

1 Einleitung

1.1 Motivation

Sicherheitsbetonte Anschauungen, abnehmende Risikobereitschaft und eine verstärkte Individualisierung entwickeln sich nach einer Studie des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie zu einigen dominanten Verhaltensmustern der künftigen Gesellschaft [6]. Diese so genannten „Megatrends“ werden sich in den Entwicklungen und Aktivitäten der Automobilindustrie spiegeln müssen. Um ihre Produkte weltweit wettbewerbsfähig zu machen, haben die Fahrzeughersteller die Wünsche der Kunden nach steigendem Komfort und Leistungsansprüchen gepaart mit dem Wunsch nach stärkerer Individualität, nachhaltiger Mobilität und Umweltverträglichkeit zu erfüllen. Damit geht direkt ein gesteigertes Bedürfnis nach Schutz und Sicherheit im Allgemeinen und Verkehrssicherheit im Besonderen einher. Diese Anforderungen bilden ein Spannungsfeld zwischen Wohlstand, Verkehr und Umwelt, welches nach neuartigen Systemlösungen verlangt, die das Autofahren noch umweltverträglicher, angenehmer und vor allem sicherer machen.

Der Mensch gilt nach wie vor als Hauptursache von Unfällen im Straßenverkehr. Um die Unfallfolgen zu mindern, wurden in den vergangenen Jahrzehnten auf dem Gebiet der passiven Fahrzeugsicherheit große technische Fortschritte erzielt, die in den amtlichen Unfallstatistiken deutlich zu Tage treten. Alle bisher im Fahrzeug verfügbaren Sicherheitssysteme sehen jedoch die Fahrzeuggrenzen als Systemgrenzen an. Durch Fahrerassistenzsysteme, die die bisherigen Systemgrenzen erweitern und Informationen über das, das eigene Fahrzeug umgebende, Umfeld mit einbeziehen, können passive Maßnahmen um aktive Sicherheitsansätze ergänzt und Unfälle entweder ganz vermieden oder zumindest deren Unfallschwere reduziert werden. Die aktiven Sicherheitssysteme im Automobil werden zukünftig einen enormen wirtschaftlichen Faktor darstellen. Nach einer Studie von Mercer Management Consulting wird der Gesamtmarkt für Fahrzeugsicherheit von 48 Mrd. Euro im Jahr 2003 auf 62 Mrd. Euro im Jahr 2010 wachsen [87]. Diese Studie prognostiziert bei der Betrachtung der Marktentwicklung verschiedener Fahrzeugkomponenten den Fahrerassistenzsystemen den zweitgrößten Wachstumsmarkt nach der Fahrzeugkommunikation. Das angenommene durchschnittliche jährliche Wachstum bei Fahrerassistenzsystemen von 14% bedeutet für 2010 nahezu eine Verdreifachung des Marktvolumens auf 2,5 Mrd. Euro.

Fahrerassistenzsysteme sollen den Fahrer in der unfallfreien Erfüllung seiner Fahraufgaben unterstützen. Sie interagieren sehr stark mit dem Fahrer, der Teil der Regelschleife bleiben sollte. Dieser Sachverhalt stellt ganz neue Herausforderungen an die Produktentwicklung, da Fahrerassistenzsysteme in gleichem Maße aufgaben- wie benutzerorientierte Funktionalitäten in hoher Qualität aufweisen müssen. Die Schnittstelle des Systems zum Benutzer gewinnt an Wichtigkeit, da aus Kundensicht die Mensch-Maschine-

Schnittstelle (MMS)¹ stellvertretend für das jeweilige System steht. Sie beeinflusst die Erlebbarkeit, aber auch das Verständnis und die Erlernbarkeit des Gesamtsystems. Die Akzeptanz der Benutzer und damit auch der Produkterfolg und die Verkaufschancen sind direkt von der Qualität der Schnittstelle zwischen Fahrer und Fahrerassistenzsystem abhängig. Eine sinnvolle Funktionalität des Systems kann bei einer Darbietung über eine suboptimale Mensch-Maschine-Schnittstelle vor den Kunden versagen. Aber auch eine qualitativ hochwertige Auslegung derselben kann eine schlechte Funktionalität nicht verschleiern. Der konsequent fahrergerichten Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle kommt dabei eine essentielle Bedeutung zu. Sie ist in höchstem Maße verkaufsentscheidend, nicht nur für das einzelne System, sondern durch die zunehmend stärker werdende Bedeutung aktiver Sicherheitstechnologien am Markt möglicherweise verkaufsentscheidend für das jeweilige Fahrzeug. Neben Kundenzufriedenheit und Wettbewerb sorgen aber auch Aspekte der Produkthaftung dafür, dass die Hersteller auf eine sichere Gestaltung der Systeme und der Mensch-Maschine-Schnittstelle im Speziellen achten. Die Automobilhersteller haben somit ein Eigeninteresse daran, Fahrerassistenzsysteme qualitativ hochwertig und ergonomisch sinnvoll zu gestalten. Diese Herausforderung kann nur durch ein konsequentes Zusammenspiel von Technik, Design und Ergonomie bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen erfolgreich bestanden werden.

Fehler bei der Spurhaltung und beim Spurwechsel führen besonders auf Autobahnen und Landstraßen zu einer Vielzahl von schweren Unfällen. Systeme, die den Fahrer einerseits am ungewollten Verlassen der Fahrspur hindern oder ihn andererseits beim gewollt initiierten Spurwechsel vor möglichen Kollisionspartnern warnen, durchlaufen gerade die Serienentwicklung oder werden den Kunden bereits vereinzelt angeboten. Eine Sammlung von Einzelsystemen kann aber dazu führen, dass der Fahrer aufgrund der nicht abgestimmten Warn- und Informationsstrategie bzw. mehrerer um seine Aufmerksamkeit konkurrierender Systemausgaben eher verwirrt als unterstützt wird. Daraus erhebt sich der Wunsch nach einem integrierten Assistenzsystem [60]. Diesem Anliegen kommt der Querführungsassistent (QFA) nach. Als Integration mehrerer Teilsysteme kann er den Fahrer beim Spurhalten und beim Spurwechsel gleichermaßen kooperativ unterstützen. Die Präsentation der Systemaktionen muss über eine konsistente und transparente Mensch-Maschine-Schnittstelle erfolgen.

1.2 Zielsetzung

Bei heutigen Fahrzeugen ist ein Trend zur Integration von vielen Funktionen in zentrale Systeme mit gemeinsamer Mensch-Maschine-Schnittstelle festzustellen. Mit der Verwendung einer zentralen Bedieneinheit beispielsweise kann trotz zahlreicher Funktionen eine übersichtliche Bedienoberfläche geschaffen werden. In Zukunft werden Fahrerassistenzsysteme Fragen zur Auslegung der Mensch-Maschine-Schnittstelle aufwerfen, die mit den

¹ auch **M**ensch-**M**aschine-**I**nterface (MMI) oder **H**uman **M**achine **I**nterface (HMI)

etablierten Mitteln nicht mehr beantwortet werden können. Anders als in der klassischen Fahrzeug-Ergonomie, die zum Ziel hat, beispielsweise Bedienelemente optimal zu gestalten und zu platzieren, müssen bei einem Fahrerassistenzsystem die gesamten Wechselwirkungen zwischen Fahrer, Fahrzeug und Verkehrssituation berücksichtigt werden. Fahrer und Assistenzsystem kooperieren, um gemeinsam die Aufgaben der Fahrzeugführung sicher, komfortabel und effizient zu bewältigen. Ziel ist es, die Kommunikation und Interaktion zwischen Fahrer und System intuitiv zu gestalten. Neben der Berücksichtigung inter- und intraindividuelle Unterschiede muss dies auch in der Vielzahl verschiedener Fahr- und Verkehrssituationen und der ihnen eigenen Dynamik sichergestellt sein. Trotz der damit zwangsläufig steigenden technischen Komplexität der Systeme muss gewährleistet sein, dass die sichtbare und erlebbare Systemkomplexität in einem für den Bediener durchschaubaren und handhabbaren Rahmen bleibt und in Zukunft nicht parallel zur technischen Systemkomplexität stetig zunimmt.

Die bisherige Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen geht oftmals nur vom technisch Machbaren aus. Aus dem Stand der Technik und den am Markt verfügbaren Technologien werden Systeme abgeleitet, die erst in einem zweiten Schritt mit der eigentlichen Situation bzw. Motivation verglichen und nachträglich anhand der realen Gegebenheiten bewertet werden. Diesem konventionellen Ansatz wird in dieser Arbeit ein problemorientierter Ansatz gegenüber gestellt (siehe Bild 1).

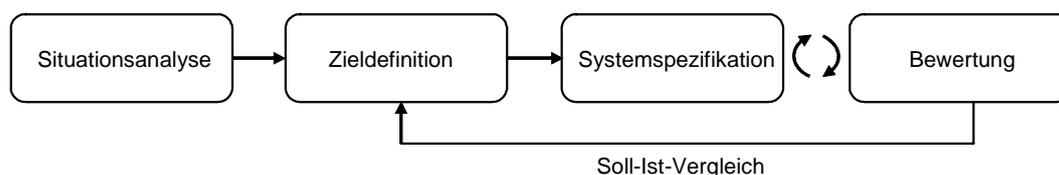


Bild 1: Problemorientierter Ansatz zur Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen

Der dem Problemlösungszyklus des *Systems Engineering*² nachempfundene Entwicklungspfad beginnt hierbei nicht mit der technikbasierten Lösungssynthese, sondern leitet aus der Situationsanalyse die notwendigen Rückschlüsse ab, aus der dann nach der Definition des Zielkataloges das eigentliche technische System erwächst. Ausgangspunkt sind in diesem Fall Erkenntnisse aus der eingehenden Situationsbetrachtung, wie sie im Fall der Fahrerassistenzsysteme beispielsweise aus der Auswertung von Unfalldaten oder der frühzeitigen Befragung und Einbindung potentieller Nutzer gewonnen werden können. Eine genaue Analyse der Situation und die Definition der relevanten Ziele zeigen Ansätze auf, die in der konkretisierten Spezifikation eines „idealen“ Assistenzsystems münden.

² Auf Basis des Systemansatzes, der aus dem Bewusstsein um die Vielfalt und die Interpendenzen der Einflussgrößen entstand, entwickelte sich als Leitfaden zur problemgerechten und effizienten Abwicklung komplexer Vorhaben das **Systems Engineering** (SE). Mit seinen modular kombinierbaren Grundbausteinen lassen sich einerseits auch sehr komplexe Problemstellungen methodisch zweckmäßig bearbeiten, andererseits unterstützt es den Parallelismus von Arbeitsabläufen zur Beschleunigung des Entwicklungsprozesses („Simultaneous Engineering“).

Diese Spezifikation wird erst in einem folgenden Schritt zur Systementwicklung mit den technischen Randbedingungen in Beziehung gesetzt und ergibt ein Assistenzsystem, das dann den Weg der industriellen Serienentwicklung durchlaufen kann.

Diese Arbeit stellt Ansätze und Ergebnisse vor, wie die Entwicklung des Gesamtsystems und die fahrergerechte Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle unter der Prämisse eines problemorientierten Entwicklungspfades und dem Ansatz kooperativer Fahrerassistenz anhand des Systems Querführungsassistent vollzogen werden kann. Dieses System hat zum Ziel, den Fahrer in den Aufgaben ‚Spurwechsel‘ und ‚Spurhaltung‘ zu unterstützen, um das Unfallrisiko in diesen beiden querführenden Fahrmanövern deutlich zu reduzieren. Die Arbeit legt einen Fokus auf diejenigen Methoden, die realitätsnah zu Erkenntnissen beispielsweise bezüglich des Sicherheitsnutzens, zu Kundenwünschen und zur Systemakzeptanz führen können. Die nachfolgend geschilderten Ansätze werden dazu ihre Wirksamkeit im Realfahrzeug unter Beweis stellen.

1.3 Aufbau

Das Kapitel 2 geht zunächst auf die relevanten Grundlagen ein. Eine Betrachtung des aktuellen Standes der Fahrzeug- und Verkehrssicherheit dient dabei der Motivation, mit Ansätzen zur Unfallvermeidung an der stetigen Verbesserung der Fahrzeugsicherheit zu arbeiten. Der Mensch mit seinen Eigenschaften steht im Zentrum dieser Arbeit. Dieser Ansatz findet seine erste Entsprechung in der ausführlichen Beschreibung der Aufgaben, der Informationsaufnahme und der Fehler des menschlichen Fahrers bei der Fahrzeugführung. Das Kapitel runden Beschreibungen zum Stand der Technik, zur Kategorisierung und zu Entwicklungsmöglichkeiten von Fahrerassistenzsystemen ab.

Der Spezifikation des Querführungsassistenten widmet sich Kapitel 3. Die darin vorgestellten Methoden und Ergebnisse dienen im Kontext des in der Einleitung vorgestellten problemorientierten Ansatzes zur Situationsanalyse und Zielformulierung. Der Querführungsassistent soll den Fahrer bei Spurhaltung und Spurwechsel unterstützen. Im Rahmen einer Unfalldatenanalyse wird dazu herausgearbeitet, welche Situationen ein Querführungsassistent adressieren sollte, um einen optimalen Einfluss auf die Verbesserung der Verkehrssicherheit bewirken zu können. Eine multimediale Kundenbefragung dient dazu, bereits in frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses die Ansprüche der Kunden zu erfassen und die Wünsche in die Spezifikation des Systems einfließen zu lassen. Eine Expertenbefragung soll abschließend dazu dienen, aus den bis dahin erarbeiteten Anforderungen an das System eine mögliche Sensorplattform für den Querführungsassistenten abzuleiten.

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten der Interaktion zwischen Fahrer und System. Im Kapitel 4 wird anhand einer im Simulator durchgeführten Versuchsreihe für die Signale Lenkmoment, Lenkradvibration, Sitzvibration und einem Warnton der Zusammenhang zwischen

Reiz und Reaktion näher untersucht. Es soll gezeigt werden, dass in kritischen Situationen bestimmte Signale zu einer schnelleren und zudem richtigen Reaktion des Fahrers führen können. Nur so können die Aktionen des Systems den Fahrer in kritischen Situationen bei Spurhaltung und Spurwechsel auch rechtzeitig unterstützen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Versuchsfahrzeug aufgebaut, mit dem die verschiedenen Systemkomponenten und Funktionalitätsstände im realen Straßenverkehr untersucht werden konnten. In Kapitel 5 wird auf Sensoren, Verarbeitungseinheit, Mensch-Maschine-Schnittstelle und Signal- und Netzwerktopologie des Versuchsträgers eingegangen, mit jenen die in den nachfolgenden Kapiteln dargestellten Versuchsreihen durchgeführt wurden.

Kapitel 6 beschreibt Ansätze zur fahrgerechten Auslegung der Mensch-Maschine-Schnittstelle eines Querführungsassistenten. Eingangs werden Gestaltungsprinzipien erörtert, die es bei der Systemauslegung zu berücksichtigen gilt. Auch die zum Verstehen der folgenden Abschnitte notwendigen Systembeschreibungen und Warnstrategien werden thematisiert. Diese Ausführungen spezifizieren nach dem problemlösungsorientierten Entwicklungsansatz das System, müssen nun aber in einer Bewertungsphase mit den Forderungen und Wünschen potentieller Kunden abgeglichen werden. Deshalb schließen sich die Beschreibungen dreier, vom Autor durchgeführter Versuchsreihen an, in denen auf einen Vergleich zwischen unimodaler und multimodaler Systemauslegung, auf das akzeptierte Maß des Unterstützungs- bzw. Automatisierungsgrades und auf die Akzeptanz einer Spurwechsellerkennung näher eingegangen wird. Die Ergebnisse dienen dazu, grundlegende Ansätze zur fahrgerechten Auslegung eines Querführungsassistenten zu formulieren.

Eine abschließende Bewertung der einzelnen Komponenten der Mensch-Maschine-Schnittstelle sowie des Gesamtsystems zur Unterstützung des Fahrers in querführenden Fahrmanövern wird in Kapitel 7 vorgenommen. Im Rahmen eines Fahrversuchs auf öffentlichen Straßen mit einer Versuchsgruppe, die als repräsentativ für Fahrer der Oberklasse bzw. der oberen Mittelklasse gelten kann, werden Wahrnehmbarkeit und Signalgestaltung, präferierte Mensch-Maschine-Schnittstelle, Rechtmäßigkeit und Rechtzeitigkeit der Systemaktionen, Gebrauchssicherheit, allgemeine Einstellung und Akzeptanz des Gesamtsystems untersucht.

Kapitel 8 rundet die vorliegende Arbeit ab, indem es die vorstehend erarbeiteten und diskutierten Ergebnisse zusammenfasst und den Blick für weitere Verbesserungs- und Entwicklungsmöglichkeiten öffnet. Die Arbeit liefert insgesamt einen Beitrag dazu, die benutzerorientierte Entwicklung und fahrgerechte Gestaltung eines Fahrerassistenzsystems zu strukturieren und zu realisieren, um den Leistungsumfang des Systems möglichst genau auf die Unterstützungssituationen und die Eigenschaften und Wünsche des menschlichen Bedieners abzustimmen.

2 Hintergrund

Die erfolgreiche Gestaltung eines Fahrerassistenzsystems ist davon abhängig, wie gut die verantwortlichen Entwickler es verstehen, die vielfältigen Anforderungen und zahlreichen Randbedingungen aus verschiedensten Themengebieten in einem möglichst optimalen Entwurf zu vereinen. Die Betrachtung der aktuellen Situation in der Fahrzeugsicherheit und die eingehende Analyse des menschlichen Verhaltens, besonders im Hinblick auf die Informationsverarbeitung und die Fehlerentstehung, legt neben der Berücksichtigung des aktuellen Stands der Technik bei Assistenzsystemen und deren Mensch-Maschine-Schnittstelle die Grundlage zum Verständnis dieser Arbeit. Aus diesem Grund soll auf den nachfolgenden Seiten auf die wichtigsten Sachverhalte aus den genannten Themengebieten eingegangen werden. Die Erklärungen und Beschreibungen in den anschließenden Kapiteln dieser Arbeit werden sich regelmäßig auf die Ausführungen dieses Kapitels beziehen.

2.1 Straßenverkehrssicherheit

Der Wunsch nach individueller Mobilität und der damit einhergehende Individualverkehr auf der einen sowie der stetig zunehmende Güter- und Warenverkehr, der ungebrochen stark über das Straßennetz abgewickelt wird, auf der anderen Seite, bleiben nicht ohne negative Folgen. Neben Auswirkungen beispielsweise auf die Umwelt kommen in Unfällen Menschen körperlich zu Schaden. Wie stark die Folgen für Leib und Leben der Verkehrsteilnehmer sind, lässt sich am anschaulichsten anhand der statistischen Betrachtung zur Entwicklung des motorisierten Verkehrs, der Unfallereignisse und der dabei verletzten und getöteten Personen aufzeigen. Die Ergebnisse tragen zur stetigen Motivation der Fahrzeughersteller bei, geeignete passive Schutzmaßnahmen weiterzuentwickeln und aktive Sicherheitssysteme, wie die in dieser Arbeit thematisierten Fahrerassistenzsysteme, schnellstmöglich auf dem Markt zu platzieren.

2.1.1 Aktueller Stand

Das Kraftfahrzeug hat größtenteils unseren Wunsch nach individueller Mobilität erfüllt, dient als konjunkturbestimmendes Wirtschaftsprodukt und hat damit zum Wachstum von Wohlstand und Freiheit des Einzelnen beigetragen [43]. Der Pkw ist dabei nach wie vor das beherrschende Verkehrsmittel im Individualverkehr. Nach einer Studie des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen werden zurzeit etwa 60% aller Wege mit dem Auto zurückgelegt [11]. Zudem stellt der Straßenverkehr die Infrastruktur bereit, um einen großen Teil des Güter- und Warenverkehrs zu bewältigen.

Bild 2, das aus Daten des Statistischen Bundesamtes erstellt wurde, zeigt, wie sich für Deutschland bezogen auf das Jahr 1970 Bestand, Gesamtfahrleistung und durchschnittli-

che Inländer-Fahrleistung³ von Pkw verändert haben [12]. Im Zeitraum von 1970 bis 1993 stieg die Zahl aller in Deutschland zugelassenen Kraftfahrzeuge um 250%, obwohl die Bevölkerung nur um 2,5% zunahm. Seit der Wiedervereinigung 1990 stieg in Deutschland der Pkw-Bestand bis 2004 um 8% auf fast 45 Mio. zugelassene Fahrzeuge. Heute besitzen vier von fünf Haushalten ein Auto, wobei sich eine Quote von 1,1 Fahrzeugen pro Haushalt bzw. 0,7 Fahrzeugen pro volljährigen Bundesbürger ergibt [11]. Die Gesamtfahrleistung von Personenwagen stieg zunächst kontinuierlich bis zum Jahr 1999, seit 2000 fällt sie und geht nach Ansicht des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung in den kommenden Jahren weiter zurück [21]. Der Grund dürfte in den zunehmenden Kosten liegen, die für Betrieb und Unterhalt der Fahrzeuge anfallen.

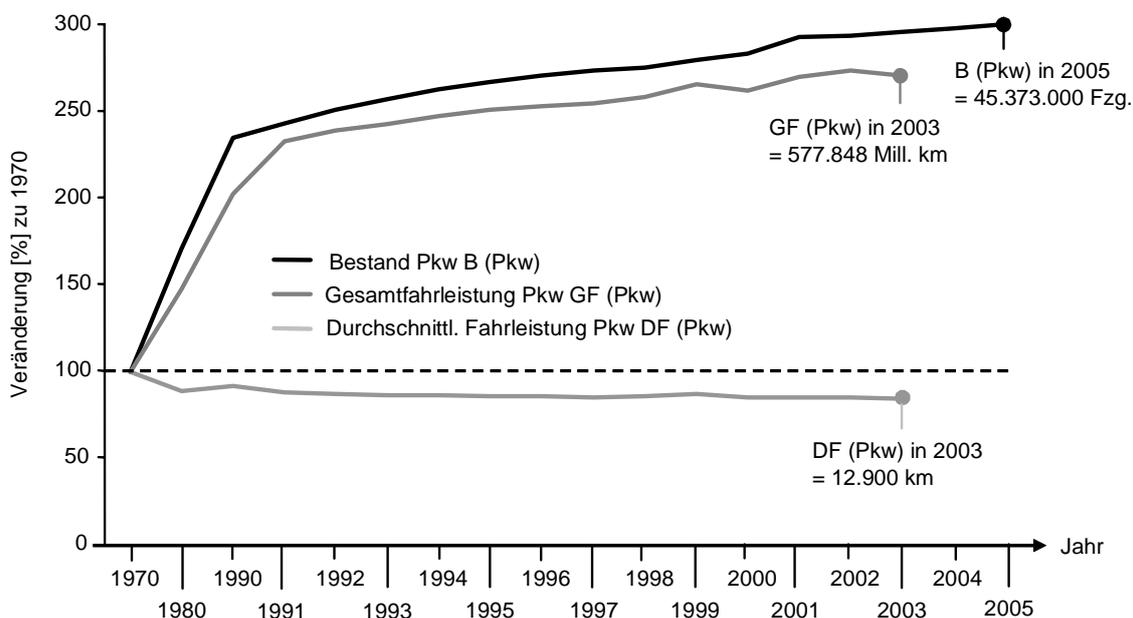


Bild 2: Relative Veränderung von Bestand, Gesamtfahrleistung und durchschnittlicher Inländer-Fahrleistung von Pkw für Deutschland bezogen auf 1970 nach Daten des Statistischen Bundesamtes

Im Vergleich zum privaten Verkehr nehmen, trotz forcierter Anstrengungen zur Umlenkung des gewerblichen Verkehrs weg vom Straßenverkehr hin zu alternativen Verkehrsmitteln, sowohl Bestand als auch Gesamtfahrleistung des Straßengüterverkehrs weiterhin in enormem Maße zu. Auch die Öffnung der Grenzen der Europäischen Union gen Osten in Länder mit ausgeprägtem fahrzeugbezogenem Warenverkehr wird diese Problematik aller Voraussicht nach nur noch weiter verschärfen. Bild 3 zeigt die entsprechenden Kennzahlen für Lastkraftwagen und Sattelzugmaschinen für die bundesdeutsche Situation.

³ Inländer-Fahrleistung ist die von Deutschen erbrachte Fahrleistung einschließlich Auslandsstrecken.