei Fahrzeug A signifikant unterschiedlich. Einparkmanöverassistenten benötigen weniger Zeit für den Einparkvorgang.

Auch der KPI Standlenken ist beim manuellen und automatischen Einparken nicht normalverteilt, **BILD 5**. Die Auswertung zeigt, dass es signifikante Unterschiede zwischen dem manuellen und dem automatisierten Einparken hinsichtlich des Lenkwinkelwinkels während eines Einparkmanövers gibt. Sie zeigt auch, dass sich der Lenkwinkelbedarf der beiden Assistenten signifikant unterscheidet.

ZUSAMMENFASSUNG

Die subjektiven Studien von Scheck und Pfeffer [7] sowie Scheck, Pfeffer und Schick [8] dienten als Grundlage für die objektive Analyse aktueller PMAs in [6]. Die Methode basiert auf dem generisch entwickelten Phasenmodell für Parkvorgänge. Die nach dem Phasenmodell beschrifteten Messdaten können von der selbst entwickelten Aus-

wertungssoftware verarbeitet und automatisch ausgewertet werden. Die Software berechnet die KPIs und Pls des Phasenmodells nach selbstentwickelten Auswertungsregeln. In diesem Artikel wurden nur einige der für die Kunden wichtigen KPIs beschrieben und die Ergebnisse der Studie näher untersucht. Es haben sich signifikante Unterschiede zwischen manuellen und vollautomatischen Parkvorgängen herauskristallisiert. Der enorme Anteil des Standlenkens während des Einparkvorgangs ist ein klares Merkmal eines vollautomatischen Einparkassistenten. Die Möglichkeit, manuelle und teil- oder vollautomatisierte PMAs objektiv zu vergleichen, wird die zukünftige Entwicklung und Kalibrierung neuer Einparkassistenten unterstützen.

LITERATURHINWEISE

- [1] Bosch: Bosch-Auswertung: Fahrerassistenzsysteme sind weiter stark auf dem Vormarsch. Online: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/bosch-auswertung-fahrerassistenzsysteme-sind-weiter-stark-auf-dem-vormarsch-148032.html>, aufgerufen: 9. September 2021
- [2] Baumeister, F.: Kundenorientierter Benchmark zum Parkmanöverassistent – Vergleich zwischen Kundenanforderungen und Nutzererlebnis mit Hilfe der Quality-Function-Deployment Methode. 2020. Hochschule Kempten University of Applied Sciences, Kempten
- [3] Zhang, J.; Chen, H.; Song, S.; Hu, F.: Reinforcement Learning-Based Motion Planning for Automatic Parking System. 2020. In: IEEE

ANZEIGE

menzolit®
Compounding Solutions

**Hochpräzises
Pumpengehäuse aus
menzolit® BMC**

Realisieren Sie hochgenaue Bauteile mit dem Duroplast BMC und optimierter Werkzeug- und Verarbeitungstechnologie.

Die erreichbaren Toleranzen betragen:

- **Tiefe und Parallelität:** <0,01 mm
- **Durchmesser:** <0,02 mm

Rückfragen richten Sie bitte an:

klaus.grundgeir@menzolit.com

Access 8, S. 154485-154501. Online: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9171278>, aufgerufen: 9. September 2021

[4] Hua, Yiding; Jiang, Haobin; Ma, Shidian; Zhang, Daming; Ma, Jinlin (2016): Integrated model of assisted parking system and performance evaluation with entropy weight extended analytic hierarchy process and two-tuple linguistic information. In: Advances in Mechanical Engineering 8 (7), 168781401665463. Online: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1687814016654635>, aufgerufen: 9. September 2021

[5] Barbe, D.; Chao, L.; Busolin, M.: Human Based Rating Approach for Automated Valet Parking Function Evaluation. In: 2020 3rd International Conference on Robotics, Control and Automation Engineering (RCAE). Chongqing (China), 5.-8. November 2020, IEEE, S. 95-102

[6] Boscher, T.; Günther, A.; Scheck, K.: Development of an objective evaluation method for manual and automated parking maneuvers. chassis.tech plus, München, 2021

[7] Scheck, K.; Pfeffer, P. E.: Parking – a Subjective Evaluation Method for Manual and Automated

Parking Maneuvers. 2021, University of Applied Sciences, München

[8] Scheck, K.; Pfeffer, P. E.; Schick, B.: Detailed Analysis and Characterization of Subjective Assessment Indicators of Manual and Automated Parking Maneuvers. 2021, University of Applied Sciences, München

READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

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

Wir entwickeln Lifetime Tester für elektronische Baugruppen nach individuellen Spezifikationen. Präzise, flexibel und kostengünstig.

Profitieren Sie von innovativen Lösungen und dem Know-how aus 30 Jahren Erfahrung als Engineering Partner für weltweit ansässige Kunden aus Automotive, Aerospace, Medizin und anderen Sparten.

www.itts.de

**Your Partner for Real-Time Testing
and Lifetime Test Systems**