

**Risikobewertung
unterschiedlicher
Umsetzungsszenarien des
Überführens eines
automatisch gesteuerten
Fahrzeugs in den
sogenannten
risikominimalen Zustand**

**Fachveröffentlichung der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

bast

Risikobewertung unterschiedlicher Umsetzungsszenarien des Überführens eines automatisch gesteuerten Fahrzeugs in den sogenannten risikominimalen Zustand

Projekt-Nr. : 82.0570

von:

Teil1:

Arno Meyna
Johannes Heinrich

Institut für Qualitäts- und
Zuverlässigkeitsmanagement GmbH
Wuppertal

Teil 2:

Clemens Arzt
Simone Ruth-Schumacher

Forschungsinstitut für öffentliche
und private Sicherheit
Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin

**Fachveröffentlichung der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

bast

Kurzfassung – Abstract

1. Teil: Technische Fragestellung und Tragweite

Der vorliegende Forschungsbericht widmet sich der Grundlagenschaffung zu einer Risikobewertung automatisierter Fahrfunktionen entsprechend ihrer Klassifizierung (Gasser et al., 2012, BASt) und Wirkweise (Gasser, Auerswald, 2016, BASt) im Kontext des Überführens in einen sogenannten risikominimalen Zustand. Nach einer Einteilung und Gruppierung von Fahrerassistenzsystemen unter Berücksichtigung kognitiver Kategorisierung und Wirkweise wurden die Wirkweise A „Informierende und warnende Systeme“, welche mittelbar (mediat, indirekt) über den Fahrer auf die Fahrzeugsteuerung wirken, die damit verbunden Risikopotentiale und Dilemmata charakterisiert. Im Rahmen der Wirkweise B „kontinuierlich automatisierte Funktionen“, gekennzeichnet durch automatisch agierende Systeme, die unmittelbar (immediate, direkt) auf die Fahrzeugsteuerung wirken, wurden insbesondere für die Automatisierungsstufen „Teilautomatisiert“, „Hochautomatisiert“ und „Vollautomatisiert“ Funktionale Sicherheitsarchitekturen einschließlich Zustandsdiagramme entwickelt und bewertet.

Im Kontext der Wirkweise C „in unfallgeneigten Situationen temporär intervenierende Funktionen“, charakterisiert durch autonom intervenierende Systeme, welche ebenfalls unmittelbar auf die Fahrzeugsteuerung wirken, wurden mögliche Risikopotentiale von Not- und Gefahrenbremsysteme und Bremsausweichassistenten dargestellt. Ausführlich wird in diesem Zusammenhang der medizinisch indizierte Nothalteassistent bewertet.

Für die Fahrstreifenwechselmanöver vom Fahrstreifen von links nach rechts und vice versa (Sonderfall) wurden aufgrund einer Booleschen Modellbildung entsprechende Module definiert und mittels der Booleschen Algebra formal beschrieben.

2. Teil: Rechtliche Fragestellungen

Der rechtlichen Beurteilung der Überführung von Fahrzeugen verschiedener Automatisierungsstufen in den risikominimalen Zustand lagen zwei Grundscenarien zugrunde: das Halten auf dem Fahrstreifen und das Halten auf dem Seitenstreifen einschließlich des erforderlichen Fahrstreifenwechsels auf einer Autobahn. Unter Berücksichtigung der Einordnung der Überführungssysteme in die Wirkweise C erfolgt eine Begutachtung aus der Perspektive des Produkthaftungsrechts, der straßenverkehrsrechtlichen Halterhaftung, dem Zulassungsrecht und der Verantwortlichkeit des Fahrzeugführers.

Part 1: Technical problem and importance

The present research report applies itself to creating the bases for a risk assessment of automated driving functions according to their classification (Gasser et al., 2012, BASt) and mode of action (Gasser, Auerswald, 2016, BASt) within the context of transferring a vehicle to a so-called minimum risk status. Following a classification and grouping of driver assistance systems with due regard to the cognitive categorisation and mode of action, the risk potentials and dilemma associated with mode of action A "informative and warning systems" were developed that have an indirect (mediate) effect on the driver and vehicle control. Within the scope of mode of action B "continuous automated functions", characterised by automatic action systems that have a direct (immediate) effect on the vehicle control, functional safety architectures including status diagrams were developed and evaluated in particular for the degrees of automation "partially automated", "highly automated" and "fully automated".

Within the context of mode of action C "temporary intervening functions in accident-prone situations", characterised by autonomous intervening systems that also have a direct effect on the vehicle control, possible risk potentials were shown for emergency and hazard braking systems as well as emergency steering assist systems. The medically indicated emergency stop assistant is evaluated comprehensively in this context. Appropriate modules were defined for the lane change manoeuvre from the left to the right lane and vice versa from the right to the left lane (special case) on the basis of Boolean modelling and were then formally described using Boolean algebra.

Part 2: Legal evaluation

The legal evaluation of transfer systems of automated driving functions into a minimum risk status is based on two scenarios: Stopping the vehicle on the lane and stopping it on the emergency lane, both on motorways. Considering transfer systems as automated driving functions of mode C the legal evaluation encompasses product liability law, the liability of the registered vehicle keeper, requirements for the approval of motor vehicles and question of the legal responsibility of the driver.

Summary

1 Task

The task of this basic research project has the objective of describing different implementation scenarios to transfer an automatically-controlled vehicle, within the context of the degree of automation and the mode of action, into the so-called minimum risk status, taking into account technical and legal premises, and of developing corresponding concepts (principles) for a possible safety evaluation as well as open questions with regard to further investigations and tests that are necessary. The legal evaluation is based on two scenarios, referring to the transfer systems as automated driving systems of mode C: stopping the vehicle on the lane and stopping it on the emergency lane on motorways.

2 Research methodology

The tests are based on the classification of automated driving functions introduced by Gasser et al. 2012 (BASt) (degree of automation level 0 to 4) and the assignment of the superordinate categories of the mode of action of the functions (Gasser, Auerswald, 2016; BASt).

To this end, corresponding assistance strategies, vehicle guidance concepts and in particular functional safety architectures (not technical safety concepts) were developed in rough basic representations and adapted status diagrams.

The scenarios to transfer an automatically-controlled vehicle into the so-called minimum risk status were developed within the context of modules for a change of lane. To this end, a four-lane carriageway (motorway) including hard shoulders was taken as a basis. The lane-change manoeuvre was described by formal Boolean modelling. The introduction and formal description was then carried out by way of example using probabilities.

3 Research results

3.1 Technical results

On account of the structuring of driver assistance systems (DAS) in accordance with the mode of action of the functions, the assistance strategies were initially shown for the individual modes of action (A,B,C) within the context of the degrees of automation and the associated risk potentials specified.

The mode of action A relates to "informative and warning functions" with an exclusively indirect effect.

The mode of action B, "continuous automated functions", is characterised by the fact that the DAS partly or completely assume the longitudinal and transverse guidance of the vehicle and have a direct effect on the vehicle's control.

However, DAS that also have a direct autonomous effect on the vehicle control, on the other hand, are classified in mode of action C as "temporary intervening functions in accident-prone situations".

The tests focus on the modes of action B and C.

Functional safety architectures (not technical safety concepts) were thus developed in basic representations and corresponding adapted status diagrams within the scope of mode of action B for partially automated, highly automated and fully automated DAS. The reduction in vigilance with a partially automated vehicle guidance (level 2) was hereby regarded as a dilemma.

One dilemma of highly automated vehicle guidance (level 3), on the other hand, is the driver's fall-back level (unreliable, only for a certain period of time) within the context of the lead time (delay time). Further investigations and tests are needed here.

Fully automated vehicle guidance (level 4) calls for minimum requirements on the system architecture, HMI concept as well as its on-board and off-board components on account of the complete longitudinal and transverse guidance of the vehicle for a defined application case.

Within the scope of mode of action C, emergency braking systems and hazard braking systems were considered along with the associated risk potential. Furthermore, the medically indicated emergency stop assistant is shown and a functional safety architecture developed that includes a status diagram. It can be seen here that, on account of the time required for a medically indicated functional restriction such as detection time, regeneration period, abort time, level of fitness to drive and overruling of the driver, etc., a lot of research is still required.

Within the context of transferring an automated vehicle into the minimum risk status, known fundamental terminology of reliability and safety engineering were initially explained and the minimum risk status of a vehicle defined one- and two-dimensionally as "standstill at a safe place". In this connection, it can be seen that in the two-dimensional case the time-related probability of reaching a safe place depends on the proper functioning (degradation state) of a vehicle.

Four hazard classes were defined for the degree of functional limitation along with the corresponding impacts (risk potential) on the environment, depending on the time of transfer.

In the event of a "great" to "very great" functional limitation, a standstill in one's own lane is absolutely imperative.

Corresponding scenarios were developed for the functional limitations "low" to "moderate" to transfer a vehicle from left to right in the form of modules, e.g. module (1-0) change of lane from lane one to lane zero (if present).

A corresponding Boolean diagram was developed with the sub-modules traffic flow, feasibility check, unexpected events, change of lane decision for the module (2-1) change of lane from lane two to lane one.

All further modularisations for each change of lane from i to j can then be shown within the context of the module (2-1).

The delay time for the feasibility check, which may have to be repeated several times depending on the transfer time, and the functional limitation, can be regarded as dilemmas in this connection.

Formal Boolean modelling was performed for the modular lane change manoeuvre that was developed to transfer a vehicle to a minimum risk status. A special case was also defined for a change of lane from right to left, which has to be seen in close connection with Car2Car communication via high-speed mobile radio (close to 5G), whereby the driver in the left lane is warned in due time of the vehicle moving to the overtaking lane (this of course also applies vice versa for a change of lane from left to right) so as to achieve cooperative traffic behaviour.

In addition, prerequisites and criteria for a standstill in one's own lane were established in compliance with the 3-level model, though these only represent an initial approach. Finally, probabilities in accordance with the Boolean operations were then introduced by way of example for the lane change manoeuvre module (1-0) and module (2-1).

It could be shown here that a lane change manoeuvre can in principle be quantified by means of corresponding probabilities.

However, further research is recommended in this connection.

3.2 Legal results

The transfer systems were considered to be automated driving functions of mode C (emergency systems) for legal evaluation since they operate in critical situations which cannot be controlled by the driver who therefore is not able to take any action. For the assessment, we referred to product liability law, the liability of the registered keeper of

a vehicle, the law of vehicle approval and the requirements concerning the responsibility of the driver. Conclusions considering the minimum risk status from a legal perspective close the report.

The assessment based on product liability law and the law of vehicle approval demonstrated a significant difference between transfer systems which are used in automated driving level 0 to 2 and those in levels 3 and 4. Whereas transfer functions in level 0 to 2 just increase traffic safety in level 3 to 4, they compensate dangers deriving from automation, especially from the possibility for the driver to get out of the loop by using the automated mode. Insofar it seems necessary that transfer systems for level 3 and 4 must be provided. Furthermore functional limitations of the transfer systems are therefore less acceptable than for level 0 to 2. Whether the transfer system must offer both modes of stopping the vehicle (lane and emergency lane) depends on technical possibilities unless this is stipulated by law. The driving actions taken by the transfer system must be comprehensible and foreseeable for other road users. Instruction is required considering the use and possible dangers of the transfer systems.

In contrast to product liability law and the law of approval, the distinction between level 0 to 2 and level 3 and 4 is of nearly no importance with regards to the liability of the registered vehicle keeper. The operational risk which is the reason for the liability of the registered vehicle keeper depends rather on where the vehicle is stopped. In normal circumstances, stopping on the lane will involve a higher degree of operational risk than stopping on the emergency lane. However, the operational risk will usually end in both cases only by appropriately securing the scene of incident. Additionally it must be taken into consideration that the operational risk does not only depend on the technical facilities of the vehicle but also on the circumstances in a given situation in traffic.

Taking into account that the evaluation is focused on automated driving systems of mode C, the driver is not responsible for any action taken by the vehicle during the transfer since he lacks the capacity to act in person. That may change when he becomes capable of action while the transfer is taking place.

The safe or minimum risk status is not explicitly defined legally. Referring to the applied law in the context considered here, the term of damage and its prevention could be used for determining the minimum risk status. Additionally it is an open question whether and how the idea of operational risk as reason for the liability of the keeper can be incorporated into a legal concept of minimum risk status taking into consideration that operational risk depends on specific traffic situations the handling of which would not be appropriate as a task for automated driving.

4 Consequences in practice

On account of the research results and dilemmas listed above, the following primary demands are made in practice for the modes of action B and C as well as the degrees of automation 3 and 4, which have to be ensured through further experimental and theoretical tests.

One dilemma that can be named here is the driver's fall-back level (unreliable for a certain period of time) within the context of the lead time (delay time) in mode of action B and level 3, and in level 4, the time for the takeover request after leaving the application case as well as the minimum requirements on the architecture, on-board and off-board components, redundancy concept, HMI concept, reliability, availability within the context of costs, including maintenance strategies, because of the high level of automation.

In the mode of action C, the risk potentials such as erroneous braking intervention, detection of the environment (exteroception) is dominated by uncertainties and the reliability of the braking and warning systems as well as functional reliability of the hardware and software may not be adequate should be taken into account in emergency and hazard braking systems. For more information on risk potentials see the final report.

The medically indicated emergency stop assistant that should be regarded as a special case has to be seen within the context of technical and medical-technical solutions on account of the questions with respect to detection time, regeneration period, abort time, overruling of the driver, level of fitness to drive, detection of a loss of control by the driver and system limits, that cannot be answered fully at the present moment in time.

In connection with the lane change manoeuvre, more attention will have to be paid in future to the remaining proper functioning (degradation state) of a highly or fully automated vehicle and the associated time-related probability (two-dimensional case) of reaching a minimum risk status. This also includes the deliberate transfer of an automated vehicle to a pre-defined degraded state on the grounds of system limits, external impacts, failure etc. within the sense of maximising active and passive safety and thus traffic safety in general.

Thus, there is at present no corresponding classification (degree of functional limitation) and its impact on the surroundings and passengers (see aerospace industry), even in the context of "standstill in one's own lane" versus "lane change manoeuvre".

Furthermore, the degradation states have to be evaluated quantitatively (deterministic, random), corresponding technical functional safety architectures and plans of action developed in the sense of an emergency operation strategy (cascaded fall-back level) to transfer an automated vehicle to the minimum risk status. On account of the distribution and networking of the functions, more attention should be paid in future – in the sense of a function-oriented product safety performance (system engineering) – to not only component-related but also emergent and fulgurite errors in the context of fail-operational and fail-safety.

Legal evaluation has shown that automated driving systems of level 3 and 4 must incorporate transfer systems to the minimum risk status which should not feature any functional limitations in order to be compatible with requirements of product liability law and the law of approval. Whether transfer systems can end the operational risk in respect of the liability of the registered vehicle keeper remained rather arguable.

From a legal perspective especially the following question therefore seem to be of interest for further research: Firstly, the legal evaluation of the technical problems demanding further research, secondly, a more thorough evaluation of the relations between law and minimum risk status in respect of a possibly acceptable risk in product liability law and the law of approval with special attention to risks of traffic as covered by the liability for operational risk, and thirdly, evaluation of the situation after technical request for take over according to the law of conduct and driver liability as well as product liability law.

Vorwort

Der vorliegende Bericht widmet sich der Untersuchung unterschiedlicher Umsetzungsszenarien des Überführens eines automatisch gesteuerten Fahrzeuges in den sogenannten „risikominimalen Zustand“ hinsichtlich technischer und rechtlicher Tragweiten.

Die Untersuchung schafft eine der Grundlagen, die zur umfassenden Bewertung des Einsatzes dieser automatischen Fahrzeugsysteme benötigt werden.

Mit der Durchführung des Projektes wurde das Institut für Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmanagement GmbH (IQZ) Wuppertal beauftragt, welches die Bearbeitung der technischen Fragestellung und Aspekte durchführte.

Für die Untersuchungen der rechtlichen Fragestellung wurde die Hochschule für Wirtschaft und Recht (HRW) Berlin als Unterauftragsnehmer beauftragt.

Die Autoren der Studie danken der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) Bergisch-Gladbach für die Auftragserteilung und die angenehme und zielführende Projektbetreuung durch Frau Nadine Moritz-Kokot, Herrn Alexander Jütten und Herrn Tom Gasser seitens der Bundesanstalt für Straßenwesen.

Ebenfalls ist der eingesetzte Betreuerkreis aus Automobilherstellern und Zulieferern zu erwähnen, der durch seine fachliche Expertise dem guten Gelingen des Forschungsprojektes beigetragen hat.

1. Berichtsteil

Technische Fragestellung und Tragweite
(Grundlagenschaffung)

Autoren:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Arno Meyna

Johannes Heinrich, B.Sc.

Inhalt

1	Einleitung	17
2	Klassifizierung automatischer Fahrfunktionen nach kognitivem Automatisierungsgrad und Wahrnehmung	20
3	Einteilung und Gruppierung von Fahrerassistenzsystemen unter Berücksichtigung kognitiver Kategorisierung und Wirkweise	28
4	Wirksamkeit und Systemgrenzen	39
4.1	Wirkweise A.....	40
4.2	Wirkweise B	40
4.2.1	Driver only (Stufe 0).....	41
4.2.2	Assistierte Fahrerassistenzsysteme (Stufe1).....	41
4.2.3	Teilautomatisierte Fahrerassistenzsysteme (Stufe 2)	56
4.2.4	Hochautomatisierte Fahrerassistenzsysteme (Stufe 3)	59
4.2.5	Vollautomatisierte Fahrassistenzfunktionen (Stufe 4).....	72
4.3	Wirkweise C	76
4.3.1	Notbremsassistent	77
4.3.2	Automatisches Notbremssystem	80
4.3.3	Brems-Ausweich-Assistent	86
4.3.4	Medizinisch indizierter Nothalteassistent.....	88
5	Aktionsszenarien zur Überführung eines automatisierten Fahrzeugs in einen risikominimalen Zustand	101
5.1	Fundamentalbegriffe der Sicherheits- und Zuverlässigkeitstechnik	101
5.2	Charakterisierung der Einflussgrößen.....	111
5.2.1	Einflussgröße Funktionseinschränkung.....	111
5.2.2	Einflussgröße Verkehrsstrom	117
5.2.3	Einflussgröße Zeitlücke (international „Time-headway“, THW).....	127
5.2.4	Einflussgröße Kollisionszeit (international „Time To Collision“, TTC).....	130
5.2.5	Störungen und Unfälle	133
5.3	Szenarienbildung.....	134
5.3.1	Funktionseinschränkung und Gefahrenpotential „groß bis sehr groß“	134
5.3.2	Funktionseinschränkung und Gefahrenpotential „gering bis mittel“	134
6	Boolesche Modellbildung	141
6.1	Modul (1-0).....	142
6.2	Modul (2-1).....	142

6.3	Modul (3-2).....	143
6.4	Modul (4-3).....	144
6.5	Spurwechselszenarien	144
6.6	Sonderfall Fahrstreifenwechsel von rechts nach links	145
6.6.1	Modul (1-2).....	145
6.6.2	Modul (2-3).....	147
6.6.3	Modul (3-4).....	148
6.7	Stillstand im eigenen Fahrstreifen	118
6.8	Einführung von Wahrscheinlichkeiten.....	152
7	Zusammenfassung	155
8	Literaturverzeichnis	159

1 Einleitung

Automatisierte Fahrfunktionen heutiger Automobile im Kontext eines zukünftigen kognitiven Automobils, verbunden mit dem sogenannten autonomen Fahren, werden das Verkehrsgeschehen und die Mobilität in den Industrienationen nachhaltig verändern und stellen eine große Herausforderung für Staat und Gesellschaft dar (Bild 1-1).

1	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherheitskonzept • Bei Ausfall sicherer Zustand „zuverlässig“ (Sensoren, Aktoatorik, Ortung, Szenarieninterpretation u.a.)
2	<ul style="list-style-type: none"> • Rechtliche Situation und Verantwortung Fahrer/Fahrzeug (Wiener Konvention etc.)
3	<ul style="list-style-type: none"> • Anthropotechnik/Ergonomie • Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) für Fahrer, Mitfahrer und andere Verkehrsteilnehmer
4	<ul style="list-style-type: none"> • Akzeptanz, Akzeptabilität • Vertrauen der Nutzer in Technik, kosteneffektive Lösungen und neue Geschäftsmodelle
5	<ul style="list-style-type: none"> • Migration • Integration in Verkehrssysteme
6	<ul style="list-style-type: none"> • Infrastruktur • Anpassung der Infrastruktur, V2V
7	<ul style="list-style-type: none"> • Gesellschaftlich • Vision Zero

Bild 1-1 Wichtige Herausforderungen (Senger, Continental, 2013; erweitert)

Wie aus Bild 1-1 hervorgeht, ist es erforderlich, künftige hoch- und vollautomatische Fahrfunktionen zuverlässig und besonders sicher, durch ein entsprechendes Funktionales Sicherheitskonzept für das System Fahrer-Fahrzeug-Umfeld, zu gestalten und abzusichern.

Aufgrund des steigenden Automatisierungsgrades, gekennzeichnet durch eine maschinelle Sinneswahrnehmung und Informationsverarbeitung, findet eine Verlagerung des Verantwortungsbereiches vom Fahrer auf das System statt.

Die Schaffung der hierfür erforderlichen rechtlichen Rahmenbedingungen im Kontext gesellschaftlicher Aspekte wie Akzeptanz und Akzeptabilität, Ethik etc., auch im Hin-

blick auf eine künftige stärkere inhomogene Verkehrsteilnehmerstruktur, gekennzeichnet durch Fahrzeuge unterschiedlicher Automatisierungsgrade, stellt ebenfalls eine große Herausforderung für Staat und Gesellschaft dar.

Das vorliegende Grundlagenforschungsprojekt widmet sich den zuvor kurz skizzierten Herausforderungen im sicherheitstechnischen und rechtlichen Bereich.

Entsprechend der Aufgabenstellung und des Arbeitsplanes des Projektes wird im nachfolgenden Kapitel 2 zunächst eine Klassifizierung automatischer Fahrfunktionen im Kontext Wahrnehmung und Wirkweise vorgenommen.

Darauf aufbauend folgt im Kapitel 3 eine Einteilung und Gruppierung der Fahrerassistenzsysteme (FAS), wobei die den jeweiligen Automatisierungsstufen und deren Gruppierungen zugeordneten konkreten Beispielfunktionen anschließend im Kapitel 4 hinsichtlich Wirksamkeit und Systemgrenzen als Szenarien ausführlich dargestellt werden.

Hier zeigt sich, dass bereits systeminitiiert agierende FAS der Wirkweise C (z.B. Notbremsassistent), serienmäßig verfügbar sind. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob für bestimmte Fahrer-Fahrzeug-Umfeld-Szenarien, aufgrund der möglicherweise eingeschränkten Beurteilungskraft des Fahrers, es empfehlenswert wäre, den Fahrer zu überstimmen, besonders dann, wenn der Fahrer bewusst die Systemgrenzen mit dem Ziel einen Unfall zu verursachen, verletzt.

Des Weiteren werden im Kapitel 4 unterschiedliche Umsetzungsszenarien für serienmäßig/optional verfügbare FAS der Stufe 0 und 1 entwickelt. Weiterhin werden in Kapitel 4 Funktionale Sicherheitsarchitekturen und Zustandsdiagramme für die Wirkweise B, Automatisierungsstufen 2 bis 4 sowie dem medizinisch indizierten Nothalteassistenten der Wirkweise C entwickelt.

Das Kapitel 5 widmet sich den Aktionsszenarien zur Überführung eines hoch- und vollautomatisierten Fahrzeuges (Automatisierungsstufe 3 und 4) in den risikominimalen Zustand. Nach einer Definition Sicherheits- und Zuverlässigkeitstechnischer Begriffe und Kenngrößen einschließlich der Definition des risikominimalen Zustandes werden die wesentlichen Einflussgrößen für die Überführung eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand auf mehrstreifigen Richtungsfahrbahnen charakterisiert und entsprechende Szenarienmodellierungen entwickelt.

Entsprechend den in Kapitel 5 entwickelten Aktionsszenarien und Modularisierungen erfolgt in Kapitel 6 die formale Beschreibung für die einzelnen Spurwechselmodule von rechts nach links vice versa durch Boolesche Modellbildung.

Die Einführung von Wahrscheinlichkeiten erfolgt in Abschnitt 6.8 exemplarisch für die Spurwechselmodule (1-0) und (2-1).

Der Forschungsbericht schließt mit einer entsprechenden Zusammenfassung (Kapitel 7) und einem ausführlichen Literaturverzeichnis (Kapitel 8).

2 Klassifizierung automatischer Fahrfunktionen nach kognitivem Automatisierungsgrad und Wahrnehmung

Zukünftige Automobile werden mit der Zunahme ihrer kognitiven Fähigkeiten (maschinelle Sinneswahrnehmung und Informationsverarbeitung nach dem Vorbild des Menschen) bis hin zum kognitiven Automobil, welches ein autonomes Fahren ermöglichen wird, das Verkehrsgeschehen grundsätzlich verändern.

Die Geschichte des autonomen Fahrens ist seit den 80er Jahren geprägt durch die Pionierarbeiten der Forschergruppe um Professor Ernst Dieter Dickmann (Universität der Bundeswehr München).

Einen Meilenstein und die Machbarkeit des autonomen Fahrens, verbunden mit einer entsprechenden Auslobung wurde mit den drei Wettbewerben DAPRA (Defence Advanced Research Projects Agency) Grand Challenge (Offroad) des Verteidigungsministeriums der USA gelegt (siehe Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1 Kurze Chronik des autonomen Fahrens

Jahr	Ereignis
1980	Roboterauto (Prof. Dieckmann) → Mercedestransporter, Autobahn, $v \leq 96$ km/h, Orientierung an Gegenständen
1994	EU-Projekt EUREKA Prometheus Mercedes 500 SEL (VaMP, VITA-3) → $s > 10$ km auf der Autobahn nach Paris, $v \geq 130$ km/h
1995	Mercedes SEL (Prof. Dieckmann) → $s \geq 1.600$ km, $v \leq 180$ km/h
2004-2007	DARPA Grand Challenge
	Jahr Ergebnisse
	2004 Kein Fahrzeug von 15 erreicht das Ziel Auslobung: 1 Mio. Dollar
	2005 Fünf von 23 erreichen das Ziel ($s = 132$ Meilen), vier unter der maximalen Zeit von 10 h Auslobung: 2 Mio. Dollar Gewinner: VW Touareg Stanley, Stanford University (Prof. Truhn)
	2007 Spezieller Parcours in $t < 6$ h durchfahren (Victorville, George Air Force Base) Auslobung: 1. Platz: 2 Mio. Dollar, 2. Platz: 1 Mio. Dollar, 3. Platz: 0,5 Mio. Dollar Gewinner: Tartan Racing Team, Carnegie Mellon University
2010	Stadtprojekt, autonomes Fahren in städtischer Umgebung (Team Institut für Regelungstechnik (Prof. Schumacher, Prof. Maurer) TU-Braunschweig; Institut für Verkehrstechnik (Prof. Lemmer) DLR Braunschweig)
2011	Google-Testflotte autonom $s > 1600$ km (2013 → $s > 0,5$ Mio. km)
2013	Daimler, historische Bertha-Benz-Strecke
heute	Fast alle großen Automobilzulieferer und Premium-Hersteller verfügen über automatisiert agierende Fahrzeuge und testen diese.

Es ist davon auszugehen, dass zunehmende Kognitivität einen erheblichen Beitrag zur Verkehrssicherheit („Vision Zero“, 1997 vom schwedischen Parlament verabschiedet), Effizienz hinsichtlich des Verkehrsflusses und der durch den Verkehr verursachten Umweltbeeinträchtigungen und Ressourcenverbrauch, einschließlich einer Verbesserung des Komforts, nachhaltig positiv verändern wird.

Dabei zeigt sich, dass die Entwicklung einer allgemeinen leistungsfähigen Architektur für die autonome Fahrzeugführung (Vorbild Mensch mit seinen kognitiven Fähigkeiten) durch die Funktionsebenen

- **„Wahrnehmungsebene:**
Was geschieht um mich herum und wo befinde ich mich?
- **Interpretationsebene:**
Welche Auswirkung hat das Umfeld auf mich und die notwendigen Entscheidungen zum Erreichen meines Ziels?
- **Aktionsebene:**
Welche Möglichkeiten zur Reaktion habe ich und wie setze ich diese optimiert zum Erreichen des Ziels ein?
- **Ausführungsebene:**
Wie bediene ich die mir zur Verfügung stehenden Aktoren, um die beabsichtigte Aktion korrekt auszuführen?“

(Effertz, 2009), geprägt ist (siehe hierzu auch RESPONSE 3, Code of Practice, Kapitel 4).

Entsprechend der vier Ebenen ergibt sich eine kaskadierte Regelstruktur für ein technisches Gesamtsystem der autonomen Fahrzeugführung (vollständig autonomes Fahrzeug) entsprechend Bild 2-1.

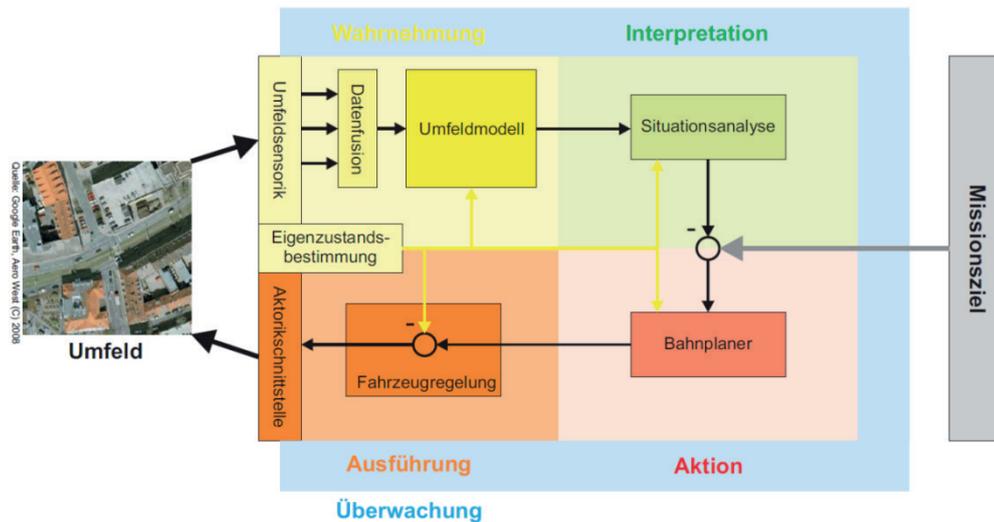


Bild 2-1 Architektur autonomer Fahrzeugführung (Effertz, 2009)

Dabei beschreibt der äußere Regelkreis das Fahrzeugumfeld und das Missionsziel und der innere Regelkreis die Position des Fahrzeugs mit dem vorgegebenen Sollwert der zentralen Fahrzeugüberwachung (Kaskaden-Regelung).

Von der Projektgruppe „Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung“ der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wurde eine Klassifizierung automatisierter Fahrfunktionen erarbeitet, die zwischenzeitlich als Standard angesehen werden kann und einen wichtigen Beitrag auf dem Weg zu einem kognitiven Automobil darstellt (Gasser et al. 2012). Dieser Standard wurde zwischenzeitlich auch auf internationaler Ebene (Standard J 3016 der SAE International) weitgehend übernommen.

Tabelle 2-2 zeigt in Gegenüberstellung die Klassifizierung und Nomenklatur der beiden Standards. Wie aus Tabelle 2-1 hervorgeht, erfolgt die Klassifizierung kognitiv, d.h. neben den Systemeigenschaften werden auch die vom Fahrer zu erbringenden Fahrsteuerungs- und Überwachungsaufgaben sowie die Übernahmebereitschaft herausgestellt und spezifiziert. Dabei werden die durch den Fahrer zu erbringenden Überwachungsaufgaben, je nach Automatisierungsgrad, in „dauerhaft“, „nicht dauerhaft“ und „nicht überwachen“ und die Übernahmebereitschaft in „unmittelbar“ oder „mit zeitlicher Reserve (Vorlaufzeit)“ kategorisiert.

Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Automatisierungsgrade unter Berücksichtigung der Rechtsfolgen findet sich ebenfalls in Gasser et al. 2012 und bildet die

Basis zu den hier erfolgten Untersuchungen der Überführung eines Fahrzeugs in den risikominimalen Zustand im Kontext der jeweiligen Systemgrenzen.

Als weitere wichtige Spezifizierung, die die unterschiedlichen Wirkweisen von Fahrerassistenzsystemen und deren Funktionen herausstellt und rechtlich einordnet, ist die Veröffentlichung von Gasser (a 2015) und Gasser, Auerswald (2016) anzusehen.

Wirkweise und Automatisierungsgrad können als zentrale Basis für die Risikobewertung unterschiedlicher Umsetzungsszenarien in einen risikominimalen Zustand des automatisierten Fahrens angesehen werden.

Tabelle 2-2 Klassifizierung automatischer Fahrfunktionen (BASt und SAE)

Benennung und Klassifizierung*		
5	Autonomie/ Fahrerlosigkeit?	
4	Vollautomatisierung: System übernimmt Quer- und Längsführung vollständig und dauerhaft, bei <u>Ausbleiben</u> der Fahrerübernahme wird das System selbsttätig in den risikominimalen Zustand zurückkehren.	
3	Hochautomatisierung: System übernimmt Längs- und Querführung, der Fahrer muss <u>nicht mehr dauerhaft überwachen</u> . Der Fahrer <u>muss</u> die Steuerung erst nach Aufforderung <u>mit gewisser Zeitreserve übernehmen</u> .	
2	Teilautomatisierung: System übernimmt Quer- und Längsführung, der Fahrer muss weiterhin <u>dauernd überwachen</u> und die Steuerung ggf. jederzeit übernehmen.	
1	Assistenz: Fahrer führt dauerhaft entweder die Quer- oder die Längsführung aus. Die andere Fahraufgabe wird <u>in Grenzen</u> vom FAS ausgeführt.	
0	Driver only: Fahrer führt Quer- und Längsführung aus.	

*Beschrieben wird arbeitsteilige Steuerung des Fahrzeuges durch den menschlichen Fahrer und die Maschine. Diese Darstellung beinhaltet keine Aussagen zur rechtlichen Zulässigkeit.

Level	Name	Narrative definition	Execution of steering and acceleration/ deceleration	Monitoring of driving environment	Fallback performance of dynamic driving task	System capability (driving modes)	BASt level	NHTSA level
Human driver monitors the driving environment								
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a	Driver only	0
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes	Assisted	1
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes	Partially automated	2
Automated driving system ("system") monitors the driving environment								
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes	Highly automated	3
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes	Fully automated	3/4
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes		

Quelle: <http://cyberlaw.stanford.edu/blog/2013/12/sae-levels-driving-automation>

Nach Gasser, Auerswald (2016) lassen sich die Funktionen von Fahrerassistenzsystemen entsprechend dem Automatisierungsgrad in drei übergeordnete Wirkweisen kategorisieren (Tabelle 2-3).

Tabelle 2-3 Kategorisierung von Fahrerassistenzfunktionen und Fahrzeugautomatisierung nach Wirkweisen (Gasser, Auerswald, 2016)

Wirkweise A: Informierende und warnende Funktionen	Wirkweise B: Kontinuierlich automatisierende Funktionen	Wirkweise C: In unfallgeneigten Situationen temporär intervenierende Funktionen
Wirken ausschließlich und „mittelbar“ über den Fahrer: 1. Statusinformation 2. Abstrakte Warnung 3. Konkrete Warnung	Haben unmittelbaren Einfluss auf die Fahrzeugsteuerung (bewusste Übertragung durch den Fahrer – arbeitsteilige Ausführung). Immer übersteuerbar.	Präventive maschinelle Intervention bei negativer Situationsprognose: I. Fahrer als Regler verhält sich nicht erwartungskonform/ ist nicht erreichbar <u>oder</u> II. in kollisionsnahen Situationen, die Fahrer/Regler leistungsbedingt nicht kontrollieren

Wie aus Tabelle 2-3 zu entnehmen, beschreibt die Wirkweise A informierende und warnende Funktionen von FAS, die ausschließlich *mittelbar* wirken und sich erst durch entsprechende Steuerungshandlung des Fahrers auf die Fahrzeugführung auswirken.

Die Wirkweise B kennzeichnet FAS, die teilweise die Fahrzeuglängs- und/oder Querführung übernehmen und *unmittelbar* auf die Fahrzeugsteuerung wirken und jederzeit vom Fahrer als Überwacher übersteuert werden können.

Solche Systeme werden auch als automatisch agierend bezeichnet. Es handelt sich hierbei in der Regel um Komfortsysteme mit maschineller Wahrnehmung, die vom Fahrer initiiert entsprechende Aktionen ausführen.

Nach Gasser, Auerswald (2016) können die Benennung und Klassifizierung automatisierter Fahrfunktionen (BASt und SAE) entsprechend Tabelle 2-2 primär der Wirkweise B zugeordnet werden.

Dabei ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass bestimmte Assistenzsysteme der Wirkweise B (Tabelle 2-3) in ihrer Funktion auch die Wirkweisen A und C tangieren.

FAS der Wirkweise C – „ in unfallgeneigten Situationen temporär intervenierende Funktionen“ – agieren durch maschinelle Interventionen bei negativen Situationsprognosen im Kontext einer abstrakten oder konkreten Gefahr (unfallgeneigte Verkehrssituation). Dabei wird die leistungsbedingte Güte des Fahrers als Regler, d.h. die unfallbedingte Mensch-Maschine-Interaktion zugrunde gelegt.

Weitere Ausführungen zu der von Gasser, Auerswald (2016) erstmalig eingeführten Klassifizierung von u.a. automatisierten Notbrems- und Ausweichsystemen sowie medizinisch indizierten Nothalteassistenten erfolgen in Abschnitt 4.3.

Eine Darstellung der rechtlichen und ökonomischen Risiken im Kontext des Entwicklungs- und Freigabeprozesses findet sich in Winkle (2015). Zur Freigabe, Testkonzept automatisiertes Fahren und der damit verbundenen Inkonsequenzen siehe Wachenfeld, Winner (2015).

3 Einteilung und Gruppierung von Fahrerassistenzsystemen unter Berücksichtigung kognitiver Kategorisierung und Wirkweise

Die nachfolgende Einteilung und Gruppierung von FAS-Strategien und Wirkweisen entsprechend dem Grad der Fahrerunterstützung bis hin zum vollautomatischen Fahren orientiert sich an der Aufgabenstellung des Forschungsprojektes der Beschreibung von Umsetzungsszenarien des Überführens eines Fahrzeugs in den risikominimalen Zustand auf Grund von Systemgrenzen des Systems Fahrer-Fahrzeug-Umfeld; in Bild 3-1 wird dies zunächst allgemein als Drei-Ebenen-Modell dargestellt.

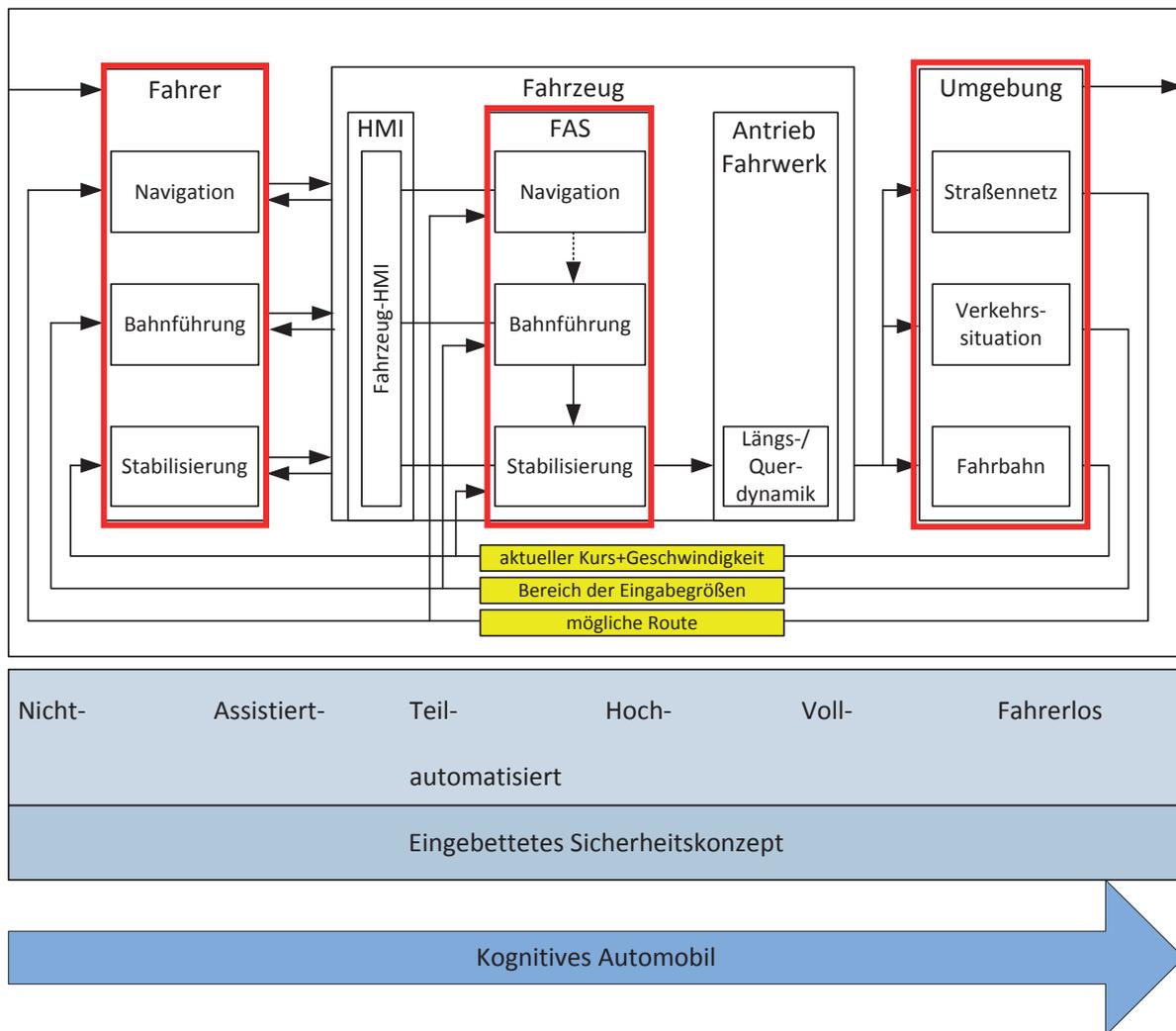


Bild 3-1 Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung (Donges 1982; Winner 2002; erweitert)

Wie aus Bild 3-1 hervorgeht, kommen FAS auf allen Ebenen der Fahrzeugführung zum Einsatz und sind mit der technologischen Entwicklung (Sensorik, Elektronik, Informatik u.a.) des automatisierten Fahrens selbst eng verknüpft.

Aus Sicht der Verkehrspsychologie haben FAS primär die Aufgabe den Fahrer zu entlasten, für einen Ausgleich von gefahrenspezifischen Defiziten und Fehlhandlungen unter Berücksichtigung des menschlichen Leistungsverhaltens und der Informationsverarbeitung zu sorgen. Als Zeitbedarf für die Navigationsebene werden $t \gg 10$ s, Bahnführungsebene $t = 2$ s bis 10 s und Stabilisierungsebene $t < 2$ s veranschlagt (siehe Deuschle, 2005 aus Thoma, 2010).

Legt man die von Gasser (2015a) eingeführte Kategorisierung von Fahrerassistenzfunktionen entsprechend ihrer Wirkweise zugrunde, so lässt sich Tabelle 2-3 beispielhaft erweitern (Wirkweise A Tabelle 3-1, Wirkweise B Tabelle 3-2, Wirkweise C Tabelle 3-3). Dabei erfolgt eine kurze Beschreibung der Klassifizierung automatischer Fahr-funktionen (Tabelle 2-2) aufgrund der Projektziele in der Wirkweise B (Tabelle 3-2).

Tabelle 3-1 Klassifizierung und Gruppierung von FAS Wirkweise A

Nomenklatur	Beispielfunktion
Informierende und warnende Systeme (Stufe 0 bis 4)	<ul style="list-style-type: none"> • Rückfahrkamera (Rear Assistance) • Müdigkeitserkennung (Driver Drowsiness Detection) • Verkehrszeichenerkennung (Sign Assistance) • Spurverlassenswarnung (Lane Keeping Warning) • Fahrstreifenwechsellassistent (Lane Change Decision Aid System), (Diss. Habenicht, 2012)

Tabelle 3-2 Klassifizierung und Gruppierung von FAS Wirkweise B

Nomenklatur	Beispielfunktionen
Stufe 0 Driver only Fahrzeugführung: Fahrer führt dauerhaft Längs- und Querführung aus Übersteuerbarkeit: - Überwachung: Dauerhaft Übernahmebereitschaft: - Rückfallebene: -	
Servosysteme	<ul style="list-style-type: none"> • Servolenkung (Servosteering) • Aktivlenkung (Active Front Steering) • Bremsassistent (Brake Assist)

Erläuterung: Servosysteme

Servosysteme erleichtern (optimieren) Betätigungsaktionen zur Längs- und Querführung. Die Systeme werden mit dem Start eines Kraftfahrzeuges aktiviert. Eine Deaktivierung durch den Fahrer ist jedoch in der Regel - wie bei der Wirkweise B vorausgesetzt - nicht möglich.

Servosysteme leisten einen hohen Beitrag zur aktiven Sicherheit, haben sich als Komfortsysteme seit vielen Jahren bewährt und sind normativ und technisch abgesichert.

Eine mögliche Assistenzstrategie zeigt Bild 3-2.

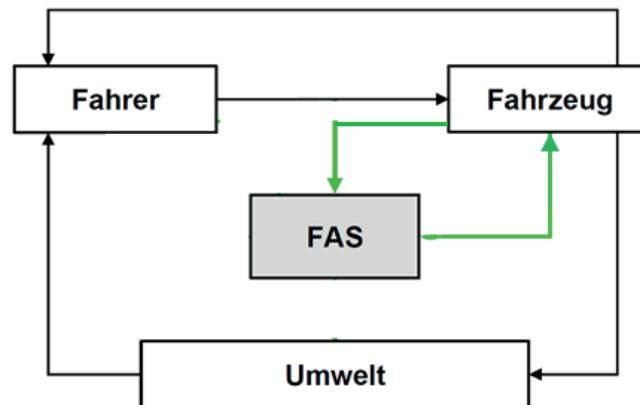


Bild 3-2 Assistenzstrategie Servosystem

Der plötzliche Ausfall eines Servosystems (Lenkung, Bremse) kann bekanntlich einen erheblichen Einfluss auf die aktive Sicherheit ausüben; somit sind Servosysteme sehr zuverlässig auszulegen und die inhärente Sicherheit durch entsprechende Absicherungsmethoden (Test und Prüfverfahren, stochastische Felddatenanalyse u.a.) zu bewerten.

Allerdings stellt sich hier die Frage, welche Wahrscheinlichkeit für einen kritischen Fehler im Servosystem Bremse und Lenkung als akzeptabel angesehen werden kann. Nach Auswertungen von Binfet-Kull (2001) und Benz (2004), liegt die Fehlerrate für einen kritischen Fehler im Bereich der Lenkung oder Bremse im Bereich vom 10^{-7} bezogen auf eine Betriebsstunde.

Fortsetzung Tabelle 3-2 Klassifizierung und Gruppierung von FAS Wirkweise B

Stufe 1 Assistiert	
Fahrzeugführung:	Assistierte Längs- oder Querführung durch FAS für gewissen Zeitraum
Fahrerunterstützung:	Ausgelegt für bestimmte Situationen (Anwendungsfälle)
Übersteuerbarkeit:	Jederzeit
Überwachung:	Dauerhaft
Übernahmebereitschaft:	Jederzeit
Rückfallebene:	Fahrer, ohne zeitliche Reserve
Komfortsysteme	
1.1 semi-automatisiert agierende Systeme	Diss. Damböck u.a.
<ul style="list-style-type: none"> • Längsführung 	<ul style="list-style-type: none"> • Abstandsregeltempomat (ACC, DISTRONIC Plus); (ISO 15622, 2010; ISO 22179)
<ul style="list-style-type: none"> • Querführung 	<ul style="list-style-type: none"> • Spurhalteassistent mit Lenkunterstützung (Lane Keeping Assistance, LKA) • Spurwechselassistent (Lane Change Assist, LCA) • Intelligenter Assistent Einparkhilfe (Intelligent Parking Assist System) (entsprechend ECE R 79, 2008)

Fortsetzung Tabelle 3-2 Klassifizierung und Gruppierung von FAS Wirkweise B

Stufe 2 Teilautomatisiert	
Fahrzeugführung:	FAS assistiert wirkbezogen Längs- und Querführung für bestimmten Zeitraum und Anwendungsfall
Fahrerunterstützung:	Ausgelegt für bestimmte Situationen (Anwendungsfälle)
Übersteuerbarkeit:	Jederzeit
Überwachung:	Dauerhaft
Übernahmebereitschaft:	Jederzeit
Rückfallebene:	Fahrer, ohne zeitliche Reserve
Sequentielle Fahrzeugführung (Fahrer und FAS)	
2.1 Automatisch unterstützende Systeme (Komfortsysteme)	<ul style="list-style-type: none"> • Aktiver Spurhalteassistent (Lane Keep Assist) mit Lenkunterstützung in Verbindung mit ACC • Stauassistent (Traffic Jam Assist), Längsführung ACC Stop & Go plus Querführung (Spurhalte- und Spurführungsassistent) im Bereich niedriger Geschwindigkeit • Parkassistent mit Längs- und Querführung
2.2 Automatisch agierende Systeme	<ul style="list-style-type: none"> • Stauassistent (vollautomatisch) (Congestion Assist) (Diss. Hörwick, 2011; Diss. Schaller, 2009), u.a.
2.3 Kooperative Fahrzeugführung (kontinuierliche Eingriffe in Längs- und Querführung)	<ul style="list-style-type: none"> • Hakuli et al. (2012) • Diss Geier (2013) • Diss. Damböck (2013) • Diss. Kleen (2014) • Diss. Kienle (2014)
Forschungsgegenstand: Conduct-by-Wire Horse-Mode-Concept	<ul style="list-style-type: none"> • Franz et al. in Winner et al. (2015) • Altendorf et al. in Winner et al. (2015)

Fortsetzung Tabelle 3-2 Klassifizierung und Gruppierung von FAS Wirkweise B

Stufe 3 Hochautomatisiert	
Fahrzeugführung:	Wirkbezogene automatisierte Längs- und Querführung durch System für bestimmten Zeitraum und Anwendungsfälle
Fahrerunterstützung:	Ausgelegt für bestimmte Situationen (Anwendungsfälle)
Übersteuerbarkeit:	Jederzeit möglich
Überwachung:	Nicht erforderlich
Übernahmebereitschaft:	Mit Zeitreserve durch Fahrer möglich
Rückfallebene:	Fahrer, System in gewissen Grenzen
Forschungsgegenstand (OEMs und große Zulieferer)	
3.1 Komfortsysteme	<ul style="list-style-type: none"> • Autobahn-Chauffeur • Autonomer Stauassistent (u.a. Diss. Hörwick, 2011)
Stufe 4 Vollautomatisiert	
Fahrzeugführung:	Vollständige Fahrzeugführung durch System („kognitives Auto“)
Fahrerunterstützung:	Ausgelegt für alle Situationen
Übersteuerbarkeit:	Jederzeit möglich
Überwachung:	Nicht erforderlich
Übernahmebereitschaft:	Mit Zeitreserve durch Fahrer möglich
Rückfallebene:	Vollständig durch System
Forschungsgegenstand (OEMs und große Zulieferer)	
4.1 Komfortsysteme	<ul style="list-style-type: none"> • Autobahnpilot • Autonomer Stauassistent, wenn nicht in Stufe 3 (Diss. Hörwick, 2011) • Autonomer Parkassistent ohne Fahrereingriff (z.B. BMW)

Tabelle 3-3 Klassifizierung und Gruppierung von FAS Wirkweise C

Nomenklatur	Beispielfunktion
Sicherheitsysteme (In unfallgeneigten Situationen temporär intervenierende Funktionen)	
Eingriff in Längsführung	Bremsassistent in Verbindung mit Abstandsregeltempomat als automatisches Notbremssystem, z.B. PRE-SAFE-Bremse (Daimler), pre sense plus (Audi) (Advanced Emergency Braking System)
Eingriff in Längs- und Querführung	<ul style="list-style-type: none"> • Automatische Notbrems- und Ausweichsysteme für höhere Geschwindigkeiten (Diss. Maurer, 2013) • Brems-Ausweichassistent (Diss. Weber, 2012) • Medizinisch indizierter Nothalteassistent (Emergency Stop System), BMW Prototyp „Smart Senior“ Projekt, VW Patent (EP 26579210 A1, 2013, Diss. Mirwaldt 2014)

Erläuterung: Autonom intervenierende Systeme

Autonom intervenierende FAS sind dadurch gekennzeichnet, dass das Assistenzsystem als Regelsystem alle notwendigen Führungsgrößen direkt an das Fahrzeug überträgt. Das heißt, die temporäre Fahrzeugführung erfolgt autonom.

Solche Systeme werden als *Sicherheitssysteme* im Kontext der aktiven Sicherheit eines Fahrzeugs bezeichnet.

Bild 3-3 zeigt die entsprechende Assistenzstrategie.

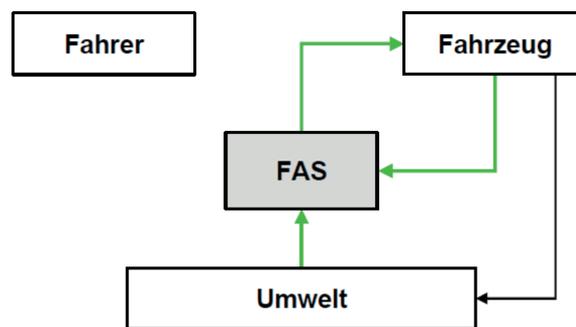


Bild 3-3 Assistenzstrategie autonom intervenierende Systeme (Wiltshko, 2004)

Neben den Systemen die der Wirkweise C zugeordnet werden, d.h. Sicherheitssysteme auf der Bahnführungsebene, existieren bekanntlich autonom intervenierende Systeme auf der Stabilisierungsebene, die in den heutigen Automobilen serienmäßig verbaut werden.

Zu den wichtigsten und im Hinblick auf die Verkehrssicherheit etablierten und ausgereiften konventionellen Systemen zählen u.a. das

- Antiblockiersystem (ABS), Antriebsschlupfregelung (ASR), Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) (alle drei Systeme wirken bekanntlich auf der Stabilisierungsebene und werden folglich nicht der Wirkweise C zugeordnet) und die
- Notbremse (Wirkweise C).

Diese Systeme leisten, wie zahlreiche Untersuchungen zeigen, einen erheblichen Beitrag zur Verbesserung der aktiven Sicherheit und sind normativ und technisch abgesichert.

Bekanntlich (EU-VO 6611/2009) ist das ESP für alle EU-Neuwagen zwischenzeitlich verpflichtend per Verordnung vorgeschrieben. Darüber hinaus gehören für LKW seit

2013 bei neuen Typzulassungen und seit 2015 bei allen neu zugelassenen Fahrzeugen ein Notbremssystem – ebenfalls per EU-VO 6611/2009 – zur Pflichtausstattung. Diese Systeme greifen jedoch (in der Regel für einige Sekunden) *autonom* und massiv in die Fahrdynamik ein, um auf diese Weise Unfälle zu vermeiden bzw. abzumildern. Unter dem Aspekt der Zuverlässigkeit und Sicherheit von Bremssystemen ist dabei aber zu beachten, dass

- ABS, ASR, ESP vollständig durch interne Messgrößen (Raddrehzahl, Gierrate, Lenkradwinkel) im Falle einer Über- bzw. Untersteuerung des Fahrzeugs aus der *fahrzeuginternen Wahrnehmung* (Proprizeption) und ein
- Notbremssystem zusätzlich durch Messgrößen aus der *fahrzeugexternen Wahrnehmung* (Exterozeption)

geregelt wird.

Zur Bewertung der Zuverlässigkeit und Sicherheit von Bremssystemen siehe u.a. Althaus (2009).

Aktive autonom agierende Sicherheitssysteme zeichnen sich, aufgrund von Redundanz und Failsafe-Eigenschaft, durch eine hohe inhärente Sicherheit und Zuverlässigkeit aus, die allerdings durch eine entsprechende Sicherheitsstrategie zu validieren sind.

So kann ein Ausfall verbunden mit einer Notsituation zu einer deutlichen Verschlechterung der aktiven Sicherheit beitragen, besonders dann, wenn die Deaktivierung und Information an den Fahrer nicht fehlerfrei erfolgt.

Weitere Ausführungen hierzu siehe Abschnitt 4.3.

Redundanz (aus Meyna, Pauli, 2010)

Unter Redundanz werden nach DIN 40 042 das „funktionsbereite Vorhandensein von mehr als für die vorgesehene Funktion notwendigen technischen Mitteln“ verstanden. Der Begriff Redundanz (Weitschweifigkeit, Überfluss) stammt aus der Informationstheorie und wurde von Shannon (1948) eingeführt und definiert. Die Redundanz gibt an, um wie viel größer der Informationsgehalt $H(a)$ einer Nachricht ist, als es nach dem Entscheidungsgehalt der Quelle sein müsste.

Shannon definiert: Ist $\text{ld}(a)$ der Logarithmus von a zur Basis 2 mit der Festsetzung $0 \cdot \text{ld}(0) = 0$ des beliebigen Versuches α mit den endlichen vielen zufälligen Ereignissen A_i , $i = 1, 2, \dots, n$ (Ereignisfelder), so gilt

$$0 \leq H(\alpha) \leq \text{ld}(n).$$

Hat ein Versuchsausgang die Wahrscheinlichkeit 1, so gilt

$$H(\alpha) = 0$$

und sind alle Versuchsausgänge gleichwahrscheinlich, d.h.

$$P(A_i) = \frac{1}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad \text{so gilt } H(\alpha) = \text{ld}(n).$$

Dann heißt

$$\frac{H(\alpha)}{\text{ld}(n)}$$

relative Entropie und

$$1 - \frac{H(\alpha)}{\text{ld}(n)}$$

Redundanz des Versuches n . Als Einheit der Entropie ist das Bit („binary digit“) festgelegt.

Vorstehende Ausführungen zeigen, dass die Redundanz nicht zwangsläufig mit einer kostenintensiven Verdopplung von Komponenten oder Baugruppen verbunden ist. D.h., besonders im Bereich des automatisierten Fahrens sollte bevorzugt die „Weitschweifigkeit“ der Wahrnehmung und Informationsverarbeitung – wann immer möglich – zur Anwendung kommen.

Des Weiteren ist darauf zu achten, dass für den Bereich der Sicherheit u.U. andere Redundanzkonfigurationen als für den Bereich der Zuverlässigkeit zur Anwendung kommen (Meyna, Pauli, 2010).

Dabei erfolgt die Bewertung einer Redundanz mittels probabilistischer Methoden. Hierbei zeigt sich, dass die Wirkung einer Redundanz auf einer unteren Ebene (z.B. Bauelemente) stets größer ist, als auf einer höheren.

Zu beachten ist allerdings, dass die Wirkung einer Redundanz z.B. durch common mode failure (EN ISO 12100-1) und common cause failure, aber auch aufgrund der zunehmenden Verteiltheit und Vernetzung durch emergente und fulgurierte Fehler aufgehoben werden kann. Bezüglich solcher Fehler sind spezielle Analysen erforderlich (siehe Luftfahrtindustrie, Reaktortechnik u.a.).

4 Wirksamkeit und Systemgrenzen

Das vorliegende Kapitel verfolgt das Ziel, die Wirksamkeit der zuvor klassifizierten FAS, deren Systemgrenzen, die zeitliche Eingriffsentscheidung des Fahrers und die Fehlermöglichkeiten (Risiken) im Kontext des Überführens eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand als Grundlage für eine Risikobewertung auf Systemebene, zu beschreiben.

Die technische Ausführung der bereits optional verbauten FAS wird nur insoweit betrachtet, wie sie zur Identifizierung möglicher Risikoszenarien erforderlich ist. Detaillierte Beschreibungen der Funktionsweise, Aufbau, technische Realisierung und zu den Herausforderungen entsprechend Bild 1-1 von FAS siehe Literatur (u.a. Reif et al., 2010; Rohm, 2013; Maurer et al., 2014; Bubb et al., 2015; Maurer et al., 2015; Winner et al., 2015).

Im Kontext der Anforderungen hinsichtlich Wirksamkeit, Belastungsgrenzen und mögliche Systemfehler verbauter FAS sei auf PREVENT (2009) RESPONSE 3 Code of Practice for the Design and Evaluation of ADAS (Advanced Driver Assistance System) verwiesen. Entsprechende Anforderungen ab Stufe 2 stehen noch aus.

Code of Practice Response 3 (Schwarz, 2006) beschreibt die Vorgehensweise zur Entwicklung, Validierung und Markteinführung von FAS im Rahmen der Bewertung und Absicherung (Risikoidentifikation, Durchführung von Gefahren- und Risikoanalysen) von Sicherheitskonzepten unter Berücksichtigung der Mensch-Maschine-Schnittstelle und der Controllability durch den Fahrer als „Wahrscheinlichkeit, dass der Fahrer Fahrsituationen an den FA-Systemgrenzen, auch bei einem Systemausfall, beherrscht“. Dabei bezieht sich die Controllability nach Schwarz (2012) auf die „Fähigkeit des Fahrers die Kritikalität einer Situation wahrzunehmen, sich für geeignete Gegenmaßnahmen zu entscheiden (Übersteuern, Abschalten) und die gewählten Gegenmaßnahmen (z. B. Reaktionszeit, sensorische Geschwindigkeit, Genauigkeit, motorische Voraussetzung) auszuführen.“

Im Anschluss folgt exemplarisch je nach Automatisierungsgrad, die Wirksamkeitsanalyse optional verfügbarer und zukünftiger FAS.

Insbesondere gilt es, soweit möglich, Strategien zum Anhalten im eigenen Fahrstreifen und durch Fahrbahnwechsel zu betrachten (Kapitel 5 und 6).

Aufbauend auf die Automatisierungsgrade der Stufen 0 und 1 werden im Kontext des Grundlagenprojektes besonders die Stufen 2 bis 4, sowie der medizinisch indizierte Nothalteassistent analysiert.

4.1 Wirkweise A

Informierende und warnende Systeme übermitteln dem Fahrer Informationen, die je nach Bedarf auch bewertet sein können, über spezifische Fahrsituationen und den Fahrzeugzustand (*Statusinformation*), wobei bei warnenden Systemen es sich um eine *abstrakte Warnung* handeln kann und im Kontext einer Gefahr und deren zeitliche Dimension (Dringlichkeit) zu konkreten Handlungsweisen aufgefordert wird (*konkrete Warnung*).

Allerdings steht es dem Fahrer frei, diese zu nutzen und seine Handlungsweise entsprechend anzupassen.

Als Assistenzstrategie zeigt Bild 4-1 eine mögliche Eingriffsstrategie im Drei-Ebenen-Modell.

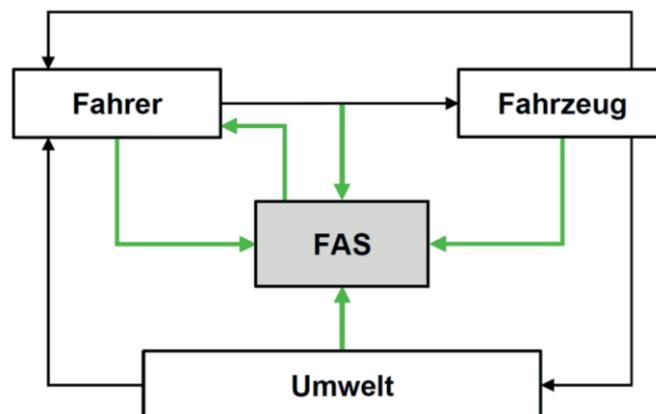


Bild 4-1 Assistenzstrategie informieren und warnen (Wiltschko, 2004)

Dabei ist jedoch zu beachten, dass als Informationsquellen im Zusammenhang mit einer relevanten Informationsverarbeitung durch den Fahrer nicht nur *fahrzeuginterne Messwerte* (Proprizeption, Wahrnehmung von systemeigenen Informationen), sondern auch eine *Erfassung des Umfeldes* (Außenwahrnehmung) als Exterozeption

(Wahrnehmung von Informationen der Außenwelt) je nach Assistenzsystem (z.B. Spurverlassenswarner) zur Verfügung stehen.

Nach Maurer (2013) ist die Erfassung und Interpretation des Umfeldes mit zusätzlichen Charakteristiken verbunden.

Eine mögliche schematische Darstellung zeigt Bild 4-2.

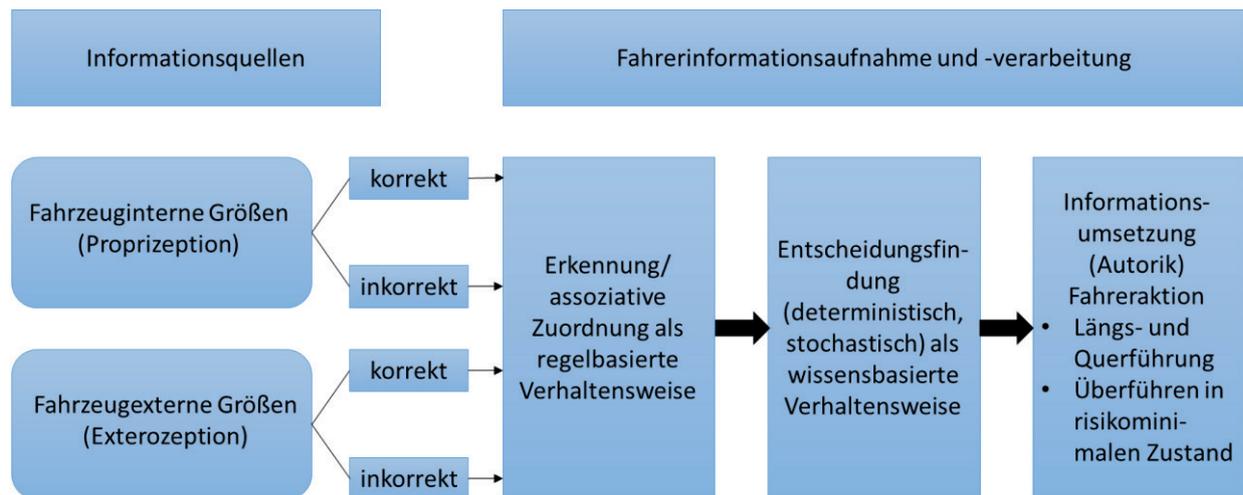


Bild 4-2 Fahrerinformativnaufnahme und -verarbeitungsphasen

Risikopotentiale:

- Fehlende / falsche Information
- Falsche Nutzung der Information
- Bewusste Nichtnutzung der Information.

Das heißt, die Güte von informierenden und warnenden FAS ist sehr stark abhängig von der Entscheidungsqualität (Zuverlässigkeit) der zur Verfügung gestellten Informationsquellen - wie der zeitlichen Eingriffsentscheidung.

Nicht zu vernachlässigen in diesem Zusammenhang sind jedoch die Fehler in der Informationsaufnahme, -verarbeitung und -umsetzung durch den Fahrer selbst. Aufgrund von GIDAS-Daten (German In-Depth-Accident Study) sind nach Hannawald (2013) die Ebenen menschlicher Fehler prozentual entsprechend Tabelle 4-1 verteilt (siehe hierzu auch Jentsch, 2014).

Tabelle 4-1 Ebenen von menschlichen Fehlern bei der Fahraufgabe (Hannawald, 2013)

Ebene des Fehlers und beispielhafte Beschreibung typischer Fehler		
Ebene	Beschreibung	Verteilung* [%]
Informationsaufnahme	Ablenkung, Wichtiges nicht erkannt bzw. übersehen	48,9
Informationsbearbeitung	Falsches Einschätzen der Situation bzw. des Verlaufes	33,1
Informationsumsetzung	Schwierigkeiten oder Fehler bei der Umsetzung der geplanten Handlung	8,3

*aufgetretene Fehler beim Hauptunfallverursacher in der jeweiligen Ebene

4.2 Wirkweise B

Die Wirkweise B charakterisiert FAS – wie bereits dargelegt – die unmittelbar auf die Fahrzeugsteuerung (Längs- und/oder Querführung) wirken und vom Fahrer jederzeit überstimmt werden können. Es handelt sich hierbei in der Regel um Komfortsysteme. Nach Gasser, Auerswald (2016) können die von der Projektgruppe „Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung“ eingeführte Klassifizierung (Tabelle 2-2) aufgrund des kontinuierlichen Automatisierungsgrades der Wirkweise B zugeordnet werden.

Je nach Automatisierungsgrad ist jedoch davon auszugehen, dass eine strikte Separation einer Assistenzkonfiguration in Wirkweise B und C aufgrund der u.a. zunehmenden Vernetzung in der Regel nicht mehr möglich ist. D.h., die Wirkweise B (Tabelle 2-2, ab Stufe 2/3) interferiert auch die Wirkweise C und vice versa C → B. Zu beachten ist hier jedoch, dass dann die Forderung der Wirkweise B nach der prinzipiellen Übersteuerbarkeit der FAS durch den Fahrer „temporär“ in der Regel nicht aufrecht gehalten werden kann.

In diesem Zusammenhang erscheint es überlegenswert, eine strikte Segregation zwischen den FAS der Wirkweise B (Komfortsysteme) und denen der Wirkweise C (Sicherheitssysteme) zu fordern, um so im Falle einer Funktionseinschränkung/Ausfall eine funktionale Aufrechterhaltung der implementierten aktiven Sicherheitssysteme – im Sinne der Verkehrssicherheit – zu gewährleisten.

4.2.1 Driver only (Stufe 0)

Der Stufe 0 (Fahrer führt dauerhaft die Längs- und Querführung aus) sind FAS zugeordnet, wie sie heute bereits serienmäßig, bzw. optional verfügbar sind und deren Nutzen für die Verkehrssicherheit durch zahlreiche Untersuchungen u. a. Unfallforschung der Versicherer (Gwehenberger et al., 2010; Hummel et al. 2011) und German In-Depth Accident Studie (GIDAS) (2011) sowie Vollrath et al. (BASt Heft 60, 2006), Zechnall (2006), Knoll (2007), Langwieder et al. (2008), Eichberger et al. (2011) nachgewiesen wurden.

Weiterhin sind diese FAS durch nationale und internationale Normen sowie entsprechende Absicherungsstrategien validiert und verifiziert.

4.2.2 Assistierte Fahrerassistenzsysteme (Stufe 1)

Der Automatisierungsstufe 1 werden Assistenzsysteme zugeordnet, die als Komfortsysteme einen Fahrer in der Längs- oder Querführung unterstützen (siehe Tabelle 3-2).

Komfortsysteme

Zu den wichtigsten Komfortsystemen der Stufe 1, die auch einen entsprechenden Beitrag zur Verkehrssicherheit (aktive Sicherheit) leisten, zählt der seit vielen Jahren optional verbaute Abstandsregeltempomat als Weiterentwicklung des bekannten Tempomats. Abstandsregeltempomaten werden, je nach Automobilhersteller (z.B. Daimler Distronic), unterschiedlich bezeichnet. International üblich ist die Bezeichnung Adaptive Cruise Control (ACC). Ein ACC unterstützt den Fahrer bekanntlich bei der Längsführung eines Fahrzeuges. Zu den weiteren Komfortsystemen der Stufe 1, die darauf abzielen, den Fahrer bei der Querführung eines Fahrzeuges zu unterstützen, zählen die ebenfalls seit vielen Jahren verbauten Assistenten zur Spurhaltung, zum Spurwechsel und Parkassistenten. Die genannten Systeme sind durch entsprechende normative Vorgaben (ISO) validiert und technisch verifiziert, d.h. abgesichert.

Abstandsregeltempomat (ACC)

ACC als Komfortsystem verfolgt das Ziel, durch automatische Abstandsregelung (Fahrgeschwindigkeits- und Beschleunigungsregelung, Folge- und Kurvenregelung) zu einem vorausfahrenden Fahrzeug, den Fahrer

- nach Wahl einer Wunschgeschwindigkeit und einem Wunschabstand (Wunschzeitlücke, ISO-Norm 1 bis 2 Sekunden zum vorausfahrenden Fahrzeug)

beim sogenannten „Hinterherfahren“, bevorzugt auf ermüdenden langen Autobahnfahrten, Fern- und Landstraßen, zu entlasten.

Das ACC wird durch den Fahrer aktiviert und kann jederzeit überstimmt werden.

Die adaptive Geschwindigkeitsregelung ist in der Literatur umfassend dargestellt (siehe u.a. Bosch (gelbe Reihe), 2002; Winner et al., 2015).

Eine ausführliche Darstellung des Sicherheitskonzeptes beim Auftreten von Systemausfällen (ACC-System, Fahrzeug) und kritischen Fahrsituationen, gekennzeichnet durch diversitäre und redundante Komponenten- und Funktionsüberwachungen, ist in der Publikation „gelbe Reihe“ von Bosch (2002) „Adaptive Geschwindigkeitsregelung“, ausführlich dargestellt und beschrieben.

Die Nutzung eines Fuzzy-Reglers im Kontext eines ACC wird u.a. in Holve et al. (1995), Naranjo et al. (2006), Batayneh et al. (2013), Padash et al. (2013), beschrieben.

Fuzzy-Regler werden seit den 80er Jahren in den verschiedenen technischen Bereichen, auf Basis der Fuzzy-Logik (Zadeh, 1965), erfolgreich eingesetzt.

Es ist davon auszugehen, dass zukünftig die Nutzung und Implementierung von Fuzzy-Reglern im Bereich des automatisierten Fahrens zunehmend an Bedeutung gewinnen wird. Nicht zuletzt ist auch davon auszugehen, dass Zuverlässigkeitsbewertungen mit Hilfe der Fuzzy-Logik (u.a. Meyna, Pauli, 2010) und die Bewertung von Fahrmanövern (u.a. Schneider, 2009; Schroven, 2011) im Rahmen von Situationsmodellierungen, aufgrund von Unschärfe und Ungenauigkeiten der Wahrnehmung, stärker genutzt werden.

Eine wesentliche Voraussetzung für die einwandfreie Funktion eines ACC stellen jedoch der Entscheidungsprozess zur Detektion (Zielauswahl) eines Fahrzeugs mittels exterozeptiver Sensorik (Umfeldsensorik, Radar, Lidar) und der Fahrbahnzustand dar.

Risikopotentiale

Nach Maurer (2013) ergeben sich nachfolgende Risikopotentiale:

- „Die Entscheidungsfindung für die Zielobjektauswahl beinhaltet die Unsicherheit, dass eine Fahrspurzuordnung nicht immer eindeutig möglich ist, z.B. in Kurven.“
- „Wenn ein Objekt in der gleichen Fahrspur während der Annäherung irrtümlich in der Nebenspur angenommen wird, sollte das System seine Fehlzurordnung bei weiterer Annäherung erkennen, mit der notwendigen Verzögerung abbrem sen und notfalls eine Fahrerwarnung ausgeben.“
- „Ist die Relativgeschwindigkeit zwischen Zielobjekt und Eigenfahrzeug für den verbliebenen Abstand für eine ACC-Bremmung mit der maximal zulässigen Verzögerung (ISO Norm: $-3,5 \text{ m/s}^2$ bis -5 m/s^2) zu groß und der Fahrer reagiert zu spät, kann es zum Auffahrunfall kommen“ (Gietelink et al., 2006; Naranjo, 2006).
- „Im umgekehrten Fall, wenn ein detektiertes „Zielobjekt“ fälschlicherweise in der eigenen Fahrspur angenommen wird, unterläuft dem ACC eine Fehlbremmung, womit für den nachfolgenden Verkehr eine gefährliche Situation entsteht.“
- „Es muss in der Fahrspurzuordnung also eine Entscheidung unter Unsicherheit mit exterozeptiv gemessenen Werten getroffen werden, ...“
→ Hierzu erfolgen in Maurer (2013) entsprechende Erläuterungen u.a. in Kontext einer Fahrschlauchbetrachtung.
- „Der Schwellwert für die Entscheidung der Fahrspurzuordnung ist also nicht nur von der Eigenbewegung und der exterozeptiv gemessenen Objektbewegung abhängig, sondern zusätzlich von diversen Applikationsparametern, die einen zeitlichen Verlauf und nicht-deterministische Ereignisse berücksichtigen“ (siehe hierzu Gietelink et al., 2006).

Da das ACC-System zwischenzeitlich primär in Kombination mit einem Bremsassistenten verknüpft und optional angeboten wird, erfolgt die Entwicklung eines Funktionswirkablaufdiagramms als Vorstufe zur Risikobewertung im Rahmen der Ausführungen zum aktiven Notbremssystem (siehe Wirkweise C, Abschnitt 4.3).

4.2.3 Teilautomatisierte Fahrerassistenzsysteme (Stufe 2)

Assistenzsysteme der Automatisierungsstufe 2 (Teilautomatisierte Fahrerassistenzsysteme) sind dadurch gekennzeichnet, dass diese neben der Längsführung zusätzlich auf die Querführung eines Fahrzeuges einwirken, die Verantwortung für die Fahrzeugführung bleibt jedoch beim Fahrer; es gibt in der Regel keine zeitliche Reserve für die Übernahmefunktion des Fahrers.

Teilautomatisierte FAS stehen zwischenzeitlich optional zur Verfügung. In der Regel handelt es sich hierbei um die Vernetzung von Assistenzsystemen der Längsführung mit denen der Querführung (z.B. ACC Stop & Go in Verbindung mit LKA).

Die Durchführung von komplexen Fahrmanövern mit teilautomatisierten FAS ist jedoch zurzeit noch nicht möglich.

Assistenzsysteme zur gleichzeitigen Längs- und Querführung z.B. für die Unterstützung bei Lenk-Brems-Manövern verfolgen das Ziel, den Fahrer bei der Bahnführung und Stabilisierung, (siehe Bild 4-3), zu unterstützen.

In diesem Zusammenhang stellt sich allerdings die Frage nach der Beherrschbarkeit der teilautomatisierten Eingriffe in die Fahrzeugführung, insbesondere im Zusammenhang mit Systemgrenzen, Systemfehlern, Kontrollierbarkeit (siehe Response 3 Code of Practice, PReVent, 2009), Deaktivierung, Fahrscenarien, etc.

Die Dissertation von Kleen (2014) die im Rahmen des Aktiv-Projektes „Adaptive und kooperative Technologien für den intelligenten Verkehr“, BMWi und BMBF, 2009 (Teilprojekt „Testmethoden im Entwicklungsprojekt“) entstand, widmet sich der o.g. Fragestellung und leistet einen Beitrag zu den Bewertungsgrundlagen der Beherrschbarkeit von teilautomatisierten Eingriffen in die Fahrzeugführung.

Nach Kleen (2014) ist davon auszugehen, dass aufgrund der „zweidimensionalen“ kombinierten Eingriffe das Reaktionsvermögen des Fahrers positiv, aber möglicherweise auch negativ (z.B. plötzlicher Verlust der Unterstützung ohne Zeitreserve, Deaktivierung aufgrund von Systemgrenzenüberschreitung) mehr oder weniger stark beeinflusst wird (*Dilemma Aufmerksamkeitsprüfung*).

D.h., durch teilautomatisierte Fahrzeugführung entsteht für den Fahrer, aufgrund der parallelen Längs- und Querführung, eine neue Qualität der Fahrzeugführung und der damit verbundenen Interaktionskonzeption; „foreseeable misuse“ muss vermieden werden (Herrtwich, 2013).

Im Vergleich mit den Fahraufgaben einer manuellen Fahrt entsprechend der Stufe 0 wird der Fahrer durch ein parallel und damit redundant angeordnetes Assistenzsystem (Bild 4-3), welches im Falle einer Teilautomatisierung im Rahmen bestimmter Systemgrenzen und Zeitbereiche spezifiziert die Bahnführung und Stabilisierung übernimmt, assistiert.

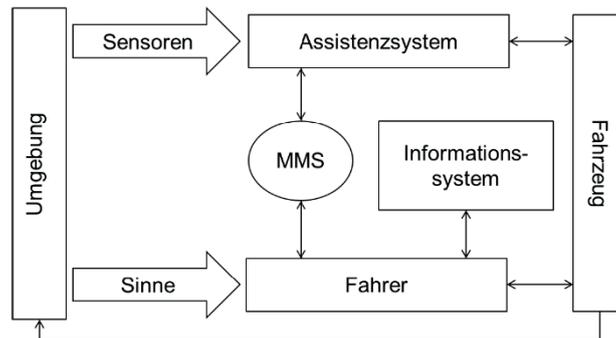


Bild 4-3 Fahrer-Fahrzeug-System unter Berücksichtigung eines Fahrerassistenzsystems nach Vollrath & Krems (2011)

Dabei lässt sich der Ausfall/Deaktivierung des Assistenzsystems relativ einfach durch die bedingte Wahrscheinlichkeit probabilistisch wie folgt formulieren:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad \forall P(B) > 0$$

mit

$P(A|B)$ = Eintreten des Ereignisses A (Fahrerübernahme) unter der Bedingung, dass Ereignis B (Ausfall/Deaktivierung des Fahrerassistenzsystems) bereits eingetreten ist.

Das parallele als sogenannte „heiße“ Redundanz charakterisierte FAS (Fahrer und Assistenzsystem sind gleichberechtigt), lässt sich nach Hakuli et al. (2012) unter Berücksichtigung einer zeitlichen Wirkreihenfolge entsprechend Bild 4-4 modifizieren.

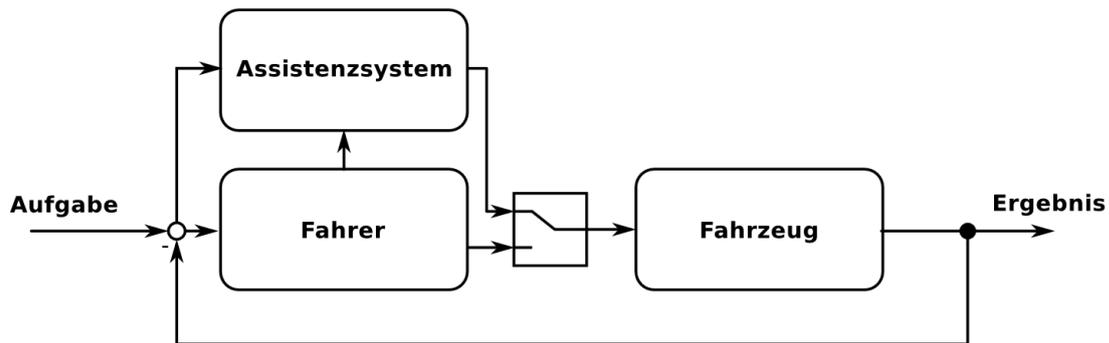


Bild 4-4 Vereinfachter Mensch-Maschine-Regelkreis mit parallel-sequentieller Assistenz (Hakuli et al., 2012)

Eine sequentielle Parallelredundanz ist nach Hakuli et al. (2012) immer dann gegeben, wenn der Fahrer oder das Assistenzsystem als zeitlich bezogene Wirkreihenfolge die Fahrzeugführung beeinflussen kann. D.h., zunächst wird das FAS durch den Fahrer mit der Fahrzeugführung für bestimmte Szenarien (Manöver) betraut. Im Fall eines Ausfalls/Systemgrenzenüberschreitung etc., d.h. ereignisbezogen, ist eine Übernahme durch den Fahrer – gekennzeichnet durch den Umschalter in Bild 4-4 – möglich. Zuverlässigkeitstechnisch handelt es sich hierbei um ein Standby-System (Meyna, Pauli, 2010).

Im Rahmen einer Simulatorstudie und im Realfahrzeug widmet sich Kleen (2014) umfangreichen Untersuchungen zu den Systemgrenzen, Systemfehlern, Fahrscenarien, Deaktivierung etc. teilautomatisierter FAS und deren Auswirkungen auf das Fahrverhalten (z.B. Aufmerksamkeit).

Die sehr umfangreiche Zusammenfassung der Ergebnisse zeigt, dass bereits bei teilautomatisierten FAS komplexe Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bestehen und weitere Forschungen, besonders im Hinblick höherer Automatisierungsstufen und deren Beherrschbarkeit, erfordern.

In seinem Gutachten für den ADAC „Motivationale und psychologische Leistungsgrenzen im Rahmen der Überwachung von Kontrollelementen (Vigilanzaufgabe) zur Durchführung einer teilautomatisierten Fahraufgabe“ kommt Vollrath (2015) aufgrund der sehr zuverlässigen Assistenz, die vom Fahrer überwacht werden muss (d.h., der Fahrer muss relativ selten Fehler erkennen und dann eingreifen) zu dem Ergebnis,

dass das Konzept der Vigilanz¹ (Daueraufmerksamkeit) bei der Stufe Teilautomatisiert von zentraler Bedeutung ist.

Vollrath (2015) konstatiert als Fazit aufgrund zahlreicher Studien, dass die Vigilanz bereits nach 5 Minuten eintritt und nach 15 Minuten deutlich verringert ist; dabei tritt eine Vigilanzreduktion bereits in der Stufe 1 Assistierte (z.B. ACC) auf.

Des Weiteren diskutiert Vollrath (2015) Strategien zur Aufrechterhaltung der Vigilanz im Kontext des teilautomatisierten Fahrens mit dem Ergebnis:

„Bei einer vollständig zuverlässigen oder sehr zuverlässigen Teilautomation erscheint eine Überwachung durch den Fahrer nicht wirklich sinnvoll. Einerseits muss er nie oder sehr selten eingreifen. Andererseits wird er dann mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht oder zu spät reagieren. Insgesamt bleibt durch die hohe Zuverlässigkeit des Systems dann zwar die Sicherheit erhalten, aber für den Fahrer ist diese Aufgabe wenig akzeptabel. Hinzu kommt, dass wenn er die Überwachungsaufgabe ernst nimmt, diese durchaus als stressig oder beanspruchend erlebt wird, also der subjektive Nutzen relativ gering ist. Nimmt er die Aufgabe nicht ernst und beschäftigt sich mit Nebenaufgaben, gerät er in rechtliche Probleme und wird notwendige Eingriffe noch schlechter erkennen.“

Als Fazit konstatiert Vollrath (2015) weiter, ob ein bewusster

„...Verzicht auf teilautomatisiertes Fahren bei Weiterentwicklung von warnenden und eingreifenden Assistenzfunktionen sinnvoll sein könnte, um schließlich den direkten Übergang zu hochautomatisierten Fahren (mit möglicherweise eigenen, neuen Problemen) vorzunehmen“.

Kooperative Fahrzeugführungskonzepte

Eine kooperative Fahrzeugführung ist dadurch gekennzeichnet, dass sowohl der Mensch (Fahrer) als auch der Automat (FAS) gemeinsam, simultan die Fahrzeugführungsaufgabe übernehmen. Bekannt sind in diesem Zusammenhang die Forschungen zum Fahrzeugführungskonzept *Conduct-by-Wire (CbW)* der TU-Darmstadt (Forschungsgruppe von Prof. Winner) und *H-Mode* (DLR Braunschweig, TU-München, RWTH-Aachen).

¹ Vigilanz=“über längere Zeiträume relevante Veränderungen der Umwelt zu entdecken und dann richtig zu reagieren“ (Vollrath, 2015); Fähigkeit zur genauen Wahrnehmung und Reaktionsbereitschaft über einen längeren Zeitraum (Buld et al., 2004).

Der Begriff Vigilanz wurde von Mackworth 1948 in die Psychologie eingeführt.

Das CbW-Konzept verfolgt das Ziel, den Fahrer von den Fahraufgaben auf der Stabilisierungsebene zu entbinden (Winner, 2006; Franz et al., in Winner, 2015) und die Interaktion zwischen Fahrer und FAS auf die Bahnführungsebene zu verlagern.

D.h., der Fahrerwunsch bzgl. eines bestimmten Manövers, die in einem Manöverkatalog abgelegt sind, z.B. „Fahrzeug überholen“, erfolgt über eine entsprechende Mensch-Maschine-Schnittstelle auf der Bahnführungsebene; das FAS ermittelt die notwendigen Trajektorien und bewirkt anschließend eine Ausführung auf der Stabilisierungsebene. Über eine entsprechende Information hinsichtlich des Systemzustandes hat der Fahrer jederzeit die Möglichkeit, das vorgesehene Manöver zu modifizieren und abbrechen.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit, mit einem Eingriff auf der Stabilisierungsebene die Deaktivierung des FAS zu bewirken (Geyer, 2013; Kienle, 2014).

Beim Regelkreis der vorstehend kurz charakterisierten manöverbasierten Fahrzeugführung über Manöverbefehle und entsprechende Schnittstellen mittels eines aktiven Stellteils (nach Hakuli et al., 2012) handelt es sich um ein sequentiell, seriell geschaltetes kooperatives System (Bild 4-5).

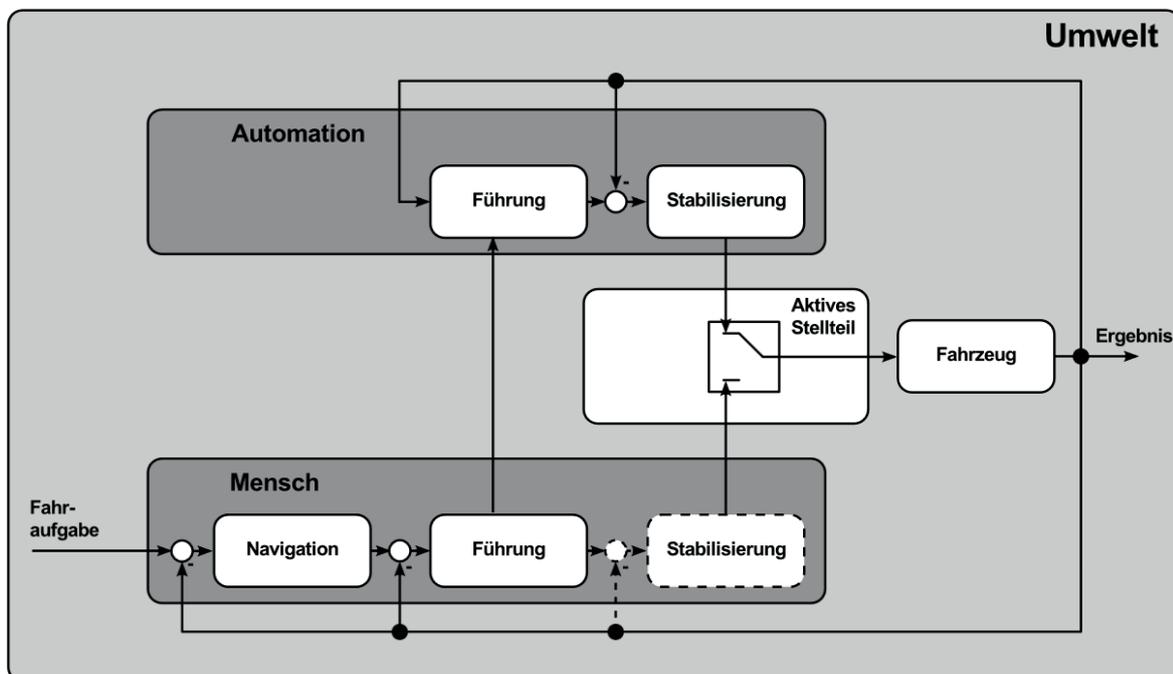


Bild 4-5 Manöverbasierte Fahrzeugführung nach dem CbW-Prinzip (nach Geyer, 2013; aus Kienle, 2014)

Für die manöverbasierte Fahrzeugführung erweitert Damböck (2013) im Rahmen seiner Dissertation „Automationseffekte im Fahrzeug – von der Reaktion zur Übernahme“ die Klassifizierung von FAS entsprechend BAST und SAE u.a. um eine weitere Klasse (Tabelle 4-2).

Tabelle 4-2 Manöverbasierte FAS (Damböck, 2013)

Benennung	Fähigkeit der Automation/ Assistenz	Rolle des Fahrers
Manöverautomatisiert	<ul style="list-style-type: none"> • Das System übernimmt Quer- und Längsführung zur Ausführung vorgegebener Manöver (z.B. Conduct-by-Wire; Winner et al., 2006) • Systemgrenzen werden nicht erkannt. 	<ul style="list-style-type: none"> • Der Fahrer kommandiert die auszuführenden Manöver. • Der Fahrer muss die Funktionen des Systems dauerhaft überwachen und jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahraufgabe fähig sein.

Im Kontext der teilautomatisierten, manöverbasierten Fahrzeugführung untersucht Geyer (2013) die kooperative Interaktion zwischen Fahrer und Automation auf der Grundlage des CbW-Fahrzeugführungskonzeptes mit dem Ziel, der Entwicklung und technischen Realisierung eines Interaktionskonzeptes zur kooperativen Entscheidungsführung hinsichtlich der Durchführung von bestimmten Fahrmanövern durch den Fahrer und Automation („Gate-Konzept“).

Das sogenannte „Gate-Konzept“ verfolgt die Idee, aus einer Segmentierung der Manöverausführungen (z.B. Klasse Kreuzung, Klasse Linksabbiegen), an bestimmten Ereignispunkten (Gates) die Entscheidungsfindung durch den *Fahrer und Automaten* herbeizuführen. Je nach Automatisierungsgrad werden drei Systemausprägungen betrachtet (Bild 4-6).

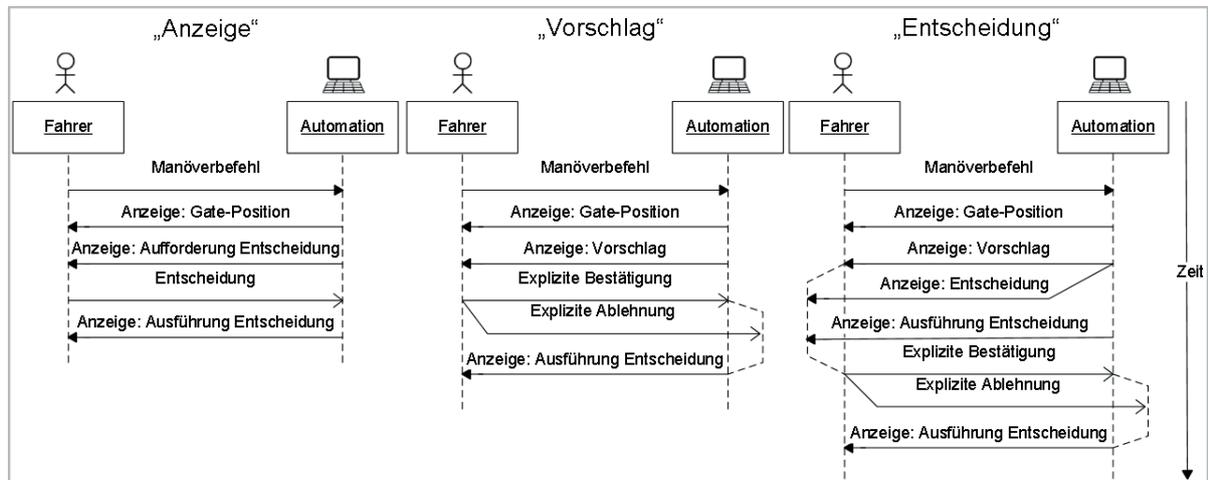


Bild 4-6 UML-basierte Darstellung der Interaktion zwischen Fahrer und Automation für die drei Systemausprägung „Anzeige“, „Vorschlag“ und „Entscheidung“ (UML=Unified Modeling Language), (Geyer, 2013)

Interessant ist im Hinblick des Projektes die Erweiterung des entwickelten und in einem statischen Fahrsimulator technisch erprobte und mit Probanden validierte Interaktionskonzept durch ein übergeordnetes Sicherheitskonzept.

Das Sicherheitskonzept ist dadurch gekennzeichnet, dass eine gegenseitige Überwachung des Fahrers durch die Automation und vice versa stattfindet. D.h., der Fahrer kann zu jedem Zeitpunkt die Entscheidung der Automation korrigieren und vice versa kann die Automation entsprechend dem Automatisierungsgrad durch eine Handlungsempfehlung („Vorschlag“ bzw. Eingriff („Entscheidung“) siehe Bild 4-6) eingreifen. Ist eine Entscheidungsfindung weder durch den Fahrer noch durch die Automation gegeben, so wird das auszuführende Fahrmanöver nicht durchgeführt („Gate wird geschlossen“) und das Fahrzeug automatisch (Notbremsmanöver) in den risikominimalen Zustand – Stillstand am Gate – überführt.

Das *H(Horse)-Mode-Konzept* als kooperatives Fahrzeugführungskonzept ist dadurch gekennzeichnet, dass die Fahrer-Fahrzeug-Kooperation aufgrund eines „Reiter-Pferd-Metapher“ in Form einer inspirierten haptisch-multimodalen Kopplung zwischen Fahrer und Automat erfolgt.

Der Einfluss der Unterstützung auf die Fahrzeugführung erfolgt dabei zwischen dem Modus „tight rein“ („straffe Zügel“) d.h., assistiert und „loose rein“ („lockere Zügel“) hochautomatisiert.

D.h., im Modus „tight rein“ ist der Einfluss des FAS als Automat auf die Fahrzeugführung relativ gering und im Modus „loose rein“ hingegen hoch, wobei der Übergang zwischen den Kooperationspartnern Mensch (Fahrer) und Automation (FAS) über ein aktives Stellglied fließend und zeitlich variierbar ist.

Die kooperative Fahrzeugführung durch Mensch und Automat erfolgt simultan und parallel (Bild 4-7). Weitere Ausführungen hierzu siehe u.a. Flemisch et al. (2013), Geyer (2013), Kienle (2014), Altendorf et al. in Winner et al. (2015).

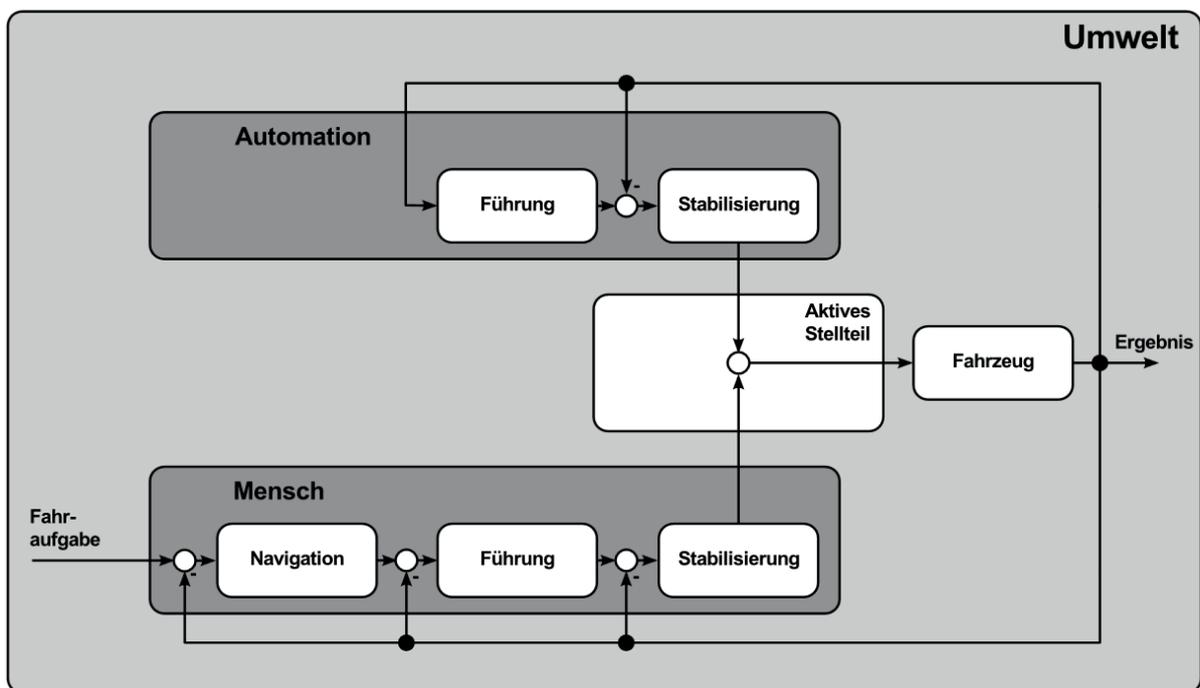


Bild 4-7 Fahrzeugführung nach dem H-Mode Prinzip (Kienle, 2014)

Stauassistent

Die gegenwärtig verfügbaren Stauassistenten (BMW etc.) bestehen primär aus einer Fusion von ACC Stop & Go und Spurhalteassistent und wirken dementsprechend in der Längs- und Querführung (beschleunigen, bremsen, lenken) eines Fahrzeuges. Sie assistieren in einem Geschwindigkeitsbereich von $v \leq 60$ km/h; bei $v > 60$ km/h erfolgt eine automatische Deaktivierung.

Eine weitere Systemgrenze ist in der Regel durch die Forderung nach einer gutausgebauten Straße (BMW Autobahn, wird mittels GPS (Global Positioning System) kontrolliert) vorgegeben.

Mittels Stereo- oder Monokamera (herstellerabhängig) des Spurhalteassistenten ist einerseits eine Spurverfolgung (Streckenverlauf) entsprechend der Fahrbahnmarkierung oder andererseits – wie beim ACC – eine Spurverfolgung durch Detektieren des vorausfahrenden Fahrzeuges mittels Radar möglich.

Der Eingriff in die Querführung erfolgt über die Schnittstelle der elektrischen Servolenkung mit Lenksäulenantrieb.

Die Deaktivierung des Stauassistenten erfolgt fahrzeugtypenabhängig mit einer Zeitverzögerung nach dem Stillstand (z.B. BMW 2er Active Tourer, $t = 30\text{ s}$, $v > 40\text{ km/h}$). Des Weiteren ist eine Fahrerüberwachung vorgesehen, die den Stauassistenten deaktiviert sobald der Fahrer beide Hände (eine Hand ist technisch möglich) vom Lenkrad nimmt. Das Fahrzeug wird dann in den Fail-Safe-Modus überführt, d.h., Abbremsen bis zum Stillstand. Das bedeutet, dass der gegenwärtig verfügbare Stauassistent als Teilautomatisiertes FAS mit einer gewissen Überwachung des Fahrers durch das System angesehen werden kann.

Eine ausführliche Darstellung des regelungstechnischen Konzepts mit den Funktionsbereichen

- Fahrerumfelderfassung
- Situationsinterpretation
- Regelungstechnik und Aktorik
- HMI-Konzept

eines Stauassistenten im Bereich niedriger Geschwindigkeit, erprobt in einem Realfahrzeug, findet sich in Schaller (2009). Die Grobstruktur geht aus Bild 4-8 hervor. Hinsichtlich Akzeptanz (Kundennutzen, Kundenakzeptanz) und Beherrschbarkeit entwickelt Schaller (2009) ein intuitives Mensch-Maschine-Interaktions-Konzept, welches im Rahmen einer Simulatorstudie (dynamischer Simulator, BMW) validiert wurde.



Aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Bild 4-8 Grobstruktur und Signalfluss des Stauassistent-Systems (Schaller, 2009)

Aufgrund der Sicherheitsanforderungen kann der Fahrer das System Stauassistent jederzeit übersteuern.

D.h., die Übersteuerung der Längsführung erfolgt entsprechend ACC Stop & Go (Deaktivierung durch Betätigung des Bremspedals, Übersteuerung durch Betätigung des Gaspedals) und die der Querführung durch Übersteuern des zusätzlich aufgebracht Lenkmomentes durch den Fahrer, so dass die Querführung deaktiviert wird.

Funktionale Sicherheitsarchitektur

Teilautomatisierte Fahrerassistenzsysteme erfordern für den Zeitraum ihrer Aktivierung eine vollständige Überwachung durch den Fahrer (Fahrer in the loop). D.h., der Fahrer bildet die Rückfallebene des Systems. Weiterhin ist eine Fahrerzustandsdetektion und Überwachung (Systemüberwachung des definierten Anwendungsfalls) erforderlich. Konstatiert das System, dass der Fahrer seine Überwachungsaufgabe nicht mehr ausreichend wahrnimmt (z.B. beide Hände vom Lenkrad) und die Reaktionszeit im Fehlerfall, Systemgrenze als unzureichend angesehen wird, so ist es erforderlich, das System mittels eines entsprechenden Aktionsplanes zu deaktivieren.

Dabei ist zu beachten, dass abhängig von der jeweiligen Systemausprägung eine mehr oder weniger starke Vigilanzreduktion (*Dilemma: Daueraufmerksamkeitsprüfung*)

– wie zuvor erläutert – stattfindet. Systeme zur Fahrerüberwachung sind in der Literatur vielfach beschrieben. Eine mögliche Einteilung zeigt Bild 4-9.

Technische Lösungen der Überwachung sind nach Herrtwich (Daimler, 2013) durch invasive (Lenkmomentsensor, Totmannschalter, Voice Challenge and Response) und nicht invasive (Fahrerkamera etc.) Substitute gegeben. Nachfolgende Sicherheitsarchitektur (Bild 4-10) konstatiert die Teilautomation jedoch entsprechend Tabelle 3-2 d.h., der Fahrer muss das System nach dessen Aktivierung und für den Zeitraum der Aktivierung dauerhaft überwachen.

Kooperative Fahrzeugführungskonzepte wie CbW und H-Mode werden dabei nicht berücksichtigt (siehe hierzu die Darstellungen Bild 4-5, Bild 4-6 und Bild 4-7).

Berücksichtigt wird allerdings die Vigilanzreduktion und Fahrerzustandsdetektion nach Aktivierung des Assistenzsystems.

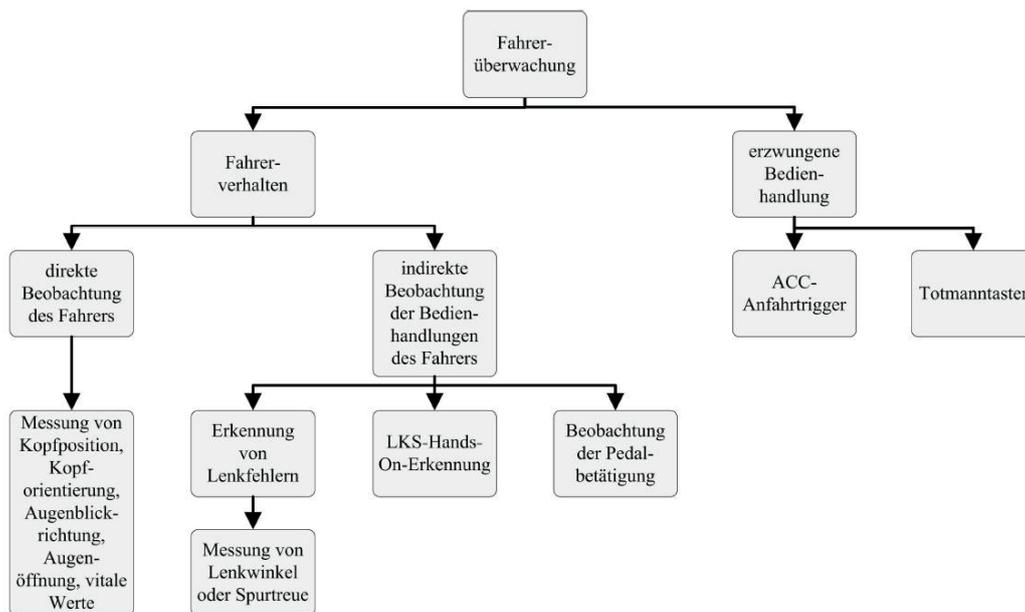


Bild 4-9 Ansätze zur Fahrerüberwachung (Hörwick, 2011)

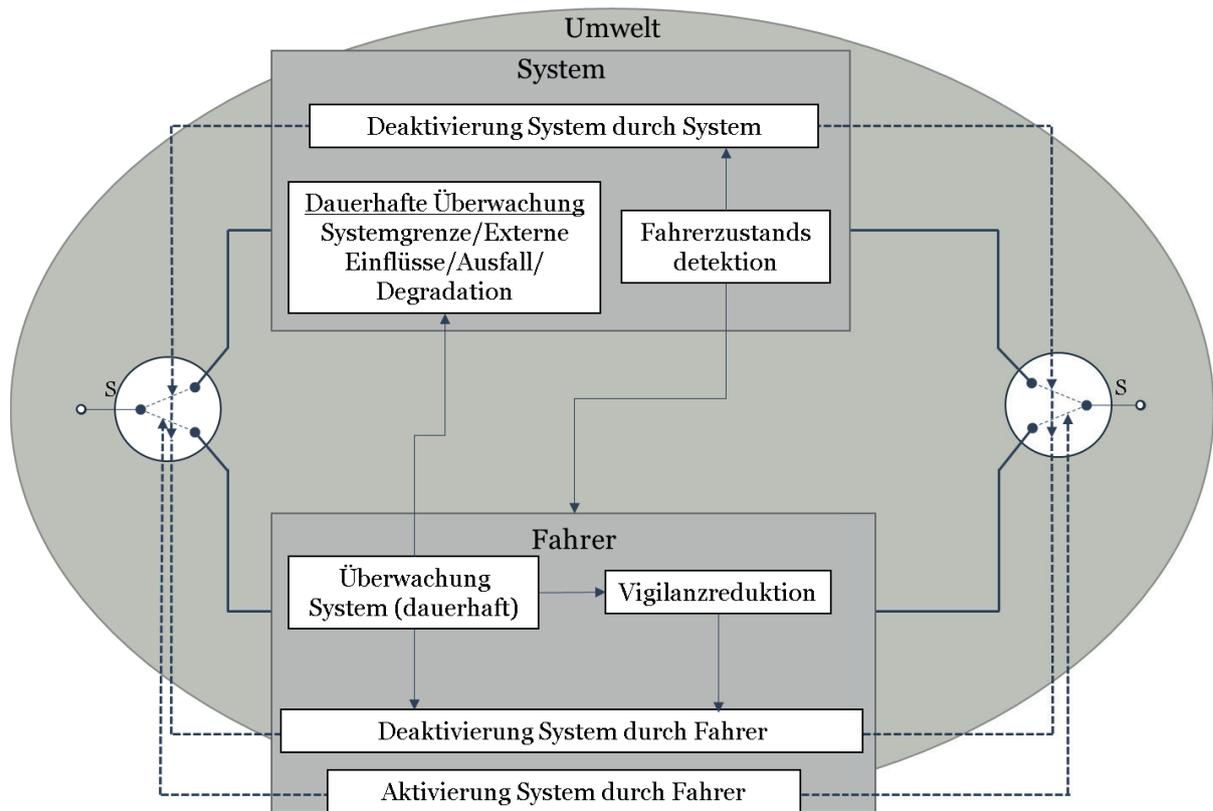
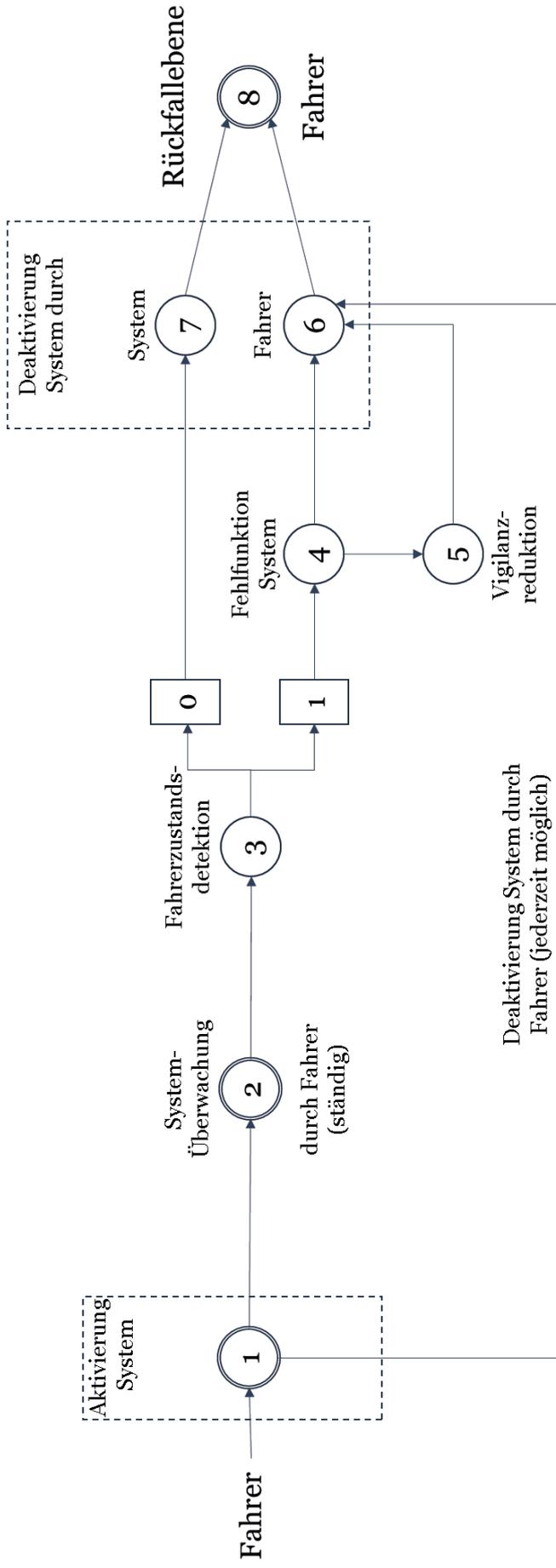


Bild 4-10 Funktionale Sicherheitsarchitektur (grob) Teilautomatisierte FAS (ohne HMI-Konzept)

Zustandsdiagramm

Die Übertragung der Funktionalen Sicherheitsarchitektur entsprechend Bild 4-10 in ein Zustandsdiagramm ermöglicht eine anschließende Bestimmung der Sicherheitswahrscheinlichkeit des Systems (risikominimalen Zustand). Zustandsdiagramme haben sich im Bereich der Zuverlässigkeits- und Sicherheitstechnik besonders auf einer höheren Systemebene bewährt (Meyna, Pauli, 2010). Durch Zustandsdiagramme ist es möglich, die zeitliche Reihenfolge des Systemverhaltens und Abhängigkeit entsprechend darzustellen, was mittels der bekannten Fehlerbaumanalyse nicht möglich ist. Für die Bestimmung der Systemzustandswahrscheinlichkeit werden in der Regel Markov-Prozesse und Semi-Markov-Prozesse als stochastische Analysemethode zugrunde gelegt.

Für die in Bild 4-10 dargestellte Funktionale Sicherheitsarchitektur ergibt sich ein grobes Zustandsdiagramm unter Berücksichtigung der Vigilanz entsprechend Bild 4-11.



**Dilemmata: Fahrerzustandsdetektion (1 = positiv, 0 = negativ)
Vigilanzreduktion**

Bild 4-11 Zustandsdiagramm (grob) Teil-(Semi-Hoch-)Automatisiert mit Fahrerüberwachung (ohne HMI-Konzept)

4.2.4 Hochautomatisierte Fahrerassistenzsysteme (Stufe 3)

Assistenzsysteme der Automatisierungsstufe 3 (Hochautomatisierte Fahrerassistenzsysteme) übernehmen vollständig für einen bestimmten Anwendungsfall und Zeitraum die wirkbezogene Längs- und Querführung eines Fahrzeuges.

Im Gegensatz zur Stufe 2 (Teilautomatisiert) muss der Fahrer das System nicht mehr ständig überwachen; d.h., der Fahrer ist für eine gewisse Zeit out of the loop. Eine Übersteuerbarkeit des Systems durch den Fahrer ist jedoch jederzeit möglich.

Im Fall einer Fehlfunktion des Systems (Systemgrenzen, externe Einflüsse, Ausfall, Degradation etc.) erfolgt eine Warnung und Fahrerübernahmeaufforderung mit einer entsprechenden Zeitreserve (Vorlaufzeit).

Systeme der Stufe 3 stehen bekanntlich zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht zur Verfügung.

Automobil- und Zulieferindustrie entwickeln und testen jedoch sehr intensiv hochautomatisierte Systeme (Versuchsfahrzeuge als Prototypen) wie z.B. Stauchauffeur, Autobahnchauffeur oder Parkhauspilot.

Es ist davon auszugehen, dass trotz der noch vorhandenen erheblichen technischen und rechtlichen Herausforderungen im Kontext Rahmenbedingungen und Absicherungsstrategien – je nach Systemausprägung – solche Systeme in den nächsten Jahren schrittweise optional für einen bestimmten Anwendungs- und Geschwindigkeitsbereich, bevorzugt für Richtungsfahrbahnen, zur Verfügung stehen werden.

Hochautomatisierte FAS der Stufe 3 und deren technologische Herausforderungen stellen einen wichtigen Schritt zum autonomen Fahren und kognitiven Automobil dar.

Hochautomatisiertes Fahren auf der Autobahn

Versuchsfahrzeuge zum hochautomatisierten Fahren auf der Autobahn werden gegenwärtig von der Automobil- und Zulieferindustrie in unterschiedlicher technologischer Ausprägung auf der Autobahn getestet.

D.h., die Versuchsfahrzeuge fahren auf bestimmten Teststrecken selbstständig, beachten die Verkehrsregeln, können langsamere Fahrzeuge entsprechend der eingestellten Wunschgeschwindigkeit überholen, verhalten sich kooperativ und erkennen in einem bestimmten Umfeld andere Verkehrsteilnehmer (Bild 4-12).



Aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Bild 4-12 Hochautomatisiertes Fahren auf der Autobahn (Rauch, et al., 2012)

Nach einer Potentialstudie, durchgeführt von BMW (Rauch et al., 2012), ist das hochautomatisierte Fahren auf der Autobahn durch die Kerntechnologien und die damit verbundenen Herausforderungen im Bereich

- Hochgenaue Positionsbestimmung
- Erstellung hochgenauer digitaler Karten
- Umfelderkennung und
- Fahrstrategie

geprägt (Bild 4-13).



Aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Bild 4-13 Kerntechnologien für das hochautomatisierte Fahren auf der Autobahn (Rauch et al., 2012)

Ohne auf die Details der vier technologischen Herausforderungen einzugehen, hier sei auf u.a. Rauch et al. (2012) verwiesen, konnte u.a. BMW im Rahmen einer Potentialstudie mit einem Versuchsfahrzeug, welches auf der A9 zwischen München und Ingolstadt (ca. 65 km, 2 bis 4 Spuren, dichter Verkehr, ohne Stau) getestet und evaluiert wurde, die Machbarkeit unter Beweis stellen.

Die Visualisierung des Umfelds mit Objekten und digitaler Karte während eines Überholmanövers im realen Verkehr zeigt Bild 4-14. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass 32 automatisierte Fahrspurwechselmanöver ausgeführt wurden, wobei vor einigen Überholmanövern der Zustand Lückenansteuerung links von der Fahrstrategie ausgewählt wurde, um so einen zunächst nicht möglichen Fahrspurwechsel, der während der gesamten Fahrt nie abgebrochen wurde, zu ermöglichen (Rauch et al., 2012). Damit konnte eine hohe Zuverlässigkeit hinsichtlich der Durchführung von Spurwechselmanövern nachgewiesen werden.

Zur Robustheit und redundanten Fahrzeugeigenlokalisierung mittels lidarbasierter Fahrstreifenenerkennung und Verfolgung von Fahrbahnmarkierungen auf Basis einer Belegungskarte als echtzeitfähiges Gesamtsystem siehe Homm, 2012.

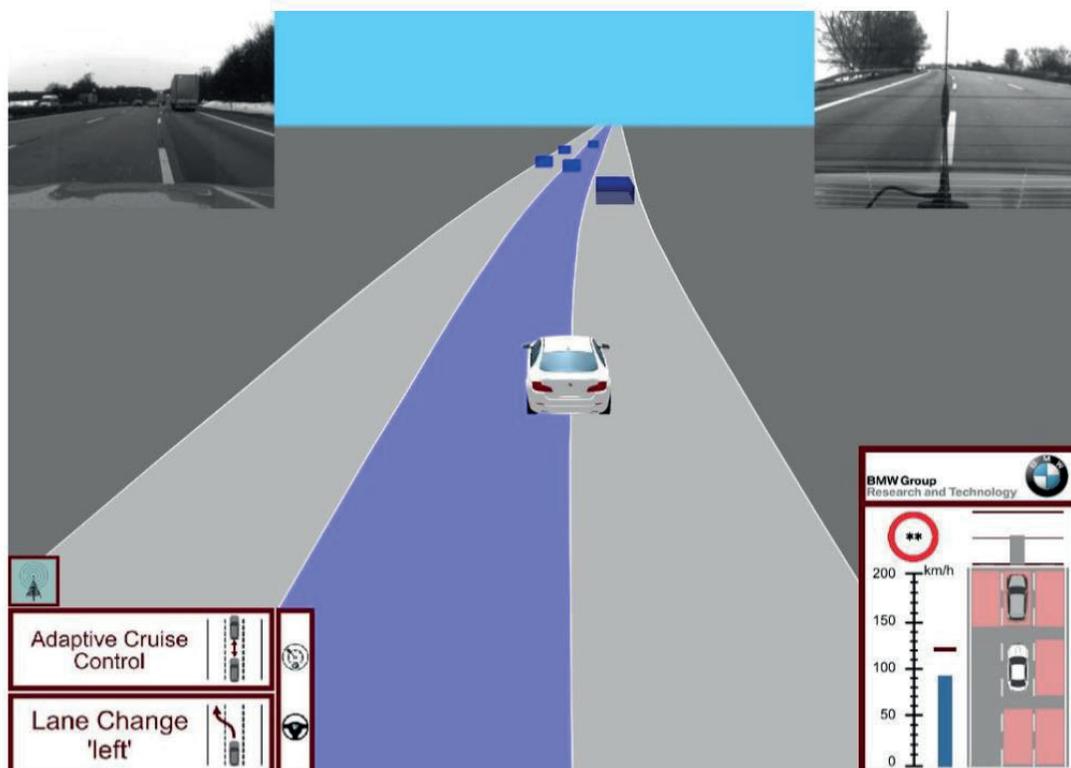


Bild 4-14 Visualisierung des Umfelds mit Objekten (blau) und digitaler Karte, sowie der Fahrstrategie (unten links und rechts) während eines Überholmanövers (Rauch et al., 2012)

Allerdings sehen die Autoren der Technologie-Potentialstudie, aufgrund der komplexen Situationen und Sonderereignissen im Straßenverkehr (geplatzter LKW-Reifen, verlorengegangene Ladung, Baustellen etc.) und die damit verbundenen Herausforderungen, entsprechenden Forschungsbedarf, zu deren sicheren Beherrschung.

Die im Zusammenhang mit dem hochautomatisierten Fahren verbundenen Spurwechselmanöver in mehr oder weniger komplexen Verkehrssituationen erfordern eine Strategie zur Trajektionsgenerierung und Durchführung zur Ansteuerung von Verkehrslücken. Diese können aufgrund ihrer Komplexität und mathematischen Hintergrund auch ansatzweise im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht dargestellt werden (siehe hierzu u.a. Dissertation Werling, 2010; Dissertation Kasper, 2012; Dissertation Ardelt, 2012; Patent DE 102013202053 A1 BMW, Erfinder Aeberhard, Klöden, Kämpchen, 2014).

Sicherheitskonzept für hochautomatisierte Fahrerassistenzsysteme

In seiner Dissertation mit dem vorgenannten Titel, die in Zusammenarbeit mit der Audi AG entstand, entwickelt Hörwick (2011) ein Funktionales Sicherheitskonzept zur Beherrschbarkeit der Fahreraufgabe bei Systemgrenzenüberschreitung für hochautomatisierte Fahrerassistenzsysteme und validiert dieses am Beispiel eines autonomen Stauassistenten in einem Versuchsfahrzeug der Audi AG.

Dabei unterscheidet Hörwick (2011) zwischen *vollautomatischen FAS*; Fahrer ist im Loop, alle Aktionen muss der Fahrer überwachen; bei Fehlverhalten des Systems und *Übernahmeaufforderung durch das System*, muss der Fahrer sofort korrigierend eingreifen und die Fahraufgabe vollständig übernehmen und *autonome Fahrerassistenzsysteme* (Fahrer out of the loop) entsprechend der Automatisierungsstufe 3 bzw. 4, d.h., bei Ausbleiben der Fahrerreaktion aufgrund einer Fahrerübernahmeaufforderung muss das System dazu in der Lage sein, das Fahrzeug in den sicheren Zustand zu überführen.

Die übergeordnete Strategie der Sicherheitskonzepte der zuvor definierten FAS zeigt Bild 4-15.

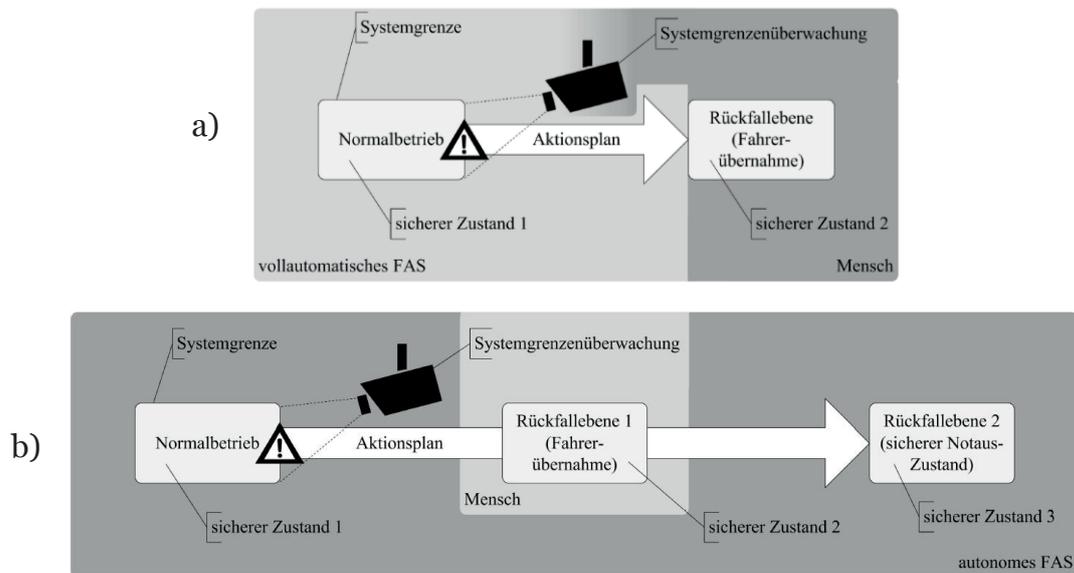


Bild 4-15 Strategie der Sicherheitskonzepte: a) vollautomatisch, b) autonom (Hörwick, 2011)

Wie aus Bild 4-15 hervorgeht, fungiert der Fahrer im Falle eines vollautomatischen FAS (entsprechend der Definition Hörwick, 2011) als Überwachungsinstanz und Rückfallebene. D.h., neben der systembezogenen Eigenüberwachung sind laut Hörwick eine *Fahrerüberwachung* und ein Interaktionskonzept erforderlich, das zu jederzeit überprüft, ob sich der Fahrer im Loop befindet. Ist z.B. aufgrund einer Vigilanzreduktion die Überwachung eingeschränkt oder ignoriert der Fahrer bewusst die Übernahmeaufforderung, so muss das FAS mittels eines Aktionsplanes deaktiviert werden.

Bei einem automatisierten FAS (Stufe 4) ist eine Fahrerüberwachung hingegen nicht erforderlich, da ausdrücklich zugelassen wird, dass der Fahrer Nebentätigkeiten nachgehen darf. Sämtliche Fehler der systembezogenen Eigenüberwachung und die des Umfelds müssen vom System erkannt und das Fahrzeug im Fehlerfall selbsttätig mittels eines entsprechenden Aktionsplanes (Eingriff in die Fahrzeuglängs- und Querführung) in den sicheren Zustand überführt werden, wobei zuvor eine Übernahmeaufforderung an den Fahrer erfolgt.

Die Strategien des von Hörwick (2011) entwickelten und modellierten Sicherheitskonzepts stehen im Kontext

- Systemgrenzenüberwachung (Ausfälle, Funktionsgrenzen, neg. externe Einflüsse, funktionale Plausibilität)
- Aktionspläne zur Erlangung eines sicheren Zustandes (Stillstand in eigener Spur, Aktivierung der Parkbremse) und
- Funktionales Architekturkonzept;

wurden in der Arbeit sehr ausführlich dargestellt, und in einem Stauassistent-Versuchsträger implementiert und erfolgreich validiert.

Interessant im Rahmen des Projektes ist die von Hörwick (2011) entwickelte Funktionale Architektur eines allgemeingültigen Sicherheitskonzeptes entsprechend Bild 4-16 welches, für beliebige hochautomatisierte FAS (Hörwick, 2011) gelten kann.

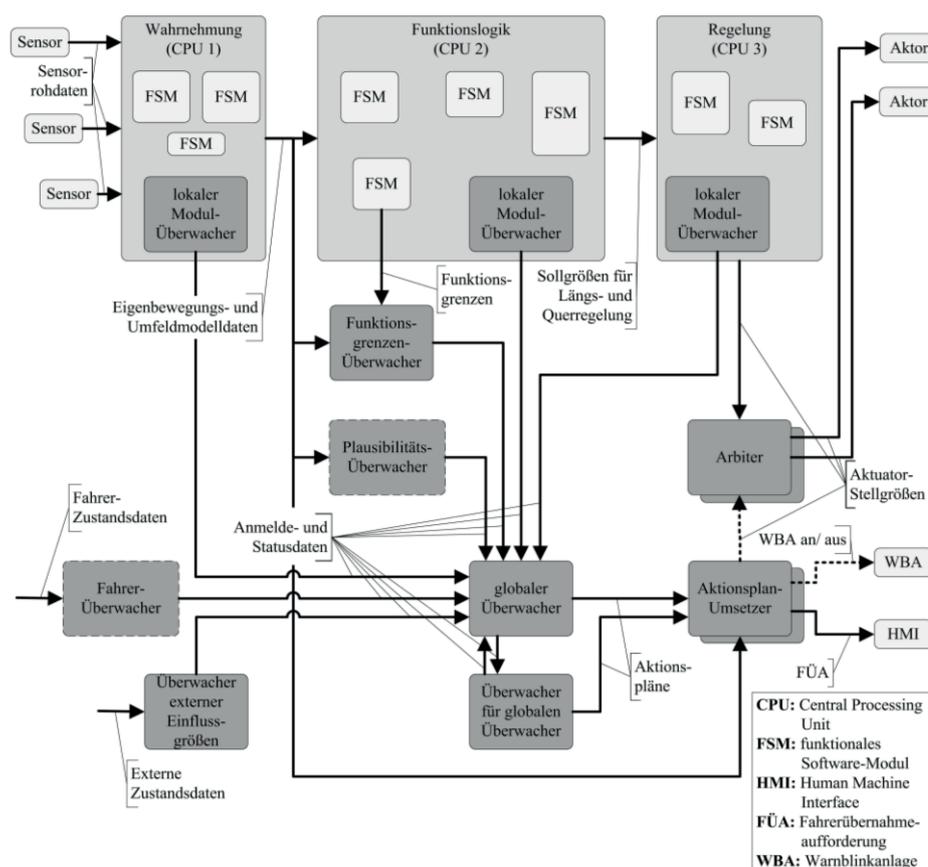


Bild 4-16 Funktionale Architektur des Sicherheitskonzeptes für vollautomatische und autonome Fahrerassistenzsysteme (Komponenten des Sicherheitskonzeptes in dunkelgrau) nach Hörwick (2011)

Wie aus Bild 4-16 hervorgeht, ist in dem Konzept neben der allgemeinen Architektur hochautomatisierter FAS (Wahrnehmung, Funktionslogik, Regelung) ein globaler Überwacher, der selbst überwacht wird, vorgesehen, an dem alle Überwachungssysteme (wie lokale Modulüberwacher, Funktionsgrenzenüberwacher, Fahrerüberwacher, etc. siehe Bild 4-16) ihren aktuellen Status zyklisch senden.

Über den globalen Überwacher erfolgt, je nach Fehlerfall, eine gezielte Aktivierung des entsprechenden Aktionsplans nebst Aktionsplanumsetzer z.B. Warnblinken.

Ein Eingriff in die Längs- und Querführung erfolgt hingegen durch den Arbitrer (Schiedsrichter), der im Normalfall die Aktuatorenstellgrößen für die Fahrzeugführung (Regelung CPU3) weiterleitet (inaktiver Aktionsplan-Umsetzer). Fordert hingegen der Aktionsplan-Umsetzer eine Verzögerung, so erfolgt durch den Arbitrer ein Vergleich mit der CPU3-Regelung und der größte Wert (stationäre Verzögerung) zur Längsregelung wird ausgewählt und an die Bremsen (Bremsung oder Bremsung auf Ziel) weitergeleitet. Wird hingegen vom Aktionsplan-Umsetzer zusätzlich ein Lenkwinkel angefordert (Querregelung), so wird diese direkt an die Lenkung weitergegeben, da nicht konstatiert werden kann, welcher Lenkwinkel als sicher einzustufen ist (Hörwick, 2011).

Nachfolgende prinzipielle Darstellungen zeigen die von Hörwick et al. (2010) entwickelten Aktionspläne zur Erlangung eines sicheren Zustandes (Bild 4-17 und Bild 4-18).

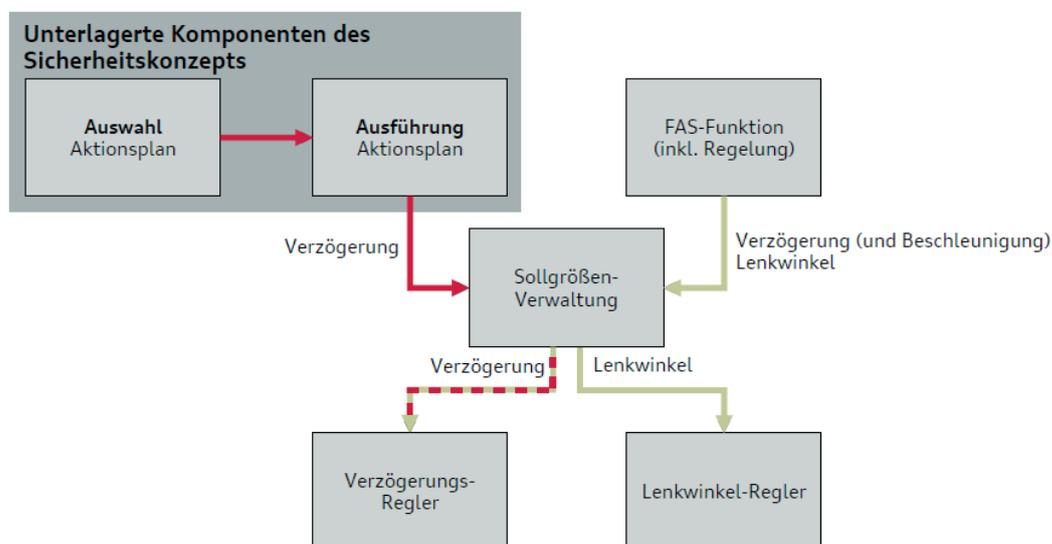


Bild 4-17 Aktionsplan Längsführung (Hörwick et al., 2010)

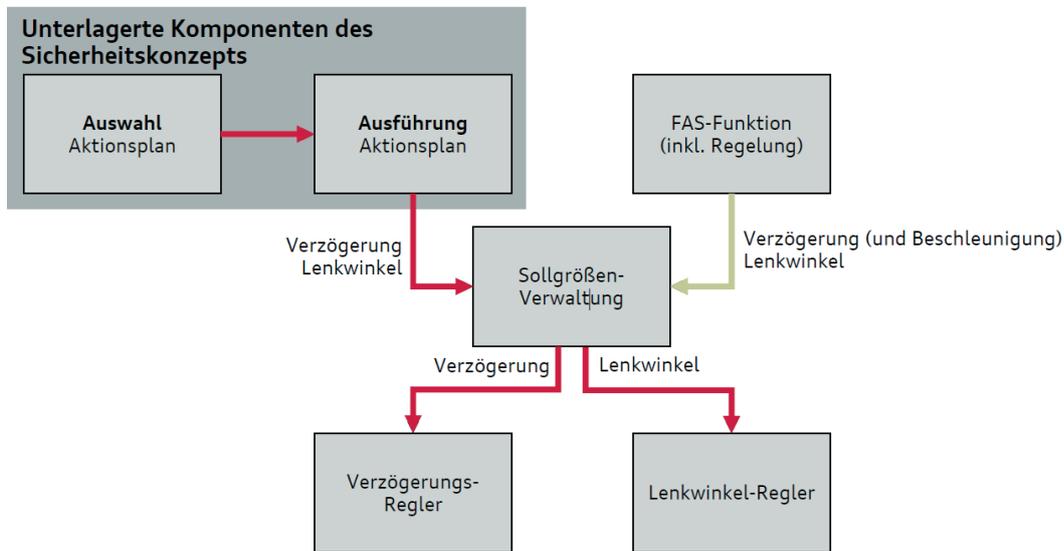


Bild 4-18 Aktionsplan Längs- und Querführung (Hörwick et al., 2010)

Als Fazit konstatiert Hörwick (2011) jedoch auch, dass besonders autonome FAS noch weit von einer Serienreife entfernt sind. Hierzu zählt die sensorische Wahrnehmung, Mechanismen zur Eigendiagnose von sensorischer Signalverarbeitung- und Funktionsalgorithmen, Erkennung invalider Sensorrohdaten etc. die im Rahmen der Plausibilitätsprüfung nicht erkannt werden; Notmodus beim Empfang komplexer Umfelddaten, Wahrnehmung dynamischer Objekte usw. verbunden mit zusätzlichen Kosten für die erforderliche redundante Auslegung der Inertial- und Umfeldsensorik sowie der Bremse und der Lenkung im Kontext der Systemsicherheit, besonders bei höheren Geschwindigkeiten und komplexem Verkehrsumfeld.

Als sicherer Zustand („Stillstand an einem sicheren Ort“ Isermann, 2010) definiert Hörwick den Notaus-Zustand eines Automobils, d.h., das Fahrzeug wird automatisch in einen sicheren Zustand manövriert. Der Aktionsplan nach Hörwick (2011) beinhaltet den *Stillstand in der eigenen Fahrspur*, da davon auszugehen ist, dass Systemfehler auftreten können, die den sofortigen Übergang zum Stillstand erfordern. Eine Überführung des Fahrzeuges an einen anderen Ort (z.B. Seitenstreifen) verbunden mit komplexen Fahrmanövern bei eingeschränkter Systemleistungsfähigkeit erscheint nicht realisierbar (Hörwick, 2011). Allerdings sind entsprechende Aktionspläne erfor-

derlich, die den zeitlichen Verlauf und die Fehlerqualität berücksichtigen, d.h., Aktivierung der Warnblinkanlage, Brems- und Lenkeingriff, die in ihrer Intensität und zeitlichen Abfolge entsprechend dem Fehler anzupassen sind (Hörwick, 2011).

Dies bedeutet auch, dass der nachfolgende Verkehr bei einem schweren Systemfehler und starkem Abbremsen entsprechend gewarnt werden muss.

Funktionale Sicherheitsarchitektur

Hochautomatisierte Systeme übernehmen - wie bereits erwähnt - für einen bestimmten Anwendungsfall und Zeitraum vollständig die Führung des Fahrzeuges, d.h., der Fahrer ist out of the loop und kann Nebentätigkeiten ausüben.

Im Fall eines Systemfehlers oder einer Systemgrenzenüberschreitung erfolgt eine Warnung und Übernahmeaufforderung verbunden mit einer zeitlichen Reserve für die Deaktivierung des Systems, die allerdings der Fahrer bewusst oder unbewusst ignorieren kann (Wegfall des Fahrers als Regler). In solchen Fällen ist es erforderlich, einen entsprechenden Aktionsplan zu aktivieren, der das Fahrzeug automatisiert in einen risikominimalen Zustand („Stillstand an einem sicheren Ort“) manövriert.

Unter dieser Prämisse lässt sich eine allgemeine Funktionale Sicherheitsarchitektur (kein technisches Sicherheitskonzept) entsprechend Bild 4-19 als Grobstruktur entwickeln.

Die Übertragung in ein entsprechendes Zustandsdiagramm zeigt Bild 4-20. Wie bereits erwähnt, ermöglichen Zustandsdiagramme eine stochastische Quantifizierung sicherheitsrelevanter Systemzustände unter Zugrundelegung eines stochastischen Prozesses.

Der in Bild 4-20, Zustand 5 aufgeführt Aktionsplan „Überführung eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand“ wird im Abschnitt 5.3 erläutert.

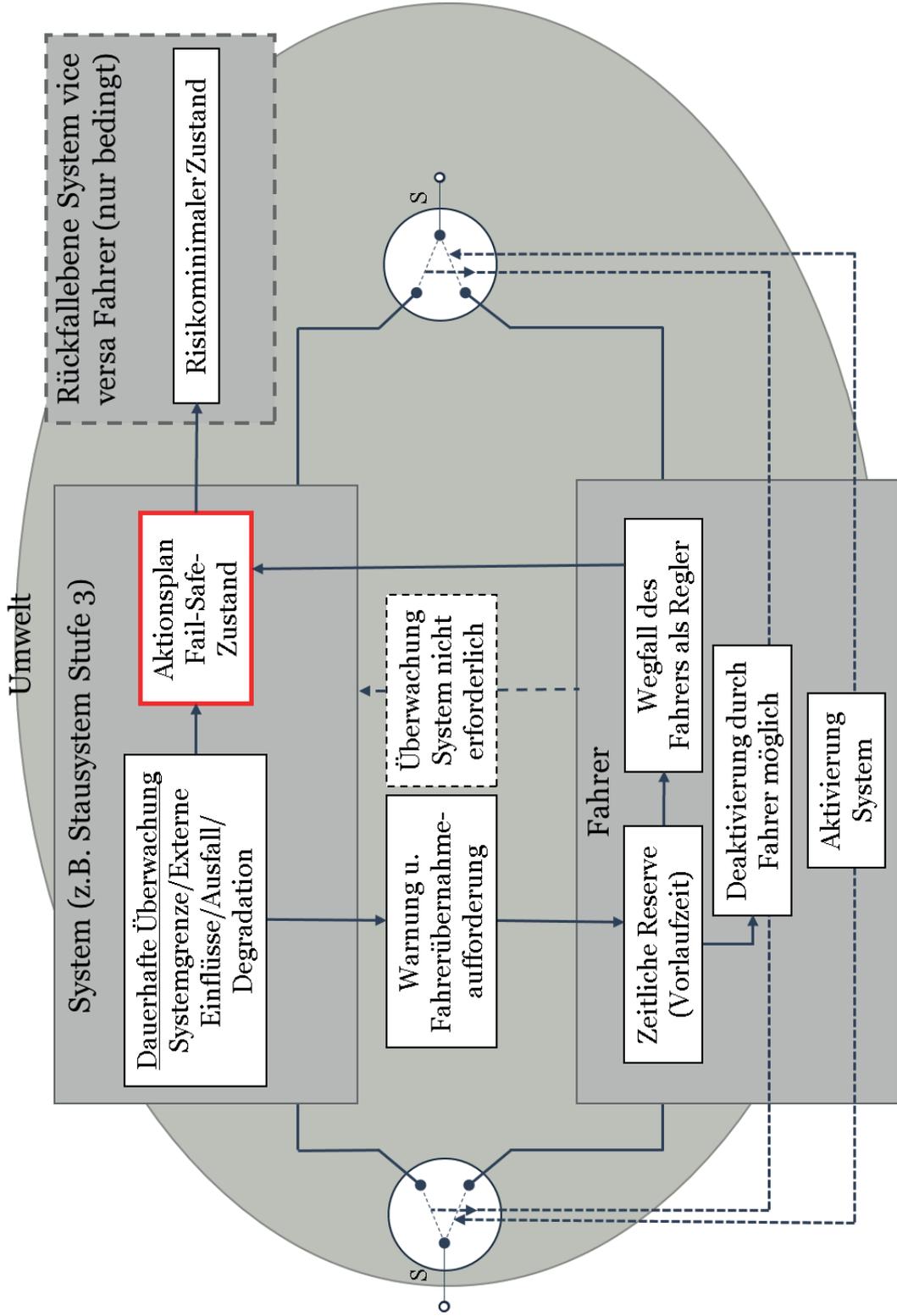


Bild 4-19 Funktionale Sicherheitsarchitektur (grob) Hochautomatisiert

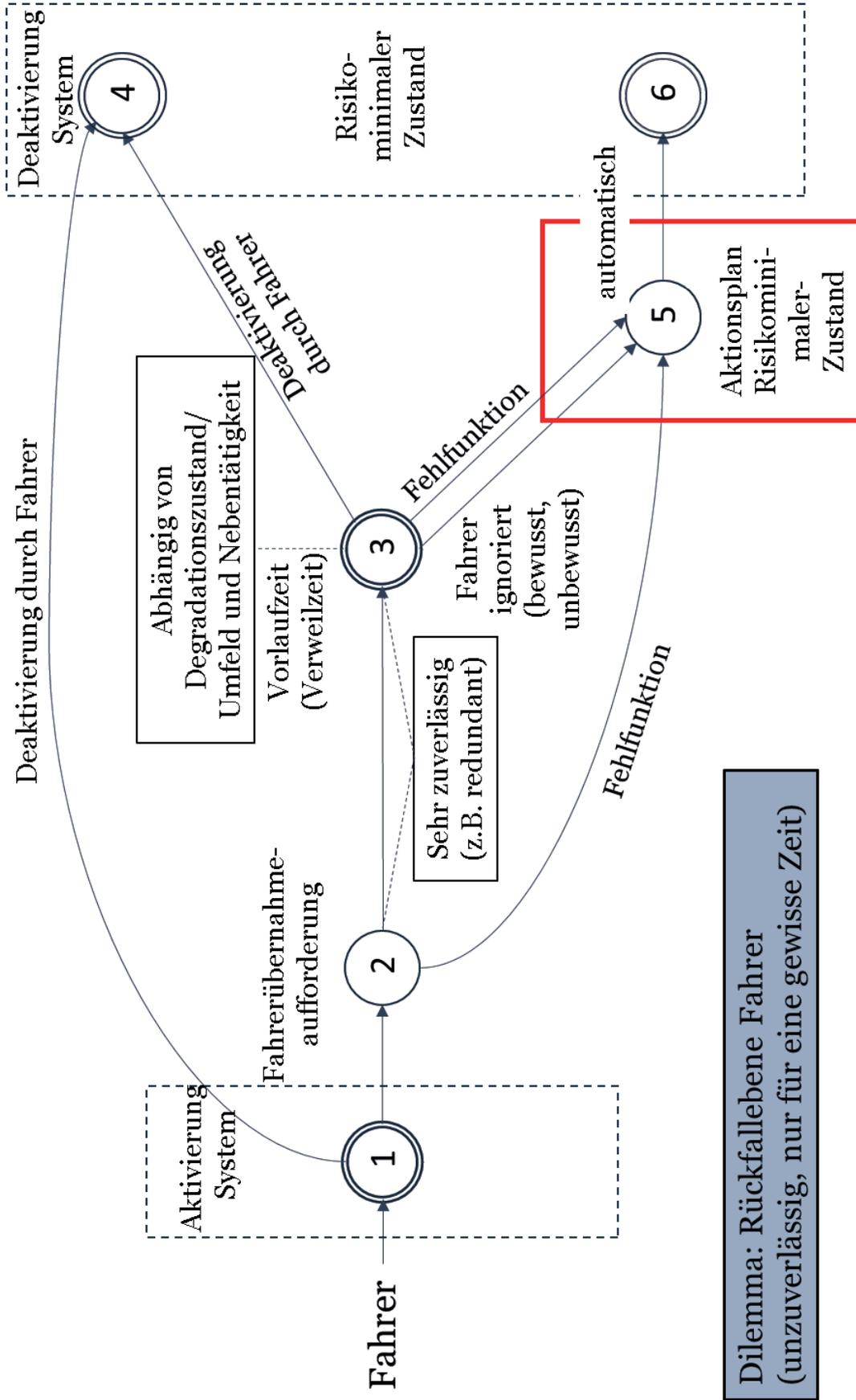


Bild 4-20 Zustandsdiagramm (grob) Hochautomatisiert

Dilemma Vorlaufzeit (Verweilzeit)

Neben der Gestaltung eines entsprechenden Sicherheitskonzeptes und Aktionsplänen für die Überführung eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand, stellt die Festlegung der Übernahmezeit beim hochautomatisierten Fahren ein Dilemma dar.

Im Rahmen einer aktuellen internationalen Literaturstudie von Radlmayr und Bengler (Lehrstuhl für Ergonomie, TU München, 2015) im Auftrag der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) und dem Verband der Automobilindustrie (VDA) hinsichtlich Gemeinsamkeiten, Limitationen und Generalisierbarkeit werden die Erkenntnisse den Themen

- Notwendiges Zeitbudget in Übernahmesituationen
- Einfluss fahrfremder Tätigkeiten
- Gestaltung der Übernahmeaufforderung
- Methodik

zugeordnet und bewertet; es handelt sich hierbei primär um publizierte Erkenntnisse aus zahlreichen nationalen und internationalen Simulatorstudien.

Zusammenfassend kamen Radlmayr und Bengler (2015) zu dem Ergebnis, dass zukünftige Forschungen sich den Fragen:

- „Werden Alternativen zum worst case Szenario „hoch beanspruchende Nebenaufgaben“ benötigt und wie sehen diese aus?“
- Ist eine Beeinflussung der Fahrer Verfügbarkeit unbedingt notwendig?
- Welchen Einfluss haben Verkehrssituation, Entscheidungsaufgabe und Fahrerzustand auf die Qualität der Übernahme?“
- Welches Potential liegt in der differenzierten Gestaltung der Systemrückmeldung und Übernahmeaufforderung?“

widmen, wobei ein Hauptaugenmerk auf die fahrfremden Tätigkeiten fokussiert werden sollte.

In diesem Zusammenhang sei beispielhaft auf die Dissertation von Damböck (2013) „Automationseffekte im Fahrzeug – von der Reaktion zur Übernahme“ verwiesen.

In einer Vorveröffentlichung von Damböck et al. (2012) „Notwendiges Zeitbudget in Übernahmesituationen“ konstatieren Radlmayr und Bengler (2015) die in nachfolgender Tabelle 4-3 bewerteten Ergebnisse:

Tabelle 4-3 Notwendiges Zeitbudget in Übernahme-situationen (Radlmayr, Bengler, 2015)
 TOR = Take over Request (Spätester Zeitpunkt der Fahrerübernahmeaufforderung vor Erreichen der Systemgrenze)

Automation Level	Typ der Studie	Zusammenfassung
L3	Statischer Fahrsimulator (n=32) Mean=42,5 years	<p>Study: Damböck, Farid, Tönert & Bengler, 2012</p> <p>Title: Übernahmezeiten beim hochautomatisierten Fahren</p> <p>Key Building Blocks: Zeitbereich der Übernahmeaufforderung, beidhändig auszuführende Nebenaufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Autobahnfahrt - Körperlich, visuell und kognitiv völlig abgelenkt - 3 Szenarien unterschiedlicher Komplexität (Fahrbahnmarkierung (FBM), Fahrbahnverengung (FBV), Fahrbahnteilung (FBT)) - Geschwindigkeit vor TOR: 100 km/h - Kurz vor dem Erreichen einer Systemgrenze erfolgt ein akustisches Signal → Übernahmeaufforderung. - TOR-Zeit von 4 s, 6 s und 8 s (für jedes Szenario) - FBM = fertigkeitbasiert, auch bei 4 s erfolgreiche Übernahme - FBV und FBT = regelbasiert und wissensbasiert: in beiden Szenarien nimmt die Gesamtzahl der Fehler mit zunehmender TOR-Zeit signifikant ab; erst bei 8 s ist kein signifikanter Unterschied zwischen der manuellen und der hochautomatisierten Fahrt nachweisbar (konservative Fail-Kriterien) - Annahme: Überfahren von Fahrstreifenmarkierungen ist unkritisch (Toenert et al.) → TOR-Zeit von 6 s ist noch ausreichend

Fortsetzung Tabelle 4-3 Notwendiges Zeitbudget in Übernahme-situationen (Radlmayr, Bengler, 2015)
 TOR = Take over Request (Spätester Zeitpunkt der Fahrerübernahmeaufforderung vor Erreichen der Systemgrenze)

		<p>- In komplexeren Situationen wirken sich kürzere TOR-Zeiten stärker auf das subjektive Empfinden aus als in einfacheren Situationen.</p> <p>Limitations: Eine Verallgemeinerung der gefundenen Übernahmezeiten ist aufgrund methodischer Einschränkungen und spezieller Situationen nicht ohne weitere Untersuchungen und Validierung möglich.</p>
--	--	---

4.2.5 Vollautomatisierte Fahrassistentenfunktionen (Stufe 4)

Vollautomatisiertes Fahren (Stufe 4) ist, wie in Tabelle 3-2 charakterisiert, durch eine vollständige automatisierte Fahrzeugführung (Längs- und Querführung) für einen definierten Anwendungsfall (z.B. Autobahn-pilot) und alle damit verbundenen Szenarien gekennzeichnet. Eine Überwachung des Systems durch den Fahrer ist nicht erforderlich; Systemgrenzen werden erkannt und im Fehlerfall wird das Fahrzeug, unabhängig von der jeweiligen Situation und Betriebszustand, automatisiert in den risikominimalen Zustand überführt.

Wird das definierte Anwendungsfeld verlassen, so wird der Fahrer schrittweise aufgefordert (Sprachausgabe, LED-Band etc.) die manuelle Fahrzeugführung wieder zu übernehmen. Die Festlegung eines zeitlichen Rahmens wird zurzeit noch erforscht, erste Ansätze gehen von ca. einer Minute aus. Dabei erfolgt die Übernahmeerkennung durch beidhändige sensorische Erfassung des Lenkrades z.B. mittels kapazitiver Folien (siehe hierzu z.B. neues Handerkennungssystem für Lenkräder, Guttersberg Consulting GmbH, Sievernich, 2015).

Die Überführung in den risikominimalen Zustand erfolgt auch dann, wenn der Fahrer einer Übernahmeaufforderung mit einer entsprechenden Zeitreserve nicht rechtzeitig nachkommt. Nach wie vor kann der Fahrer das System zu jeder Zeit übersteuern (z.B. wie beim ACC durch Betätigen der Bremse, Übersteuern durch Betätigung des Gaspe-

dals und in der Querführung durch Übersteuern des zusätzlich aufgebrauchten Lenkmomentes) und in den manuellen Fahrmodus (Driver Only, Stufe 0) verbunden mit einer systembedingten Zeitreserve überführen.

Das vollautomatisierte Fahren ist gegenwärtig Forschungsgegenstand. Entsprechende Versuchsfahrzeuge werden zwischenzeitlich von OEMs und deren Zulieferern, bevorzugt auf ausgewählten Straßentypen und Testgeländen mit einer entsprechenden Infrastruktur getestet.

Funktionale Sicherheitsarchitektur

Entsprechend der Charakterisierung der vollautomatisierten Fahrfunktion lässt sich, wie zuvor schon beim hochautomatisierten Fahren dargestellt, eine grobe Funktionale Sicherheitsarchitektur entsprechend Bild 4-21 entwickeln.

Das zugehörige Zustandsdiagramm zeigt Bild 4-22.

Wie aus den Darstellungen ersichtlich, sind an die Systemarchitektur und deren on-board und off-board Komponenten im Sinne eines RAMS-Prozesses (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) erhebliche Mindestanforderungen zu stellen, um ein vollautomatisiertes Fahrzeug im Fehlerfall z.B. durch Degradation in den risikominimalen Zustand zu überführen.

Dabei ist die Systemarchitektur durch ein entsprechendes diversitäres Redundanzkonzept für die essentiellen Teilsysteme und Baugruppen wie z.B. Inertial- und Umfeldsensorik, Bremse und Lenkung – zur Gewährleistung einer zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht normativ festgelegten Sicherheit und Zuverlässigkeit im Kontext eines HMI-Konzeptes – zu gestalten.

Dabei kann eine Bewertung im Sinne einer Absicherung wie in anderen Hochtechnologiebereichen (Luftfahrt, Reaktorsicherheit) zusätzlich mittels stochastischer Methoden erfolgen.

Hierzu ist jedoch anzumerken, dass im Bereich Automotive stochastische Methoden (von statistischen Felddatenanalysen abgesehen) zur Systembewertung der deterministischen hochredundanten Systemarchitekturen noch nicht ausreichend genutzt werden.

Es liegt auf der Hand, dass der finanzielle Aufwand für die Systemarchitektur der vollautomatisierten Fahrfunktion nicht unerheblich sein wird.

Des Weiteren ist die Interaktion des Systems mit dem Fahrer und deren Gestaltung im Rahmen eines HMI-Konzeptes von großer Bedeutung (Human Reliability).

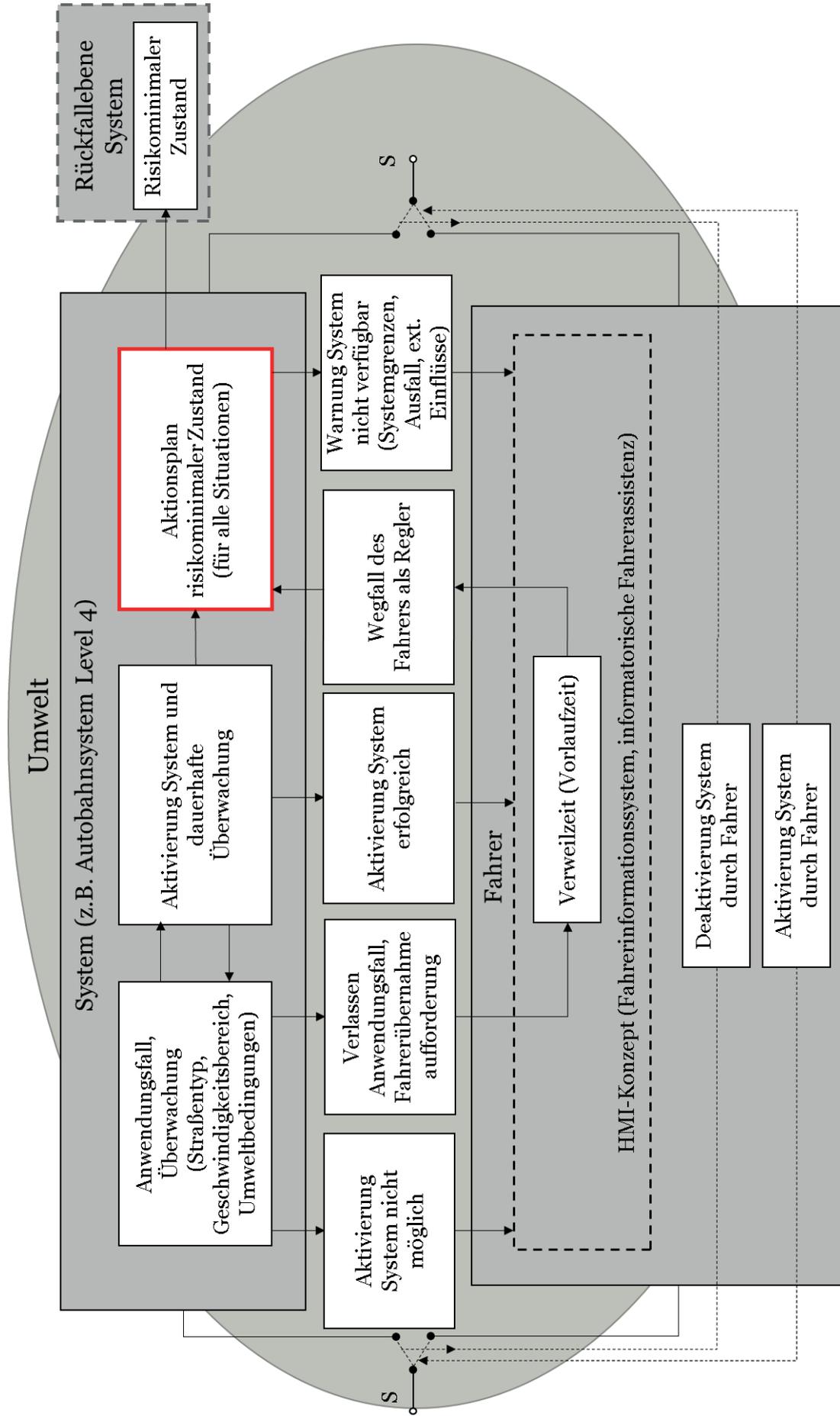
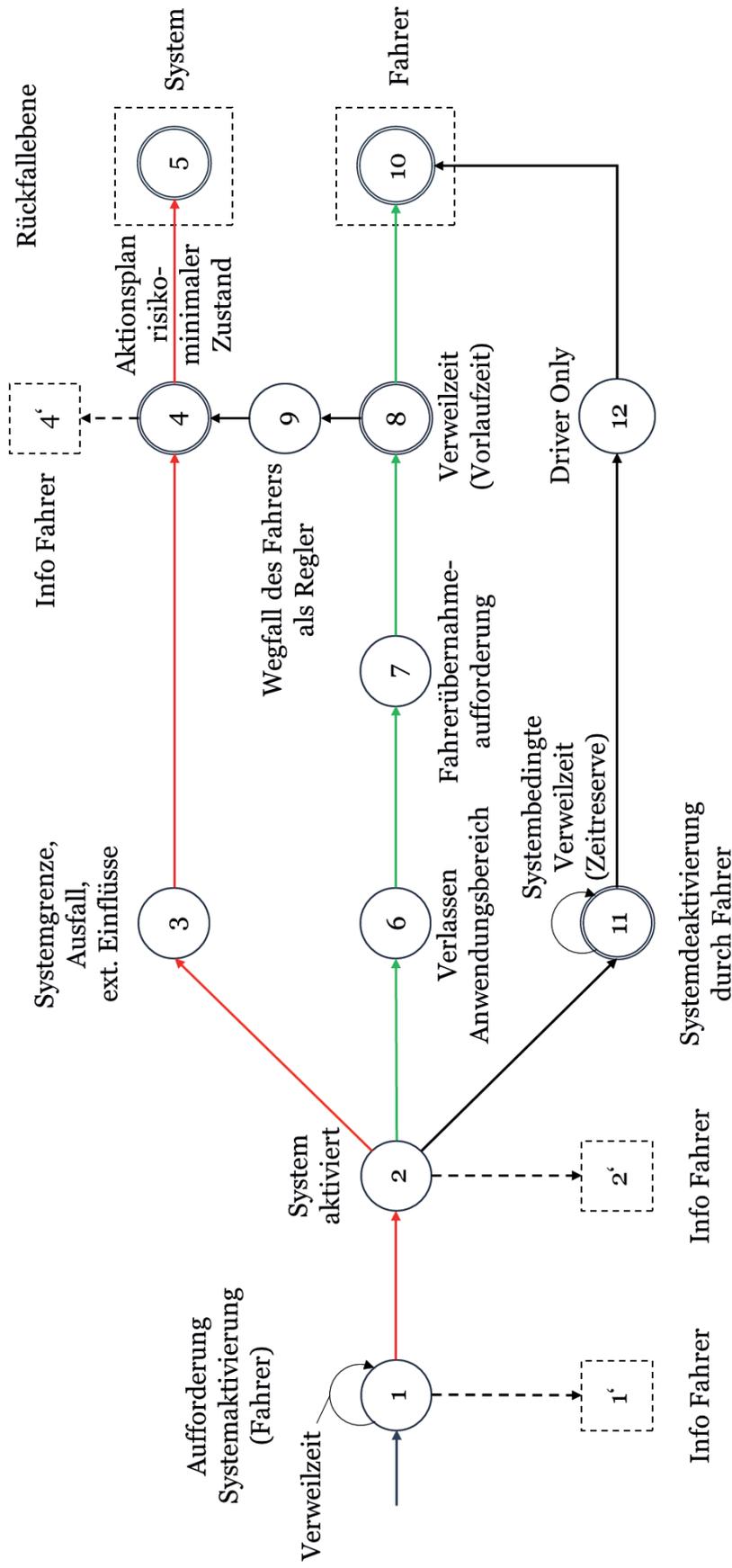


Bild 4-21 Funktionale Sicherheitsarchitektur (grob) Vollautomatisiert



- Architektur (on-board, off-board) des Systems (**Pfad 1-2-3-4-5**) muss als RAMS-Prozess unter Berücksichtigung Life Cycle Costs optimiert werden
- Auswahl hochzuverlässiger Komponenten und Baugruppen, hoher Redundanzgrad (Redundanzkonzept)
- => **Dilemmata: Mindestanforderung Architektur, Kosten**
- Verlassen Anwendungsbereich mit Fahrerübernahmeaufforderung, Fahrerzustand (**Pfad 6-7-8-10**)
- Architektur des HMI-Konzept muss verlässlich (verfügbar) im Sinne einer Informationsredundanz gestaltet werden (Interface-Gestaltung)
- => **Dilemma: Zeit für Übernahmeaufforderung (eine Minute ?)**

Bild 4-22 Zustandsdiagramm (grob) Vollautomatisiert

4.3 Wirkweise C

Die Wirkweise C charakterisiert intervenierende FAS, die – wie bereits dargelegt – in unfallgeneigten Situationen temporär unmittelbar auf die Fahrzeugsteuerung (Längs- und Querführung) wirken.

Die von Gasser und Auerswald (2016) als Diskussionsentwurf eingeführte neue, erstmalige Klassifizierung für aktive Sicherheitssysteme (u.a. Not- und Ausweichfunktionen) legt dabei die Güte des Fahrers als Regler aufgrund seines wissens-, regel- und fertigkeitbasierten Verhaltens (Rasmussen, 1983) zugrunde.

Entsprechend dem Drei-Ebenen-Modell (Bild 3-1) wirken die Funktionen primär auf der Bahnführungsebene, wobei eine Wirkung (und/oder) auf der Stabilisierungsebene nicht ausgeschlossen ist (z.B. Brems-Ausweich-Assistent).

Des Weiteren ist nicht ausgeschlossen, dass bestimmte Funktionen wirkweisenübergreifend auch die Wirkweisen A und B tangieren.

Aufgrund der Bedeutung der aktiven Sicherheitssysteme für die Verkehrssicherheit sollte allerdings die Architektur unabhängig von den übergreifenden Funktionen der Wirkweise B konzeptualisiert und möglichst redundant-diversitär aufgebaut sein.

Nachfolgend zeigt Tabelle 4-4 die von Gasser und Auerswald (2016) erstmalig eingeführte neue Klassifizierung automatisierter Fahrfunktionen entsprechend der Wirkweise C.

Beispielhaft erfolgt nachfolgend eine kurze Darstellung aktiver Sicherheitssysteme mit maschineller Wahrnehmung (Notbremsassistent, automatisiertes Notbremssystem, Brems-Ausweich-Assistent) und die damit verbundenen Risikopotentiale. Entsprechend der Zielsetzung des Projektes wird der medizinisch indizierte Nothalteassistent ausführlich behandelt, wobei für diesen in Analogie zur Klassifizierung der Wirkweise B, auch die Darstellung einer groben Sicherheitsarchitektur einschließlich einem hieraus adaptierten Zustandsdiagramm entwickelt wurde. In diesem Zusammenhang wäre es, zur Schärfung der Wirkweise C, zukünftig wünschenswert, auch für diese Klassifizierung entsprechende übergreifende grobe Sicherheitsarchitekturen einschließlich Zustandsdiagramme zu entwickeln.

Tabelle 4-4 In Unfallgeneigten Situationen temporär intervenierende Funktionen (Gasser; Auerswald, 2016)

Level α - γ	I. Leveldefinition: Abstrakte Gefahr (Wirkweise C)	II. Leveldefinition: Konkrete Gefahr (Wirkweise C)
Level α_I	Fahrerunterstützung durch korrigierenden Eingriff.	Level α_{II} Fahrerinitiierte Unterstützung durch Intensivierung einer Fahrerhandlung. Umsetzung durch funktionsseitige Überlagerung.
Level β_I	Ausfall des Fahrers als „Regler“ (ohne umfassenden Situationsüberblick): Steuerungsübernahme durch Funktion mit dem Ziel der Überführung in einen risikominimalen Zustand (bzgl. dritter VT: kooperationsabhängig).	Level β_{II} Fahrereretzender Eingriff mit dem Ziel der Auflösung unmittelbar wirksamer Gefahr durch kurz wirkenden Systemeingriff. Fahrerübernahme im Anschluss erforderlich.
Level γ_I	Ausfall des Fahrers als „Regler“ (umfassende maschinelle Wahrnehmung): Steuerungsübernahme durch Funktion zur Auflösung abstrakter Gefahr. Überführung in risikominimalen Zustand oder sonstig angemessene Steuerungsstrategie (bzgl. dritter VT: kooperationsabhängig aber nicht unmittelbar angewiesen).	Level γ_{II} Systemseitige Steuerungsübernahme zur Auflösung der konkreten Gefahr. Funktionsseitig kontrollierte Fahrerübernahme im Anschluss. Andernfalls ggf. fließender Übergang zu Level γ_I .

4.3.1 Notbremsassistent

Notbremsassistenten als aktive Sicherheitssysteme konditionieren das Bremssystem eines Ego-Fahrzeuges im Falle einer möglichen Kollision mit einem Kollisionsobjekt im Längsverkehr automatisiert vor; sie unterstützen den Fahrer im Rahmen der Kollisionsvermeidung und leisten einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung von Unfällen (aktive Sicherheit) und der Unfallschwere (passive Sicherheit). Notbremsassistenten werden durch das Starten des Fahrzeuges aktiviert.

Nach einer Recherche (Basis Euro NCAP, New Car Assessment Programme) von Jentsch (2014) werden Notbremsassistenten optional im geringen Geschwindigkeitsbereich zwischenzeitlich serienmäßig verbaut (Tabelle 4-5).

Dabei ist zu beachten, dass aktuell serienmäßig verfügbare Systeme (z.B. Volvo), je nach Hersteller, zwischenzeitlich auch optional für höhere Geschwindigkeitsbereiche ausgelegt sind, z.B. das System PRE SAFE Bremse steht aktuell bis zu einer Geschwindigkeit von 200 km/h zur Verfügung und BAS PLUS reagiert auf stehende Hindernisse im Fahrweg bis 70 km/h (siehe hierzu auch Abschnitt 4.3.2).

Tabelle 4-5 Überblick Notbremsassistenten in Serienfahrzeugen (Jentsch, 2014)

Systemname (Hersteller)	Sensorik für Fahrzeugumfeld	Warnmodalität			Autonome Unfallvermeidung	Erkennung stehender Ziele
		optisch	akustisch	haptisch		
Automatische Gefahrenbremsung (Opel)	Kamera + Radar	x	x	---	nein	ja
Active City-Stop (Ford)	LiDAR	---	---	---	bis $v_{\max} = 30$ km/h und $v_{\text{rel}} \leq 15$ km/h	ja
Forward Alert (Ford)	Radar	x	x	---	nein	nein
City-Notbremsassistent (Mazda)	Infrarot	---	---	---	bis $v_{\max} = 30$ km/h und $v_{\text{rel}} \leq 15$ km/h	ja
City Safety (Volvo)	LiDAR	---	---	---	bis $v_{\max} = 30$ km/h und $v_{\text{rel}} \leq 15$ km/h	ja
Collision Mitigation Brake System (Honda)	Radar	x	x	x	nein	nein
DAP - Notbremsassistent (BMW)	Kamera + Radar	x	x	---	bis 50 km/h	ja
Front Assist (Volkswagen)	Kamera + Radar	x	x	(x)*	bis 20 km/h	ja
Pre-Collision Safety System (Lexus)	Kamera, Radar, Infrarot	x	x	---	bis 20 km/h	ja
PRE-SAFE mit BAS PLUS Bremsen (Mercedes-Benz)	Kamera + 3 x Radar	x	x	---	bis 50 km/h	ja
Pre Sense Front Plus (Audi)	Kamera + 2 x Radar	x	x	x	bis 20 km/h	ja

* haptische Warnung nur im Bereich zwischen 30 und 200 km/h

Eine Weiterentwicklung (Forschungsbereich) stellen Kollisionsvermeidungssysteme (Brems-Assistenzsysteme) dar, die in die Längs- und Querdynamik eines Fahrzeuges eingreifen (Reinisch, 2012, Weber, 2012, Maurer, 2013) und Auffahrkollisionen vollständig verhindern sollen.

Wie aus Tabelle 4-5 hervorgeht, sind verschiedene Systemausprägungen mit unterschiedlicher Sensorik, Warnstrategien, Zielkategorien und Geschwindigkeitsbereiche gegenwertig verfügbar. Die Systeme reagieren vollständig automatisiert, abhängig vom Geschwindigkeitsbereich.

Der Manöververlauf stellt sich wie folgt dar (Bild 4-23):

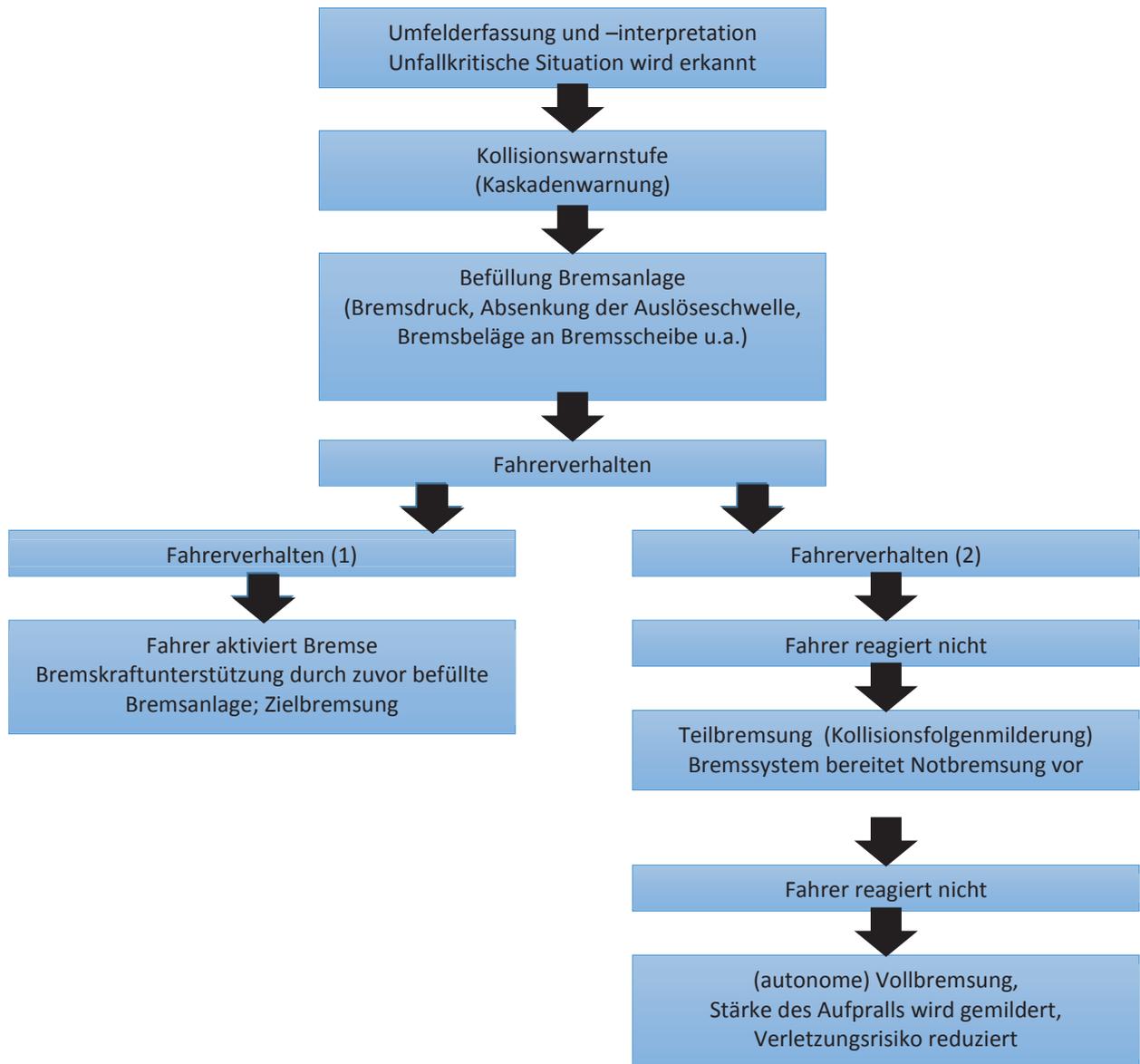


Bild 4-23 Funktionswirkablaufdiagramm eines Notbremsmanövers

Risikopotentiale

- Irrtümlicher Bremsingriff
- Umfelderfassung (Exterozeption) ist durch Unsicherheiten geprägt
- Zuverlässigkeit der Brems- und Warnsysteme und Funktionssicherheit der Hard- und Software u.U. nicht ausreichend
- Korrektheit der zeitlichen Eingriffsentscheidungen (Auslöseschwelle) problematisch und mit Unsicherheiten verbunden (Falschauslöserisiko) und beeinflusst die Unfallfolgeschwere (Eingriffsstrategie)

- Auslösebedingungen der Funktionen nicht immer korrekt
- Auswirkungen auf die Insassen durch plötzliche Vollbremsung
- u.U. Zunahme der Unaufmerksamkeit (Vigilanz, Gewöhnungseffekt) bei Gefahrensituationen.

4.3.2 Automatisches Notbremssystem

Das bei einer Vollbremsung in der letzten Phase autonom wirkende automatische Notbremssystem, als Kombination von ACC und Bremsassistent der Stufe 0, soll eine Kollision mit einem vorausfahrenden Fahrzeug verhindern (aktive Sicherheit) und wenn nicht möglich, die Kollisionsfolgen (passive Sicherheit) mildern.

Entsprechende aktive Notbremssysteme (auch Gefahrenbremssysteme genannt) als Erweiterung des Notbremsassistenten werden zwischenzeitlich von verschiedenen Herstellern angeboten und können im Rahmen des Projektes der Strategie „Anhalten im eigenen Fahrstreifen“ zugeordnet werden.

Beispielhaft wird nachfolgend die Wirkweise und Eingriffsstrategie (Auslöseschwelle) anhand des dreistufigen aktiven Notbremssystems „PRE-SAFE-Bremse“ (Bremsassistent PLUS, Stufe 0, und Abstandsregeltempomat DISTRONIC, Stufe 1), welches – im Gegensatz zu den Notbremsassistenten – auch im hohen Geschwindigkeitsbereich (7 km/h bis 200 km/h) arbeitet, dargestellt.

Als wichtige Kenngröße zur Bewertung der Eingriffsstrategie und der Auslöseschwellen wird in der Regel die Zeit t_{TTC} bis zur Kollision (Time-To-Collision, TTC) zwischen zwei Fahrzeugen (gleiche Spur) als Quotient von Fahrzeugabstand d und Relativgeschwindigkeit (Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Ego-Fahrzeug v_e und vorausfahrendes Fahrzeug v_c)

d.h.,

$$t_{TTC} = \frac{d}{v_e - v_c} \quad \forall (v_e - v_c) > 0$$

zugrunde gelegt. Dabei wird eine $t_{TTC} < 1,5$ s als sicherheitskritisch angesehen.

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass eine Bewertung der Sicherheit einer Folgefahrt über eine Zeitlücke t_{THW} (Time Headway, THW) als Quotient vom Abstand d und Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges v_e

$$t_{THW} = \frac{d}{v_e}$$

erfolgt (siehe ACC). Dabei wird eine $t_{THW} < 1$ s als sicherheitskritisch und Werte $t_{THW} > 2$ s als sicher eingestuft (siehe hierzu auch Sicherheitsabstand im Straßenverkehr als halber Wert der Geschwindigkeit, entspricht $t_{THW} = 1,8$ s ; Verwarngeld $0,9 \leq t_{THW} \leq 1,8$ s; Bußgeld $t_{THW} < 0,9$ s).

Die „PRE-SAFE-Bremse“ (Daimler) ist mit zwei Nahbereichsradar-Systemen (hinter der Stoßfängerverkleidung), Abtastwinkel 80 Grad, Reichweite 30 m und ein Fernbereichsradarsystem, Abtastwinkel 18 Grad bei 200 m und Abtastwinkel 60 Grad, bei 60 m zur Detektion des Zielobjektes ausgestattet. Neuere Generationen von Fernbereichsradarsystemen verfügen über eine spezielle Walzentechnik mit deren Hilfe es möglich ist, sowohl den Fern- als auch den Nahbereich zu erfassen und datentechnisch entsprechend auszuwerten.

Nachfolgende Darstellung (Bild 4-24) zeigt die von Daimler zugrunde gelegten Time to Collision-Auslöseschwellen.

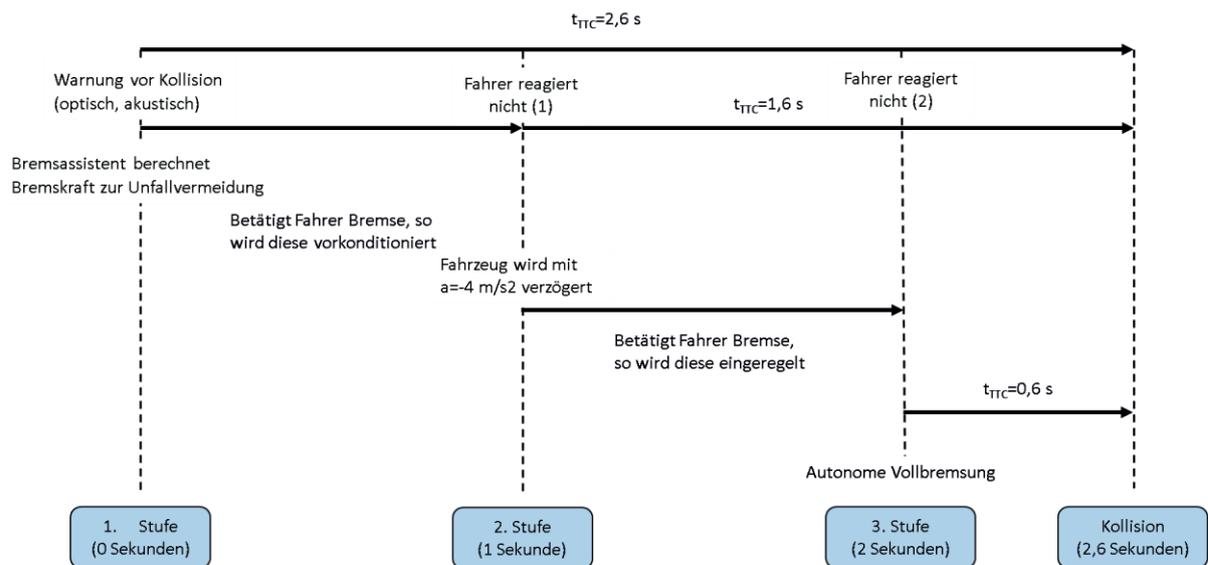


Bild 4-24 Time to Collision – Auslöseschwellen

Im Falle einer Notbremsung (ab 50 km/h) durch den Fahrer oder den Bremsassistenten (BAS) warnt ein adaptives Bremslicht durch schnelles Blinken den nachfolgenden Verkehr. Im Falle einer Notbremsung (ab ca. 70 km/h) wird ebenfalls ein schnell blinkendes Bremslicht ausgelöst sowie die Warnblinkanlage im Stillstand aktiviert.

Neben der vorstehend erläuterten Eingriffsstrategie (Auslöseschwellen) der „PRE-SAFE-Bremse“ von Daimler, zeigt in Gegenüberstellung Tabelle 4-6 weitere Strategien

zu den Auslöseschwellen optional verbauter Gefahrenbremssysteme anderer Hersteller ($t_{tc} = t_{TTC}$).

Tabelle 4-6 Gegenüberstellung der Auslösestrategien von Gefahrenbremssystemen mehrerer Hersteller (Reinisch, 2012)

Hersteller	Vorwarnung		Teilverzögerung		Vollverzögerung Schwelle
	Schwelle	Ausprägung	Schwelle	Stärke	
AUDI	$t_{tc} = 2,1 \text{ s}^*$	optisch-akustisch	$t_{tc} = 1,7 \text{ s}^*$	$-3,0 \text{ m/s}^2$	$t_{tc} = 0,5 \text{ s}$
	$t_{tc} = 1,9 \text{ s}^*$	haptisch (Bremsruck)	$t_{tc} = 1,1 \text{ s}^*$	$-5,0 \text{ m/s}^2$	
BMW	$t_{tc} = 3,4 \text{ s}^*$	optisch	$t_{tc} = 1,7 \text{ s}^*$	$-3,0 \text{ m/s}^2$	-
	$t_{tc} = 1,7 \text{ s}^*$	akustisch			
Honda	$t_{tc} = 3,0 \text{ s}$	optisch-akustisch	$t_{tc} = 2,0 \text{ s}$	$-2,5 \text{ m/s}^2$	-
	$t_{tc} = 2,0 \text{ s}$	haptisch (Gurtrucken)	$t_{tc} = 1,0 \text{ s}$	$-6,0 \text{ m/s}^2$	
Mercedes-Benz	$t_{tc} = 2,6 \text{ s}$	optisch-akustisch	$t_{tc} = 1,6 \text{ s}$	$-4,0 \text{ m/s}^2$	$t_{tc} = 0,6 \text{ s}$
Volvo	$t_{tc} = 2,3 \text{ s}^*$	optisch-akustisch	-	-	$t_{tc} = 1,0 \text{ s}$

* empirische Auslöseschwelle

Risikopotentiale

Die im Zusammenhang mit Gefahrenbremssystemen bestehenden Auslöserisiken aufgrund der vorgelagerten und verstärkten Bremsung in Folge einer möglichen Kollision identifiziert Reinisch (2012) mit

- Falschauslöserisiko,
- Falschwarnrisiko und
- Folgekollisionsrisiko.

Für die Minimierung dieser Risiken entwickelt Reinisch (2012) eine risikoadaptive Eingriffsstrategie unter Berücksichtigung des Fahrerverhaltens und der Verkehrssituation. Des Weiteren bestehen Risiken durch Ausfall der entsprechenden Hard- und Software des Gefahrenbremssystems.

Eine Falschauslösung des Gefahrenbremssystems führt erfahrungsgemäß zu einem Akzeptanzverlust verbunden mit einer Deaktivierung des Bremssystems.

Nach Reinisch (2012) ist das Falschauslöserisiko durch die Eintrittshäufigkeit bei konstantem Schadensausmaß pro gefahrene Kilometer definiert.

Ein nicht technisch bedingtes Falschauslöserisiko (Reinisch, 2012) entsteht aufgrund der Handlungsalternative „Bremsen“ oder „Ausweichen“ bei einer bevorstehenden Kollision mit einem Kollisionsobjekt unter der Voraussetzung, dass ein von der Differenzgeschwindigkeit abhängiger Ausweichraum zur Verfügung steht, dabei kann der erforderliche Ausweichweg durch den erforderlichen Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug ersetzt werden (Bild 4-25)

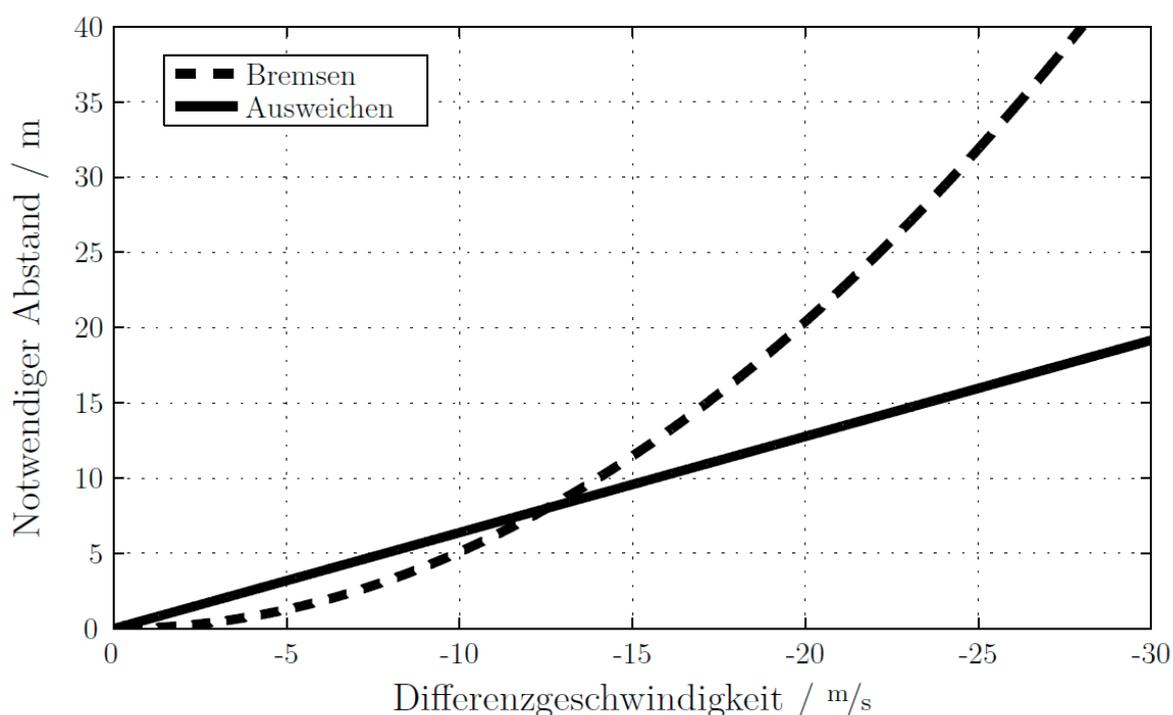


Bild 4-25 Notwendiger Abstand für kollisionsvermeidendes Bremsen und Ausweichen in Abhängigkeit der Differenzgeschwindigkeit (Reinisch, 2012)

Ein Zielkonflikt (*Eingriffsdilemma*) ergibt sich jedoch dadurch, dass ein Fahrer, der ein Überholmanöver plant, durch einen physikalisch gesehen korrekten, plötzlichen Bremseneingriff mit einer Vollverzögerung zur Kollisionsvermeidung, vom System überstimmt wird und u.U. sein Überholmanöver abbrechen muss.

Aufgrund des unscharfen Bereichs des Fehlauflöserisikos ergibt sich ein Falschwarnrisiko dadurch, dass einerseits eine Warnung so früh wie möglich erfolgen soll (zeitliche Warnvorverlagerung), andererseits nimmt dadurch jedoch die Zahl der Falschwarnungen (Akzeptanzverlust) zu – *Warndilemma*. Reinisch (2012) definiert das Fehlwarnrisiko „proportional zur Verkehrssicherheit einer Falschwarnung, die deren Schaden beschreibt, unter Annahme einer konstanten Eintrittshäufigkeit.“

Im Gegensatz zu einem aktiven Bremssystem als kollisionsvermeidendes System, wie erläutert, ist es bei einem kollisionsmindernden Bremssystem erforderlich, die Kollisionswarnung vorzuverlegen (Bild 4-26).

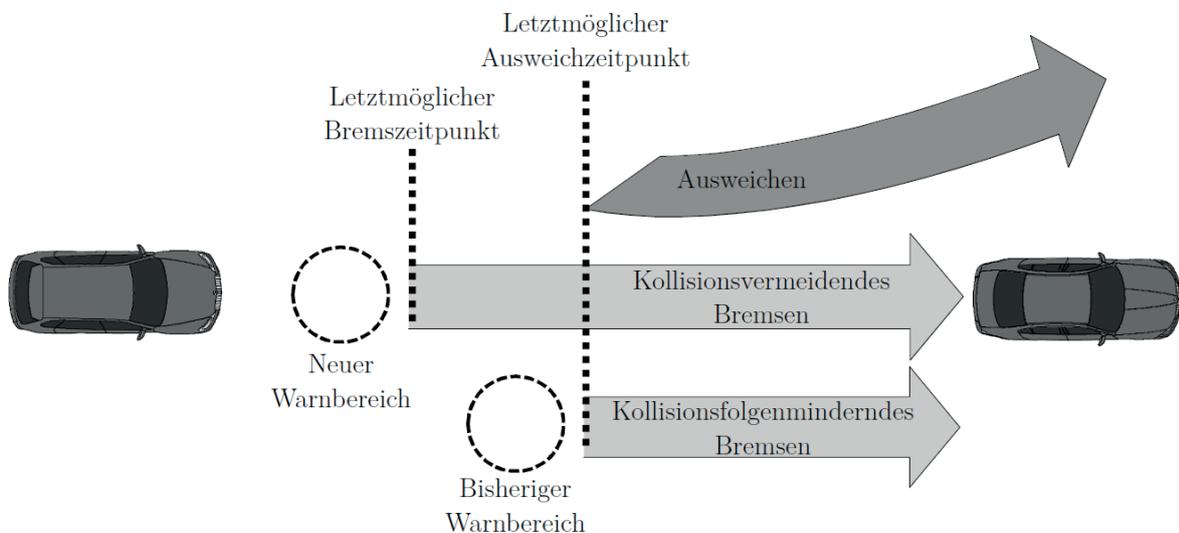


Bild 4-26 Vorverlegung des Warnzeitpunkts im Vergleich zu einem Kollisionsfolgenminderungssystem (Reinisch, 2012)

Im Rahmen der Wechselwirkung plötzlichen Bremsens des Ego-Fahrzeuges und dessen Auswirkung auf den nachfolgenden Verkehr definiert Reinisch (2012) ein *Folgekollisionsrisiko* „als Produkt aus Häufigkeit einer Folgekollision in den untersuchten Szenarien und der mittleren Rest-Relativgeschwindigkeit im Kollisionsfeld“.

Dabei erfolgt die Folgeverkehrsbewertung über die erforderliche Verzögerung des Folgefahrzeuges zur Kollisionsvermeidung bei einer Vollbremsung des Ego-Fahrzeuges. Weitere formale und kinematische Ausführungen und Berechnungen hierzu siehe Reinisch (2012).

Aufgrund seiner Untersuchungen und kinematischen Ansätzen unter Berücksichtigung des Fahrverhaltens und der Verkehrssituation zur Reduzierung der vorstehend charakterisierten Risiken kommt Reinisch (2012) zu dem Ergebnis, dass das Falsch-auslöse- und Warnrisiko um mehr als die Hälfte und das Folgekollisionsrisiko um ein Drittel gesenkt werden kann, wenn die betrachteten Manöver korrekt über eine entsprechende Eingriffsstrategie geplant werden. Als Eingriffsstrategie schlägt Reinisch (2012) vor, die Vorwarnung in Form von Rückschaltvorgängen, die „von abgelenkten Fahrern als haptische Warnung, von überholenden Fahrern hingegen als Unterstützung wahrgenommen werden“. Für den Bremsingriffszeitpunkt (Anpassung an den Fahrerwunsch) schlägt Reinisch (2012) vor „bis zum Ende eine maximal angemessene Reaktionszeit abzuwarten, ob der Fahrer selbstständig die Situation entschärft“ und zur Minderung des Folgerisikos den Bremsverlauf zunächst stark, dann mit verminderter Bremskraft zu verzögern.

Im Rahmen seiner Dissertation zur Entwicklung eines generischen Verfahrens zur Interpretation des Fahrzeugzustandes und der Fahrzeugumgebung durch eine zuverlässig probabilistische Erkennung relevanter Fahrsituationen und Fahrmanöver betrachtet Schneider (2009) beispielhaft eine Notbremssituation als ganzheitlichen Ansatz durch Entwicklung eines probabilistischen Gesamtnetzes (Bild 4-27), welches es ermöglicht, die Wahrscheinlichkeit für eine Notbremssituation, unter Berücksichtigung der Messgrößen auf die Situationsentscheidung, zu bewerten.

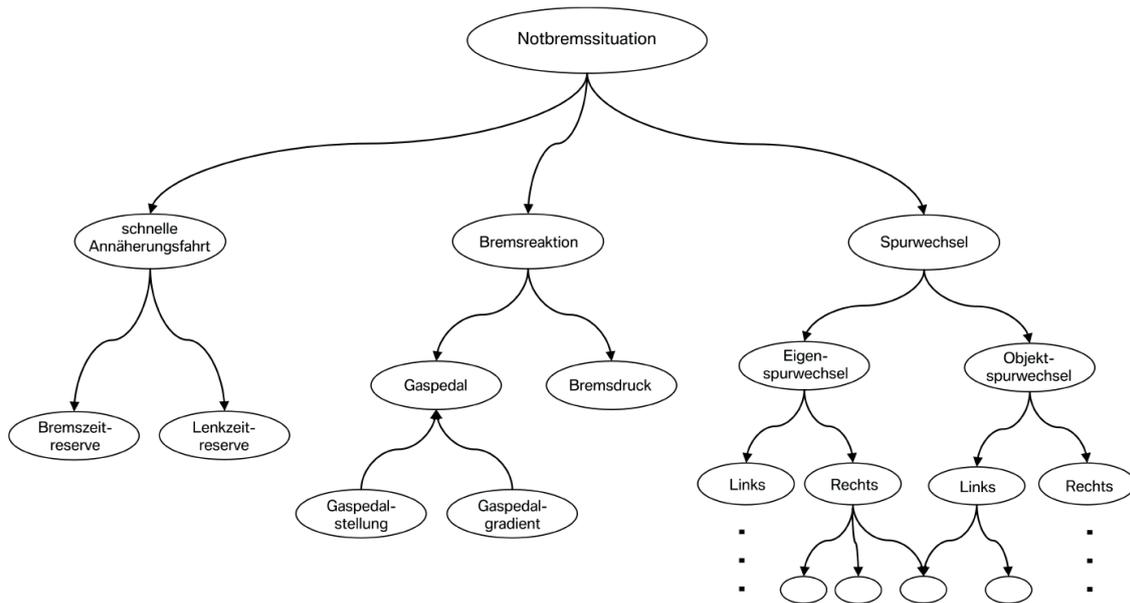


Bild 4-27 Aufbau des Gesamtnetzes in Notbremssituationen (Schneider, 2009)

Als Modellierungsgrundlage zur Situations- und Manövererkennung aufgrund der damit verbundenen Unsicherheit wird ein Fuzzy-Controller (Fuzzy-Logik, Zadeh, 1965; Meyna; Pauli, 2010, u.a.) in Verbindung mit einem probabilistischen Netz (Bayes-Netz) zugrunde gelegt.

4.3.3 Brems-Ausweich-Assistent

Nachfolgende Ausführungen basieren auf der Dissertation von Weber (2012) die bei der Robert Bosch Vorentwicklung Fahrerassistenzsysteme entstand.

Der Systementwurf basiert auf dem bereits verfügbaren Bremsassistenten „Predictive Emergency Braking System“ (PEBS) und einer prototypisch in einem Versuchsträger eingesetzte Ausweichunterstützung „Evasive Steering Support by Torque“ (ESS-T).

Dabei ist PEBS nach Weber (2012) durch die Teilfunktionen (siehe Bild 4-28)

- Predictive Collision Warning (PCW)
 - bereitet Bremsanlage in kritischen Situationen vor (Aufbau Bremsdruck, Anlegen Bremsbeläge an Bremsscheiben, Auslösen der hydraulischen Auslöseschwelle).
- Emergency Braking Assist (EBA)

- Erweitert PCW (berechnet permanent benötigte Verzögerung zur Kollisionsvermeidung; bremst Fahrer nicht ausreichend, wird Bremsdruck erhöht → Zielbremsung; bremst Fahrer zu spät, wird Vollbremsung aktiviert → Unfallvermeidung).
- Automative Emergency Braking (AEB)
 - Erweitert EBA (Vergrößerung des Zeitfensters durch automatische zweistufige Teilverzögerung nach Warnkaskaden; reagiert Fahrer nicht und Unfall ist durch Vollbremsung oder Notausweichmanöver nicht vermeidbar, so erfolgt eine automatische Vollbremsung, die vom Fahrer nicht überstimmt werden kann).

aufgebaut.

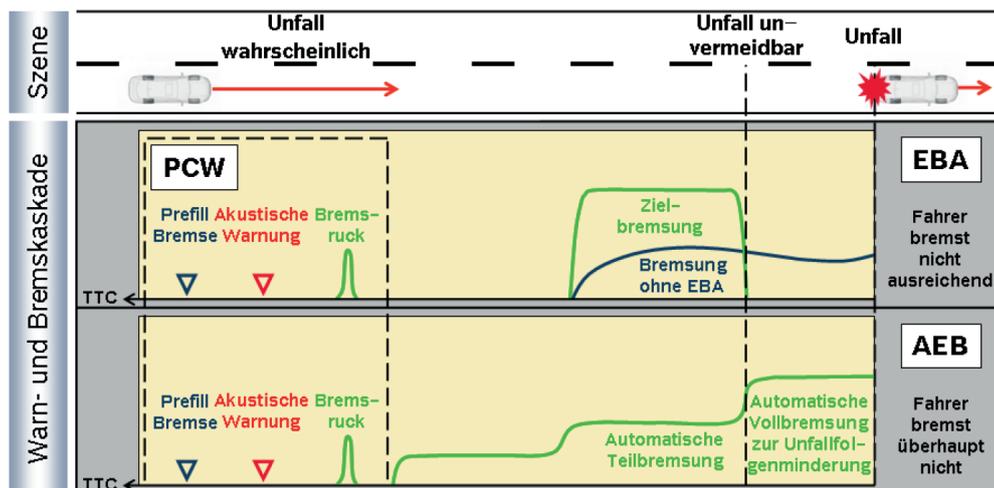


Bild 4-28 Teilfunktionen PEBS (nach Ovcharova et al.; aus Weber, 2012)

Die prototypische Ausweichunterstützung ESS-T verfolgt das Ziel, den Fahrer bei der Durchführung eines Ausweichmanövers auf einer idealen Ausweichtrajektorie im Falle eines Hindernisses zu unterstützen.

Dabei erfolgt die Identifizierung einer kritischen Situation mittels Radarsensorik und die Auslösung durch ein vom Fahrer gestelltes Moment am Lenkrad. Die Korrektur „Fahrer lenkt zu schwach (zusätzliches Lenkmoment) oder zu stark (korrigierendes Gegenmoment)“ erfolgt durch die ESS-T Ausweichunterstützung über die elektrische Servolenkung.

4.3.4 Medizinisch indizierter Nothalteassistent

Der medizinisch indizierte Nothalteassistent verfolgt das Ziel, Unfälle aufgrund einer medizinisch bedingten Handlungsunfähigkeit des Fahrers zu vermeiden bzw. die Unfallfolgen abzumildern, indem das Fahrzeug automatisiert in einen risikominimalen Zustand überführt wird.

Der Nothalteassistent ist Bestandteil des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Großprojektes SmartSenior mit dem Ziel „selbstständig, sicher, gesund und mobil im Alter“ und wurde u.a. von der BMW Group Forschung und Technik als Prototyp mit entsprechenden Projektpartnern aus dem Bereich IT (Siemens), Medizin (Charité) etc. entwickelt (Waldmann et al., 2010; Ardelt et al., 2010; Kämpchen et al., 2010; Decke et al., 2013).

Nach einer Untersuchung der Volkswagen AG (Unfallforschung) haben 4 % aller tödlichen Unfälle medizinische Gründe, wobei mit einer erheblichen Dunkelziffer zu rechnen ist (Bild 4-29, Mirwaldt et al., 2012; Mirwaldt, 2014).

Des Weiteren ist mit einer Zunahme aufgrund des demografischen Wandels zu rechnen.

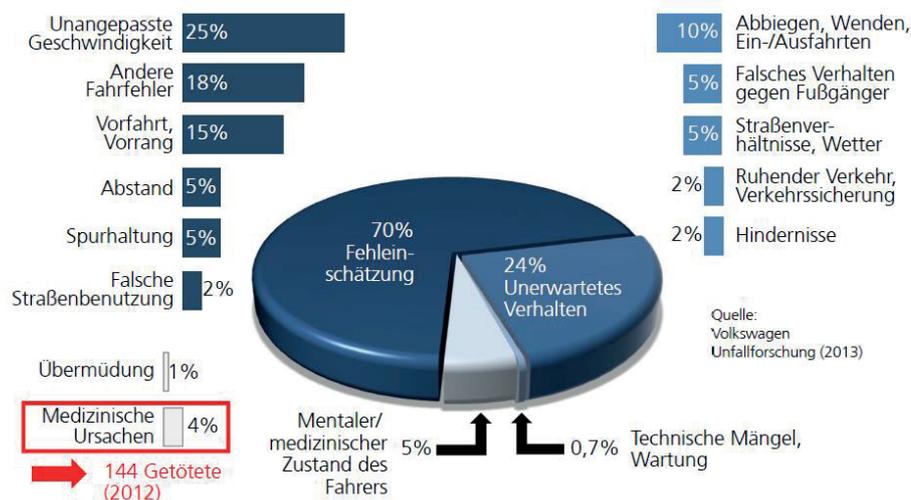


Bild 4-29 Unfallursachenverteilung bei Verkehrsunfällen mit Todesfolge in Deutschland (Mirwaldt et al., 2012)

In seiner Dissertation „Funktionsentwicklung eines Nothalteassistenzsystems bei kardiovaskulär bedingter Fahruntfähigkeit“ verfolgt Mirwaldt (2014) das Ziel, eine Systematik zur Gestaltung von Nothalteassistenten unter Berücksichtigung der Erkennung

medizinischer Notfälle im Kontext der Umsetzung einer Gesamtarchitektur in Verbindung mit einer Warnstrategie für ein kooperatives Fahrstreifenmanöver unter Berücksichtigung rechtlicher und normativer Anforderungen zu entwickeln.

Als Gestaltungsmaßnahmen für einen Nothalteassistenten konstatiert Mirwaldt (2014) zusammenfassend:

- „Für eine risikominimale Auslegung von Nothalteassistenzsystemen gilt es, die Fahrzeuggeschwindigkeit unter Beachtung des Fahrbahnverlaufs zu reduzieren und nach Möglichkeit auf dem Seitenstreifen zum Stillstand zu kommen.
- Eine Realisierung dieser Systeme ist voraussichtlich mit seriennaher Umfeldsensorik (Fernbereichsradar im Frontbereich, Nahbereichsradare im Seiten- und Heckbereich, Frontkamera, Ultraschallsensoren) möglich.
- Kamerabasierte und kapazitive Verfahren eignen sich grundsätzlich zur Messung der mittleren Herzrate im Fahrzeug. Weitere Nachforschungen sind hinsichtlich der Sensorrobustheit bei Störeinflüssen wie Licht- und Bewegungsartefakten sowie bei unterschiedlichen Kleidungsmaterialien notwendig. Zur automatisierten Erkennung von kardiovaskulären Notfällen bietet die Analyse der Herzratenvariabilität Anknüpfungspunkte für Folgearbeiten.
- Hinter dem Notfallfahrzeug fahrende Verkehrsteilnehmer können mithilfe von Lichtfunktionen (Abwechselnde Ansteuerung des Warnblinklichts und des Fahrtrichtungsanzeigers rechts) und eines Spurversatzes in Richtung der rechten Fahrbahnmarkierung zu einem kooperativen Verhalten in Form einer Abstandsvergrößerung motiviert werden.“

Einen Forschungsbedarf sieht Mirwaldt (2014) in der Quantifizierung des Betriebsrisikos von automatischen Fahrmanövern sowie in der automatischen Erkennung von kardiovaskulären Notfällen.

Im Patentblatt 2013/44, Europäische Patentanmeldung EP 2657921 A1 (Anmelder: Volkswagen AG, Erfinder: Bartels, Arne; Mirwaldt, Peter) wird ein „Verfahren und Vorrichtung zum Nothalt eines Kraftfahrzeugs“ d.h., ein Nothalteassistent zum Überführen eines Kraftfahrzeuges in den risikominimalen Zustand (abgesichertes Nothaltemanöver) beschrieben.

Nachfolgende Skizzierung zeigt die schematische Ausführungsform des erfindungsgemäßen Nothalteassistenten (Bild 4-30).

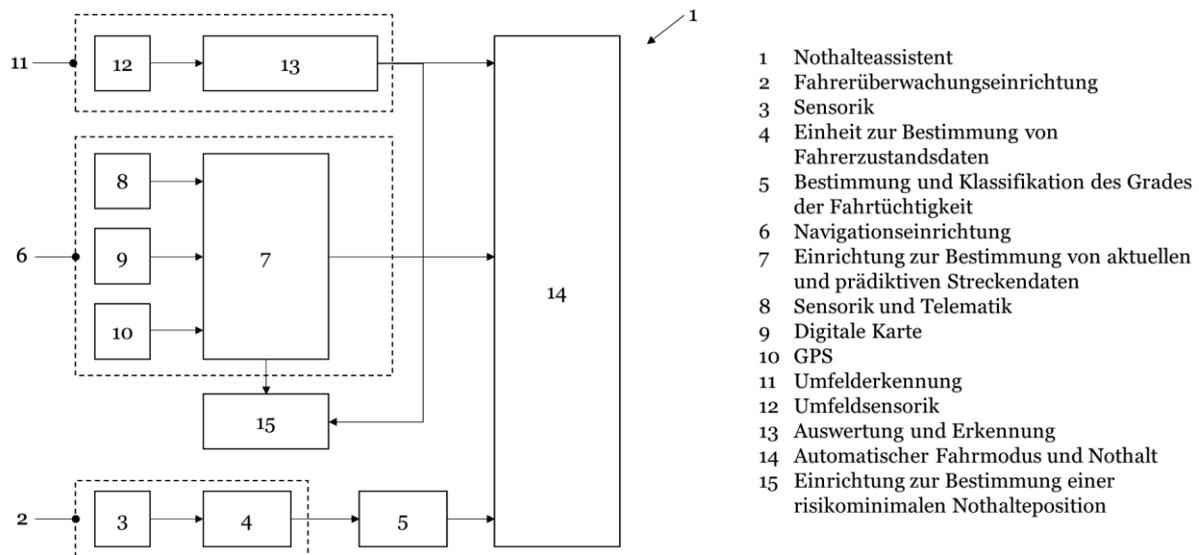


Bild 4-30 Schematische Darstellung des Nothalteassistenten EP 2657921 A1 (Bartels, A.; Mirwaldt, P., 30.10.2013)

Das zugehörige Funktionsablaufdiagramm mit den Schritten S1 bis S7 für die Durchführung eines Nothaltemanövers geht aus Bild 4-31 hervor.

Dabei charakterisiert die Abfrage S3 den Grad der Fahrtüchtigkeit über eine vorzugebene Schwelle ε , was sicherlich als problematisch anzusehen ist.

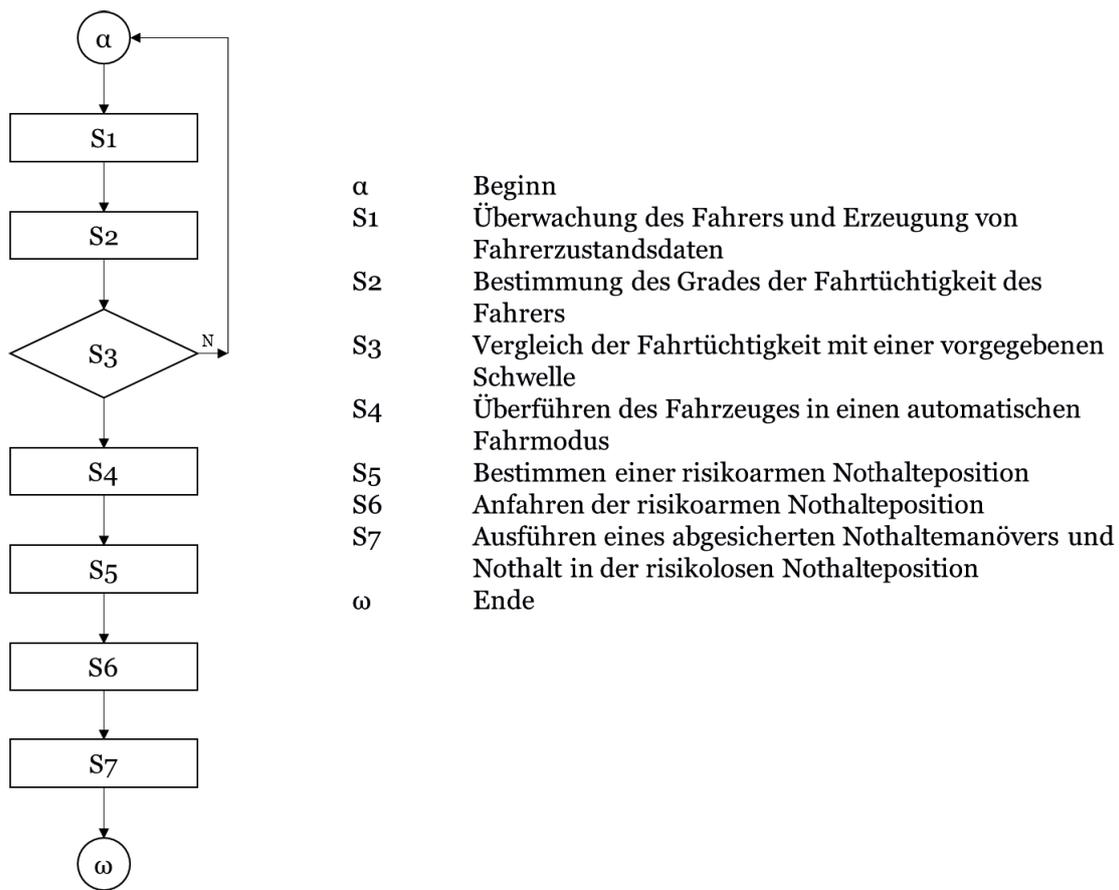


Bild 4-31 Funktionsablaufdiagramm EP 2657921 A1 (Bartels, A.; Mirwaldt, P., 30.10.2013)

Die Erfindung verfolgt das Ziel, ein abgesichertes Nothaltemanöver mit einer minimalen Gefährdung des nachfolgenden Verkehrs und des Ego-Fahrzeuges selbst entsprechend dem Funktionsablaufdiagramm (Bild 4-31) und dem Nothalteassistenten (Bild 4-30) unter Berücksichtigung prädikativer Streckendaten wie z.B. Höhen, Kurven, Baustellen, Seitenstreifen, Fahrspuren, Tunnel etc. durchzuführen.

Eine praktische Realisierung als Prototyp entsprechend dem nachfolgend kurz beschriebenen BMW-Nothalteassistenten steht noch aus.

BMW Nothalteassistent

Der von der BMW AG als Prototyp entwickelte Nothalteassistent ist durch die Funktionen

- Empfang des Nothaltesignals,
- Absenden eines Notrufes an Einsatzstelle
- Ankündigung autonomer Fahrmanöver
- Nothaltemanöver und

- Abstellung des stehenden Fahrzeuges

gegeben und auf Autobahnen ($v = 130 \text{ km/h}$) erprobt worden (Decke et al., 2013). Die prototypische Realisierung der funktionalen Systemarchitektur erfolgte auf einem Versuchsträger und beinhaltet primär die Fahrstrategie, Fahrzeugregelung, Positionsbestimmung und Umfelderkennung (Bild 4-32).

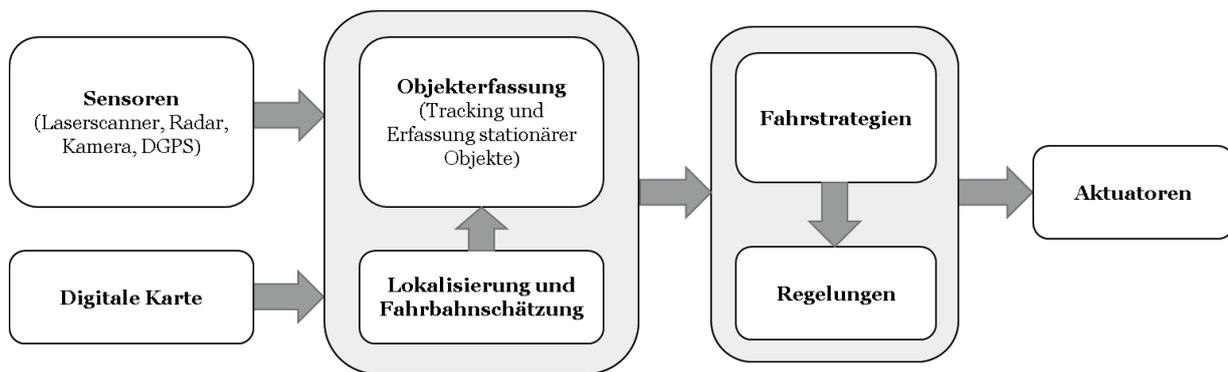


Bild 4-32 Funktionale Systemarchitektur (Kämpchen et al., 2010)

Dabei sind die Spurwechselmanöver abhängig vom Verkehrsaufkommen und der Güte der Umfelderkennung (z.B. schlechte Witterungsbedingungen, siehe Bild 4-33).

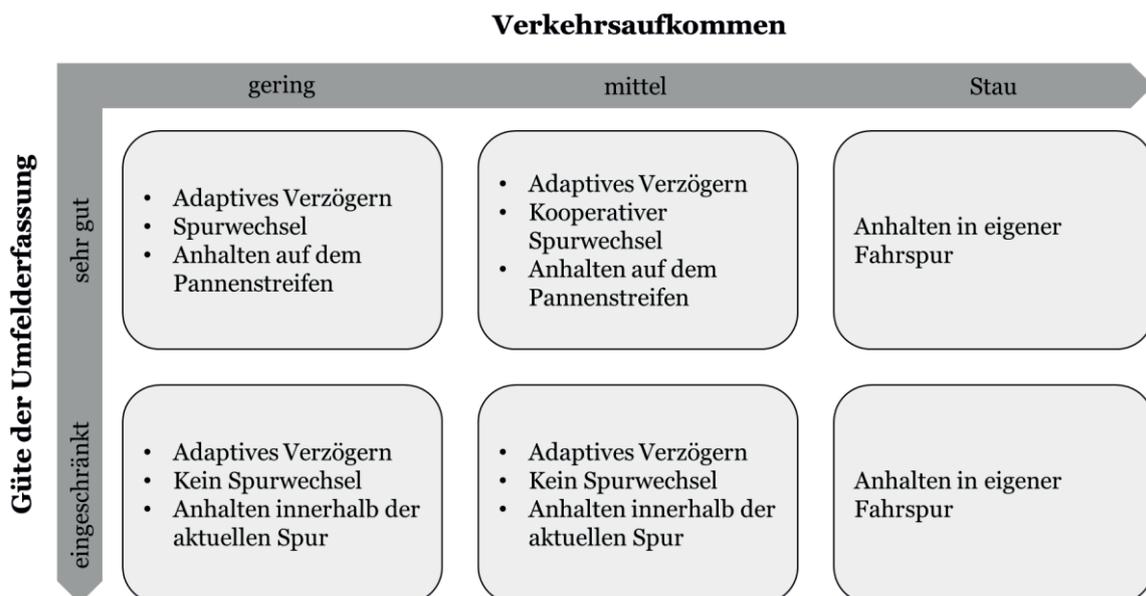


Bild 4-33 Überblick automatisierter Fahrmanöver (Kämpchen et al., 2010)

D.h., bei einer unzureichenden Umfelderkennung (z.B. widrige Witterungsbedingungen, schlechte Lichtverhältnisse) und hohem Verkehrsaufkommen ist ein Anhalten in der eigenen Fahrspur mit einer entsprechenden Warnung des nachfolgenden Verkehrs empfehlenswert.

Spurwechselmanöver und Strategien zur Ansteuerung von Verkehrslücken abhängig vom Verkehrsfluss werden ausführlich in Ardelt et al. (2010) beschrieben. Dabei verfolgt Ardelt einen holistischen Ansatz zur Auswahl einer Verkehrslücke im Kontext einer Spurwechselabbruchstrategie für den medizinisch bedingten Nothalteassistenten. Die für die Überführung des Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand erforderliche cm-genaue Positionsbestimmung des Fahrzeuges erfolgt durch Fusion von Landmarken- und Satellitennavigation (Bild 4-34).

Aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Bild 4-34 cm-genaue, redundante und hochverfügbare Positionsbestimmung auf der Autobahn (Decke et al., 2013)

Neben der Lokalisierung des Fahrzeuges in der eigenen Fahrspur ist es erforderlich, den weiteren Fahrspurverlauf z.B. Fahrbahnkrümmung, Steigung, geänderte Verkehrsführung z.B. durch Baustellen, vorausschauend zu bestimmen.

An die für die Umfelderkennung (Verkehrsgeschehen um das Ego-Fahrzeug einschließlich der Fahrbahn) erforderliche Sensorik des BMW-Nothalteassistenten (Radar, Kamera, 1- und 4-Ebenen Laserscanner, Ultraschall) sind hohe Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeitsanforderungen zu stellen, die nur durch Redundanz und Diversität erreicht werden können (Kämpchen et al., 2010; Decke et al., 2013).

D.h., die hohen Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeitsanforderungen die an einen medizinisch bedingten Nothalteassistenten zu stellen sind, dürften einer Markteinführung aus wirtschaftlichen Gründen zum gegenwärtigen Zeitpunkt entgegen stehen.

Funktionale Sicherheitsarchitektur

Der Nothalteassistent ist dadurch gekennzeichnet, dass nach seiner Aktivierung durch den Fahrer und das Eintreten eines gesundheitlich bedingten Kontrollverlustes des Fahrers, dessen automatische und gesicherte Erkennung, z.B. durch kapazitive und kamerabasierte Detektion und Messverfahren (Mirwaldt, 2014), das Fahrzeug in einem automatischen Fahrmodus die Kontrolle über die Längs- und Querverführung übernimmt und dieses in den risikominimalen Zustand überführt. Dabei wird der Fahrer von der Übernahme entsprechend informiert und kann, wenn er nach erfolgter Prüfung als stabil angesehen wird, die Fahrzeugführung mittels geeigneter HMI-Konzepte wieder übernehmen.

Weiterhin sollten die von der Notsituation des Ego-Fahrzeuges betroffenen Verkehrsteilnehmer entsprechend gewarnt werden, um so ein kooperatives Verhalten, d.h., u.a. Bereitstellung von größeren Verkehrslücken, auch bei hohem Verkehrsaufkommen, zu ermöglichen. Dies betrifft auch Ersthilfemaßnahmen nach dem Stillstand des durch den Notfall betroffenen Ego-Fahrzeuges in der eignen Fahrspur oder am Fahrbahnrand, wobei das Fahrzeug entsprechend abzusichern ist.

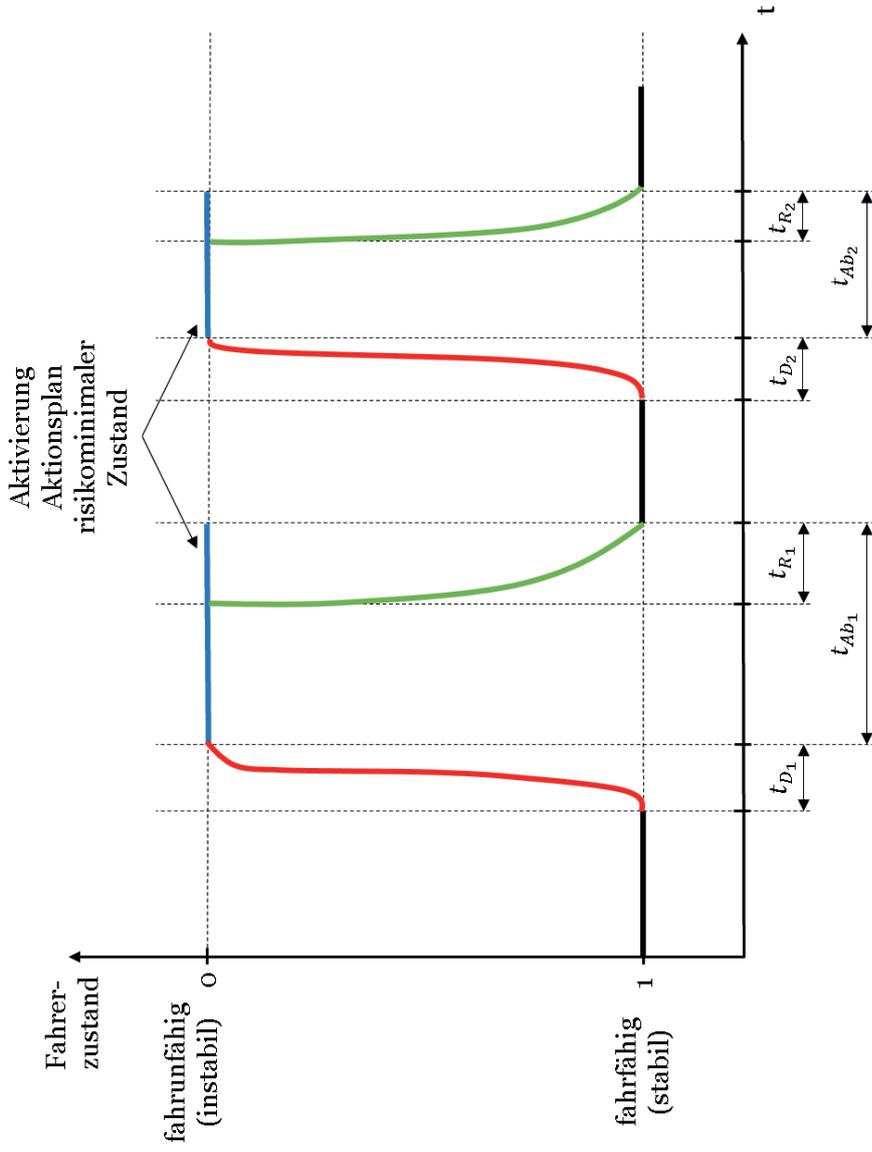
Wie bereits dargelegt, ist im Falle einer Notsituation ein Notruf mit einer Positionsbestimmung einschließlich des Gesundheitszustands des Fahrers an die Einsatzleitstelle abzugeben.

Über den Kontrollverlust des Fahrers sind zudem auch die Mitfahrer zu informieren. Situationsbedingt ist dann eine Deaktivierung des Nothalteassistenten durch den Beifahrer möglicherweise sinnvoll.

Der Zeitverlauf einer medizinisch bedingten Notsituation verbunden mit dem jeweiligen Grad der Funktionseinschränkung des Fahrers und dessen mögliche zeitabhängige Regenerierung im Kontext der Aktivierung eines Aktionsplanes zur Überführung eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand kann als schwierig angesehen werden.

Dies hängt zum einen damit zusammen, dass die Regeneration vollständig (*restitutio ad integrum*) oder unvollständig (*reparation*) sein kann und bei der Aktivierung des Aktionsplans „Überführen des Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand“ entsprechend zu berücksichtigen ist, zum anderen ist die Festlegung der Zeiten Detektionsdauer t_{D_i} , Regenerationszeit t_{R_i} und Abbruchzeit t_{Ab_i} des Aktionsplanes als schwierig anzusehen.

Einen möglichen Zeitablauf einer medizinisch bedingten Notsituation zeigt Bild 4-35. Es handelt sich hierbei um eine qualitative Darstellung, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt; sie dient lediglich zur Visualisierung der Dilemmata und als Fazit einen erheblichen interdisziplinären Forschungsbedarf.



Dilemmata: Detektionsdauer t_D ;
 Regenerierungszeit t_R ;
 Überstimmung des Fahrers (Schwellwert)
 Abbruchzeit t_{Ab} ;

Bild 4-35 Zeitverlauf einer medizinisch bedingten Fahrfunktionseinschränkung

Aufgrund der Wirkweise C lässt sich für den Nothalteassistenten eine Funktionale Sicherheitsarchitektur entsprechend Bild 4-36 entwickeln.

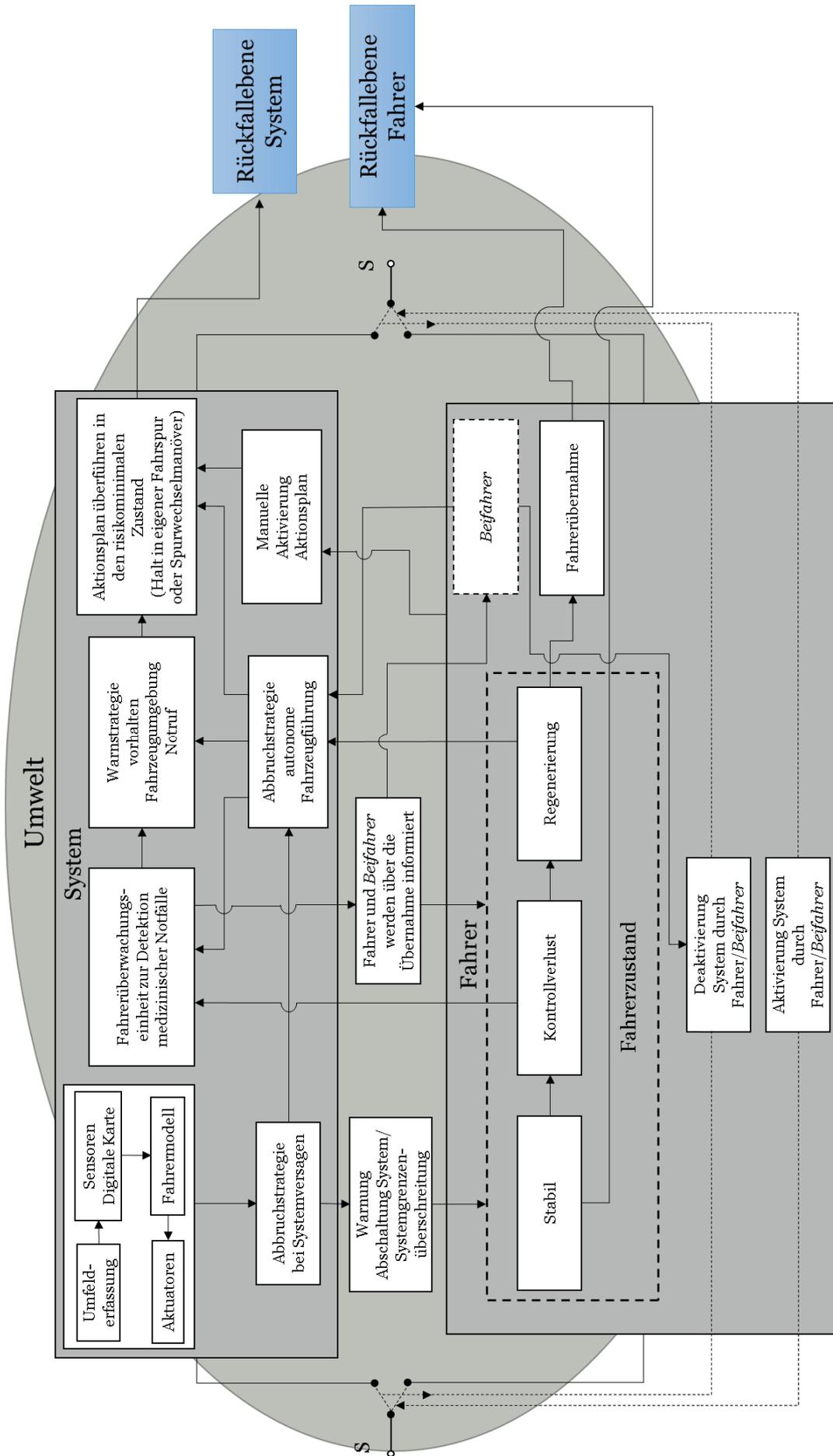


Bild 4-36 Funktionale Sicherheitsarchitektur (grob) Nothalteassistenzsystem

Anhand der Funktionalen Sicherheitsstruktur lässt sich nun ein entsprechendes Zustandsdiagramm adaptieren (Bild 4-37). Das im Zustandsdiagramm aufgeführte Modul „Spurwechsel“ wird in Abschnitt 5.3 Szenarienbildung erläutert und dargestellt. Aus dem Zustandsdiagramm geht hervor, dass – wie bereits erwähnt – die Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeitsanforderungen an einen medizinisch bedingten Nothalteassistenten eine große Herausforderung darstellen und nur durch entsprechende Redundanzprinzipien, Diversität, Dissimilarität und Segregation bei der Fahrzeuginstallation (Daten; Bussysteme) und Monitoring sicher gestellt werden kann, um so einen kritischen Zustand bei einem Kontrollverlust des Fahrers und nachfolgender möglicher Systemdegradation durch einen Ausfall zu verhindern.

Eine weitere Herausforderung stellt die Überwachung des Grades der Fahruntfähigkeit und der damit verbundenen Detektionszeit t_D dar; auch diese muss eindeutig, zuverlässig und sicher erfolgen und nach Aktivierung des Nothalteassistenten hoch verfügbar sein.

In diesem Kontext stellt sich die Frage nach einer möglichen vorzugebenen Regenerierungszeit t_R , die vor der Einleitung eines Nothaltemanövers abgewartet werden sollte, da sich ja der Fahrer – je nach Gesundheitszustand – kurzfristig erholen und so die Fahrzeugführung wieder übernehmen kann; dies betrifft auch den möglichen Abbruch t_{Ab} eines Nothaltemanövers aufgrund einer Regeneration oder teilweisen Regeneration des Fahrers.

Vorstehende Ausführungen zeigen, dass vor Einführung eines medizinisch bedingten Nothalteassistenten noch ein erheblicher interdisziplinärer Forschungsbedarf besteht.

Ungeachtet dessen, sollten aufgrund des bekannten demographischen Wandels der Gesellschaft im Kontext eines zunehmenden Anteils älterer Fahrzeugführer und der damit verbundenen stetig wachsenden Beteiligung am Gesamtunfallgeschehen aufgrund medizinisch indizierter Ursachen, die Forschungsanstrengungen und öffentlichen Förderungen in diesem Bereich weiter verstärkt werden.

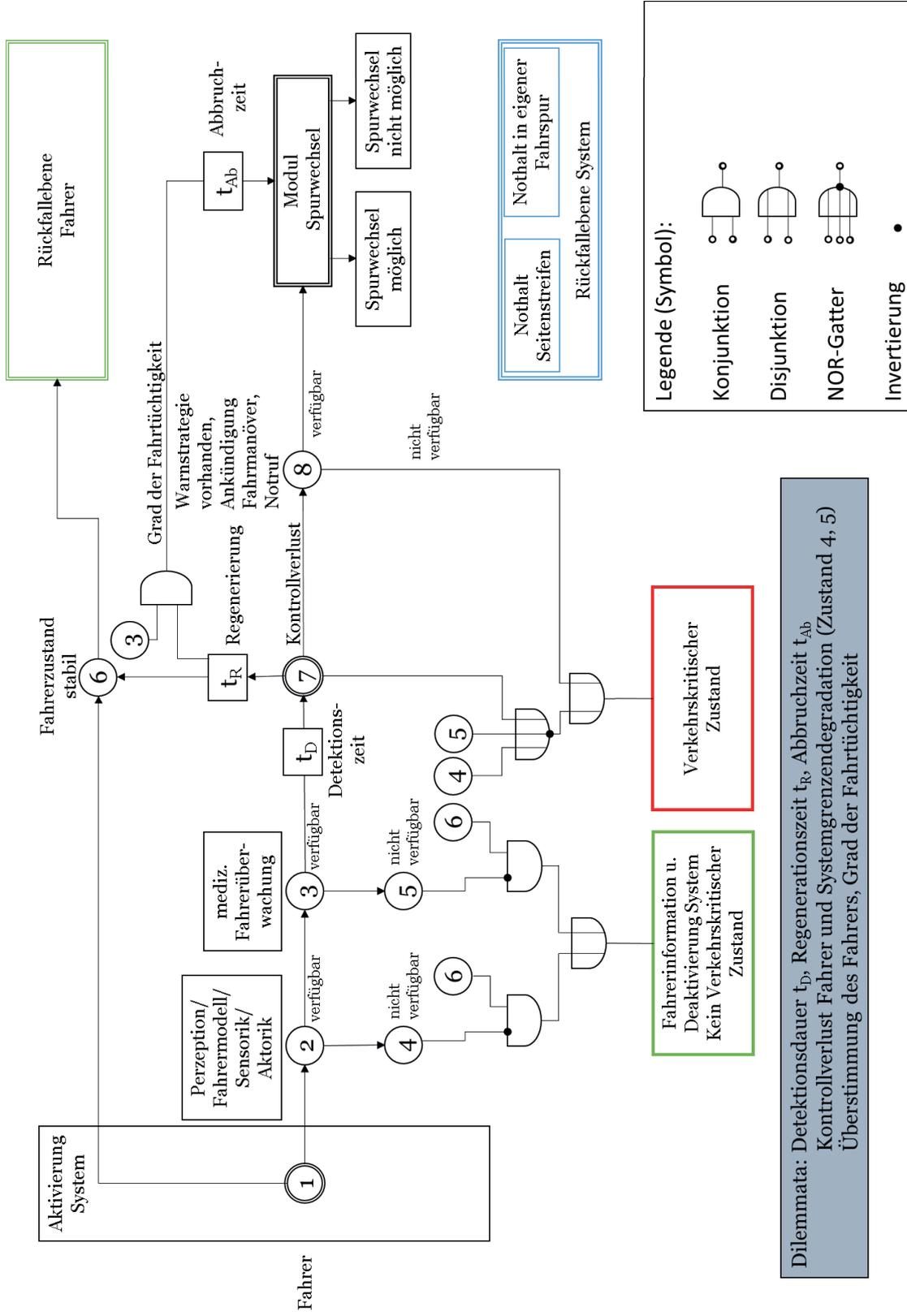


Bild 4-37 Zustandsdiagramm (grob) medizinisch indizierter Nothalteassistent ohne Aktivität des Beifahrers (Positivlogik); Modul "Spurwechsel" siehe Bild 5-23 (Abschnitt 5.3)

5 Aktionsszenarien zur Überführung eines automatisierten Fahrzeugs in einen risikominimalen Zustand

Das vorliegende Kapitel widmet sich der übergeordneten Szenarienbildung zur Überführung eines hoch- oder vollautomatisierten Fahrzeuges (Stufe 3 und 4) auf der Autobahn, bzw. Straßen mit baulich getrennten Richtungsfahrbahnen, in einen risikominimalen Zustand.

Zunächst werden einige fundamentale Begriffe der Sicherheitstechnik kurz erläutert.

5.1 Fundamentalbegriffe der Sicherheits- und Zuverlässigkeitstechnik

Der Begriff *Risiko* ist nicht eindeutig geklärt; arabischer Ursprung „rizqu“ (von Gottes Gnaden abhängiger Lebensunterhalt), im Mittelalter ins italienische „risico“ (Wagnis, Gefahr in Verbindung mit Schiffsreisen) übernommen.

Die nachfolgenden Ausführungen entstammen teilweise aus: Meyna, Pauli (2010).

Als Risiko \mathfrak{R} werden üblicherweise die Auswirkungen oder Ausfallfolgen eines unerwünschten Ereignisses pro Zeiteinheit definiert. Es sind als Bezugsgrößen jedoch auch andere Normierungen üblich, z.B. Passagierkilometer o.ä..

Es lässt sich somit ein einfaches mathematisches Modell entwickeln:

$$\mathfrak{R} = H \cdot A$$

mit

$$H = \text{Häufigkeit} = \frac{\text{Mittlere Anzahl der Ereignisse}}{\text{Zeiteinheit}}$$

und

$$A = \text{Ausfallfolgen} = \frac{\text{Auswirkungen}}{\text{Ereignis}}.$$

Für das Risiko des i -ten Ereignisses folgt dann

$$\mathfrak{R}_i = h_i \cdot a_i$$

mit

h_i = Häufigkeit und a_i = Ausfallfolgen des i -ten Ereignisses.

Unter Zugrundelegung n möglicher disjunkter Ereignisse folgt daraus

$$\mathfrak{R} = \sum_{i=1}^n h_i \cdot a_i.$$

Dabei sollte \mathfrak{R} kleiner als das vorgegebene akzeptierte Risiko \mathfrak{R}_{ak} eines Systems sein. Die Darstellung des Risikos in der Ebene mit H als Ordinate und A als Abszisse wird als Farmer-Diagramm (Bild 5-1) bezeichnet. Jeder Punkt dieser Ebene stellt ein diskretes Risiko dar. Durch Logarithmierung und Umrechnung zu einer Geradengleichung kann diese Gleichung im doppelt logarithmischen Papier dargestellt werden. Es ergeben sich so Geraden gleichen Risikos mit der Steigung -1 .

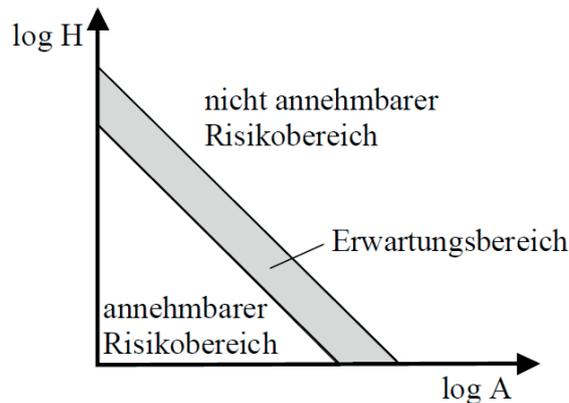


Bild 5-1 Darstellung im Farmer-Diagramm (Geraden gleichen Risikos)

Weitere wesentliche Faktoren (Tabelle 5-1), die das Risiko R bestimmen (Heitmann, 2004; Meyna, Pauli, 2010; u.a.) sind:

Tabelle 5-1 Risiko-Faktoren

S	Durchschnittlicher Schaden der durch das Ereignis verursacht wird. Eine messbare Größe in monetären Sinn vereinfacht die Ermittlung, deckt aber nicht alle Arten von Schäden ab.
F	Wahrscheinlichkeit, während einer Betrachtungseinheit (Zeit, km) z.B. in eine Verkehrssituation zu geraten, in der das unerwünschte Ereignis gefährlich werden kann.
C	Kontrollierbarkeit der Situation z.B. durch den Fahrer (abhängig von den Fahreigenschaften des individuellen Fahrers), mit $C \neq 1$.
P(t)	Wahrscheinlichkeit für den Eintritt des unerwünschten Ereignisses.

Damit ergibt sich das Risiko zu

$$R(t) = \int_0^t S \cdot F \cdot (1 - C) \cdot P(\tau) d\tau$$

mit t als Dauer des gesamten Betrachtungszeitraumes.

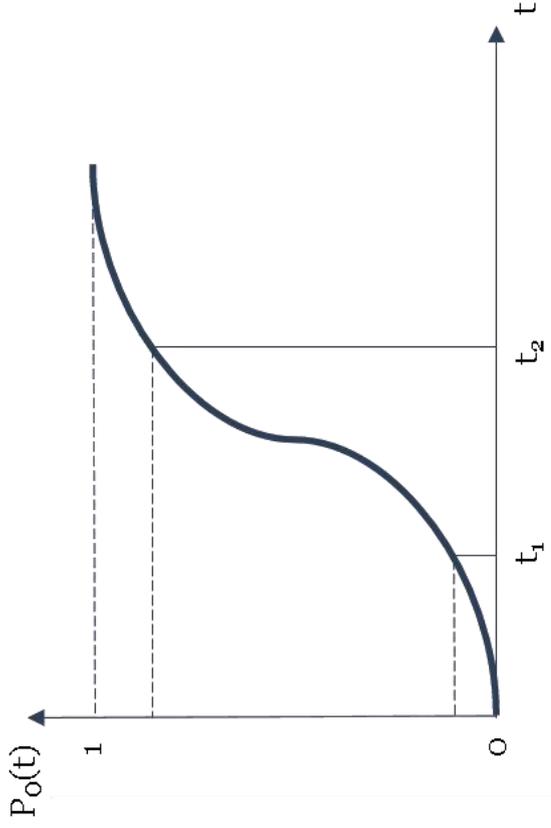
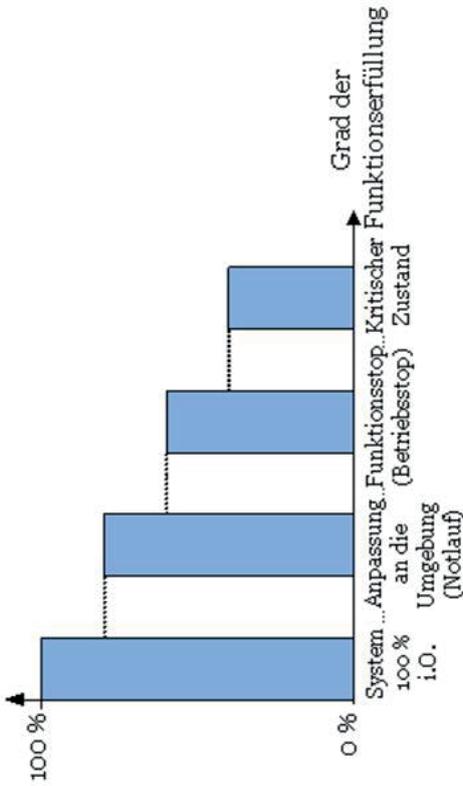
Neben dieser technischen Risikobetrachtung tritt häufig das Dilemma der individuellen Risikoempfindungen in der Bevölkerung auf. Hierbei wird von der Risikoaversion gesprochen. Um diese Fälle abzudecken, wird zwischen einem subjektiven und einem objektiven Risiko unterschieden. Während das obige Risiko allein auf objektive Daten beruht, wird für den subjektiven Risikoteil von einigen Autoren ein weiterer Faktor eingeführt, der die Aversion in der Bevölkerung widerspiegelt, was allerdings als problematisch angesehen werden kann.

Risikominimaler Zustand

Als risikominimaler Zustand eines Fahrzeuges sei der „Stillstand an einem sicheren Ort“ (Isermann, 2010) mit den nachfolgenden zwei Ausprägungen definiert.

- *Eindimensional*
Fahrzeug wird bis zum Stillstand im eigenen Fahrstreifen abgebremst.
- *Zweidimensional* (Bild 5-2)
Abhängig vom Degradationszustand des Fahrzeugs und der zeitbezogenen Wahrscheinlichkeit einen sicheren Ort zu erreichen (z.B. normalverteilt).

Funktionsfähigkeit (Bezogen auf den Automatisierungsgrad und das System)



„Stillstand an einem sicheren Ort“	$P_O(t)$ = Wahrscheinlichkeit einen sicheren Ort zu erreichen, z.B. normalverteilt
(1) Degradationszustand kritisch: Kurzfristige Überführung, z.B. Fahrbahnrand	$P_O(t_1)$ klein, Erfolg abhängig von Verkehrsstärke q [Fahrzeuge/Zeitintervall] und Verkehrsdichte k [Fahrzeuge/Wegintervall] => Fundamentaldiagramm (q, k), Bild 5-7
(2) Degradationszustand unkritisch: Langfristige Überführung, z.B. Werkstatt	$P_O(t_2)$ groß

Bild 5-2 Risikominimaler Zustand (zweidimensional)

Zuverlässigkeits- und Sicherheitskenngrößen

Zuverlässigkeits- und Sicherheitskenngrößen ermöglichen die qualitative stochastische Bewertung technischer Systeme gleich welcher Art und können demnach auch zur Bewertung der Absicherung automatisierter Fahrfunktionen – wie bereits erwähnt (s. Abschnitt 4.2.5) – herangezogen werden.

Zuverlässigkeitskenngrößen

Der Begriff *Zuverlässigkeit* „Beschaffenheit einer Einheit bzgl. ihrer Eignung, während oder nach vorgegebener Zeitspanne bei vorgegebenen Anfangsbedingungen die Zuverlässigkeitsanforderungen zu erfüllen“, als Wahrscheinlichkeit definiert (DIN 40041).

Ausfallwahrscheinlichkeit $F(t)$

Die Lebensdauer T technischer Komponenten und Systeme ist eine reelle Zufallsgröße mit der Verteilungsfunktion

$$F(t) = P(T \leq t).$$

Sie heißt *Ausfallwahrscheinlichkeit* (probability of failure) mit der Eigenschaft

$$F(t) = P(T \leq t) = 0 \text{ für } t \leq 0$$

und

$$\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} P(T \leq t) = 1.$$

Anschaulich gesprochen heißt dies, dass ein System (Komponente) zum Zeitpunkt $t = 0$ funktionsfähig und nach unendlich langer Zeit ausgefallen sein wird. Als Komplement der Ausfallwahrscheinlichkeit ist die *Überlebenswahrscheinlichkeit*, auch *Zuverlässigkeitsfunktion* (reliability function) $R(t)$ genannt, definiert:

Überlebenswahrscheinlichkeit $R(t)$

$$R(t) = P(T > t) = 1 - P(T \leq t)$$

bzw.

$$R(t) = 1 - F(t).$$

Im Gegensatz zu $F(t)$ ist $R(t)$ eine monoton fallende Funktion mit der Eigenschaft

$$R(0) = 1$$

und

$$\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0.$$

Ausfalldichte $f(t)$

Die Wahrscheinlichkeitsdichte $f(x)$ heißt bei Lebensdauerbetrachtungen *Ausfalldichte* (failure density function) $f(t)$, d.h., die Häufigkeit der Ausfälle (Bild 5-3).

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}, \forall t$$

mit der Eigenschaft

$$f(t) = 0 \text{ für } t < 0,$$

$$f(t) \geq 0 \text{ für } t \geq 0$$

und

$$\int_0^{\infty} f(t) dt = 1.$$

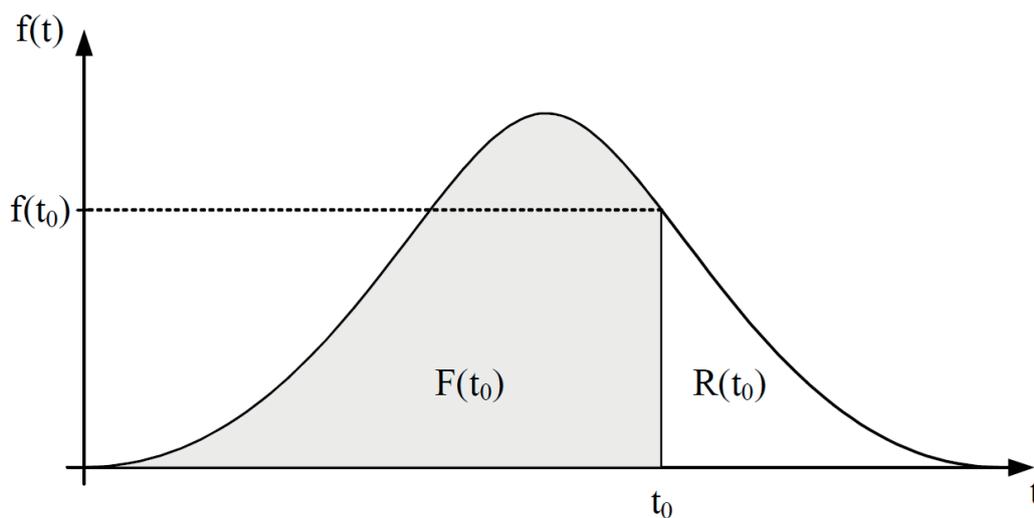


Bild 5-3 Überlebenswahrscheinlichkeit $R(t_0)$ als Komplement zur Ausfallwahrscheinlichkeit $F(t_0)$

Ausfallrate $h(t)$

Als weitere wichtige Kenngröße, die die verschiedenen Lebensdauerverteilungen besonders treffend charakterisiert, ist die *Ausfallrate* (hazard rate, failure rate) $h(t)$ definiert. Die Frage nach der Wahrscheinlichkeit, dass eine Komponente, die bis zum Zeitpunkt t überlebt hat, im Intervall $(t, t + dt)$ ausfallen wird, führt zu der bedingten Wahrscheinlichkeit

$$P(t < T \leq t + \Delta t \mid T > t).$$

Hieraus folgt

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \cdot P(t < T \leq t + \Delta t | T > t),$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{R(t)}{dt} = -\frac{d \ln(R(t))}{dt}.$$

Verfügbarkeit

Bei reparierbaren Systemen charakterisiert die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein System (beziehungsweise eine Systemkomponente) zur Zeit t im funktionsfähigen Zustand befindet, also verfügbar ist, die Wirtschaftlichkeit eines Systems. Diese Wahrscheinlichkeit wird mit *Verfügbarkeit* (availability) $V(t)$ bezeichnet:

$$V(t) = P(\text{System ist funktionsfähig zum Zeitpunkt } t).$$

Die komplementäre Größe wird *Nichtverfügbarkeit* $\bar{V}(t)$ beziehungsweise *Unverfügbarkeit* $U(t)$ genannt.

$$U(t) = 1 - V(t)$$

Sicherheitskenngrößen

Der Begriff *Sicherheit* „Wahrscheinlichkeit, dass von einer Betrachtungseinheit eines Mensch-Maschine-Umwelt-System während einer bestimmten Zeitdauer keine Gefährdungen ausgehen“ (Meyna, 1982) oder normativ „Sicherheit ist die Freiheit von unvorhersehbaren Schadensrisiken (DIN EN 45020-2007-03)“.

Sicherheitskenngrößen sind in Analogie zu den Zuverlässigkeitskenngrößen definiert. Allerdings werden hier nicht die Ausfälle als solche in den Mittelpunkt der Betrachtung gestellt, sondern die sicherheitsrelevanten Teilmengen dieser Ereignisse, die eine Gefährdung bewirken.

Formale Analogien zur Zuverlässigkeitstheorie dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Sicherheitstheorie weitere Kenngrößen berücksichtigen muss. Hierzu zählen insbesondere die Auswirkungen einer Gefährdung und der Einfluss des (mehr oder weniger beeinflussbaren) Menschen durch die Wahrscheinlichkeit des möglichen Fehlverhaltens.

Wird davon ausgegangen, dass sich die Menge aller Ausfall- und Betriebszustände eines Systems bzw. die Menge aller Fehlhandlungen eines Menschen in Ausfallzuständen/Fehlhandlungen mit gefährlichen Auswirkungen und Ausfall- und Betriebszuständen/Fehlhandlungen mit ungefährlichen Auswirkungen einteilen lässt, so ist leicht einzusehen, dass für die Sicherheit eines Systems lediglich die Menge der gefährlichen Zustände von Bedeutung ist (Bild 5-4).

Für die Berechnung der Zuverlässigkeit (Überlebenswahrscheinlichkeit) bzw. Verfügbarkeit müssen jedoch alle Ausfallzustände/Fehlhandlungen berücksichtigt werden.

Anhand Bild 5-4 lässt sich ein weiterer interessanter Sachverhalt verifizieren:

a) dass ein System ohne gefährliche Ausfall- und Betriebszustände eine absolute Sicherheit (Sicherheit/wahrscheinlichkeit) $S(t) = 1$ hat. Die Zuverlässigkeit (Überlebenswahrscheinlichkeit) bzw. Unverfügbarkeit kann dagegen immer noch sehr schlecht sein, besonders dann, wenn die Teilmenge der gefährlichen Zustände viel kleiner als die der ungefährlichen Zustände (praktisch oft gegeben) ist. D.h., weitere Maßnahmen, die einer Erhöhung der Sicherheit dienen, müssen nicht zwangsläufig zu einer Erhöhung der Zuverlässigkeit führen. Oft wird diese schlechter, besonders dann, wenn zur Sicherheitssteigerung zusätzlich die Menge der ungefährlichen Systemzustände stark ansteigt.

b) dass ein System mit einer hohen Zuverlässigkeit, durchaus im Vergleich mit anderen Systemen mit der gleichen hohen Zuverlässigkeit, eine geringere Sicherheit aufweisen kann.

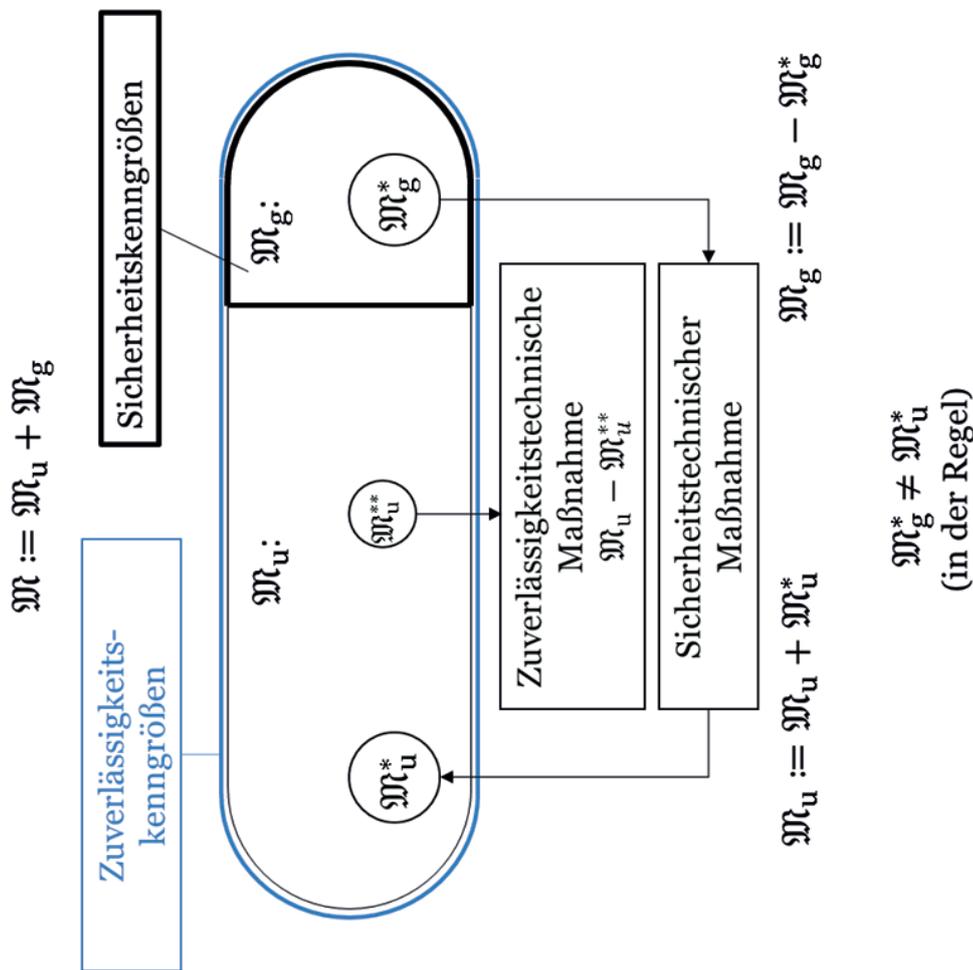
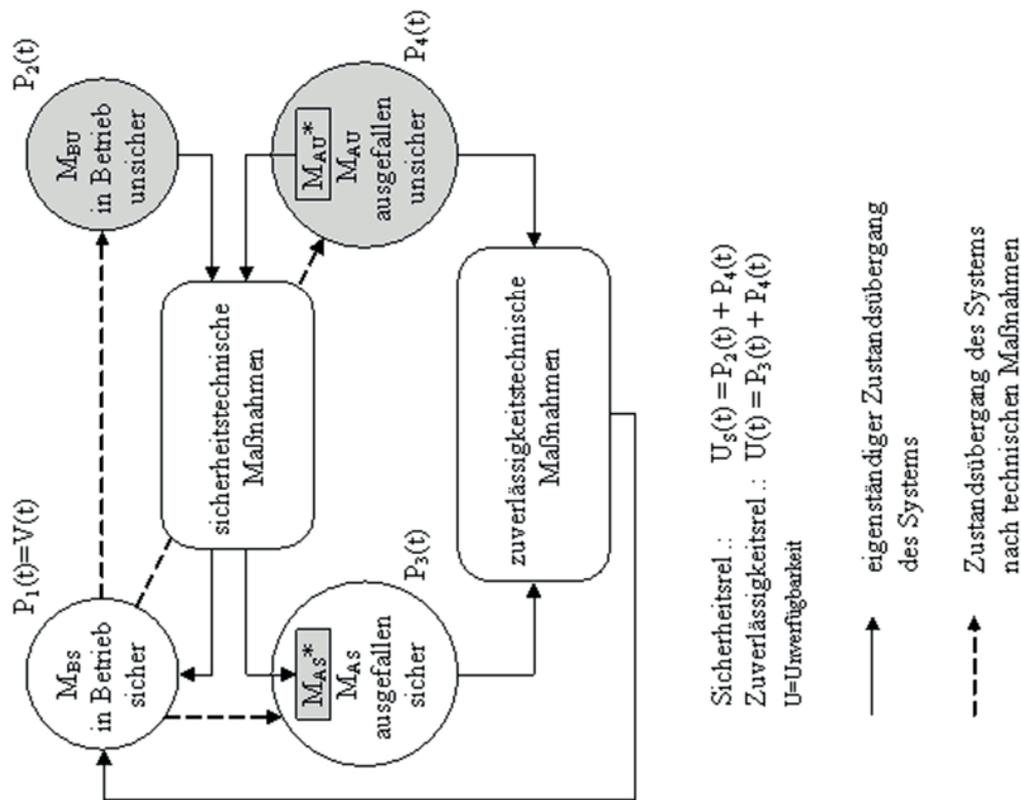


Bild 5-4 Zusammenhang zwischen Zuverlässigkeit und Sicherheit (Meyna, 1982 ergänzt; Meyna, Pauli, 2010)

Eine Übersicht der Nomenklatur zuverlässigkeits- und sicherheitstechnischer Grundgrößen zeigt Tabelle 5-2.

Tabelle 5-2 Nomenklatur zuverlässigkeits- und sicherheitstechnischer Grundgrößen (Meyna, Pauli, 2010)

Nicht reparierbare Systeme			
Zuverlässigkeit		Sicherheit	
Kenngröße	Formelzeichen	Kenngröße	Formelzeichen
Ausfallwahrscheinlichkeit	$F(t)$	Gefährdungswahrscheinlichkeit	$G(t)$
Überlebenswahrscheinlichkeit	$R(t)$	Sicherheitswahrscheinlichkeit	$S(t)$
Ausfalldichte	$f(t)$	Gefährdungsdichte	$g(t)$
Ausfallrate	$h(t)$	Gefährdungsrate	$\delta(t)$

Reparierbare Systeme			
Zuverlässigkeit		Sicherheit	
Kenngröße	Formelzeichen	Kenngröße	Formelzeichen
Instandsetzungswahrscheinlichkeit	$M(t)$	Sicherheitswiederherstellungswahrscheinlichkeit	$W(t)$
Instandsetzungsdichte	$m(t)$	Sicherheitswiederherstellungsdichte	$w(t)$
Reparaturrate	$\mu(t)$	Sicherheitsrestitutionsrate	$v(t)$
Verfügbarkeit	$V(t)$	Sicherheitsverfügbarkeit (Schutzgüte)	$V_s(t)$

5.2 Charakterisierung der Einflussgrößen

Wie aus den Zustandsdiagrammen der hoch- und vollautomatisierten Fahrerassistenzsysteme hervorgeht, ist es erforderlich, einen Aktionsplan für die Überführung eines hochautomatisierten Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand zu entwickeln (siehe Bild 4-20, Bild 4-35 und Bild 4-37).

Als Straßenkategorie wird eine mehrstreifige Richtungsfahrbahn (Autobahn) zugrunde gelegt.

In diesem Abschnitt werden die relevanten Einflussgrößen charakterisiert. Dabei ist zu beachten, dass aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge eine gewisse Unvollständigkeit zu konstatieren ist.

5.2.1 Einflussgröße Funktionseinschränkung

Wie vorstehend dargelegt, ist die Überführung eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand davon abhängig, in welchem Grad der Funktionserfüllung (Funktionsdegradierung) sich das Fahrzeug befindet.

Für die Auswirkung von Fehlerzuständen wurden in der Luftfahrtindustrie vier Klassen mit entsprechenden Eintrittswahrscheinlichkeiten normiert (siehe Bild 5-5 und Tabelle 5-3).

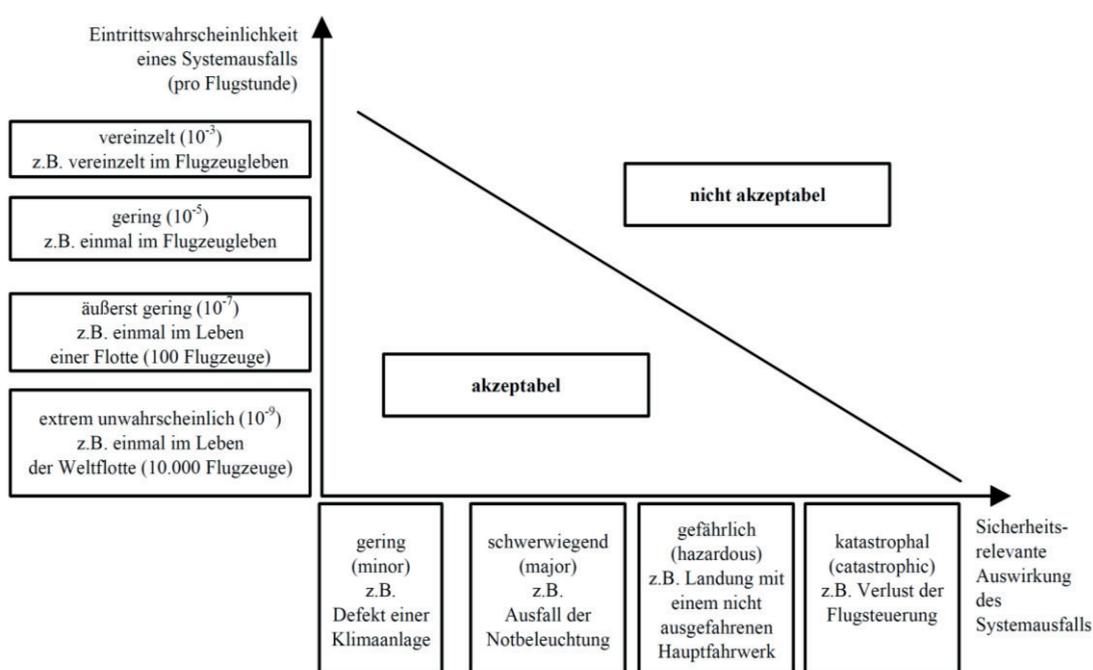


Bild 5-5 Definition Sicherheitsziele in der zivilen Luftfahrt im Farmer-Diagramm aus Knepper (2001)

Tabelle 5-3 Auswirkung von Fehlerzuständen in Bezug zu ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit (nach Society of Automotive Engineers) aus Meyna, Pauli, 2010

Wahrscheinlichkeit (Quantitiv)	Pro Flugstunde					
		10 ⁻³		10 ⁻⁵	10 ⁻⁷	10 ⁻⁹
Wahrscheinlichkeit (Beschreibend)	FAR	Probable (wahrscheinlich)		Improbable (unwahrscheinlich)		Extremely Improbable (nahezu unmöglich)
	JAR	Frequent (häufig)	Reasonably Probable (möglich)	Remote (unwahrscheinlich)	Extremely Remote (sehr unwahrscheinlich)	Extremely Improbable (nahezu unmöglich)
Fehlerauswirkungsklassifikation	FAR	Minor (unbedeutend)		Major (bedeutend)	Severe Major (schwerwiegend)	Catastrophic (katastrophal)
	JAR	Minor (unbedeutend)		Major (bedeutend)	Hazardous (gefährlich)	Catastrophic (katastrophal)
Fehlerauswirkung	FAR & JAR	Leichte Beeinträchtigung der Sicherheitsfaktoren Leichte Erhöhung der Arbeitsbelastung der Besatzung Leichte Unannehmlichkeiten für die Passagiere		Beeinträchtigung der Sicherheitsfaktoren oder der Funktionalität Bedeutende Erhöhung der Arbeitsbelastung der Besatzung oder Verschlechterung der Arbeitseffektivität Größere Unannehmlichkeiten für die Passagiere	Starke Beeinträchtigung der Sicherheitsfaktoren oder der Funktionalität Überlastung der Besatzung, der zu unvollständiger oder unzureichender Aufgabenerfüllung führen kann Widrige Zustände für die Passagiere	Alle Fehlerzustände, die eine Fortsetzung eines sicheren Fluges inklusive einer Landung verhindern

Die in Bild 5-5 und Tabelle 5-3 aufgeführte Wahrscheinlichkeit für einen Unfall mit katastrophalen Auswirkungen (Verlust des Flugzeuges mit vielen Toten) beruht auf Erfahrungswerten der 80er Jahre mit 1 Unfall pro 10⁶ Flugstunden.

Des Weiteren geht man davon aus, dass jeder 10te Unfall durch Systemversagen bedingt ist und ca. 100 Systeme (Annahme) mit katastrophalen Auswirkungen auf das Flugzeug existieren.

Folgerung:

1 Unfall pro 10⁹ Flugstunden mit katastrophalen Auswirkungen (Flugzeugabsturz mit vielen Toten); gesellschaftliche Akzeptanz und Akzeptabilität vorhanden.

Die weiteren Sicherheitsziele (Minor, Major und Hazardous) wurden entsprechend heruntergebrochen.

Die in der zivilen Luftfahrt normierten Auswirkungen von Fehlerzuständen in Bezug zu ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit entsprechend Tabelle 5-3 sind für den automobilen Bereich nur bedingt übertragbar (Binfet-Kull, 2001; Heitmann, 2004 u.a.). Ein Vergleich von fly-by-wire und drive-by-wire (Nenninger, 2007) zeigt, dass die Unterschiede primär durch die Ausfallschwere, Zeit zur Überführung in den sicheren Zustand, Missionsdauer, Komplexität des Verkehrs, Training der Benutzer, Wartung, Redundanz, hohe Verfügbarkeit bis zum nächsten Flughafen, Kosten u.a. gegeben sind. Nicht zuletzt kann in der Automobilindustrie eine Differenzierung des Verletzungsrisiken für Passagiere in drei Klassen (siehe Tabelle 5-3) nicht toleriert werden, d.h., eine Übertragbarkeit der Sicherheitsziele der Luftfahrtindustrie ist nur über entsprechende Modifikationen möglich (Binfet-Kull, 2001; Heitmann, 2004).

Dessen ungeachtet, zeichnet sich der Sicherheits- und Zuverlässigkeitsprozess der zivilen Luftfahrt dadurch aus, dass alle Phasen der Produktentwicklung und Produktbetreuung als durchgängiger Prozess betrachtet und probabilistisch bewertet werden (Knepper, 2001; Reichelt, 2005; Luckner, 2006; Schneider, 2013 u.a.).

Auch hier wäre es empfehlenswert zu untersuchen, in wieweit die enge Wechselwirkungsbeziehung des Sicherheits- und Zuverlässigkeitsprozesses mit den Spezifikationsprozess der zivilen Luftfahrtindustrie auf den entsprechenden Prozessen der Automobilindustrie und deren Randbedingungen übertragbar sind.

Einen Überblick zum Deaktivierungsprozess hochautomatisierter, bewegter Systeme charakterisiert Hörwick (2011), im Kontext eines aktiven fail-safe-Verhaltens, kurz Systeme, wie Automobile, Züge, mobile Roboter und unbemannte U-Boote sowie den Deaktivierungsprozess eines Atomkraftwerkes.

In diesem Zusammenhang kann der Sicherheits- und Zuverlässigkeitsprozess und deren Anforderungen (Risikobewertung) im Eisenbahnbereich für ETCS (European Train Control System) und der Reaktortechnik (siehe Handbuch zur Störfallverordnung) als etabliert angesehen werden.

Dabei erfolgt eine Beurteilung von prognostizierten Risiken u.a. teilweise über ein Häufigkeits-Ausmaß-Diagramm entsprechend Bild 5-5.

Inwieweit Übertragungen aus diesen technologischen Bereichen für die Überführung eines automatisch gesteuerten Fahrzeuges in einen risikominimalen Zustand sinnvoll sind, bedarf weiterer Untersuchungen.

Fazit:

Aufgrund des weit entwickelten Sicherheits- und Zuverlässigkeitsprozesses in der zivilen Luftfahrt im Kontext des Validierungs- und Verifizierungsprozesses über alle Phasen der Produktentstehung und Produktbetreuung und dessen stochastischen Betrachtungen und Analysen, sollte dieser im Fokus einer möglichen ansatzweisen Übertragbarkeit auf den automotiven Bereich mit seinen zur Luftfahrtindustrie komplexeren Randbedingungen im Hinblick auf eine automatisierten Fahrzeugführung, untersucht werden.

Die aus der Metanorm IEC 61508 „Funktionale Sicherheit elektrischer, elektronischer, programmierbarer Systeme“ als Derivat adaptierte ISO 26262 „road vehicles – functional safety“ für den Funktionalen Sicherheitsprozess für Straßenfahrzeuge bis 3,5 Tonnen (Jung, 2008; Schlummer, 2012; Weitzel et al., 2012; Weitzel, 2013 u.a.) bezieht sich auf elektrische und elektronische (ohne programmierbare) Systeme im Fahrzeug. Die Norm enthält bekanntlich einige Inkonsistenzen und Subjektivitäten (siehe u.a. die vorstehend aufgeführte Literatur und Ständer, 2010).

Weiterhin werden keine Anforderungen bzgl. anderer Technologien, Erfassung des Umfeldes und Einflüsse von außen (z.B. Straßeninformationen, Kartenmaterial) u.a. sowie das Fahrerverhalten (ein Fahrzeug ist bekanntlich kein geschlossenes System) berücksichtigt.

Allerdings werden im Rahmen der Gefahren und Risikoanalyse die möglichen Schadensausmaße (Klasse So bis S3, Gefährdungswahrscheinlichkeiten der Ausgangssituation (E0 bis E4) und die Gefahrenabwehr (Co bis C3) qualitativ bestimmt und einer ASIL-Einstufung (ASIL-Bestimmungsmatrix) als Automotive-Sicherheits-Integritätslevel (ASIL A bis D) - wenn auch mit einer gewissen Subjektivität behaftet – unterzogen.

In Maier (2013) wird auf Basis der bekannten FMEA (Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse) ein IT-Konzept entwickelt, welches ASIL-Einstufungen auf Basis länder- und regionsspezifischen Systemschnittstellen (Kunde, Entwickler, Kfz-Systemen) einschließlich einer systematischen Dokumentation der Anforderungen an die Funktionen des Produktes sowie deren Umsetzung ermöglicht.

Im Kontext eines kognitiven Automobils und dessen Freigabe (Absicherungsstrategie siehe Winner, Wachenfeld, 2013; Wachenfeld, Winner 2015), sollte die ISO 26262 überarbeitet werden.

Das EU-Projekt RESPONSE 3 erarbeitete bekanntlich einen Code of Practice for ADAS (ADAS, Advanced Driver Assistance System) zur systematischen Bewertung möglicher Risiken durch Fahrerassistenzsysteme im Rahmen eines ganzheitlichen Ansatzes der Produktentwicklung (Knapp et al., 2009; Schwarz, 2003, 2012). Im Kontext hochautomatisierter und vollautomatisierter Systeme ist eine Fortführung Response 4 an AdaptIVE project (Knapp, 2013) geplant bzw. in Arbeit.

Die Funktionseinschränkung steht allerdings im engen Zusammenhang mit der Zeit, die erforderlich ist, um ein Fahrzeug in den risikominimalen Zustand zu überführen. Ohne Zuordnung einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (siehe hierzu Binfet-Kull 2001 und Heitmann 2004) wurde folgende Klassifizierung als Grad einer möglichen Funktionseinschränkung (Tabelle 5-4) zugrunde gelegt.

Tabelle 5-4 Grad der Funktionseinschränkung

Gefahrenpotential/ Funktionseinschränkung	Auswirkung auf Umfeld und Insassen
Normalbetrieb	-
Gering	Alle Grundfunktionen vorhanden (Komfortverschlechterung)
Mittel	Wesentliche Funktionseinschränkungen
Groß	Sicherheitsrelevante Funktionseinschränkung
Sehr groß	Verlust der Fahrzeugkontrolle

Vorstehende Einteilung halbiert die sonst bei einer FMEA im Bereich Automotive üblichen zehn verschiedenen Klassen (VDA Band 4, 2012), wodurch die Zuordnung eines bestimmten Ereignisses zu einer Klasse vereinfacht wird. Die vorstehende Klassifizierung ist fiktiv, d.h., sie kann jederzeit erweitert, reduziert und anders bezeichnet werden.

Allerdings ist eine Klassifizierung des Grades der Funktionseinschränkung als Gefahrenpotential P_G verbunden mit der Schwere der Auswirkung im Kontext der zeitlichen Überführung $t_{ü}$ eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand angebracht (Bild 5-4).

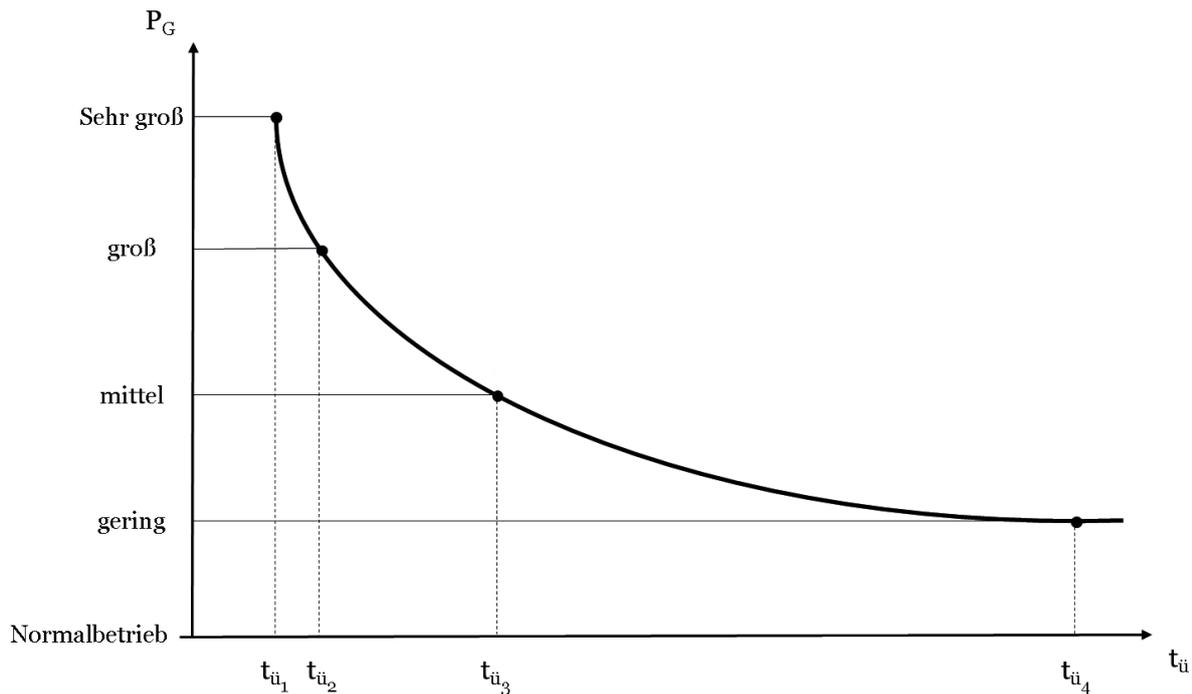


Bild 5-6 Grad der Funktionseinschränkung in Anhängigkeit der Überführungszeit in den risikominimalen Zustand

Dabei ist es jederzeit möglich, den Grad der Funktionseinschränkung und die damit verbundenen Gefahrenpotentiale P_G mit einer entsprechenden Wahrscheinlichkeit zu belegen (z.B. für den Fall sehr großer Funktionseinschränkung $P_G = 10^{-9}$ bezogen auf eine Betriebsstunde). Entsprechende normative Vorgaben wären hier hilfreich.

Wie aus Bild 5-6 hervorgeht, ist bei einer sehr großen Funktionseinschränkung verbunden mit einem totalen Verlust der Fahrzeugkontrolle (z.B. Ausfall Lenkung, Bremse), das Fahrzeug sofort $t_{\ddot{u}1}$ in der eigenen Fahrspur – verbunden mit einer entsprechenden Warnstrategie – zum Stillstand zu bringen. Des Weiteren ist bei einer Funktionseinschränkung (Ausfall) der Umfelderkennung (Laserscanner, Radar, Kamera, DGPS = Differential GPS) eine Überführung des Fahrzeuges auf einen Seitenstreifen (Fahrbahnrand) nicht möglich; eine Überführung in einen risikominimalen Zustand kann dementsprechend nur durch Stillstand im eigenen Fahrstreifen erfolgen. Liegt hingegen eine geringfügige Funktionseinschränkung vor (leichter Fehler, unbedeutender Ausfall), so besteht, aufgrund der zur Verfügung stehenden größeren Zeit $t_{\ddot{u}4}$, in jedem Fall, d.h., auch bei einer erhöhten Verkehrsdichte und schlechten Witterungsbedingungen die Möglichkeit, das Fahrzeug in einen risikominimalen Zustand auf den Seitenstreifen (falls vorhanden) oder in eine Werkstatt zu überführen.

Nicht zuletzt ist es überlegenswert, ob im Falle einer Funktionseinschränkung *bewusst*, im Sinne fail-operation, ein automatisiertes Fahrzeug in einen bestimmten degradierten Zustand überführt werden sollte; Zielsetzung: Aufrechterhaltung der Fahrzeugführung mit reduzierter Geschwindigkeit und Weiterfahrt im eigenem Fahrstreifen.

5.2.2 Einflussgröße Verkehrsstrom

Fundamentaldiagramm

Nachfolgend wird davon ausgegangen, dass eine Funktionseinschränkung vorliegt, der Fahrer jedoch als Rückfallebene nicht zur Verfügung steht (Zustand 5, Bild 4-20), das hochautomatisierte Fahrzeug allerdings noch dazu in der Lage ist, einen entsprechenden Aktionsplan „Fail-Safe-Zustand“ (siehe Hörwick, 2011) zu starten und die Kontrolle hinsichtlich des Überführens in einen risikominimalen Zustand (siehe hierzu auch Abschnitt 4.2.5 Vollautomatisierte Fahrassistentenfunktionen Bild 4-22 und Abschnitt 4.3 Wirkweise C Bild 4-37) zu übernehmen.

In diesem Zusammenhang ist zu untersuchen, unter welchen Randbedingungen des Verkehrsablaufes auf einer mehrstreifigen Richtungsfahrbahn

- ein Anhalten im eigenen Fahrstreifen oder ein
- Anhalten auf dem Seitenstreifen nach u.U. mehrmaligen Fahrstreifenwechsel möglich und empfehlenswert ist.

Vorstehende Strategien stehen in engem Zusammenhang mit der weit entwickelten Theorie des Verkehrsflusses. Hierzu liegen zahlreiche Forschungsergebnisse vor, die auch ansatzweise im Rahmen des Projektes nicht dargestellt werden können.

Für die Modellierung des Gesamtsystems Fahrer, Fahrzeug, Umwelt und dessen Wechselbeziehungen haben sich in der automobilindustriellen Praxis Verkehrssimulationsprogramme etabliert. So ermöglicht das von der Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen Aachen (fka) und der BMW AG entwickelte Simulationsprogramm PELOPS (Programmsystem zur Entwicklung längsdynamischer mikroskopischer Verkehrsprozesse in systemrelevanter Umgebung, www.pelops.de) die Bewertung und Auslegung von FAS und infrastrukturgestützter Maßnahmen zur Verkehrsbeeinflussung.

Allgemein wird in der Theorie des Verkehrsablaufs zwischen einer

- *mikroskopischen* (siehe PELOP) und
- *makroskopischen*

Betrachtung und Analyse unterschieden.

Dabei ist eine *mikroskopische* Modellierung durch das Verhalten einzelner Fahrzeuge in einem Fahrbahnabschnitt dargestellt durch Streckengeometrie, Kinematik (Trajektorie im Weg-Zeit-Diagramm), Antriebseigenschaften und Bewegung des Fahrzeuges u.a., gekennzeichnet.

Wichtige Kenngrößen sind die

- *Zeitlücke* (brutto, netto) zwischen zwei aufeinanderfolgende Fahrzeuge (siehe Abschnitt 5.2.3)
- *Weglücke* (Abstand) zwischen zwei aufeinanderfolgende Fahrzeuge zu einem bestimmten Zeitpunkt
- *Geschwindigkeit* einzelner Fahrzeuge bezogen auf einen Ort und Zeitpunkt.

Eine *makroskopische* Modellierung betrachtet hingegen die Gesamtheit der Fahrzeuge als Verkehrsstrom mit den drei stochastischen Parametern

- *Verkehrsstärke* q [Fahrzeuge/Zeit], lokale Größe bezogen auf Zeitelement Δt
- *Verkehrsdichte* k [Fahrzeuge/Weg], momentane Größe bezogen auf Wegelement Δs und
- *mittlere momentane Geschwindigkeit* \bar{v}_m [km/h],

die durch Messung (in der Regel lokal statt momentan) bestimmt und in einem Diagramm dargestellt werden (Bild 5-7). Für einen stationären Verkehrsablauf gilt die einfache Zustandsbeziehung $q = k \cdot \bar{v}_m$.

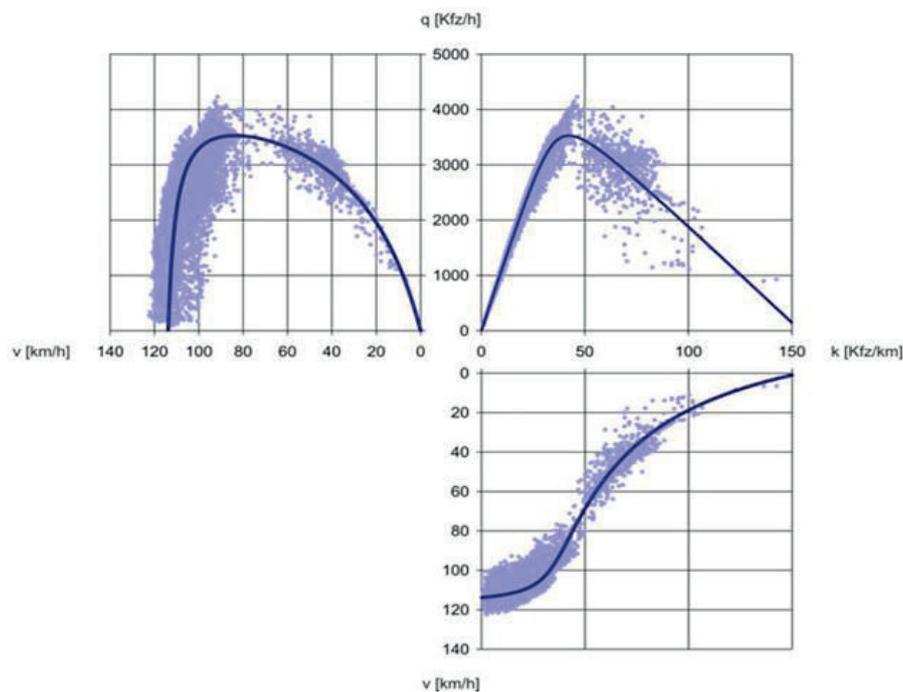


Bild 5-7 Empirischer Zusammenhang zwischen den makroskopischen Kenngrößen q , v und k in Stunden-Intervallen und angepasste Modellfunktion (Brilon, Geistefeldt, 2011)

Die Darstellung der Beziehung zwischen Verkehrsstärke q und Verkehrsdichte k wird als *Fundamentaldiagramm* (siehe hierzu auch FGSV Merkblatt, 2004) bezeichnet.

Dabei stellt die Beziehung

$$E_m(V) = \frac{q_i}{k_i} = \bar{v}_{m_i}$$

mit

$E_m(V)$ = momentaner Erwartungswert der Geschwindigkeit,

die Neigung eines Radialvektors zu einem Punkt (q_i, k_i) dar (Bild 5-8).

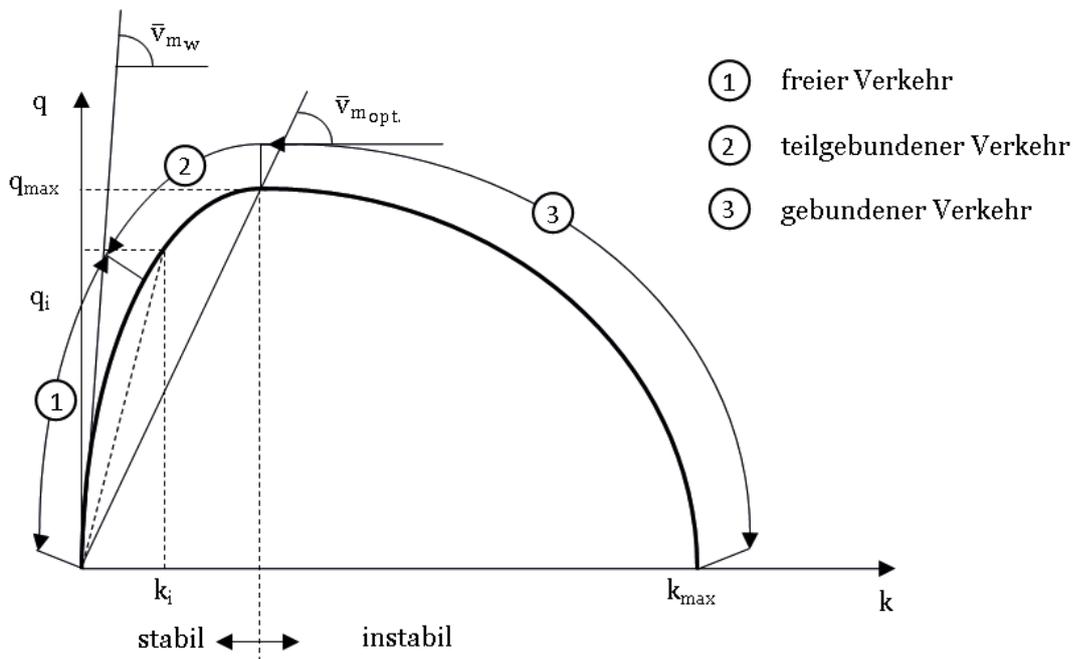


Bild 5-8 Einteilung des Verkehrsflusses im q - k -Diagramm

Bei freiem Verkehr bewegt sich der Radialvektor \bar{v}_{m_w} (mittlere freie Wunschgeschwindigkeit) in Richtung $\bar{v}_{m_{opt.}}$.

Die Bestimmung von q_{max} aus Beobachtungswerten ist oft schwierig; aus diesem Grunde wird das Fundamentaldiagramm aus der Beziehung zwischen k und \bar{v}_m gewonnen. Allerdings dürfte es zukünftig, aufgrund einer Car2Car-Kommunikation möglich sein, auch die Verkehrsstärke q momentan zu beobachten, wodurch Streifenwechselmanöver effizienter zu gestalten wären.

Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Verkehrsstärke

Der Verkehrsfluss lässt sich allgemein wie folgt einteilen:

a) *freier* Verkehr

bei dem jeder Fahrer seine Wunschgeschwindigkeit \bar{v}_w frei wählen kann,

b) *teilgebundener* Verkehr

bei dem – aufgrund der zunehmenden Verkehrsstärke – die mittlere Geschwindigkeit absinkt und dementsprechend nicht alle Fahrzeuge frei überholt werden können,

c) *gebundener* Verkehr (Kolonnen)

bei dem überhaupt keine Überholungen mehr möglich sind (einzelne Langsamfahrer können eine Kolonne in mehrere Teilkolonnen auflösen),

d) *Stau*

(siehe Bild 5-9).

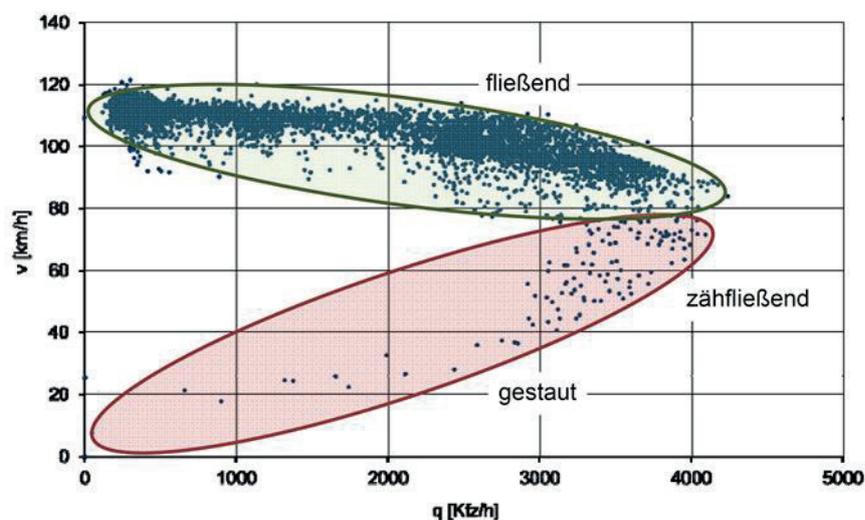


Bild 5-9 Verkehrszustände im q - v -Diagramm (zweistreifige Richtungsfahrbahn, Stunden-Intervalle) aus Geistefeldt, Lohoff, 2011)

Für $\bar{v}_m \rightarrow \bar{v}_w$ (Mittelwert der Wunschgeschwindigkeit) gilt

$$\lim_{\bar{v}_m \rightarrow \bar{v}_w} \frac{d\bar{v}_m}{dq} \rightarrow 0.$$

Der Übergang vom teilgebundenen zum gebundenen Verkehr ist durch das Maximum mit

$$\frac{dq}{d\bar{v}_m} = 0$$

gegeben. Die zugehörige mittlere Geschwindigkeit ist \bar{v}_{opt} . Allerdings bedeutet dies nicht, dass in jeder Hinsicht der Verkehrsablauf optimal ist.

Wie Beobachtungen zeigen, nimmt die mittlere Geschwindigkeit im Bereich des teilgebundenen und gebundenen Verkehrs mit zunehmender Verkehrsdichte ab. Bei freiem Verkehr, d.h., die mittlere Geschwindigkeit ist unabhängig von der Verkehrsbelastung, ist diese auch von der Verkehrsdichte unabhängig.

Für $k \rightarrow 0$ gilt

$$\lim_{k \rightarrow 0} \frac{d\bar{v}_m}{dk} = 0.$$

Steht die Kolonne, so ist $\bar{v}_m = 0$ und $k = k_{\text{max}}$. Die maximale Verkehrsdichte hängt von der Fahrzeuglänge und von der Auffahrdichte im Stau ab.

Eine feinere Einteilung des Verkehrsflusses (Bild 5-10) erfolgte durch Kim und Keller (2001) charakterisiert durch entsprechend mögliche Übergänge (siehe Pfeile in Bild 5-10).

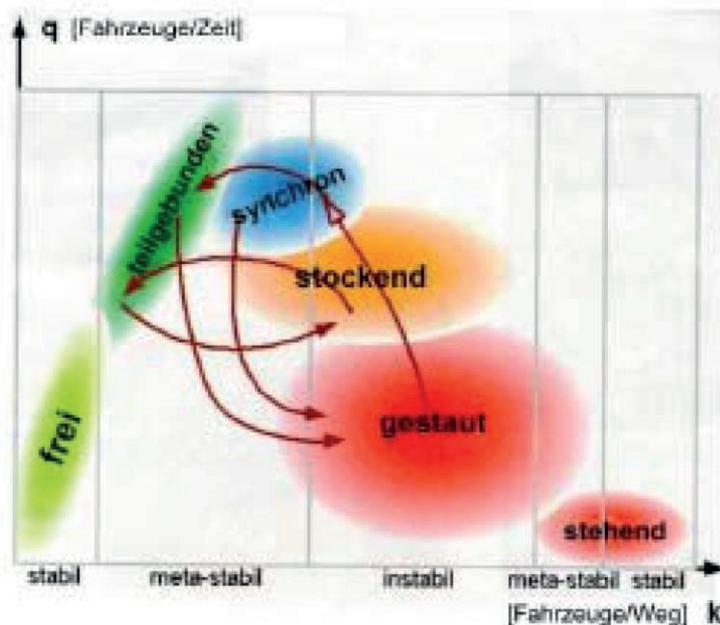


Bild 5-10 Übergänge zwischen Verkehrszuständen im Fundamentaldiagramm (nach Kim und Keller, 2001; aus FGSV Merkblatt 2004)

Die sechs Verkehrszustände lassen sich nach FGSV Merkblatt (2004) wie folgt charakterisieren:

- „Freier Verkehr: stationärer und stabiler Verkehrsfluss, deutliche Unterschiede zwischen Fahrstreifen.
- Teilgebundener Verkehr: meta-stabiler Zustand, Verkehrsteilnehmer in Bewegungsfreiheit stark eingeschränkt.
- Synchroner Verkehr: Geschwindigkeiten auf allen Fahrstreifen gleich und etwas geringer als im teilgebundenen Verkehr, aber immer noch hoch.
- Stockender Verkehr: niedrige, extrem schwankende Geschwindigkeit bei relativ hoher und nur kaum schwankender Verkehrsstärke, Geschwindigkeit und Verkehrsstärke sind nur gering korreliert.
- Gestauter Verkehr: niedrige Geschwindigkeit und sehr niedrige Verkehrsstärke, stromaufwärts laufende Schockwellen.
- Stehender Verkehr: Geschwindigkeit nahezu null.“

In seinem Aufsatz „Verkehr auf Schnellstraßen im Fundamentaldiagramm“ entwickelt Wu (2000) ein neues Modell unter Berücksichtigung des Zeitlückenverhaltens für den fließenden und zähfließenden Bereich durch vier homogene Zustände und Kenngrößen, (Bild 5-11) die durch entsprechende Gleichungen formuliert und durch Messdaten überprüft wurden, unter der Voraussetzung, dass die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der einzelnen Zustände bekannt sind.

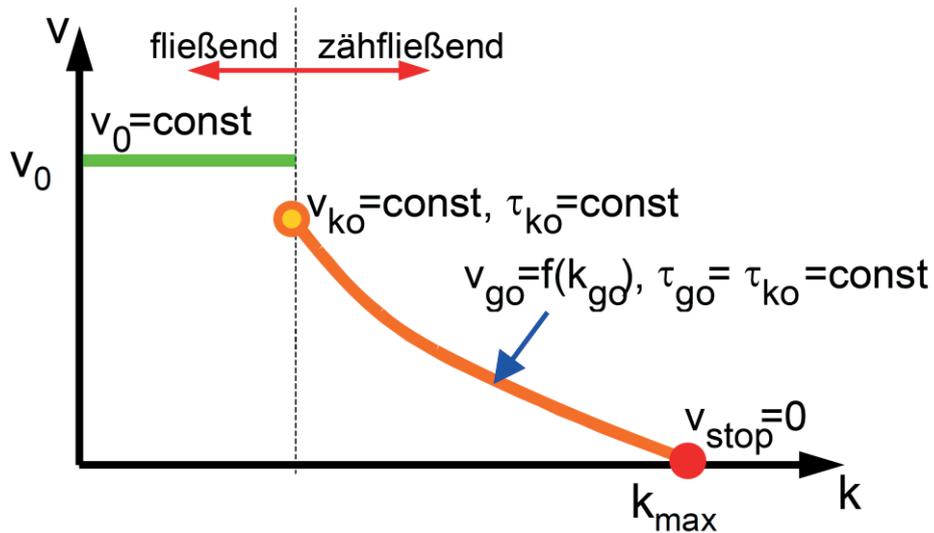


Bild 5-11 Verlauf der homogenen Zustände in der k - v -Beziehung nach Wu (2000)

- fließender Verkehr
 - einzelne Fahrzeuge („Frei“)
 - Wunschgeschwindigkeit v_0 , Auftretenswahrscheinlichkeit p_{frei}
 - gebunden
 - Geschwindigkeit Kolonne v_{ko} ,
 - Nettozeitlücke τ_{ko} zwischen zwei Fahrzeugen,
 - Auftretenswahrscheinlichkeit $p_{ko} = 1 - p_{\text{frei}}$
- zähfließender Verkehr (Stop and Go)
 - gebundene Kolonne
 - Nettozeitlücke τ_{go} zwischen zwei Fahrzeugen,
 - Auftretenswahrscheinlichkeit p_{go}
 - stehende Fahrzeuge
 - k_{max} als maximale Verkehrsdichte,
 - Auftretenswahrscheinlichkeit $p_{\text{stop}} = 1 - p_{go}$

z.B. gilt nach Wu allgemein für Autobahnen

$v_0 = 130 \text{ km/h}$, $v_{ko} = 80 \text{ km/h}$, $\tau_{ko} = 1,5 \text{ s}$, $\tau_{go} = 2,0 \text{ s}$, $k_{\text{max}} = 133 \text{ Fz/km}$
(gemittelt über die Fahrstreifen).

Verkehrsstärke und deren Fahrstreifenaufteilung

Die Aufteilung der Gesamtverkehrsstärke q auf die einzelnen Fahrstreifen kann ebenfalls als wichtige Einflussgröße für die Überführung eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand angesehen werden. Aufgrund des Rechtsfahrgebotes weist der rechte Fahrstreifen bei einer geringen Verkehrsstärke den höchsten Anteil an der Gesamtverkehrsstärke auf und vice versa bei hoher Verkehrsstärke der linke Fahrstreifen (Geistefeldt, 2007). Ursache hierfür sind kleinere Zeitlücken bei einem Spurwechsel nach links als bei einem Spurwechsel nach rechts (Sparmann, 1978).

Für eine zwei- und dreispurige Richtungsfahrbahn zeigt Bild 5-12 die entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilung p der Fahrstreifenverteilung.

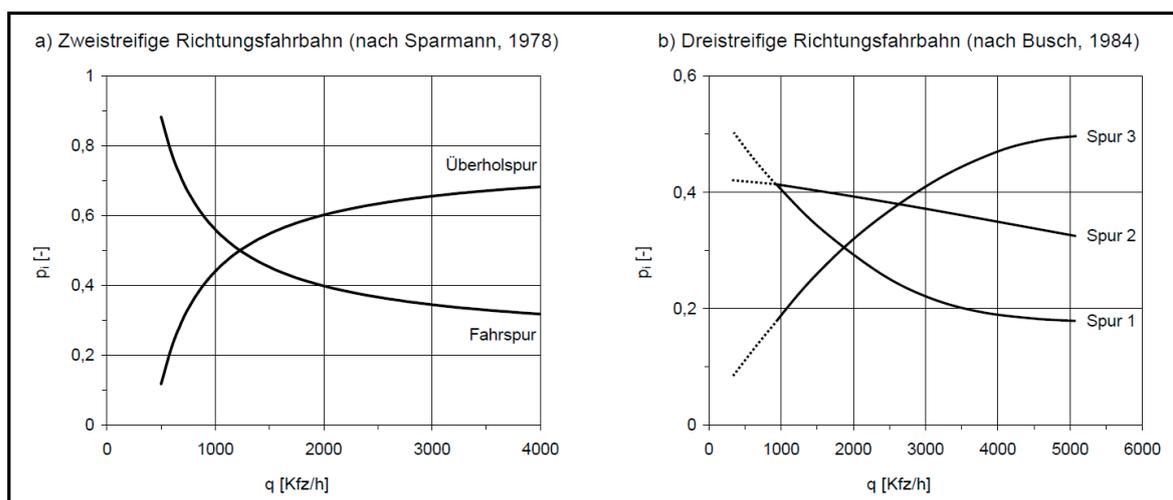


Bild 5-12 Fahrstreifenaufteilung auf zwei- und dreistufigen Richtungsfahrbahnen (Geistefeldt, 2007)

Entsprechend Bild 5-12b (dreistufige Richtungsfahrbahn) ist unter Zugrundelegung von $q_{\max} = 5000$ [Kfz/h] der linke Fahrstreifen zu etwa 50 %, der mittlere zu 32 % und der rechte zu 18 % belegt.

In seinen umfangreichen empirischen und theoretischen Untersuchungen zum Verkehrsablauf und der Verkehrssicherheit auf vierstreifigen Richtungsfahrbahnen (A5) kommt Geistefeldt (2007) zu einer Standardisierung der Fahrstreifenaufteilung entsprechend Bild 5-13.

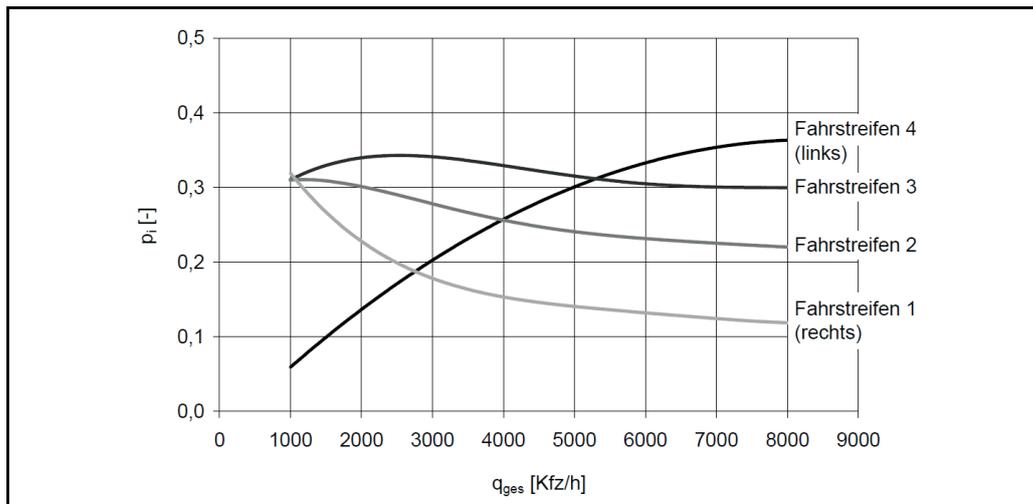


Bild 5-13 Standardisierte Fahrstreifenaufteilung auf vierstreifigen Richtungsfahrbahnen außerhalb der Knotenpunkte ohne Geschwindigkeitsbeschränkung (Geistefeldt, 2007)

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass die Kapazität einer Straße über die größte Verkehrsstärke entsprechend den Weg- und Verkehrsbedingungen wie Fahrstreifenanzahl, Fahrstreifenbreite, Schwerverkehrsanteil, Verkehrszustand (siehe Merkblatt FGSV, 2004) als Scheitelpunkt im q - v -Diagramm als Übergang zwischen stabilen und instabilen Verkehrsfluss definiert ist; allerdings erheblich schwanken kann.

Nach Geistefeldt (2007) gilt für die Verteilungsfunktion der Kapazität $F_c(q) = P(C \leq q)$ mit c =Kapazität und q =Verkehrsstärke als Wahrscheinlichkeit, dass es zu einem Zusammenbruch des Verkehrsflusses kommt; weitere Ausführungen hierzu siehe Geistefeldt.

Praktische Untersuchungen zeigen, dass die Kapazität eines Fahrstreifen in der Größenordnung von etwa $1600 \text{ Kfz/h} \leq q \leq 2000 \text{ Kfz/h}$, bei einer mittleren Reisegeschwindigkeit von $60 \text{ km/h} \leq v \leq 90 \text{ km/h}$ liegt.

5.2.3 Einflussgröße Zeitlücke (international „Time-headway“, THW)

Wie bereits dargelegt, ist für das Szenario „Überführen eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand“ die Zeitlücke (netto, brutto) zwischen den Fahrzeugen in einer Spur eine wichtige Kenngröße (Bild 5-14).

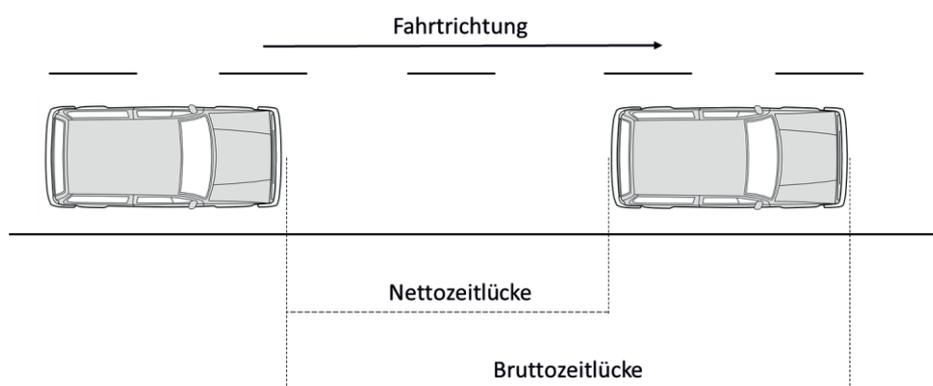


Bild 5-14 Zeitlücke zweier aufeinanderfolgender Fahrzeuge

Die Charakterisierung des Abstandes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Fahrzeugen über die Zeitlücke berücksichtigt bekanntlich die gefahrene Geschwindigkeit,

z.B. $v = 100 \text{ km/h} = 27,7 \text{ m/s}$, Zeitlücke $\tau = 1,8 \text{ s}$ ergibt einen Abstand von ca. 50 m. Zeitlücken im Straßenverkehr bewegen sich in der Regel zwischen $\tau = 1 \text{ s}$ und $\tau = 3 \text{ s}$.

Für die Gewährleistung eines Mindestabstandes ist eine Nettozeitlücke von $\tau_N = 1 \text{ s}$ als Mindestwert empfehlenswert. Unter Einbeziehung der Fahrzeuglänge und unterschiedlichen Bremsverhalten wird in der Rechtsprechung (BKatV) eine Mindestbruttozeitlücke von $\tau_B = 1,5 \text{ s}$ bis $\tau_B = 2 \text{ s}$ gefordert.

Für LKW mit einer Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h (Mindestabstand 50 m) werden hingegen Zeitlücken von $\tau \geq 2,25 \text{ s}$ gefordert.

In seiner Dissertation „Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit auf Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen“ konnte Geistefeldt (2007) empirisch nachweisen, dass ohne Berücksichtigung der Verkehrsstärke die Bruttozeitlücke bei 60 % der PKW-Fahrzeuge und 20 % der LKW unter 2 Sekunden lag. In 27 % der Fälle befand sich diese für PKW sogar unter 1 s. D.h., sehr geringe Abstände besonders auf der linken Fahrspur; lediglich bei 23 % der gemessenen Zeitlücken war diese größer als 2 s.

Bild 5-15 zeigt die von Geistefeldt (2007) ermittelte empirische Zeitlückenverteilung für die Fahrbahnen der A5 und Bild 5-16 eine Darstellung der Fahrzeuge mit Zeitlücken größer 1 s in Abhängigkeit der Fahrstreifenverkehrsstärke q_{Fstr} .

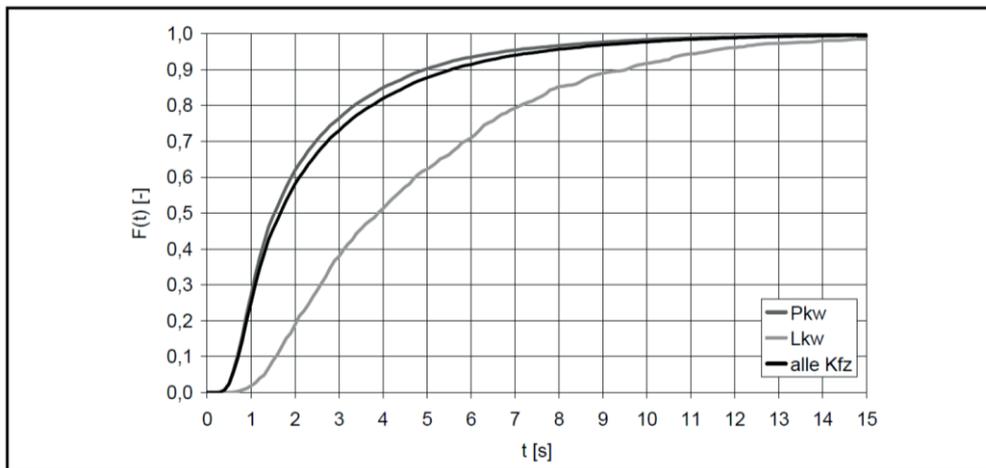


Bild 5-15 Empirische Zeitlückenverteilung für den gesamten Messzeitraum (Geistefeldt, 2007)

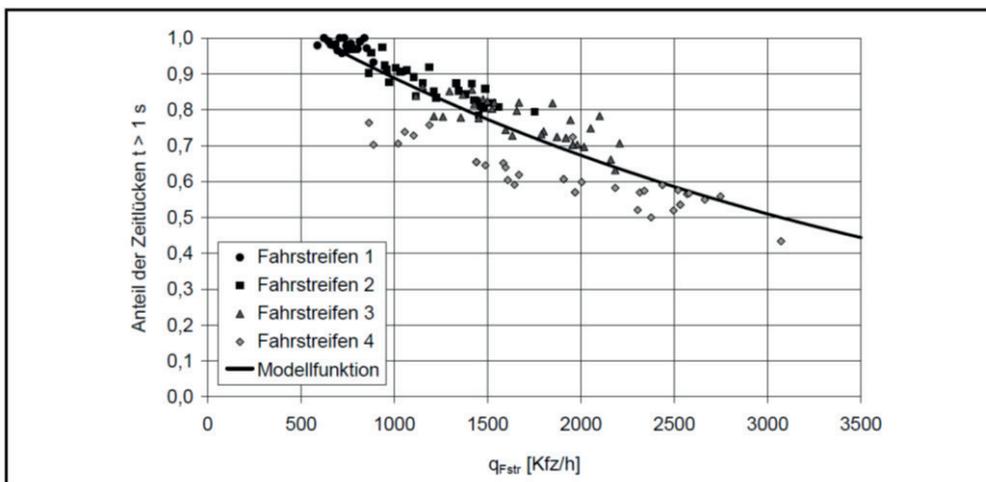


Bild 5-16 Anteil der Fahrzeuge mit einer Zeitlücke $t > 1$ s in Abhängigkeit von der Fahrstreifen-Verkehrsstärke q_{Fstr} (Fahrstreifennummern von rechts Fahrstreifen 1 nach links Fahrstreifen 4) (Geistefeldt, 2007)

Fazit:

Aufgrund der Zeitlückenverteilung in den einzelnen Fahrspuren kann ein Fahrspurwechsel im Kontext des Überfahrens eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand, abhängig von der jeweiligen Verkehrsstärke in den Fahrspuren mit einer mehr oder weniger langen Wartezeit (siehe hierzu Bild 5-23, „Durchführung Spurwechsel“) verbunden sein.

Bei einem Spurwechsel von rechts nach links oder links nach rechts muss auf der Zielspur eine ausreichende Weglücke vorhanden sein. D.h., gefahrlos kann die Spur gewechselt werden, wenn die Zeitlücke zum nachfolgenden Fahrzeug auf der Zielspur mindestens 1 s und die Zeitlücke zum vorausfahrenden Fahrzeug auf der Zielspur ebenfalls 1 s beträgt (Bild 5-17), (Süss, 2003).

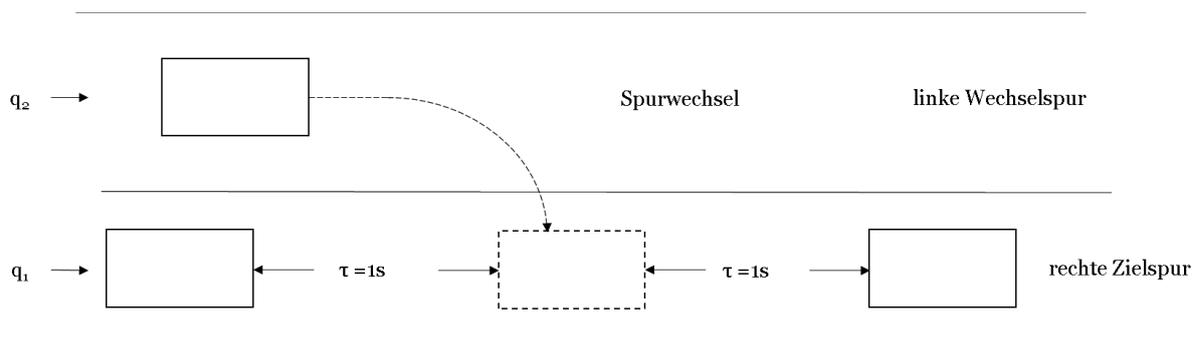


Bild 5-17 Spurwechselvorgang von links nach rechts

Nach Süß (2003) ist für einen Spurwechsel von links nach rechts das Absichtskriterium erfüllt, wenn das vorausfahrende Fahrzeug in der eigenen Fahrspur eine Zeitlücke von $\tau = 3$ s aufweist und zum vorausfahrenden Fahrzeug auf der rechten Zielspur die Zeitlücke $\tau = 6$ s beträgt, wenn nicht zuvor gebremst wurde und das Sicherheitskriterium entsprechend Bild 5-18 eingehalten werden kann.

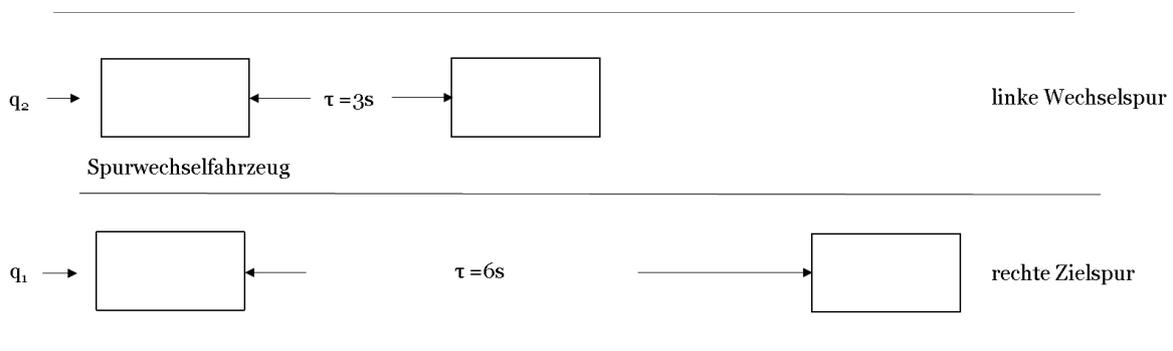


Bild 5-18 Absichtskriterium Fahrspurwechsel von links nach rechts

Nach Untersuchungen von Ehmans (2002) im Rahmen einer Simulatorstudie sind die durchschnittlichen Zeitlücken zum hinteren Fahrzeug (Einscherabstand) bei einem Spurwechsel nach links aufgrund der schnelleren Fahrspur und der folgenden Fahrzeuge deutlich größer als bei einem Spurwechsel in die langsamere Fahrspur nach rechts, die lediglich eine Raumabschätzung erfordert (Bild 5-19).

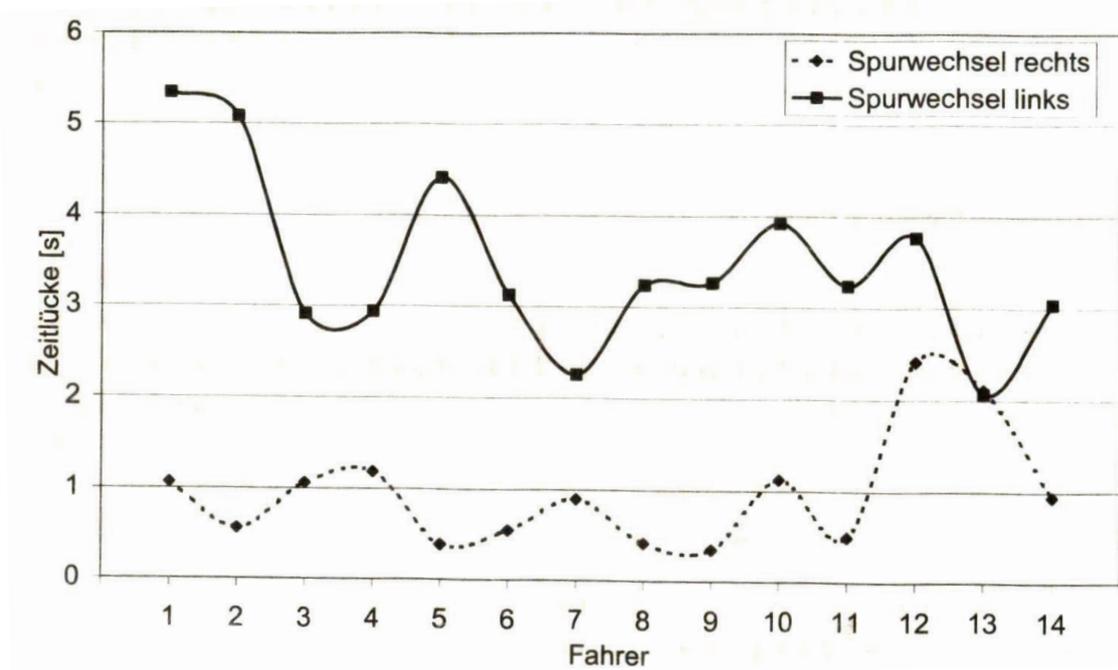


Bild 5-19 Durchschnittliche Zeitlücken beim Wechsel nach rechts und links (Ehmanns, 2002)

Die durchschnittliche Lückenweggröße, in die gewechselt wird, sollte nach Ehmanns (2002) in der Größenordnung von $\Delta s = 210$ m liegen. Außerdem konnte Ehmanns (2002) die durchschnittliche Spurwechseldauer nach rechts von $t = 1,9$ s und nach links von $t = 2,6$ s konstatieren.

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass ein Überholvorgang ohne Behinderung des nachfolgenden Verkehrs in der Regel maximal 45 Sekunden dauern darf (Oberlandesgericht Hamm, Aktenzeichen 4 Ss OWi 629/08).

Zur Trajektorienbildung und Bahnplanungsalgorithmen siehe u.a. Schröder (2009), Werling (2010), Ardelt (2012), Kaper (2012).

5.2.4 Einflussgröße Kollisionszeit (international „Time To Collision“, TTC)

Neben der Zeitlücke ist die Kollisionszeit TTC (siehe auch Abschnitt 4.3.2) im Kontext der Fahrerwahrnehmung und des Fahrerverhaltens eine weitere Einflussgröße zur Durchführung eines Spurwechsellvorgangs (Ehmanns, 2002).

D.h. aber auch, dass diese Einflussgröße bei einem maschinellen Spurwechsel verbunden mit einer mikroskopischen Betrachtung des Verkehrsflusses zu berücksichtigen

ist. Und es bedeutet auch, dass ein Spurwechsel nur bei einem ausreichenden TTC-Wert zum involvierten Umgebungsverkehr erfolgen darf.

Untersuchungen zum Fahrerspurwechselverhalten zeigen, dass die TTC-Zeit zum Fahrzeug auf der Zielspur ca. $TTC = 2\text{ s}$ und die auslösende TTC-Zeit für einen Spurwechsel aufgrund eines vorausfahrenden Fahrzeuges in der eigenen Spur bei $6\text{ s} < TTC \leq 8\text{ s}$ (Spurwechsel nach links) liegt (Ehmanns, 2002). In seiner Modellierung mittels Fahrermodell PELOPS zum taktischen Fahrerverhalten bei Spurwechselvorgängen (Simulatorstudie, Validierung durch Messfahrten im Realverkehr) untersucht Ehmanns (2002) insbesondere einen Spurwechsel nach links auf die Überholspur (Bild 5-20). Ein Spurwechsel nach links ist unter Berücksichtigung der entsprechenden Zeitlücken und der Verkehrsstärke, verbunden mit einem entsprechenden Beschleunigungs- oder Verzögerungsverhalten, durch potentielle Konfliktzonen und entsprechender Komplexität gekennzeichnet. Diese sind im Rahmen der vorliegenden Studie auch ansatzweise nicht darstellbar (siehe u.a. Ehmanns).

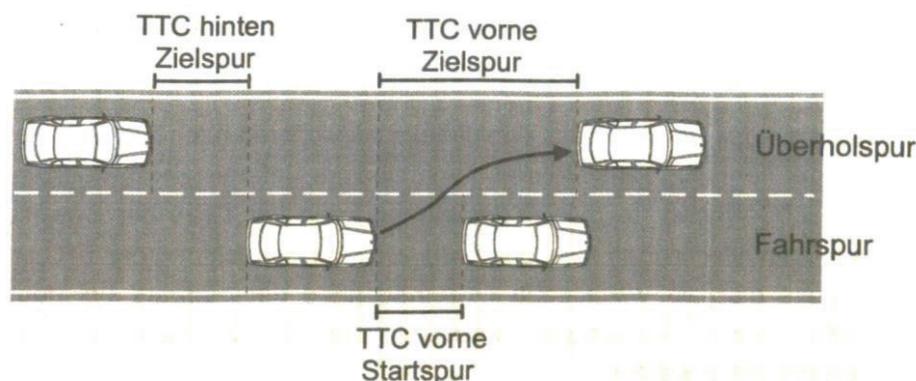


Bild 5-20 TTC zu relevanten Fahrzeugen (Ehmanns, 2002)

Ein Spurwechsel nach rechts wird allgemein als weniger komplex angesehen, da das zu überholende Fahrzeug langsamer fährt.

Nach Sparmann (1978) ist ein Spurwechsel nach rechts durch die Typisierung „Frei“ und „Beschleunigt“ gekennzeichnet (Bild 5-21).

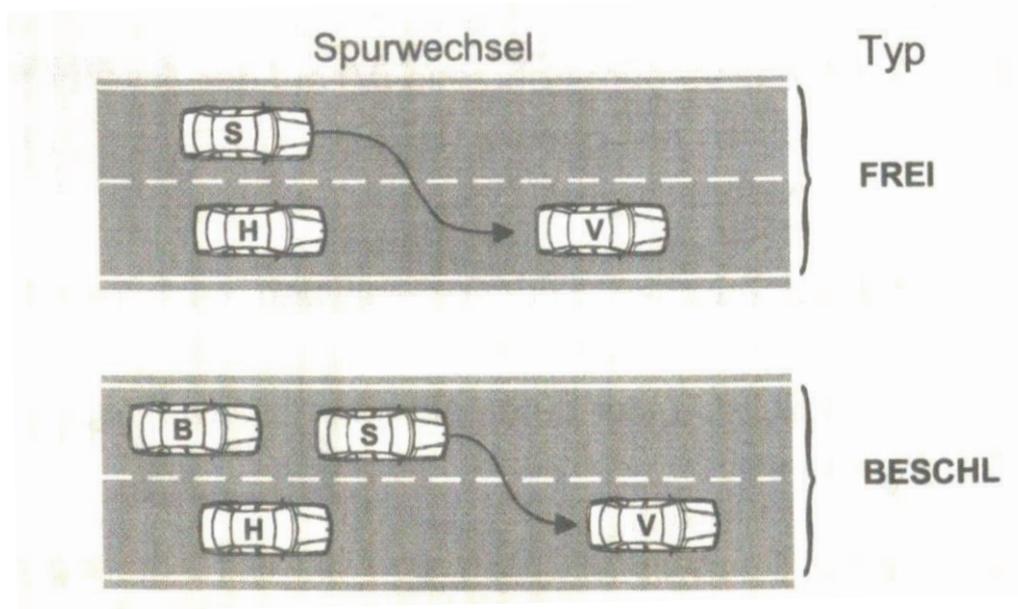


Bild 5-21 Spurwechseltypen nach rechts (Sparmann, 1978; aus Ehmans, 2002)

Entsprechend Bild 5-21 ist bei einem beschleunigten Spurwechsel in eine große Lücke die TTC-Zeit zum Folgefahrtzeug beim Wiedereinscheren zu berücksichtigen. Bei kleinen Lücken ist kooperatives Verhalten der involvierten Fahrzeuge (Führungs- und Folgefahrzeuge der Zielspur) erforderlich.

Die maschinelle Überführung eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand „Seitenstreifen“ ist primär durch einen Spurwechsel von links nach rechts gekennzeichnet. Allerdings ist es denkbar, dass eine Durchführbarkeitsprüfung für einen Streifenwechsel ergibt, dass aufgrund des Degradationszustandes des Fahrzeuges, z.B. keine Beschleunigung möglich, und der Verkehrssituation „linke Fahrbahn frei“, „Überführung auf den rechten Fahrstreifen nicht möglich“ der risikominimale Zustand durch ansteuern des linken Fahrstreifen ermöglicht wird (siehe Abschnitt 6.6).

Die weiteren Einflussgrößen zur Freiraumerkennung im Kontext der Trajektorienplanung und Durchführbarkeitsprüfung (Bild 5-23) wie hochgenaue Positionsbestimmung, digitale Karten, Umfelderkennung und Fahrstrategie wurden bereits erläutert.

5.2.5 Störungen und Unfälle

Eine weitere Einflussgröße für die Überführung eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand bilden fahrstreifenabhängige Störungen und Unfälle.

Nach Untersuchungen von Geistefeldt (2007), die wie zuvor erläutert, sich auf vierstreifige Richtungsfahrbahnen beziehen (A5 zwischen Westkreuz Frankfurt und Kreuz Darmstadt), verteilen sich die fahrstreifenbezogenen Pannen und Unfälle entsprechend Tabelle 5-5.

Tabelle 5-5 Störungen mit Blockierung einzelner Fahrstreifen auf dem Untersuchungsabschnitt der A5 im Zeitraum von April 2001 bis Dezember 2003 (Fahrstreifen 1 rechts, Fahrstreifen 4 links, Geistefeldt, 2007)

Ursache	Ereignisse insgesamt	Ereignisse mit Fahrstreifenblockierung	Ereignisse mit einer Blockierung von			
			Fahrstreifen 1	Fahrstreifen 2	Fahrstreifen 3	Fahrstreifen 4
Panne	92	59	30	4	3	32
Unfall	280	180	73	34	38	125

Auch wenn die für die Auswertung von Störungsmeldungen und Unfalldaten zugrunde gelegten Daten der Verkehrszentrale Hessen nicht unbedingt als repräsentativ für andere Richtungsfahrbahnen anzusehen sind, zeigt Tabelle 5-5, dass offensichtlich der linke Fahrstreifen und der rechte Fahrstreifen besonders von Pannen und Unfällen betroffen ist.

Aufgrund der geringen Störungsdichte und Blockierung des linken Fahrstreifens durch havarierte Fahrzeuge kommt Geistefeldt zum Fazit, dass ein zusätzlicher Seitenstreifen auf der linken Fahrbahnseite bei vierstreifigen Richtungsfahrbahnen nicht erforderlich ist.

Leider werden nach Recherchen (Destatis, BASt, ADAC, GDV) streifenbezogene Störungen und Unfälle auf mehrstreifigen Richtungsfahrbahnen einschließlich dem Seitenstreifen als Sicherheitsfunktion für Liegenbleiber zurzeit nicht erfasst, so dass die in Tabelle 5-5 aufgeführten Ergebnisse nicht repräsentativ sind. Hierzu sind weitere Untersuchungen erforderlich. Dies betrifft insbesondere auch den Seitenstreifen (falls vorhanden) selbst, da es auf diesem bekanntlich nicht selten zu spektakulären schweren Unfällen aufgrund fehlender Abstände, mangelhafter Absicherung, Dunkelheit/schlechtes Wetter, Umnutzung, unterbrochener Seitenstreifen, etc., kommt.

5.3 Szenarienbildung

Aufgrund der in Abschnitt 5.2 charakterisierten Einflussgrößen werden nachfolgend Szenarien für die Überführung eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand entwickelt.

Voraussetzung hierfür ist es, dass das maschinell gesteuerte Fahrzeug noch dazu in der Lage ist, seine Umgebung entsprechend wahrzunehmen, zu interpretieren und sichere Handlungen durchzuführen (Dietmayer, 2015).

Denkbar sind jedoch Risiken, die im Nachhinein eines Spurwechsels, aufgrund von Unsicherheiten (Güte) der maschinellen Wahrnehmung (Situationsprädikation), entstehen können (Dietmayer, 2015). Diese werden im Rahmen der nachfolgenden Szenarienbildung nicht berücksichtigt.

5.3.1 Funktionseinschränkung und Gefahrenpotential „groß bis sehr groß“

Entsprechend Tabelle 5-4 ist die Überführung eines Fahrzeuges auf den Seitenstreifen (falls vorhanden) nicht möglich. D.h., das Fahrzeug muss zwangsläufig auf dem eigenen Fahrstreifen bis zum Stillstand abgebremst und entsprechende Warnelemente aktiviert werden.

Warnstrategien stehen in Verbindung mit Lichtfunktionen (Warnblinklicht), Fahrmanövern (Schlangenlinien, Spurversatz) und deren Kombinationen um die Aufmerksamkeit der anderen Verkehrsteilnehmer zu erhöhen.

Hier wäre zu untersuchen, ob die nach §155 StVO geforderten Warnelemente generell im Kontext des automatisierten Fahrens für alle Fahrzeuge zu erweitern sind.

5.3.2 Funktionseinschränkung und Gefahrenpotential „gering bis mittel“

Für die nachfolgende Szenarienbildung wird davon ausgegangen, dass die Funktionseinschränkung eines automatisierten Fahrzeuges und das damit verbundene Gefahrenpotential einen Fahrstreifenwechsel nicht beeinträchtigt und die Überführung auf einen anderen Fahrstreifen prinzipiell möglich ist.

1. *Ego-Fahrzeug befindet sich auf dem rechten Fahrstreifen einer Richtungsfahr-
bahn*

Befindet sich das funktionseingeschränkte Fahrzeug auf dem rechten Fahrstreifen, (Bild 5-22 Modul (1-0)) so ist die Überführung auf den Seitenstreifen – falls vorhanden – in der Regel jederzeit möglich.

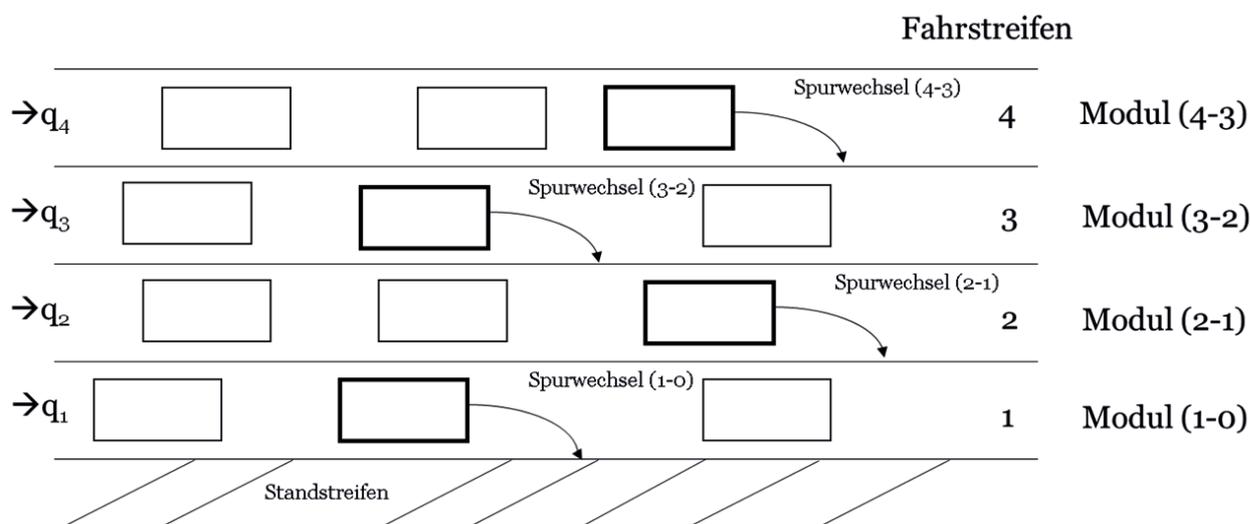


Bild 5-22 Spurwechsel eingeteilt in Module

Die Überführung ist unabhängig von den weiteren in Abschnitt 5.2 charakterisierten Einflussgrößen.

Ist ein Seitenstreifen nicht vorhanden oder blockiert, so erfolgt eine Abbremsung des Fahrzeuges bis zum Stillstand in dem eigenen Fahrstreifen in Verbindung mit einer entsprechenden Warnstrategie.

2. *Ego-Fahrzeug befindet sich auf dem Fahrstreifen 2*

Anhand der zuvor mit einem Streifenwechsel verknüpften und erläuterten Einflussfaktoren im Kontext unerwarteter Ereignisse, lässt sich für den Streifenwechsel eines Fahrzeuges von Fahrstreifen 2 nach 1 ein Modul (2-1) entsprechend Bild 5-23 entwickeln.

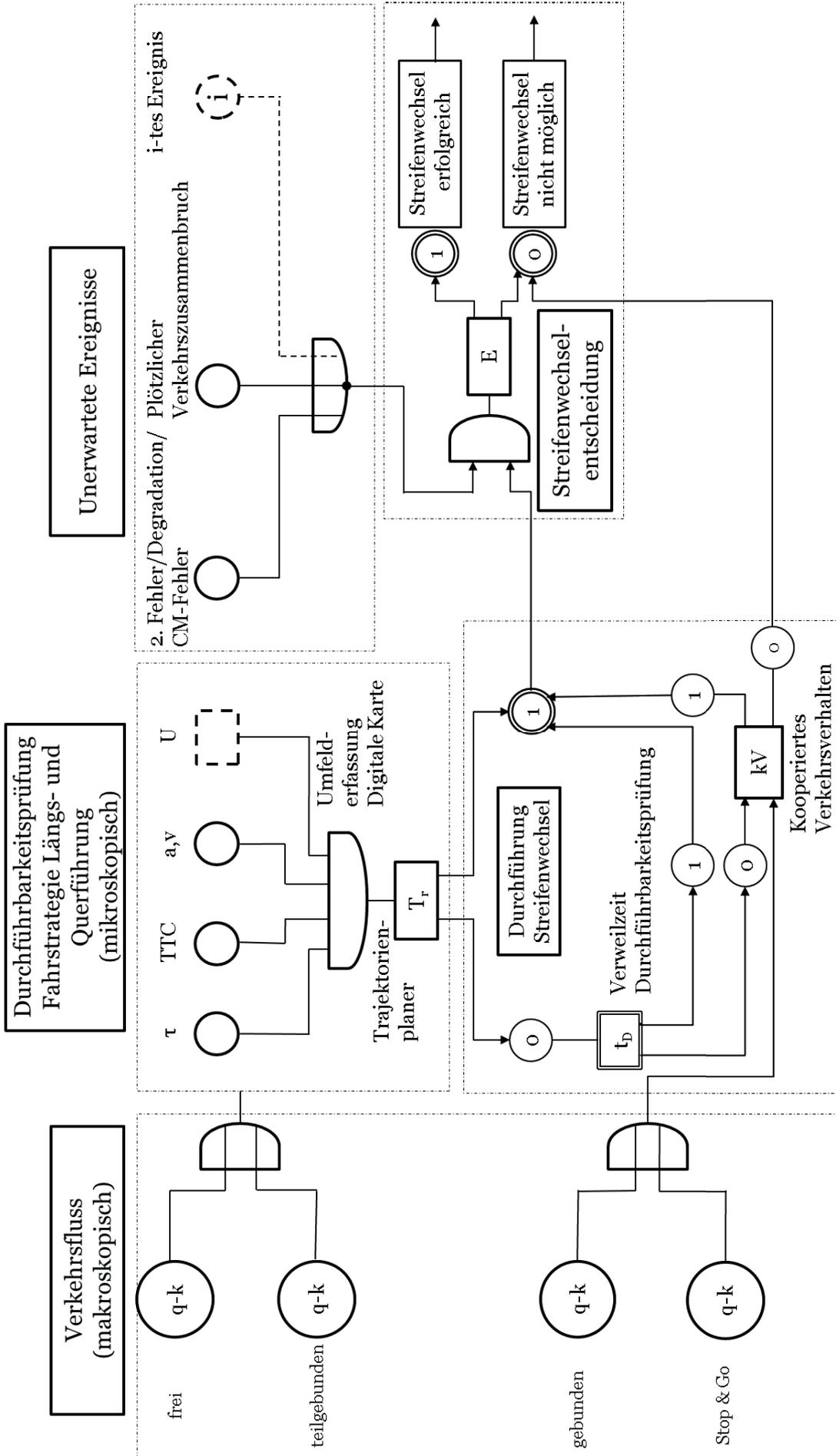


Bild 5-23 Modul Fahrstreifenwechsel Modul (2-1)(Grobstruktur, Positiv-Logik)

Bei der Modularisierung handelt es sich um eine Grobstruktur in Positiv-Logik.

Erläuterung (Bild 5-23):

- *Untermodul „Verkehrsfluss“ (makroskopisch)*

Voraussetzung:

Streifenwechsel möglich bei freiem oder teilgebundenen Verkehr;

Streifenwechsel bei gebundenem Verkehr und Stop & Go nur möglich durch kooperatives Verkehrsverhalten der anderen Verkehrsteilnehmer.

Logische Darstellung:

zwei Disjunktionen (Oder-Gatter)

- *Untermodul „Durchführbarkeitsprüfung“*

Einflussgrößen:

Zeitlücke τ , Kollisionszeit TTC, Umfelderkennung U (Objekterfassung, Tracking, Erfassung stationärer Objekte, Lokalisierung und Fahrbahnschätzung); Sensoren (Laserscanner, Radar, Kamera, DGPS); digitale Karte.

Logische Darstellung:

Konjunktion (Und-Gatter) für Trajektorienplaner als Indikatorvariable T_r mit

$$T_r = \begin{cases} 1 & \text{Streifenwechsel möglich} \\ 0 & \text{Streifenwechsel nicht möglich.} \end{cases}$$

Für den Fall $T_r=0$ stellt sich die Frage der Verweilzeit t_{D_i} für weitere Durchführbarkeitsprüfungen, die offensichtlich zusätzlich auch vom Grad der Funktionseinschränkung abhängig ist.

- *Untermodul „Unerwartete Ereignisse“*

Unerwartete Ereignisse wie Auftreten einer weiteren Funktionseinschränkung (z.B. 2. Fehler, Common-Mode-Fehler) sowie eines plötzlichen Verkehrszusammenbruchs etc., erfordern einen Abbruch des Streifenwechselszenarios verbunden mit einem Stillstand im eigenen Fahrstreifen.

Logische Darstellung:

Peirce-Funktion (NOR-Gatter, not or)

- *Untermodul „Streifenwechselentscheidung“*

Indikatorvariable E (Entscheidung) mit

$$E = \begin{cases} 1 & \text{Streifenwechsel erfolgreich} \\ 0 & \text{Streifenwechsel nicht erfolgreich.} \end{cases}$$

Fazit:

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass eine Überführung eines Fahrzeuges von dem Streifen 2 nach dem Streifen 1 immer dann möglich ist, wenn

- a) der Verkehr „frei“ oder „teilgebunden“ ist, die Durchführbarkeitsprüfung erfolgreich war und kein unerwartetes Ereignis aufgetreten ist,
- b) der Verkehrsfluss „gebunden“, die Durchführbarkeitsprüfung erst nach einer Verweilzeit erfolgreich und während der Verweilzeit kein unerwartetes Ereignis aufgetreten ist,
- c) der Verkehrsfluss durch Stop & Go geprägt ist und ein kooperatives Verkehrsverhalten verbunden mit einer positiven Durchführbarkeitsprüfung und kein unerwartetes Ereignis vorliegt.

3. Ego-Fahrzeug befindet sich auf dem Fahrstreifen 3

Befindet sich das Ego-Fahrzeug auf dem Fahrstreifen 3 und ist ein Streifenwechsel zum Fahrstreifen 2 geplant (Bild 5-22) so ist es erforderlich, die Konjunktion „Durchführbarkeitsprüfung“ des zuvor erläuterten Moduls (2-1) um das Basisereignis „Beobachten Spur 1“ (B_1) zu erweitern (Bild 5-24).

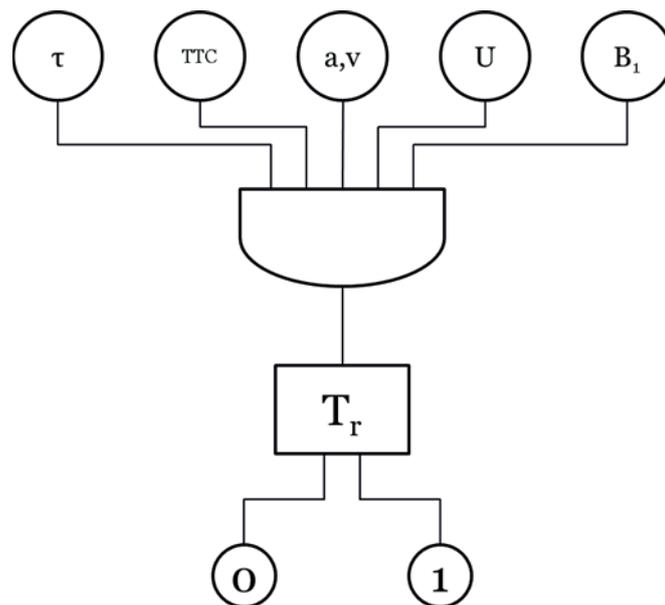


Bild 5-24 Fahrstreifenwechsel Modul (3-2)

Stellt der Beobachter z.B. mittels Laserscanner fest, dass der Streifen 1 gestaut ($B_1=0$) und die Verweilzeit Durchführbarkeitsprüfung überschritten ist und kein kooperatives Verhalten vorliegt, so ist ein Stillstand im eigenen Fahrstreifen erforderlich.

4. Ego-Fahrzeug befindet sich auf dem Fahrstreifen 4

In Analogie zu 3. wird nunmehr die Konjunktion „Durchführbarkeitsprüfung“ Modul (2-1) und Modul (3-2) um das Basisereignis „Beobachter Fahrstreifen 2“ (B_2) erweitert (Bild 5-25).

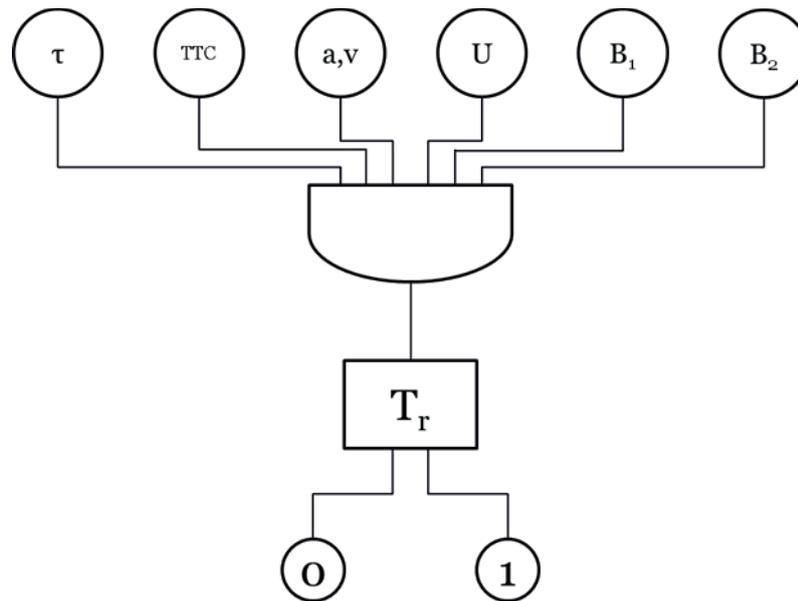


Bild 5-25 Fahrstreifenwechsel Modul (4-3)

Stellt der Beobachter fest, dass der Streifen 2 z.B. gestaut ist ($B_2=0$), die Verweilzeit „Durchführbarkeitsprüfung“ überschritten und kein kooperatives Verhalten vorliegt, so ist wiederum ein Halt im eigenen Fahrstreifen erforderlich.

Zusammenfassend zeigt Tabelle 5-6 die einzeln modularisierten Szenarien für die Überführung eines Ego-Fahrzeuges auf einer vierstreifigen Richtungsfahrbahn (Fahrstreifenwechselszenarien).

Tabelle 5-6 Modularisierte Szenarien Streifenwechselmanöver

Fahrstreifen	Modul (i-j)
1	(1-0)
2	(2-1) und (1-0)
3	(3-2) und (2-1) und (1-0)
4	(4-3) und (3-2) und (2-1) und (1-0)

6 Boolesche Modellbildung

Das vorliegende Kapitel verfolgt das Ziel, die in Abschnitt 5.3 entwickelten Szenarien zur Überführung eines Fahrzeugs in den risikominimalen Zustand aufgrund von Fahrstreifenwechselmanövern durch Boolesche Modellbildung formal zu beschreiben.

Für die Modellbildung wird die in Abschnitt 5.3.2 getroffene Konsistenz hinsichtlich Funktionseinschränkung und Gefahrenpotential „gering bis mittel“ sowie die dort eingeführte Modulbildung zugrunde gelegt.

Dabei werden die Einflussgrößen durch Boolesche Variablen mit dem Vektor $\underline{x} \forall x_i, i \in \mathbb{N}$ und der Streifenwechselfvorgang von i nach j durch die Boolesche Indikatorvariable

$$y_{i,j}(\underline{x}) = \begin{cases} 1 & \text{Streifenwechsel möglich} \\ 0 & \text{Streifenwechsel nicht möglich} \end{cases} \quad (6-1)$$

$\forall i, j \in \mathbb{N}$ allgemein definiert.

Die Boolesche Modellbildung betrachtet zunächst einen typischen Streifenwechsel von links nach rechts.

Für die Überführung eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand kann es jedoch – wie bereits erwähnt – empfehlenswert sein, einen Streifenwechsel von rechts nach links durchzuführen (siehe Tabelle 5-5). Dieser Sonderfall wird nachfolgend in Analogie zur Modellbildung für den Streifenwechsel von rechts nach links betrachtet.

Beachte:

Durch die Boolesche Modellbildung lässt sich kein dynamisches Verhalten der einzelnen Einflussgrößen abbilden. Hierzu wäre die Modellierung z.B. mittels eines stochastischen Prozesses im Kontext simulativer Verfahren und entsprechenden weiteren Untersuchungen hinsichtlich des dynamischen Verhaltens der Einflussgrößen erforderlich.

6.1 Modul (1-0)

Das Modul (1-0) ist dadurch gekennzeichnet, dass sich das Ego-Fahrzeug auf dem Streifen 1 einer Richtungsfahrbahn befindet und aufgrund einer Funktionseinschränkung ein Streifenwechsel auf den Seitenstreifen, falls vorhanden, angestrebt wird.

Liegt eine Funktionseinschränkung vor (x_1) und ist ein Seitenstreifen vorhanden (x_2) und ist dieser nicht blockiert (x_3) und tritt kein unerwartetes Ereignis ein (\bar{x}_4), so ist ein Streifenwechsel auf den Seitenstreifen prinzipiell möglich.

Es folgt

$$y_{1,0}(\underline{x}|x_1) = x_2 x_3 \bar{x}_4. \quad (6-2)$$

Erläuterung: Operator Konjunktion \wedge (wird in der Praxis bei der Formulierung als disjunktive Normalform vernachlässigt), Operator Disjunktion \vee , Symbol Negation $\bar{\quad}$, Symbol Bedingung $|$.

6.2 Modul (2-1)

Das Modul (2-1) ist dadurch gekennzeichnet, dass sich das Ego-Fahrzeug auf dem Streifen 2 befindet und ein Streifenwechsel auf den Streifen 1 aufgrund einer Funktionseinschränkung empfehlenswert ist (Bild 5-23).

Die Überführung des Ego-Fahrzeuges ist möglich $y_{2,1}(\underline{x}|x_1) = 1$ unter der Voraussetzung:

- der Verkehrsfluss auf dem Streifen 1 ist „frei“ oder „teilgebunden“ ($x_{5/1}$) (mit / als Bedingung, hier Streifen 1) und
- die Durchführbarkeitsprüfung (Trajektorienplaner) ist nach einer Verweilzeit t_{D_1} erfolgreich ($x_{6/t_{D_1}}$) (mit / als Bedingung, Verweilzeit t_{D_1}) oder
- der Verkehrsfluss ist „gebunden“ ($x_{7/1}$) und
- die Durchführbarkeitsprüfung ist erst nach einer Verweilzeit t_{D_2} erfolgreich ($x_{6/t_{D_2}}$) oder
- der Verkehrsfluss ist durch „Stop & Go“ gekennzeichnet ($x_{9/1}$) und
- die Durchführbarkeitsprüfung ist nach einer Verweilzeit t_{D_3} erfolgreich und
- ein kooperatives Verkehrsverhalten ($x_{10/1}$) vorliegt.

Es folgt für die Boolesche Gleichung in disjunktiver Normalform

$$y_{2,1}(\underline{x}|x_1) = \bar{x}_4 x_{5/1} x_{6/t_{D_1}} \vee \bar{x}_4 x_{7/1} x_{6/t_{D_2}} \vee \bar{x}_4 x_{6/t_{D_3}} x_{9/1} x_{10/1}$$

$$y_{2,1}(\underline{x}|x_1) = \bar{x}_4 (x_{5/1} x_{6/t_{D_1}} \vee x_{7/1} x_{6/t_{D_2}} \vee x_{6/t_{D_3}} x_{9/1} x_{10/1}). \quad (6-3)$$

Beachte:

Die Zuordnung der Booleschen Variablen x_1 und \bar{x}_4 bleibt entsprechend dem Modul (1-0) erhalten. Bei der Durchführbarkeitsprüfung wird von drei unterschiedlichen Zeiten t_{D_i} ($i = 1, 2, 3$) ausgegangen.

6.3 Modul (3-2)

Das Modul (3-2) ist dadurch gekennzeichnet, dass sich das Ego-Fahrzeug auf dem Streifen 3 befindet und wegen einer Funktionseinschränkung ein Streifenwechsel auf den Streifen 2 angestrebt wird. Die Modularisierung für einen erfolgreichen Streifenwechsel $y_{3,2}(\underline{x}|x_1) = 1$ erfolgt in Analogie zum Modul (2-1), Gleichung (6-3).

Es ist lediglich die Bedingung $i = 1$ (Streifen 1) durch die Bedingung $i = 2$ (Streifen 2) zu ersetzen (d.h. $x_{5/2} := x_{5/1}$, $x_{7/2} := x_{7/1}$, $x_{9/2} := x_{9/1}$ und $x_{10/2} := x_{10/1}$).

$$y_{3,2}(\underline{x}|x_1) := y_{2,1}(\underline{x}|x_1, i = 2). \quad (6-4)$$

Wie aus Bild 5-24 hervorgeht, ist es erstrebenswert, zusätzlich den Streifen 1 zu beobachten B_1 .

Ist z.B. der Streifen 1 durch einen „freien“ oder „teilgebundenen“ Verkehr und der Streifen 2 durch „Stop & Go“ gekennzeichnet, so ist es u.U. empfehlenswert, die Zeit t_{D_4} für die Durchführbarkeitsprüfung (falls die Funktionseinschränkung es zulässt) im Kontext eines kooperativen Verhaltens auf dem Streifen 2 zu verlängern.

Des Weiteren ist davon auszugehen, dass kurzfristig Fahrzeuge von dem z.B. durch „Stop & Go“ gekennzeichneten Streifen 2 auf den durch „freien“ oder „teilgebundenen“ Verkehr gekennzeichneten Streifen 1 wechseln.

D.h., die Gleichung (6-4) ist entsprechend durch den Konjunktionsterm $\bar{x}_4 x_{6/t_{D_4}} x_{9/2} x_{10/2}$ zu erweitern.

Es folgt

$$y_{3,2}(\underline{x}|x_1) := y_{2,1}(\underline{x}|x_1, i = 2) \vee \bar{x}_4 x_6 / t_{D_4} x_9 / 2 x_{10} / 2. \quad (6-5)$$

6.4 Modul (4-3)

Das Modul (4-3) ist dadurch gekennzeichnet, dass sich das Ego-Fahrzeug auf dem Streifen 4 befindet und aufgrund einer Funktionseinschränkung ein Streifenwechsel auf den Streifen 3 angestrebt wird.

Die Modellierung für einen erfolgreichen Streifenwechsel $y_{4,3}(\underline{x}|x_1) = 1$ erfolgt wiederum in Analogie zum Modul (2-1), Gleichung (6-3). Es ist lediglich die Bedingung $i = 1$ (Streifen 1) durch die Bedingung $i = 3$ (Streifen 3) zu ersetzen (siehe Gleichung (6-4))

$$y_{4,3}(\underline{x}|x_1) := y_{2,1}(\underline{x}|x_1, i = 3). \quad (6-6)$$

Wie aus Bild 5-25 hervorgeht, ist es in Analogie zum Modul (3-2) erstrebenswert, den Streifen 2 zu beobachten B_2 .

Entsprechend den in Abschnitt 6.3 hierzu erfolgten Ausführungen ist die Gleichung (6-6) nunmehr durch den Konjunktionsterm $\bar{x}_4 x_6 / t_{D_5} x_9 / 3 x_{10} / 3$ zu erweitern.

Es folgt

$$y_{4,3}(\underline{x}|x_1) := y_{2,1}(\underline{x}|x_1, i = 3) \vee \bar{x}_4 x_6 / t_{D_5} x_9 / 3 x_{10} / 3. \quad (6-7)$$

6.5 Spurwechselszenarien

Entsprechend Tabelle 5-6 und der zuvor formulierten Module lassen sich die einzelnen Streifenwechselmanöver von links nach rechts zum Seitenstreifen durch entsprechende Boolesche Gleichungen zusammenfassend wie folgt beschreiben.

- Ego-Fahrzeug Streifen 1

Modul (1-0)

$$y_{1,0}(\underline{x}|x_1) := y_{1,0}(\underline{x}|x_1) \quad (6-8)$$

- Ego-Fahrzeug Streifen 2

Konjunktive Verknüpfung der Module (2-1) und (1-0)

$$y_{2,0}(\underline{x}|x_1) := y_{2,1}(\underline{x}|x_1) y_{1,0}(\underline{x}|x_1). \quad (6-9)$$

- Ego-Fahrzeug Streifen 3

Konjunktive Verknüpfung der Module (3-2) mit Beobachter B_1 , (2-1) und (1-0)

$$y_{3,0}(\underline{x}|x_1) := y_{3,2}(\underline{x}|x_1) y_{2,1}(\underline{x}|x_1) y_{1,0}(\underline{x}|x_1). \quad (6-10)$$

- Ego-Fahrzeug Streifen 4

$$y_{4,0}(\underline{x}|x_1) := y_{4,3}(\underline{x}|x_1) y_{3,2}(\underline{x}|x_1) y_{2,1}(\underline{x}|x_1) y_{1,0}(\underline{x}|x_1). \quad (6-11)$$

6.6 Sonderfall Fahrstreifenwechsel von rechts nach links

Im Kontext des Überführens eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand kann es, abhängig von der Funktionseinschränkung und den Verkehrsverhältnissen, erstrebenswert sein, eine Überführung des Fahrzeuges von rechts nach links durchzuführen. Dieses nachfolgend zurzeit als Sonderfall klassifiziertes Manöver ist besonders im Kontext mit einer zukünftigen Car2Car-Kommunikation über Highspeed-Mobilfunknetz nahe 5G (erweitertes LTE-Mobilfunknetz, LTE = Long Term Evolution) zu sehen, bei der Autofahrer auf dem linken Fahrstreifen frühzeitig vor dem auf die Überholspur wechselnden Fahrzeug gewarnt werden. Dies gilt selbstverständlich auch vice versa für einen Streifenwechsel von links nach rechts.

Des Weiteren zeigt Tabelle 5-5, dass offensichtlich Pannen und Unfälle auf dem Fahrstreifen 2 und 3 deutlich geringer sind als auf den Fahrstreifen 1 und 4. Allerdings sind hierzu weitere Untersuchungen erforderlich.

6.6.1 Modul (1-2)

Das Modul (1-2) ist dadurch gekennzeichnet, dass sich das Ego-Fahrzeug auf dem Streifen 1 befindet und ein Streifenwechsel auf den Seitenstreifen 0 (nicht vorhanden oder blockiert) aufgrund einer Funktionseinschränkung nicht möglich ist.

D.h., im Rahmen des Aktionsplans „risikominimaler Zustand“ muss entschieden werden, ob ein Stillstand in dem eigenen Fahrstreifen oder ein Fahrstreifenwechsel auf den linken Fahrstreifen 2 (Überholspur) erfolgen soll. Stellt ein Beobachter im Kontext der Trajektorienplanung (Durchführbarkeitsprüfung) fest, dass der Fahrstreifen 2 durch den Verkehrsfluss „frei“ oder „teilgebunden“ charakterisiert werden kann und ein Halt auf dem Fahrstreifen 1, aufgrund von besonderen Ereignissen wie Gegenstände auf der Fahrbahn, Verlust von Ladung, Personen etc. nicht opportun erscheint,

so ist ein Fahrstreifenwechsel nach Fahrstreifen 2 empfehlenswert. Die Überführung des Ego-Fahrzeuges ist möglich $y_{1,2}(\underline{x}|x_1) = 1$ unter der Voraussetzung

- Funktionseinschränkung liegt vor (x_1) und
- Seitenstreifen ist nicht vorhanden (\bar{x}_2) oder
- Seitenstreifen ist blockiert (\bar{x}_3) und
- unerwartetes Ereignis auf dem Streifen 1 ($x_{4/1}$) und
- Verkehrsfluss auf dem Streifen 2 ist „frei“ oder „teilgebunden“ $x_{5/2}$ und
- die Durchführbarkeitsprüfung ist nach einer Verweilzeit t_{D_5} und eines Beobachters B_3 der linken Fahrspur erfolgreich $x_{6/t_{D_5}}$.

Beachte:

Die Zuordnung der Booleschen Variablen erfolgt in Analogie zum Fahrstreifenwechsel von rechts nach links. Für die Durchführbarkeitsprüfung wurde hingegen eine Zeit t_{D_5} zugrunde gelegt und für den Trajektorienplaner ein Beobachter B_3 (statt B_1 oder B_2) der nunmehr den linken Fahrstreifen beobachtet.

Es folgt

$$y_{1,2}(\underline{x}|x_1) = (\bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)x_{4/1}x_{5/2}x_{6/t_{D_5}}. \quad (6-12)$$

Setzt man voraus, dass z.B. aufgrund einer Car2Car-Kommunikation ein kooperatives Verkehrsverhalten vorliegt, so ist ein Spurwechsel auch dann möglich, wenn ein „gebundener“ oder ein „Stop & Go“ Verkehrsfluss vorliegt (siehe hierzu Modul (3-2) und Modul (4-3)). D.h., die vorstehende Gleichung ist durch einen zusätzlichen Konjunktionsterm $(\bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)x_{4/1}x_{6/t_{D_5}}x_{9/2}x_{10/2}$ zu ergänzen.

Damit folgt

$$y_{1,2}(\underline{x}|x_1) = (\bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)x_{4/1}x_{5/2}x_{6/t_{D_5}} \vee (\bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)x_{4/1}x_{6/t_{D_5}}x_{9/2}x_{10/2}$$

$$y_{1,2}(\underline{x}|x_1) = (\bar{x}_2 \vee \bar{x}_3)x_{4/1}x_{6/t_{D_5}}(x_{5/2} \vee x_{9/2}x_{10/2}). \quad (6-13)$$

6.6.2 Modul (2-3)

Das Modul (2-3) ist dadurch gekennzeichnet, dass sich das Ego-Fahrzeug auf dem Streifen 2 befindet und ein Streifenwechsel auf Streifen 3 aufgrund einer Funktionseinschränkung fokussiert wird.

Wie bereits bei den Ausführungen zum Modul (1-2) erläutert, ist der Streifenwechsel (2-3) im Kontext eines besonderen Ereignisses auf dem Streifen 2, einer „Stop & Go“ Verkehrsfluss auf dem Streifen 1, kein kooperatives Verhalten und einen „freien“ oder „teilgebundenen“ Verkehrsfluss auf dem Streifen 3 zu betrachten.

D.h., die Überführung des Ego-Fahrzeuges auf den Streifen 3 ist opportun

$y_{2,3}(\underline{x}|x_1) = 1$ unter der Voraussetzung

- Funktionseinschränkung (x_1) und
- Unerwartetes Ereignis auf Streifen 2 ($x_{4/2}$) und
- Verkehrsfluss auf Streifen 3 ist „frei“ oder „teilgebunden“ ($x_{5/3}$) und
- Verkehrsfluss auf Streifen 1 ist durch „Stop & Go“ gekennzeichnet ($x_{9/1}$) und
- kein kooperatives Verhalten auf Streifen 1 ($\bar{x}_{10/1}$) und
- Durchführbarkeitsprüfung ist nach einer Verweilzeit t_{D_6} unter Hinzuziehen eines Beobachters B_4 erfolgreich $x_{6/t_{D_6}}$.

Es folgt

$$y_{2,3}(\underline{x}|x_1) = x_{4/2}x_{5/3}x_{6/t_{D_6}}x_{9/1}\bar{x}_{10/1}. \quad (6-14)$$

Vorliegende Boolesche Gleichung lässt sich wieder durch einen Term bei Vorliegen eines kooperativen Verhaltens entsprechend Gleichung (6-13) erweitern. Des Weiteren scheint die Beobachtung des Streifens 4 durch einen weiteren Beobachter aufgrund der hohen Geschwindigkeit und Unfallhäufigkeit (siehe Tabelle 5-5) nicht opportun.

6.6.3 Modul (3-4)

Ein Streifenwechsel von Streifen 3 nach 4 kann aufgrund der Tatsache dass der Fahrstreifen 4 durch sehr hohe Geschwindigkeiten gekennzeichnet ist, a posteriori als nicht sehr wahrscheinlich angesehen werden. Allerdings kann wegen unvorhersehbarer Ereignisse solch ein Streifenwechsel nicht a priori ausgeschlossen werden.

Geht man davon aus, dass zukünftig eine Car2Car-Kommunikation zwischen den Fahrzeugen, unter der Voraussetzung einer entsprechenden Ausstattungsdichte möglich sein wird, so dürfe ein Fahrstreifenwechsel (3-4) aufgrund eines kooperativen Verhaltens der Fahrzeugführer auch auf dem Streifen 4 möglich sein.

Unter Zugrundelegung der Booleschen Modellbildung entsprechend dem Modul (2-3) folgt in Analogie zur Gleichung (6-14) für den Streifenwechsel (3-4) durch entsprechende Modifizierung der Indizierung

$$y_{3,4}(\underline{x}|x_1) = x_{4/3}x_{5/4}x_{6/t_D}x_{9/2}\bar{x}_{10/2}. \quad (6-15)$$

6.7 Stillstand im eigenen Fahrstreifen

Neben den zuvor formulierten Modulen für einen Fahrstreifenwechsel von rechts nach links vice versa wird zum gegenwärtigen Zeitpunkt ein Stillstand in dem eigenen Fahrstreifen als „risikominimaler Zustand“ bei Vorliegen einer Funktionseinschränkung eines automatisierten Fahrzeuges favorisiert (z.B. Hörwick, 2011).

Es stellt sich demnach die Frage, unter welchen Voraussetzungen und Kriterien ein „Stillstand im eigenen Fahrstreifen“ als Vorbedingung a posteriori postuliert werden kann.

Bedingt durch die Komplexität sind die nachfolgend aufgeführten Voraussetzungen (Kriterien) nicht vollständig. Hierzu sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Wie bereits konstatiert, ist bei einer Funktionseinschränkung des maschinell geführten Fahrzeuges „groß“ bis „sehr groß“ ein Halt bis zum Stillstand im eigenen Fahrstreifen zwingend erforderlich. Nachfolgende Voraussetzungen und Kriterien für den Halt bis zum Stillstand im eigenen Fahrstreifen (Tabelle 6-1) beziehen sich folglich auf die „geringe“ bis „mittlere“ Funktionseinschränkung (siehe hierzu die Ausführungen zu Tabelle 5-4 und Bild 5-6).

Die in Tabelle 6-1 getroffene Einteilung der Kriterien erfolgt in Anlehnung an das bekannte 3-Ebenen Modell (Bild 3-1).

Tabelle 6-1 Kriterien "Stillstand auf dem eigenen Fahrstreifen" (Funktionseinschränkung "gering bis mittel")

Fahrzeug	
<i>Fahrdynamik</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Zeit für die Durchführbarkeitsprüfung t_{D_i} im Kontext der Überführungszeit $t_{ü}$ ist für einen Spurwechsel (i, j), bzw. (j, i) nicht ausreichend. • Es fehlt ein ausreichender Abstand (Zeitlücke, Objektabstand) zum vorausfahrenden Fahrzeug, so dass die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges nicht bis zum Stillstand kontinuierlich reduziert werden kann. Folgerung: Es findet eine Kollision statt. • Die TTC (Time-To-Collision) zu dem involvierten Umgebungsverkehr ist nicht ausreichend; TTC-Zeit zum Folgefahrfahrzeug beim Wiedereinscheren ist nicht ausreichend. • Fehlende Weglücke auf dem Zielstreifen; Zeitlücke zum nachfolgenden Fahrzeug auf dem Zielstreifen ist nicht ausreichend. • Die für den Streifenwechsel erforderliche maschinelle Beschleunigung (Verzögerung) steht aufgrund der Funktionseinschränkung nicht zur Verfügung.

Fortsetzung Tabelle 6-1 Kriterien "Stillstand auf dem eigenen Fahrstreifen" (Funktionseinschränkung "gering bis mittel")

Umgebung	
<i>Fahrstreifen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrzeug befindet sich dem Streifen 2 oder 3, die gegenüber dem Streifen 1 oder 4 (siehe Tabelle 5-5) aufgrund der geringeren Unfälle und Pannen als sicher einzustufen sind (hierzu sind weitere Untersuchungen erforderlich). • Kein Seitenstreifen vorhanden oder blockiert und Streifenwechsel zum linken Nebestreifen nicht möglich. • Erkennung des Fahrstreifenverlaufs eingeschränkt. • Engpasssituationen: Hinweis auf Baustelle, Fahrstreifenreduktion (Arbeitsstellenengpass), Kapazitätsreduktion
<i>Umwelt</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Witterung: starker Regen, Schneefall, Nebel, Wind etc. mit Einschränkung der Messgrößen aus der Fahrzeugexternen Wahrnehmung (Exterozeption); maschineller Wahrnehmungsfehler.
<i>Verkehrssituation</i>	Stop & Go oder gebunden auf dem Nebestreifen und kein kooperatives Verhalten.
Außergewöhnliche Ereignisse	
	<ul style="list-style-type: none"> • Es ist ein außergewöhnliches Ereignis auf den Nebestreifen aufgetreten. • Es ist plötzlich eine weitere zusätzliche Funktionseinschränkung („groß bis sehr groß“) beim Ego-Fahrzeug aufgetreten. • Fahrer versucht einen maschinellen Streifenwechsel zu verhindern.

Boolesche Modellbildung

Eine Boolesche Modellierung für den „Stillstand auf dem eigenen Fahrstreifen“ ist aufgrund der in Tabelle 6-1 aufgestellten Kriterien prinzipiell möglich.

Im einfachsten Fall handelt es sich hierbei um eine disjunktive Verknüpfung der einzelnen Kriterien, sofern diese als voneinander unabhängig angesehen werden. D.h., das Eintreten eines der Kriterien (Basisereignis) führt zur Inferenz „Stillstand auf dem eigenen Fahrstreifen“.

Aufgrund der Komplexität bestehen in der Praxis jedoch entsprechende Abhängigkeiten, die durch die Boolesche Modellbildung nicht formulierbar sind.

Hierzu sind weitere Untersuchungen erforderlich.

6.8 Einführung von Wahrscheinlichkeiten

Die zuvor formulierten Booleschen Gleichungen können bekanntlich in einem Ausdruck mit reellen Variablen überführt werden, wenn

- a) lediglich die reellen Zahlen 0 und 1 verwendet werden und
- b) alle Variablen linear auftreten (Multilinearform).

Für die Grundverknüpfung folgt allgemein:

Negation

$$y(\underline{x}) = \bar{x} = 1 - x \quad (6-16)$$

Konjunktion

$$y(\underline{x}) = \bigwedge_{i=1}^n x_i = \prod_{i=1}^n x_i \quad (6-17)$$

Disjunktion

$$y(\underline{x}) = \bigvee_{i=1}^n x_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - x_i) \quad (6-18)$$

In einem weiteren Schritt können dann aufgrund der binären Zuordnung (Indikatorvariable, Gl. (6-1), Null-Eins-Verteilung) die Erwartungswerte $E(x_i)$ bestimmt und Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden.

Es folgt

$$E(x_i) = P(x_i = 1) = p_i \quad (6-19)$$

mit

p_i = Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses x_i .

Für die Indikatorvariable $y_{i,j}(\underline{x})$ folgt in Analogie

$$E(y_{i,j}(\underline{x}) = 1) = P(y_{i,j}(\underline{x}) = 1) = P_{i,j}(\underline{p}) \quad (6-20)$$

mit

$P_{i,j}(\underline{p})$ = Wahrscheinlichkeit für einen erfolgreichen Streifenwechsel i, j .

Damit können die zuvor aufgestellten Booleschen Gleichungen für die einzelnen Module in entsprechende Gleichungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung unter der Voraussetzung, dass eine Funktionseinschränkung $P(x_1=1)=p_1$ vorliegt, formuliert werden.

So folgt für die Gleichung (6-2)

$$P_{1,0}(\underline{p}) = p_2 \cdot p_3 \cdot (1 - p_4) \quad (6-21)$$

und für die Gleichung (6-3)

$$P_{2,1}(\underline{p}) = (1 - p_4) \cdot (p_{5/1} \cdot p_{6/t_{D_1}} + p_{6/t_{D_2}} \cdot p_{7/1} + p_{6/t_{D_3}} \cdot p_{9/1} \cdot p_{10/1} + p_{5/1} \cdot p_{6/t_{D_1}} \cdot p_{6/t_{D_2}} \cdot p_{6/t_{D_3}} \cdot p_{7/1} \cdot p_{9/1} \cdot p_{10/1} - p_{5/1} \cdot p_{6/t_{D_1}} \cdot p_{6/t_{D_2}} \cdot p_{7/1} - p_{5/1} \cdot p_{6/t_{D_1}} \cdot p_{6/t_{D_3}} \cdot p_{9/1} \cdot p_{10/1} - p_{6/t_{D_2}} \cdot p_{6/t_{D_3}} \cdot p_{7/1} \cdot p_{9/1} \cdot p_{10/1}) \quad (6-22)$$

Als Näherung ergibt sich die Abschätzung für einen erfolgreichen Streifenwechsel von 2 nach 1 zu

$$P_{2,1}(\underline{p}) \leq (1 - p_4) \cdot (p_{5/1} \cdot p_{6/t_{D_1}} + p_{6/t_{D_2}} \cdot p_{7/1} + p_{6/t_{D_3}} \cdot p_{9/1} \cdot p_{10/1} + p_{5/1} \cdot p_{6/t_{D_1}} \cdot p_{6/t_{D_2}} \cdot p_{6/t_{D_3}} \cdot p_{7/1} \cdot p_{9/1} \cdot p_{10/1}) \quad (6-23)$$

Die Überführung der zuvor aufgestellten weiteren Booleschen Gleichungen für die einzelnen Streifenwechsel-Module erfolgt in Analogie.

Interpretation

Liegen die einzelnen Wahrscheinlichkeiten p_i vor, so ist es möglich, die Wahrscheinlichkeit für ein Streifenwechsel-Manöver quantitativ zu bewerten und entsprechende Vergleiche und Strategien durchzuführen. Dabei können die einzelnen Wahrscheinlichkeiten als fester Wert geschätzt oder durch eine relative Häufigkeit bzw. eine entsprechende Verteilungsfunktion charakterisiert werden.

So ist z.B. bei der Gleichung (6-21) davon auszugehen, dass ein unerwartetes Ereignis sehr selten auftritt (Poisson-Verteilung, bzw. $P_4 \approx 0$).

D.h., Gleichung (6-21) vereinfacht sich zu

$$P_{1,0}(\underline{p}) \approx p_2 \cdot p_3. \quad (6-24)$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Seitenstreifen vorhanden p_2 und dieser nicht blockiert ist p_3 kann unter Zugrundelegung einer bestimmten Richtungsfahrbahn oder allgemein statistisch ermittelt werden.

Fazit:

Boolesche Formulierungen und stochastische Bewertungen haben sich in vielen hochtechnologischen Bereichen wie z.B. der Luftfahrtindustrie, Reaktortechnik, Bahntechnik etc. zur Bewertung der Zuverlässigkeit und Sicherheit auf struktureller, funktionaler und analytischer Ebene erfolgreich im Kontext normativer und gesetzlicher Vorgaben durchgesetzt.

Neben der im Rahmen der Fahrstreifenwechselmanöver zugrunde gelegten Booleschen Modellbildung werden in der Praxis zusätzlich weitere Methoden und stochastische Verfahren angewandt (u.a. Meyna, Pauli, 2010).

Dabei ist allerdings zu beachten, dass stochastische Betrachtungen und Bewertungen eine Ergänzung zu deterministischen Absicherungsstrategien darstellen und diese keinen Falls ersetzen können.

Dessen ungeachtet sollte besonders im hochtechnologischen Bereich des automatisierten Fahrens zukünftig – wie in der Luftfahrtindustrie – verstärkt stochastische Modellierungen und Bewertungen genutzt werden.

7 Zusammenfassung

Der vorliegende Forschungsbericht verfolgt das Ziel, unterschiedliche Umsetzungsszenarien des Überführens eines automatisch gesteuerten Fahrzeuges in den sogenannten risikominimalen Zustand in technischer und rechtlicher Hinsicht zu beschreiben und entsprechende Konzepte zu einer möglichen Sicherheitsbewertung zu entwickeln.

Der Bericht widmet sich der technischen Fragestellung und Tragweite; die rechtlichen Aspekte werden in einem gesonderten Berichtsteil dargestellt.

Grundlagen für die durchgeführten Untersuchungen bildet die von Gasser et al. 2012 (BASt) eingeführte Klassifizierung automatischer Fahrfunktionen (Automatisierungsgrad Stufe 0 bis 4) und die Zuordnung der übergeordneten Kategorien der Wirkweise von Funktionen (Gasser (a), 2015; Gasser, Auerswald, 2016).

Aufgrund der Strukturierung von Fahrerassistenzsystemen (FAS) nach der Wirkweise der Funktionen wurden zunächst für die einzelnen Wirkweisen (A,B,C) im Kontext der Automatisierungsgrade die Assistenzstrategien dargestellt und die damit verbundenen Risikopotentiale spezifiziert.

Dabei handelt es sich bei der Wirkweise A um „informierende und warnende Funktionen“, die ausschließlich mittelbar wirken.

Die Wirkweise B „kontinuierlich automatisierte Funktionen“ ist dadurch gekennzeichnet, dass die FAS teilweise oder vollständig die Fahrzeuglängs- und/oder querführung übernehmen und unmittelbar auf die Fahrzeugsteuerung wirken.

FAS, die ebenfalls unmittelbar allerdings in der Regel autonom auf die Fahrzeugsteuerung wirken, werden hingegen der Wirkweise C „in unfallgeneigten Situationen temporär intervenierende Funktionen“ zugeordnet.

Bei den Untersuchungen bilden die Wirkweisen B und C einen Schwerpunkt.

So wurde im Rahmen der Wirkweise B für teilautomatisierte, hochautomatisierte und vollautomatisierte FAS Funktionale Sicherheitsarchitekturen (keine technischen Sicherheitskonzepte) in prinzipieller Darstellung und adaptiert entsprechende Zustandsdiagramme entwickelt. Dabei wird bei einer teilautomatisierten Fahrzeugführung (Stufe 2) die Vigilanzreduktion als ein Dilemma angesehen.

Ein Dilemma der hochautomatisierten Fahrzeugführung (Stufe 3) ist hingegen in der Rückfallebene des Fahrers (unzuverlässig, nur für eine gewisse Zeit) im Kontext der Vorlaufzeit (Verweilzeit) zu sehen. Hierzu sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Die vollautomatisierte Fahrzeugführung (Stufe 4) erfordert, aufgrund der vollständigen Fahrzeuglängs- und querführung für einen definierten Anwendungsfall Mindestanforderungen an die Systemarchitektur, HMI-Konzept und deren on-board und off-board Komponenten. Des Weiteren sind entsprechende Redundanzkonzepte erforderlich, welche im Fehlerfall dazu in der Lage sind, ein vollautomatisiertes Fahrzeug mittels eines Aktionsplanes in den risikominimalen Zustand zu überführen. Auch in diesem Zusammenhang besteht gegenwärtig erheblicher Forschungsbedarf.

Im Rahmen der Wirkweise C wurde der Notbremsassistent, das automatische Notbremssystem, sowie der Brems-Ausweich-Assistent und das damit verbundene Risikopotential betrachtet. Außerdem wird der medizinisch indizierte Nothalteassistent dargestellt und eine Funktionale Sicherheitsarchitektur einschließlich Zustandsdiagramm entwickelt. Hier zeigt sich, dass aufgrund des Zeitverlaufs einer medizinisch bedingten Funktionseinschränkung, wie Detektionsdauer, Regenerierungszeit, Abbruchzeit, Grad der Fahrtüchtigkeit und Überstimmung des Fahrers u.a., noch erheblicher Forschungsbedarf besteht.

Im Kontext der Überführung eines automatisierten Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand wurden zunächst bekannte fundamentale Begriffe der Zuverlässigkeits- und Sicherheitstechnik erläutert und der risikominimale Zustand eines Fahrzeuges als „Stillstand an einem sicheren Ort“ ein- und zweidimensional definiert. In diesem Zusammenhang zeigt sich, dass im zweidimensionalen Fall die zeitbezogene Wahrscheinlichkeit einen sicheren Ort zu erlangen, abhängig von der Funktionstüchtigkeit (Degradationszustand) eines Fahrzeuges ist.

Es folgt eine Charakterisierung der Einflussgrößen, die ein Aktionsplan zur Überführung in den risikominimalen Zustand berücksichtigen sollte.

Für den Grad der Funktionseinschränkung wurden vier Gefahrenklassen mit den entsprechenden Auswirkungen (Gefahrenpotential) auf das Umfeld, in Abhängigkeit der Überführungszeit, definiert. Auch hier zeigt sich Forschungsbedarf einschließlich normativer Vorgaben hinsichtlich der Auswirkungen von Fehlerzuständen in Bezug auf die Auftretenswahrscheinlichkeiten (siehe Abschnitt 5.2.1).

Weiterhin wurden die Einflussgrößen des Verkehrsstromes (mikro- und makroskopisch) einschließlich der Verkehrszustände, Fahrstreifenaufteilung, Pannen und Unfälle fahrstreifenbezogen erläutert und definiert.

Es folgt die Entwicklung von Szenarien für die Überführung eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand.

Im Falle einer Funktionseinschränkung „groß“ bis „sehr groß“ ist ein Stillstand auf dem eigenen Fahrstreifen zwingend erforderlich.

Für die Funktionseinschränkung „gering“ bis „mittel“ wurden entsprechende Szenarien für die Überführung eines Fahrzeuges von links nach rechts in Form von Modulen z.B. Modul (1-0) Fahrstreifenwechsel von Streifen eins zum Seitenstreifen null (falls vorhanden) entwickelt.

Für das Modul (2-1) Fahrstreifenwechsel von Streifen zwei zum Streifen eins wurde eine entsprechende Boolesche Darstellung mit den Untermodulen Verkehrsfluss, Durchführbarkeitsprüfung, unerwartete Ereignisse, Spurwechselentscheidung, entwickelt.

Im Kontext des Moduls (2-1) können dann alle weiteren Modularisierungen für einen Fahrstreifenwechsel von i nach j dargestellt werden.

Als Dilemma kann in diesem Zusammenhang die Verweilzeit für die u.U. mehrmalige Durchführbarkeitsprüfung in Anhängigkeit der Überführungszeit und der Funktionseinschränkung angesehen werden.

Für die entwickelten modularen Streifenwechselmanöver zur Überführung eines Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand erfolgte eine formale Boolesche Modellbildung. Dabei wurde als Sonderfall auch ein Fahrstreifenwechsel von rechts nach links, welcher in engem Zusammenhang mit einer Car2Car Kommunikation über Highspeed-Mobilfunk (nahe 5G) zu sehen ist, bei der die Autofahrer auf dem linken Fahrstreifen frühzeitig vor dem auf den Überholstreifen wechselnden Fahrzeug gewarnt werden (vice versa gilt dies selbstverständlich auch für einen Fahrstreifenwechsel von links nach rechts), um so ein kooperatives Verkehrsverhalten zu bewirken.

Des Weiteren wurden in Anlehnung an das 3-Ebenen-Modell Voraussetzungen und Kriterien für einen Stillstand im eigenen Fahrstreifen, die allerdings lediglich einen ersten Ansatz darstellen, konstatiert.

Abschließend wurden exemplarisch für die Fahrstreifenwechselmanöver Modul (1-0) und Modul (2-1) Wahrscheinlichkeiten entsprechend der erfolgten Booleschen Formulierung eingeführt.

Hier zeigt sich, dass ein Fahrstreifenwechselmanöver prinzipiell mittels entsprechenden Wahrscheinlichkeiten quantifiziert werden kann.

Allerdings sind in diesem Zusammenhang weitere Untersuchungen empfehlenswert.

Generell kann konstatiert werden, dass stochastische Modellierungen und Quantifizierungen auch im Bereich des sogenannten autonomen Fahrens in Analogie zur Luftfahrtindustrie, Reaktortechnik, Bahntechnik etc. zur Absicherung der Zuverlässigkeit auf struktureller, funktionaler und analytischer Ebene, als Ergänzung zu deterministischen Betrachtungen und Bewertungen stärker genutzt werden sollten.

8 Literaturverzeichnis

- Altendorf, E.; Baltzer, M.; Kienle, M.; Meier, S.; Weißgerber, T.; Heesen, M.; Flemisch, F.: H-Mode 2D.
In Winner et al., Handbuch Fahrerassistenzsysteme. 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin 2015.
- Althaus, D.: Ein praxisorientierter empirischer Ansatz zur Bestimmung des Ausfallverhaltens konventioneller Bremssysteme in Personenkraftwagen.
Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, 2009.
- Ardelt, M.: Strategie Decision-Making Process in Advanced Driver Assistance Systems.
6th IFAC Symposium Advances in Automotive Control, 12. Juli 2010.
- Ardelt, M.; Waldmann, P.; Kämpchen, N.: Hochautomatisierte Spurwechselmanöver zukünftiger Assistenz- und Sicherheitssysteme in komplexen Verkehrssituationen.
19. Aachener Kolloquium Fahrzeug und Motorentechnik, Aachen, 2010.
- Ardelt, M.: Hybrid Control Strategies for Advanced Safety- and Driver Assistance Systems.
Dissertation, Technische Universität München, 2012.
- Batayneh, W.; Al-Araidah, O.; Bataineh, K.; Al-Ghasem, A.:
Fuzzy-Based Adaptive Cruise Controller with Collision Avoidance and Warnung System.
Mechanical Engineering Research, 2013.
- Benz, S.: Eine Entwicklungsmethodik für sicherheitsrelevante Elektroniksysteme im Automobil.
Dissertation, Universität Karlsruhe, 2004.

Binfet-Kull, M.: Entwicklung einer Steer-by-Wire-Architektur nach zuverlässigkeits- und sicherheitstechnischen Vorgaben.

Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, 2001.

Bosch (gelbe Reihe): Adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung ACC.

Robert Bosch GmbH, Stuttgart, 2002.

Brilon, W.; Geistefeldt, J.: Überprüfung der Bemessungswerte des HBS für Autobahnabschnitte außerhalb der Knotenpunkte.

Schriftreihe Forschung Straßenbau und Verkehrstechnik, Heft 1033, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), Bonn, 2010.

Bubb, H.; Bengler, K.; Grünen, R.; Vollrath, M.: Automobilergonomie.

Springer-Verlag, Berlin, 2015.

Damböck, D.; Farid, M.; Tönert, L.; Bengler, K.:

Übernahmezeiten beim hochautomatisierten Fahren.

5. Tagung Fahrerassistenz, 2012.

Damböck, D.: Automationseffekte im Fahrzeug – von der Reaktion zur Übernahme.

Dissertation, Technische Universität München, 2013.

Decke, R.; Aeberhard, M.: BMW Nothalteassistent. Sicher unterwegs sein.

Präsentation BMW Group Forschung und Technik, 29.04.2013.

Deutschle, S.: Wer fährt? – Der Fahrer oder das System.

In Straßenverkehrsrecht, Nr. 6, 2005.

Dietmayer, K.: Prädikation von maschineller Wahrnehmungsleistung beim automatisierten Fahren.

In Maurer et al.: Autonomes Fahren – Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte.

Springer Verlag, Berlin, 2015.

DIN 40041: 1990-12: Zuverlässigkeit; Begriffe.

Beuth Verlag, Berlin, Ausgabedatum 1990-12.

DIN EN 45020: 2007-03: Normung und damit zusammenhängende Tätigkeiten –
Allgemeine Begriffe (ISO/IEC Guide 2:2004); Dreisprachige Fassung
EN 45020:2006.

Beuth Verlag, Berlin, Ausgabedatum 2007-03.

Donges, E.: Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwa-
gen.

Automobilindustrie, Heft 2, 1982.

ECE R 79: Lenkanlagen, 2008.

Effertz, J.: Autonome Fahrzeugführung in urbaner Umgebung durch Kombination
objekt- und kartenbasierter Umfeldmodelle.

Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braun-
schweig, 2009.

Ehmanns, D.: Modellierung des taktischen Fahrverhaltens bei Spurwechselforgängen.

Dissertation, RWTH Aachen, 2002.

Eichberger, A.; Tomasch, E.; Hirschberg, W.; Steffan, H.:

Potentials of Active Safety and Driver Assistance Systems.

Automobiltechnische Zeitschrift, ATZ worldwide, 2011.

FGSV Merkblatt (Entwurf): Das Fundamentaldiagramm – Grundlagen und Anwen-
dungen.

Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen, Bergisch Glad-
bach, 2004.

Flemisch, F.; Bengler, K.;Bubb, H.; Winner, H.; Bruder R.:

Towards a Cooperative Guidance and Control of Highly Automated Vehicles: H-Mode and Conduct-by-wire. In: Ergonomics Special Edition: Beyond human-centered automation – Concepts for human-machine interaction in multilayered networks, 2013.

Franz. B.; Kauer, M.; Geyer, S.; Hakuli, S.: Conduct-by-Wire.

In Winner et al.: Handbuch Fahrerassistenzsysteme. 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin 2015.

Gasser, T. M. (a): Die Veränderung der Fahraufgabe durch Fahrerassistenzsysteme und kontinuierlich wirkende Fahrzeugautomatisierung.

Deutsches Autorecht-DAR, Rechtszeitschrift des ADAC, Heft 1, München, 2015.

Gasser, T. M. (b): Grundlegende und spezielle Rechtsfragen für autonome Fahrzeuge.

In Maurer et al.: Autonomes Fahren – Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte.

Springer-Verlag, Berlin, 2015.

Gasser, T. M.; Auerswald, R.: Vervollständigung der Landkarte Fahrzeugautomatisierung – Ein Diskussionsentwurf.

UR:BAN-Konferenz, Garching, 18./19.02.2016.

Gasser, T. M. et al.: Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung.

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft F 83, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 2012.

Geistefeldt, J.: Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit auf Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen.

Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 2007.

Geistefeldt, J.; Lohoff, J.: Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen.

Ruhr-Universität-Bochum, 2011.

- Geyer, S.: Entwicklung und Evaluierung eines kooperativen Interaktionskonzepts an Entscheidungspunkten für die teilautomatisierte, manöverbasierte Fahrzeugführung.
Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2013.
- GIDAS -Konsortium: German In-Depth Accident Study.
Herausgeber GIDAS- Codebuch, 2011.
- Gietelink, O.; De Schutter, B.; Verhaegen, M.:
Adaptive importance sampling for probabilistic validation of advanced driver assistance systems.
American Control Conference , Tagungsband, 2006.
- Gwehenberger, J.; Kubitzki, J.; Behl, T.:
Sicherheitsgewinn durch Fahrerassistenzsysteme – Aktuelle Erkenntnisse aus Schadensakten der Allianz.
4. Tagung Fahrerassistenz, TU-München, 2010.
- Habenicht, S.: Entwicklung und Evaluation eines manöverbasierten Fahrstreifenwechselassistenten.
Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2012.
- Hakuli, S.; Bruder, R.; Flemisch, F.; Löper, C.; Rausch, H.; Schreiber, M.; Winner, H.:
Kooperative Automation.
In: Winner, H.; Hakuli, S.; Wolf, G. (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. 2. Auflage. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2012.
- Hannawald, L.: Das Unfallgeschehen in Deutschland und Situationen unsicheren Fahrens.
6. Darmstädter Kolloquium „Mensch + Fahrzeug – Maßstäbe sicheren Fahrens“. Darmstadt, 06.-07.03.2013.

- Heitmann, P.: Beitrag zur Zuverlässigkeitsanalyse komplexer Systeme bei Ungewissheit am Beispiel eines autonom fahrenden Fahrzeuges.
Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, 2004.
- Herrtwich, R.G.: Autonomes Fahren, die Perspektiven für einen Premium-Hersteller.
Daimler, 2013.
- Holve, R.; Protzel, P.; Naab, K.: Generating Fuzzy Rules for the Acceleration Control of an Adaptive Cruise Control System.
Proceedings and at the NAFIPS conference, Berkeley, CA, USA, 1995.
- Homm, F.B.: Fahrzeugeigenlokalisierung im Kontext hochautomatisierter Fahrfunktionen.
Dissertation, Technische Universität München, 2012.
- Hörwick, M. A.: Sicherheitskonzept für hochautomatisierte Fahrerassistenzsysteme.
Dissertation, Technische Universität München, 2011.
- Hörwick, M.; Siedesberger, K.-M.: Aktionspläne zur Erlangung eines sicheren Zustandes bei einem autonomen Stauassistenten.
Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz, München, 2010.
- Hummel, T.; Kühn, M.; Bende, J.; Lang, A.:
Fahrerassistenzsysteme – Ermittlung des Sicherheitspotenzials auf Basis des Schadensgeschehens der Deutschen Versicherer.
Unfallforschung der Versicherer GDV, Forschungsbericht FS 03, Berlin, 2011.
- Isermann, R.: Fault-Diagnosis Systems: An Introduction from Fault Detection to Fault Tolerance.
2. Auflage, Springer-Verlag, London, 2010.
- ISO 15622: Adaptive Cruise Control Systems.
Veröffentlichungsdatum: 2010.

-
- ISO 22179:2009-09: Titel (deutsch): Intelligente Verkehrssysteme – Systeme zur adaptiven Geschwindigkeitsregelung über den gesamten Geschwindigkeitsbereich – Leistungsanforderungen und Prüfprozeduren.
Beuth Verlag, Berlin, Ausgabedatum 2009-09.
- ISO 26262: International Standard Road vehicles – Functional Safety, 2011.
- ISO 61508: Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-Related Systems (E/E/PES).
- Jentsch, M.: Eignung von objektiven und subjektiven Daten im Fahr Simulator am Beispiel der Aktiven Gefahrenbremsung – eine vergleichende Untersuchung.
Dissertation, Technische Universität Chemnitz, 2014.
- Jung, C.: ISO WD 26262 – Der Zukünftige Standard der Funktionssicherheit in der Automobilindustrie.
ISO TC22 SC3 WG16 Functional Safety, 2008.
- Kämpchen, N; Waldmann, P.; Homm, F.; Ardelt, M.:
Umfelderfassung für den Nothalteassistenten – ein System zum automatischen Anhalten bei plötzlich reduzierter Fahrfähigkeit des Fahrers.
11. Braunschweiger Symposium, 2010.
- Kasper, D.: Erkennung von Fahrmanövern mit objektorientierten Bayes-Netzen in Autobahnszenarien.
Dissertation, Universität Tübingen, 2012.
- Kienle, M.: Kooperative Interaktionskonzepte zum Fahren eines teilautomatisierten Fahrzeugs.
Dissertation, Technische Universität München, 2014.

- Kim, Y.; Keller, H.: Zur Dynamik zwischen Verkehrszuständen ein Fundamentaldiagramm.
Straßenverkehrstechnik Heft 9, Kirschbaum Verlag, Bonn, 2001.
- Kleen, A. T.: Beherrschbarkeit von teilautomatisierten Eingriffen in die Fahrzeugführung.
Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 2014.
- Knapp, A.: Response 4 – an AdaptIVe project.
VRA workshop, 01.10.2013.
- Knapp, A. et al.: Code of Practice for the Design and Evaluation of ADAS.
Version number V5.0, August 2009.
- Knepper, R.: Der Sicherheits- und Zuverlässigkeitsprozess in der zivilen Luftfahrt.
VDI-Bericht 1546, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2001.
- Knoll, P. M.: Bester Beifahrer. Wie können Fahrerassistenzsysteme helfen, Unfälle auf Landstraßen zu vermeiden?
DVR-Presseseminar, Dresden, 27./28. August 2007.
- Langwieder, K.; Kreiß, J-P.; Zangmeister, T.:
Einflüsse von Fahrerassistenzsystemen auf das Unfallgeschehen.
3. Sachverständigentag, 25. und 26. Februar 2008.
- Luckner, R.: Flurführungssysteme zur Pilotenassistenz – Was kann man aus der Luftfahrt lernen?
2. Tagung: Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz,
TU München, 4. April 2006, München.
- Machworth, N.H.: The breakdown of vigilance during prolonged visual search.
Quarterly Journal of Experimental Psychology, 1948.

- Maier, Ch.: Integriertes Modell zur Entwicklung von funktional sicheren Produkten in der Automobilbranche.
Dissertation, Universität Stuttgart, 2013.
- Maurer, T.: Bewertung von Mess- und Prädiktionsunsicherheiten in der zeitlichen Eingriffsentscheidung für automatische Notbrems- und Ausweichsystemen.
Dissertation, Universität Duisburg-Essen, 2013.
- Maurer, M.; Gerdes, J. C.; Lenz, B.; Winner, H. (Hrsg.):
Autonomes Fahren – Technische, rechtliche, und gesellschaftliche Aspekte.
Springer-Verlag, Berlin, 2015.
- Maurer, M. (Sprecher); Gerdes, J. C.; Lenz, B.; Winner, H.:
„Villa Ladenburg – Autonomes Fahren im Straßenverkehr der Zukunft“.
Förderprojekt der Daimler und Benz Stiftung, Berlin, 2014.
- Meyna, A.; Pauli, B.: Zuverlässigkeitstechnik–Quantitative Bewertungsverfahren.
2., überarbeitete und erweiterte Auflage.
Carl Hanser Verlag, München, 2010.
- Mirwaldt, P.: Funktionsentwicklung eines Nothalteassistenzsystems bei kardiovaskulär bedingter Fahruntfähigkeit.
Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 2014.
- Mirwaldt, P.; Bartels, A.; Thanh-Binh, T.; Pascheka, P.:
Gestaltung eines Nothalteassistenzsystems bei medizinisch bedingter Fahruntfähigkeit.
Volkswagen AG, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Technische Universität Dresden, 2012.

Naranjo, J.; Conzalez, C.; Garcia, R.; de Petro, T.:

ACC+Stop & Go Maneuvers With Throttle and Brake Fuzzy Control.
IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 7 (2), 2006.

Nenninger, P.: Vernetzung verteilter sicherheitsrelevanter Systeme im Kraftfahrzeug.
Dissertation Universität Karlsruhe (TH), 2007.

Padash, M.; Tavassoli, M.; Khoei, A.; Hadidi, K.:

A Sophisticated Algorithm for Using Fuzzy Logic Controllers in Adaptive
Cruise Controller Systems.
Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering, 2013.

Patent DE 102013202053 A1:

Fahrerassistenzeinrichtung für ein Kraftfahrzeug mit mehreren Fahrer-
assistentenfunktionen und einer zentralen, fahrerassistentenfunktionsüber-
greifenden Trajektoriengenerierung.
Antragsteller: BMW
Erfinder Aeberhard, M.; Klöden, H.; Kämpchen, N.
Veröffentlichungsdatum: 7. August 2014.

Patent EP 2657921 A1:

Verfahren und Vorrichtung zum Nothalt eines Kraftfahrzeugs.
Antragsteller: VW
Erfinder: Bartels, A.; Mirwaldt, P.
Veröffentlichungsdatum: 30.10.2013.

PREVENT: Code of Practice for the Design and Evaluation of ADAS, 2009.

Radlmayr, J.; Bengler, K.: Literaturanalyse und Methodenauswahl zur Gestaltung von
Systemen zum hochautomatisierten Fahren.
Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V., FAT-Schriftenreihe 276,
2015.

-
- Rasmussen, J.: Skills, Rules and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols and other Distinctions in Human Performance Models.
IEEE Transactions on Systems Man, and Cybernetics, 13(3), 1983.
- Rauch, S.; Aeberhard, M.; Ardelt, M.; Kämpchen, N.:
Autonomes Fahren auf der Autobahn – Eine Potentialstudie für zukünftige Fahrerassistenzsysteme.
BMW Group Forschung und Technik, 2012.
- Reichelt, R.: Sicherheit und Zuverlässigkeit von Fly-by-Wire Systemen im Flugzeug.
VDI/VDE Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik,
Fachausschuss 4.15 Mechatronik, 18.11.2005, Frankfurt.
- Reif, K. (Hrsg.): Fahrstabilisierungssysteme und Fahrerassistenzsysteme.
Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2010.
- Reinisch, P.: Eine risikoadaptive Eingriffsstrategie für Gefahrenbremsysteme.
Dissertation, Universität Duisburg-Essen, 2012.
- Rohm, R.: Sicherheitsgewinn durch Fahrerassistenzsysteme bei tödlichen Unfällen.
VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken, 2013.
- Schaller, T.: Stauassistentz-Längs- und Querführung im Bereich niedriger Geschwindigkeit.
Dissertation, Technische Universität München, 2009.
- Schneider, J-H.: Modellierung und Erkennung von Fahrsituationen und Fahrmanövern für sicherheitsrelevante Fahrerassistenzsysteme.
Dissertation, Technische Universität Chemnitz, 2009.
- Schneider, R.: Risikoanalyse im Luftverkehrsmanagement.
Tagung zur Funktionellen Sicherheit IEC 61508 (VDE 0803), IEC 61508 & Co – aber wie anwenden?
12. bis 13. März 2013, Kaisersaal Erfurt.

- Schröder, J.: Adaptive Verhaltensentscheidung und Bahnplanung für kognitive Automobile.
Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), 2009.
- Schroven, F.: Probabilistische Situationsanalyse für eine adaptive automatisierte Fahrzeuglängsführung.
Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 2011.
- Schwarz, J.: Designing Safe Automated Driving Functions – Challenges from the legal framework.
Daimler, RD/ESF, 13.06.2012
- Schwarz, J.: RESPONSE 3 a PReVENT Project.
Code of Practice for development, validation and market introduction of ADAS.
DaimlerChrysler AG, RESPONSE 3, München, 04.04.2006.
- Senger, C.: Automatisiertes Fahren.
Continental AG, Hannover, 12. Dez. 2013.
- Shannon, C.E.: Mathematical Theory of Communication.
Bell System Technical Journal, Vol. 27, 1948.
- Sievernich, W.: Neues Handerkennungssystem für Lenkräder.
Automobilindustrie, Vogel Business Media, 2015.
- Society of Automotive Engineers, Inc.: ARP (Aerospace Recommended Practica) 4781
Guidelines and Methodes for Conducting the Safety Assesment Process
on Civil Airborne System and Equipment.
- Sparmann, U.: Spurwechselvorgänge auf zweispurigen BAB-Richtungsfahrbahnen.
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 263, 1978.

- Ständer, T.: Eine modellbasierte Methode zur Objektivierung der Risikoanalyse nach ISO 26262.
Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 2010.
- Süss, D.: Einfluss unterschiedlicher Tempolimits auf den Verkehrsfluss und das Unfallgeschehen auf zweispurigen Autobahnen.
Kuratorium für Schutz und Sicherheit, Wien, 2003.
- Thoma, S.: Mensch-Maschine-Interaktionskonzepte für Fahrerassistenzsysteme im Kreuzungsbereich.
Dissertation, Technische Universität München, 2010.
- VDA Band 4: Sicherung der Qualität in der Prozesslandschaft, Kapitel Produkt- und Prozess FMEA.
Verband der Automobilindustrie, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage 2009, aktualisiert 03.2010, ergänzt 12.2011.
- Vollrath, M.; Briest, S.; Schießl, C.: Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit.
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft F 60, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 2006.
- Vollrath, M.; Krems, J.: Verkehrspsychologie; Ein Lehrbuch für Psychologen, Ingenieure und Informatiker.
Kohlhammer, 2011.
- Vollrath, M.: Motivationale und psychophysische Leistungsgrenzen im Rahmen der Überwachung von Kontrollelementen (Vigilanzreduktion) zur Durchführung einer teilautomatisierten Fahraufgabe.
Gutachten im Auftrag des ADAC e.V.,
Lehrstuhl für Ingenieur- und Verkehrspsychologie TU Braunschweig, 2015.

- Wachenfeld, W.; Winner, H.: Die Freigabe des autonomen Fahrens.
In Maurer et al.: Autonomes Fahren – Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte.
Springer-Verlag, Berlin, 2015.
- Waldmann P.; Kämpchen, N; Ardelt, M.; Homm, F.:
Der Nothalteassistent – abgesichertes Anhalten bei plötzlicher Fahrunfähigkeit des Fahrzeugführers.
3. Deutscher AAI-Kongress, Berlin, 2010.
- Weber, D.: Untersuchung des Potentials einer Brems-Ausweich-Assistenz.
Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, 2012.
- Weitzel, A.: Objektive Bewertung der Kontrollierbarkeit nicht situationsgerechter Reaktionen umfeldsensorbasierter Fahrerassistenzsysteme.
Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2013.
- Weitzel, A.; Winner, H.: Ansatz zur Kontrollierbarkeitsbewertung von Fahrerassistenzsystemen vor dem Hintergrund der ISO 26262.
Workshop Fahrerassistenzsysteme, fzd TU-Darmstadt, 2012.
- Weitzel, A.; Winner H.; Peng, C.; Geyer, S.; Lotz, F.; Mohsen, S.:
Absicherungsstrategien für Fahrerassistenzsysteme mit Umfeldwahrnehmung.
Forschungsbericht FE-Nr. 82.0546/2012, BASt, Bergisch Gladbach, 2013.
- Werling, M.: Ein neues Konzept für die Trajektoriengenerierung und –stabilisierung in zeitkritischen Verkehrsszenarien.
Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, 2010.
- Wilschko, T.: Sichere Information durch infrastrukturgestützte Fahrerassistenzsysteme zur Steigerung der Verkehrssicherheit an Straßenpunkten.
Dissertation, Universität Stuttgart, 2004.

- Winkle, T.: Entwicklungs- und Freigabeprozess automatisierter Fahrzeuge: Berücksichtigung technischer, rechtlicher und ökonomischer Risiken.
In Maurer et al.: Autonomes Fahren – technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte, Springer-Verlag, Berlin, 2015.
- Winner, H.: Fahrerassistenzsysteme – Stand der Technik und Ausblick.
Autoforum Sachsen – Sachsen wieder Autoland.
VDI-Berichte Nr. 1702, VDI Verlag, Düsseldorf, 2002.
- Winner, H.; Hakuli, S.; Bruder, R.; Konigorski, U.; Schiele, B.: Conduct-by-Wire – ein neues Paradigma für die Weiterentwicklung der Fahrerassistenz.
3. Workshop Fahrerassistenzsysteme, Freundeskreis Meß- und Regelungstechnik, Karlsruhe e.V., Karlsruhe, 2006.
- Winner, H.; Hakuli, S.; Lotz, F.; Singer Ch.: Handbuch Fahrerassistenzsysteme.
3. überarbeitete und ergänzte Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2015
- Winner, H.; Wachenfeld, W.: Absicherung automatisierten Fahrens.
FAS-Tagung, München, 2013.
- Wu, N.: Verkehr auf Schnellstraßen im Fundamentaldiagramm – Ein neues Modell und seine Anwendung.
Straßenverkehrstechnik, Heft 8, Kirschbaum Verlag, Bonn, 2000.
- Zadeh, L. A.: Fuzzy sets.
Information and Control 8 pp. 338-353, 1965.
- Zechnall, W.: Fahrzeugautonome und infrastrukturgestützte Lösungen zur Verbesserung der Sicherheit im Verkehr.
Robert Bosch GmbH, Stuttgart, 02.03.2006.

2. Berichtsteil

Rechtliche Problembetrachtung

Autoren:

Prof. Dr. Clemens Arzt

Simone Ruth-Schumacher, LL.M.

Inhalt

A.	Untersuchungsgegenstand	181
B.	Produkt- bzw. produzentenhaftungsrechtliche Aspekte	183
I.	Grundsätzliches zu Produkthaftung	184
1.	Das Produkt	184
2.	Fehlerarten	184
3.	Der Produktfehler: Enttäuschung berechtigter Sicherheitserwartungen	185
a)	Der für die Sicherheitserwartungen maßgebliche Verkehrskreis	185
b)	Inhaltlicher Maßstab der Sicherheitserwartungen	185
c)	Berechtigte Sicherheitserwartungen beim Konstruktionsfehler	187
d)	Der Instruktionsfehler	189
4.	Ausschluss der Produkthaftung	190
II.	Anwendung auf den Untersuchungsgegenstand	191
1.	Präzisierung der Sicherheitserwartungen in Bezug auf Software, Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren	191
a)	Software	191
b)	Technische Sicherheitsstandards für Fahrerassistenzsysteme, automatisiertes Fahren und Überführungssysteme	192
c)	Fahrerassistenzsysteme	194
d)	Fahrzeugautomatisierung	197
2.	Beurteilung des Untersuchungsgegenstandes	198
a)	Grundsätzliches zu den berechtigten Sicherheitserwartungen der Überführungssysteme	198
b)	Sicherheitsgewinn durch die Überführungssysteme	199
c)	Berechtigte Sicherheitserwartungen und der angestrebte Endzustand	200
d)	Berechtigte Sicherheitserwartungen und Überführung	201
e)	Berechtigte Sicherheitserwartungen und Systemgrenzen der Überführungsszenarios	201
f)	Überführungsszenarien und Instruktion	205
III.	Zusammenfassung	206

C.	Straßenverkehrsrechtliche Haftung des Halters	208
I.	Grundsätze der straßenverkehrsrechtlichen Halterhaftung	208
1.	Überblick über die Halterhaftung	208
2.	Der Haftungsgrund: Betriebsgefahr und Zurechnungszusammenhang	210
a)	„Betrieb des Fahrzeugs“: Die Betriebsgefahr.....	211
b)	Zurechnungszusammenhang.....	212
c)	Ergebnis.....	214
3.	Höhere Gewalt und unabwendbares Ereignis als haftungsausschließende Umstände	214
4.	Schadensausgleich zwischen Haltern bei Verursachung durch mehrere Fahrzeuge	216
II.	Anwendung auf den Untersuchungsgegenstand	217
1.	Ausgangssituation für den Einsatz von Systemen zur Überführung des Fahrzeugs in den risikominimalen Zustand	217
a)	Einsatz des Überführungssystem bei Ausfall des Fahrers.....	218
b)	Einsatz des Überführungssystem bei nicht ausreichender Vorlaufzeit für eine Übernahme oder plötzlichem Systemausfall.....	219
c)	Zusammenfassung.....	219
2.	Gefährdungshaftung während der Überführung in den risikominimalen Zustand	219
3.	Endzustand: Halten auf dem Fahrstreifen bzw. auf dem Seitenstreifen einer Autobahn	224
a)	Fortdauer des Betriebs: Parken, Halten und Liegenbleiben im öffentlichen Verkehrsraum.....	224
(aa)	Parkende und haltende Fahrzeuge.....	224
(bb)	Liegengebliebene Fahrzeuge.....	225
(cc)	Zusammenfassung.....	228
b)	Beurteilung.....	228
(aa)	Halten auf dem Fahrstreifen.....	229
(bb)	Halten auf dem Seitenstreifen.....	230
III.	Zusammenfassung	231
D.	Zulassungsrecht	233

I.	Übersicht über das Zulassungsrecht	233
1.	EU-rechtliche Vorgaben	234
2.	UN-Regelungen	235
3.	Nationale Vorgaben	236
II.	Bauvorschriften für Fahrerassistenzsysteme	237
1.	EU-Recht	237
a)	Überblick über rechtliche Vorgaben	237
b)	Relevanz für den Untersuchungsgegenstand	238
2.	UN-Regelungen	239
III.	Allgemeine Sicherheitsanforderungen an Fahrzeuge	240
1.	Rechtliche Anforderungen an die Sicherheit in der Verordnung (EG) Nr.661/2009 und der StVZO	240
2.	Anwendung auf Untersuchungsgegenstand	243
a)	Pflicht zur Ausstattung mit einem Überführungssystem?	243
b)	Pflicht einen bestimmten Endzustand zu erreichen?	244
c)	Pflichten während der Überführung	245
d)	Systemgrenzen der Überführungssysteme	245
IV.	Zusammenfassung	247
E.	Verantwortlichkeit des Fahrzeugführers	248
I.	Grundsätzliches zum Verhaltens- und Haftungsrecht	248
1.	Überblick	248
a)	Verhaltensrecht	248
b)	Haftungsrecht	249
2.	Der Begriff des Fahrzeugführers im Verhaltens- und Haftungsrecht	250
3.	Der Handlungsbegriff im Verhaltens- und Haftungsrecht	253
II.	Anwendung auf den Untersuchungsgegenstand	253

1.	Einsatz der Überführungssysteme im Falle der Fahrunfähigkeit des Fahrzeugführers.....	254
2.	Einsatz der Überführungssysteme in den Automatisierungsgraden 3 und 4 im Falle technischer Fehler.....	254
III.	Exkurs: Pflicht des Fahrzeugführers zur Rückübernahme	256
IV.	Zusammenfassung.....	257
F.	Schlussbetrachtung: Sicherer/Risikominimaler Zustand und Forschungsbedarf.....	259
	Literaturverzeichnis.....	266

A. Untersuchungsgegenstand

Das Projekt untersucht verschiedene Umsetzungsszenarien für die Überführung eines automatisch gesteuerten Fahrzeugs in den so genannten „risikominimalen Zustand“. Für die rechtliche Beurteilung sind dabei exemplarisch zwei Umsetzungsszenarien (Regelstrategien für die Herbeiführung des „risikominimalen Zustands“) von Relevanz, die beide auf die Herbeiführung des „risikominimalen Zustands“ im Einsatzbereich Autobahn bzw. auf autobahnähnlichen Straßen zielen:

1. Anhalten auf der eigenen Fahrspur („Einfache Ausprägung“) und
2. Anhalten auf dem Seitenstreifen nach Fahrstreifenwechsel („Komplexe Ausprägung“).

Die Herbeiführung des „risikominimalen Zustands“ erfolgt durch ein technisches Überführungssystem allein ohne menschliche Aktivitäten, wobei der Fall einer späteren Übernahme durch den Fahrer nicht betrachtet wird.

Die Regelstrategien werden differenziert, bezogen auf die Automatisierungsgrade² des Fahrzeugs nach Level 0-2 sowie Level 3 und 4 betrachtet (die Automatisierungsgrade stellen dabei den Ausgangszustand vor Herbeiführung des „risikominimalen Zustands“ dar). In beiden Fällen kommen die Regelstrategien in kritischen Situationen zum Einsatz. Diese sind dadurch gekennzeichnet, dass der Fahrzeugführer nicht die notwendigen Manöver durchführt, um einen Unfall zu vermeiden, ohne jedoch einen aktiven Beitrag für die Notwendigkeit des Sicherheitsmanövers geleistet zu haben. Eine solche Situation ist z.B. in Fällen medizinisch bedingter Handlungsunfähigkeit des Fahrers gegeben. Bei Automatisierung ab Stufe 3 kann auch das Erreichen der Systemgrenzen oder ein Systemausfall ohne ausreichende Vorlaufzeit für eine Übernahme durch den Fahrer, oder eine missglückte Transition aufgrund einer fehlenden Reaktion des Fahrers zu einer solchen kritischen Situation führen. Es handelt sich daher nach der von Gasser vorgeschlagenen Kategorisierung bei den zu untersuchenden Überführungsszenarien um Fahrerassistenzsysteme bzw. Fahrzeug-

² Bezeichnung und Beschreibung der Stufen in Gasser in: Gasser et al., S. 9 und Gasser, DAR 2015, 6 (8).

automatisierungen der Wirkweise C (eingreifende Notfallfunktionen).³ Solche Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie in unfallgeneigten Situationen, die der Fahrer faktisch nicht mehr kontrollieren kann, die Fahrzeugsteuerung unmittelbar beeinflussen.⁴

Die Untersuchung beinhaltet eine rechtliche Analyse der Situation während und nach der Überführung in den „risikominimalen Zustand“ unter Berücksichtigung:

- a. der Anwesenheit und des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer,
- b. der Auswirkungen des vom Überführungssystem zu bestimmter Fahrweise veranlassten Fahrzeugs selbst auf andere Verkehrsteilnehmer und
- c. der Auswirkungen des vom Überführungssystem zu bestimmter Fahrweise veranlassten Fahrzeugs auf den Fahrer und dessen Haftpflicht.

Die rechtliche Analyse umfasst dabei in erster Linie Aspekte des Produzenten- bzw. Produkthaftungsrecht (B) und der straßenverkehrsrechtlichen Halterhaftung (C). Daneben werden die relevanten Aspekte des Zulassungsrechts (D) sowie der Fahrerverantwortlichkeit in verhaltensrechtlicher wie auch in haftungsrechtlicher Hinsicht (E) untersucht.

³ Gasser/Seeck/Smith, S. 27, 28f., vgl. dort auch zu den Wirkweisen A - informierende und warnende Systeme, wobei die Fahraufgabe beim Fahrer bleibt - und B - kontinuierlich automatisierende Funktionen, bei denen die automatisierten Systeme die Fahraufgabe in unterschiedlichem Umfang arbeitsteilig mit dem Fahrer wahrnehmen.

⁴ Gasser/Seeck/Smith, S. 27, 29.

B. Produkt- bzw. produzentenhaftungsrechtliche Aspekte

Das Produkt- bzw. Produzentenhaftungsrecht regelt die zivilrechtliche Haftung für Schäden, die durch eine Verletzung von Körper, Gesundheit, Leben oder Sachen (Eigentum) entstanden sind. Die Produkthaftung wird durch einen Fehler des Produkts ausgelöst, der ursächlich für den Schaden geworden ist (§ 1 ProdHaftG). Die genaue Charakterisierung der Produkthaftung ist in der Literatur umstritten. So handelt es sich nach einer Auffassung um eine Gefährdungshaftung, nach einer anderen um eine verschuldensunabhängige Haftung für objektives Verhaltensunrecht⁵, nach einer dritten um ein vom Fehlertyp abhängiges Mischsystem von Verschuldenshaftung und verschuldensunabhängiger Verhaltenshaftung oder schließlich um ein Mischsystem aus Haftung für Verhaltensunrecht und Gefahr.⁶ Demgegenüber knüpft die Produzentenhaftung nach § 823 I BGB an eine schuldhaft Verletzung von Verhaltenspflichten bei der Konstruktion, der Fabrikation, der Instruktion und der Produktbeobachtung durch den Produzenten an. Die unterschiedlichen Haftungssysteme und Auffassungen zum Charakter der Produkthaftung führen grundsätzlich nicht zu unterschiedlichen Ergebnissen in der Beurteilung konkreter Fälle. Dies hat seinen Grund darin, dass über die Rechtsprechung⁷ hinaus⁸ weitestgehend Einigkeit darüber besteht, dass die Anforderungen an die Sicherheit des Produkts nach § 3 ProdHaftG bzw. an die Einhaltung der Verkehrssicherungspflichten des Produzenten nach § 823 I BGB identisch sind.⁹ In diesem Sinne „verschlüsselt“ der Fehlerbegriff nur die einzelnen Verhaltens- und Verkehrspflichten.¹⁰ Darüber hinaus haben sich beide Anspruchsgrundlagen auch durch eine Beweislastumkehr im Rahmen der verschuldensabhängigen Produzentenhaftung weitgehend angenähert.¹¹ Daher wird für die folgenden Betrachtungen hinsichtlich des Produktfehlers nicht zwischen Produkt- und Produzentenhaftung unterschieden.

⁵ In diesem Sinne etwa Gasser/Seeck/Smith, S. 27, 39.

⁶ Vgl. Zusammenfassung zum Meinungsstand bei Staudinger/Oechsler, ProdHaftG, Einleitung, Rn. 27.

⁷ BGH NJW 2009, 2952, 2953; OLG SH v. 24.4.2012, Az. 11 U 123/11, openjur, Rn. 35.

⁸ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG Einleitung Rn. 33.

⁹ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 13.

¹⁰ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG Einleitung Rn. 31.

¹¹ Gasser/Seeck/Smith, S. 27, 39.

I. Grundsätzliches zu Produkthaftung

1. Das Produkt

Produkte im Sinne des § 2 ProdHaftG, deren Fehler zu einer Haftung führen können, sind bewegliche Sachen, auch wenn sie Teil einer anderen beweglichen oder unbeweglichen Sache sind sowie - hier nicht relevant - Elektrizität.

Der Produktbegriff umfasst nach herrschender Meinung auch Software, also Computerprogramme, die der Steuerung dienen, jedenfalls dann, wenn sie auf einem Datenträger verkörpert sind.¹² Demzufolge ist die fest installierte Software eines „Embedded Systems“ als Teil von Fahrerassistenzsystemen – bzw. von Automatisierungen der Fahrzeugsteuerung – wegen ihrer engen Verknüpfung mit der Hardware daher als Produkt anzusehen und Fehler der Software sind als Fehler des Gesamtprodukts zu betrachten.¹³

2. Fehlerarten

Rechtsprechung und Literatur unterscheiden drei, die Produkthaftung auslösende Fehlerarten:

- Ein **Fabrikationsfehler** liegt vor, wenn das einzelne Produkt von den Konstruktionsvorgaben des Herstellers abweicht, gleichgültig, ob diese Abweichung vermeidbar oder nicht vermeidbar (Ausreißer) war.¹⁴ Für die Beurteilung des Untersuchungsgegenstandes ist der Fabrikationsfehler irrelevant.
- Ein **Konstruktionsfehler** ist gegeben, wenn das Produkt nach seiner Konzeption hinter den berechtigten Sicherheitserwartungen zurückbleibt.¹⁵
- Ein **Instruktions- bzw. Informationsfehler** liegt vor, wenn der Nutzer nicht oder unrichtig über Gebrauch und/oder die mit dem Gebrauch bzw. dem nahe liegenden Fehlgebrauch des Produkts verbundenen Gefahren informiert bzw. instruiert wird.¹⁶

Kein Produktfehler ist dagegen der **Entwicklungsfehler**, also ein Fehler, der nach dem Stand der Wissenschaft und Technik in dem Zeitpunkt, in dem der Hersteller das Produkt in den Verkehr brachte, nicht erkannt werden konnte (§ 1 II Nr. 5 ProdHaftG). Für Entwicklungsfehler muss der Hersteller gemäß § 1 II Nr. 5 ProdHaftG nicht haften.

¹² Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 2 Rn. 67.

¹³ Meyer/Harland, CR 2007, 689, 693; Vogt in: Gasser et al., S. 105; Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 2 Rn. 64.

¹⁴ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 104.

¹⁵ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 108.

¹⁶ Vgl. Vogt in Gasser et al., S. 95, 107f.; BGH NJW 1992, 560 f.

Für die Beurteilung des Untersuchungsgegenstandes sind insbesondere Konstruktionsfehler und bedingt Instruktionsfehler relevant.

3. Der Produktfehler: Enttäuschung berechtigter Sicherheitserwartungen

Gemäß § 3 I ProdHaftG ist ein Produkt fehlerhaft, das nicht die Sicherheit bietet, die unter Berücksichtigung aller Umstände berechtigterweise erwartet werden darf, das - mit anderen Worten - nicht den berechtigten Sicherheitserwartungen entspricht. Maßgeblich für die Sicherheitserwartungen sind insbesondere die Darbietung des Produkts, der Gebrauch mit dem billigerweise gerechnet werden kann, sowie der Zeitpunkt, zu dem das Produkt in den Verkehr gebracht wurde. Der Produkthaftung liegt demnach das Konzept der Produktsicherheit zugrunde.¹⁷

Der Konkretisierung der berechtigten Sicherheitserwartungen kommt danach die entscheidende Rolle bei der Feststellung zu, ob das Produkt einen Fehler aufweist oder nicht.

a) Der für die Sicherheitserwartungen maßgebliche Verkehrskreis

Den Maßstab für die Konkretisierung der berechtigten Sicherheitserwartungen bildet nach wohl herrschender Meinung grundsätzlich der objektive Erwartungshorizont der in dem entsprechenden Bereich herrschenden Verkehrsauffassung an die Produktsicherheit; auf die subjektiven Sicherheitserwartungen des jeweiligen Benutzers kommt es daher nicht an.¹⁸ Der so formulierte Maßstab ist insbesondere für den Schutz Außenstehender von Bedeutung, die als Verkehrsteilnehmer mit der Produktnutzung durch Dritte konfrontiert sind bzw. schlicht mit dem Produkt in Berührung kommen.¹⁹ Denn das Produkthaftungsgesetz beschränkt in § 1 Schadenersatzansprüche nicht auf den Verbraucher oder Nutzer eines Produkts, sondern gibt auch dem durch das Produkt Geschädigten einen Anspruch.²⁰ In den Genuss des Schutzes vor Produktfehlern nach § 3 ProdHaftG kommen demnach alle

¹⁷ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 2.

¹⁸ BGH NJW 2009, 2952, 2953; Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 19.

¹⁹ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 15; BGH NJW 2009, 1669, 1670.

²⁰ BGH NJW 2009, 1669, 1670.

Personen, die den Wirkungen des unsicheren Produkts ausgesetzt sind (*innocent bystander*).²¹

b) Inhaltlicher Maßstab der Sicherheitserwartungen

Im Umkehrschluss aus § 1 II Nr. 5 ProdHaftG orientiert sich die Verkehrsauffassung für die Sicherheitsanforderungen an die Konstruktion inhaltlich grundsätzlich am Stand von Wissenschaft und Technik zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens.²² Danach scheidet ein Schadenersatzanspruch aus, wenn der Fehler nach dem Stand der Wissenschaft und Technik in dem Zeitpunkt, in dem der Hersteller das Produkt in den Verkehr brachte, nicht erkannt werden konnte. Der Stand von Wissenschaft (theoretische Erkenntnisse) und Technik (praktische Erkenntnisse) bezeichnet die Summe des allgemein anerkannten und des allgemein verfügbaren Wissens, wobei nach einer strengen Auffassung auch Außenseiter- oder Mindermeinungen zu berücksichtigen sind, wenn ernsthafte empirische Anhaltspunkte für ihre Richtigkeit sprechen.²³ Eigene Forschungsanstrengungen sind nur ausnahmsweise gefordert, etwa im Bereich von Arzneimitteln und sicherheitsrelevanten Hochtechnologien.²⁴

Markiert der Stand von Wissenschaft und Technik eine „obere“ Grenze der berechtigten Sicherheitserwartungen, so können die allgemein anerkannten Regeln der Technik – Regeln, die in den Kreisen der betreffenden Techniker bekannt und als richtig anerkannt sind, im Sinne von in der Praxis erprobt, verbreitet und bewährt – als eine „untere“ Grenze angesehen werden.²⁵ Dies ist allerdings nicht ganz unumstritten: Zwar wird die Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik z.B. durch die Einhaltung technischer Regularien nationaler und internationaler Normungsorganisationen sowie von Sicherheitsstandards aus öffentlichen-rechtlichen Vorschriften (die nicht selten auf solche privatwirtschaftlichen Normungen verweisen) indiziert.²⁶ Es ist jedoch anerkannt, dass die Einhaltung solcher Vorschriften allein einen Produktfehler nicht auszuschließen vermag, denn technischen Regularien und Sicherheitsstandards in öffentlich-rechtlichen Vorschriften gewährleisten lediglich

²¹ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 11 und 17; BGH NJW 2009, 1669, 1670.

²² Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 20a; Foerste in: Produkthaftungshandbuch, § 24 Rn. 22; BGH NJW 2009, 2952, 2953.

²³ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 1 Rn. 124 und 128.

²⁴ Foerste in: Produkthaftungshandbuch, § 24 Rn. 20.

²⁵ Foerste in: Produkthaftungshandbuch, § 24 Rn. 22; Reuter, InTeR 2014, 163, 169.

²⁶ Foerste in Produkthaftungshandbuch, § 24 Rn. 46.

einen Mindeststandard an Produktsicherheit;²⁷ darüber hinaus darf der Nutzer eine Basissicherheit erwarten, da die Regelungen zumeist nicht abschließend sind und der Weiterentwicklung unterliegen.²⁸ Stellt der technische Fortschritt daher zwischenzeitlich wirksamere Sicherheitskonzepte zur Verfügung, reicht die Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik oder technischer Regularien nicht aus.²⁹ Dies gilt insbesondere auch, wenn von dem Produkt eine Gefahr ausgeht, die in der technischen Norm gar nicht berücksichtigt wurde, und diese Gefahr vermeidbar ist.³⁰

Jedoch gilt umgekehrt: Wurden diese Vorgaben nicht eingehalten, liegt ein Produktfehler vor bzw. ist dadurch eine Pflichtverletzung indiziert.³¹ Grundsätzlich gilt demnach der Stand von Wissenschaft und Technik als Sicherheitsstandard,³² beispielsweise wenn es um den Einsatz ganz neuer Technologien mit noch unbekanntem Risiken geht.³³ Die anerkannten Regeln der Technik sind dann von Belang, wenn für ein Produkt bewährte Technologien ohne besondere Risiken eingesetzt werden.³⁴

c) Berechtigte Sicherheitserwartungen beim Konstruktionsfehler

Die berechtigten Sicherheitserwartungen verlangen, bereits im Rahmen der Planung und Konstruktion des Produkts diejenigen Maßnahmen zu treffen, die zur Vermeidung einer Gefahr objektiv erforderlich und nach objektiven Maßstäben dem Hersteller zumutbar sind.³⁵

Nach der so genannten Airbag-Entscheidung des BGH sind solche Sicherheitsmaßnahmen zur Vermeidung eines Produktfehlers objektiv erforderlich, die nach dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik konstruktiv möglich sind sowie geeignet und genügend erscheinen für die Verhinderung von Schäden.³⁶ Insofern legt der BGH einen sehr hohen Sicherheitsstandard zugrunde, der über den bis zu dieser Entscheidung geltenden Maßstab des Standes von Wissenschaft und

²⁷ OLG Hamm v. 21.12.2010, Az. I-21 U 14/08, justiz.nrw, Rn. 37.

²⁸ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 91b, 95; Reuter, InTeR 2014, 163, 169; OLG Schleswig v. 19.10.2007, openjur, Rn. 46 und 48.

²⁹ Reuter, InTeR 2014, 163, 169.

³⁰ OLG Hamm v. 21.12.2010, Az. I-21 U 14/08, justiz.nrw, Rn. 37.

³¹ Reuter, InTeR 2014, 163, 166; Foerste in Produkthaftungshandbuch, § 24 Rn. 44.

³² Foerste in: Produkthaftungshandbuch, § 24 Rn. 22.

³³ Reuter, InTeR 2014, 163, 168.

³⁴ Reuter, InTeR 2014, 163, 168.

³⁵ Ständige Rechtsprechung, vgl. BGH NJW 2009, 2952, 2953.

³⁶ BGH NJW 2009, 2952, 2953.

Technik hinausgeht.³⁷ Dieser wird vom BGH jedoch sogleich relativiert und auf einen durch das gesicherte Fachwissen der einschlägigen Verkehrskreise bestimmten Standard eingeschränkt.³⁸ Soweit danach praktisch einsetzbare und erprobte Lösungen zur Bewältigung der Probleme zur Verfügung stehen (zum Serieneinsatz reife, sicherheitstechnisch überlegene Alternativkonstruktionen), muss der Hersteller diese umsetzen³⁹; er ist dagegen nicht verpflichtet, Sicherheitskonzepte umzusetzen, die „nur auf dem Reißbrett“ bestehen.⁴⁰ Nach Auffassung von *Reuter* setzt der BGH damit im Ergebnis auf einen allgemeinen Stand der Technik als Sicherheitsstandard, der nach den gängigen Definitionen von Erkenntnissen und Lösungen bestimmt wird, die wissenschaftlich gesichert, praktisch erprobt und ausreichend bewährt sind.⁴¹

Fehlt es nach dem Stand von Wissenschaft und Technik an der Vermeidbarkeit bestimmter mit der Produktnutzung verbundener Risiken, ist zu prüfen, ob das Produkt überhaupt in den Verkehr gebracht werden darf.⁴² Dafür sind der Nutzen des Produkts einerseits sowie Art und Umfang der mit der Nutzung verbundenen Gefahren und ihre Eintrittswahrscheinlichkeit andererseits abzuwägen.⁴³

Die objektive Zumutbarkeit von Maßnahmen zur Gefahrvermeidung richtet sich nach dem vom Produkt ausgehenden Gefahrengrad und den wirtschaftlichen Auswirkungen der Sicherungsmaßnahme.⁴⁴ Demnach orientieren sich die berechtigten Sicherheitserwartungen nach herrschender Meinung nicht zuletzt am Produktpreis: bei Hochpreisprodukten kann danach grundsätzlich ein höherer Sicherheitsstandard erwartet werden als bei niedrigpreisigen Produkten.⁴⁵ Dies gilt v.a. für den Käufer des Produkts; außen Stehende können erwarten, dass der durch den Preis eröffnete wirtschaftliche Gestaltungsspielraum bestmöglich für die Produktsicherheit genutzt wird.⁴⁶ Dabei ergeben sich die zumutbaren Sicherheitsmaßnahmen wertend aus einer Gesamtbetrachtung relevanter Umstände wie Art der bedrohten Rechtsgüter, Höhe und Wahrscheinlichkeit des mit einer bestimmten Konstruktion verbundenen Risikos, Bekanntheit im betroffenen Verkehrskreis, Möglichkeit von alternativen Konstruktionen

³⁷ Klindt/Handorn, NJW 2010, 1105, 1106.

³⁸ Reuter, InTeR 2014, 163, 169.

³⁹ BGH NJW 2009, 2952, 2953.

⁴⁰ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 20a; BGH NJW 2009, 2952, 2953.

⁴¹ Reuter, InTeR 2014, 163, 169.

⁴² BGH NJW 2009, 2952, 2953.

⁴³ BGH NJW 2009, 2952, 2953.

⁴⁴ Lenz PHI 2209, 196, 198; BGH NJW 2009, 2952, 2953 f.

⁴⁵ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 36, 85.

⁴⁶ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 36 f., 86.

und deren Gefahren sowie der wirtschaftliche Aufwand dafür.⁴⁷ Insbesondere bei erheblichen Gefahren für Leib oder Leben Betroffener sind dem Hersteller weitergehende Maßnahmen zumutbar als bei kleineren körperlichen Beeinträchtigungen oder bloßen Eigentums- oder Besitzstörungen.⁴⁸ Hinsichtlich der Zumutbarkeit des wirtschaftlichen Aufwandes spielen z.B. die Verbrauchergewohnheiten, Produktionskosten, Absatzchancen für das veränderte Produkt und Kosten-Nutzen-Relationen eine Rolle.⁴⁹ Das Produkt muss jedoch auf jeden Fall die Basissicherheit aufweisen, die unabhängig vom Produktpreis erwartet werden kann, elementare Sicherheitsanforderungen müssen also erfüllt sein.⁵⁰

d) Der Instruktionsfehler

Bleiben nach alledem konstruktiv unvermeidbare Gefahren, die sich aus dem bestimmungsgemäßen Gebrauch oder dem vorhersehbaren Fehlgebrauch des Produkts ergeben die nicht zum Gefahrwissen des Benutzerkreises gehören und darf das Produkt gleichwohl in den Verkehr gebracht werden, so ist der Hersteller verpflichtet, vor diesen Gefahren zu warnen. Die gilt auch, wenn technische Vorkehrungen, die den Gefahren aus dem Gebrauch bzw. Fehlgebrauch begegnen, nicht zumutbar sind, weil die wirtschaftliche Belastung hierdurch in keinem Verhältnis zum Produktpreis steht. Aus der Konstruktionspflicht wird eine Instruktionspflicht abgeleitet⁵¹, für die der Maßstab des § 3 I lit. a ProdHaftG gilt. Hat der Hersteller dieser genügt, entfällt seine Haftung auch gegenüber Dritten.⁵² Unter Rückgriff auf eine Instruktion des Nutzers bzw. einem Warnhinweis kann der Hersteller jedoch nicht auf technische Maßnahmen zur Gewährleistung einer gewissen Basissicherheit verzichten.⁵³

Wesentlich für die Konkretisierung der Sicherheitserwartungen ist nach § 3 I lit. a ProdHaftG die Darbietung des Produkts. Diese Vorschrift bezieht sich nach

⁴⁷ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 87; vgl. auch OLG München v. 11.1.2011, Az. 5 U 3158/10, openjur, Rn. 25.

⁴⁸ BGH NJW 2009, 2952, 2954; für nur leichte Gesundheitsschäden vgl. etwa BGH NJW 2009, 1669, 1670 (Kirschkerne im Kuchen).

⁴⁹ BGH NJW 2009, 2952, 2954; vgl. auch OLG Schleswig v. 19.10., Az. 17 U 43/07, Rn. 70 und BGH NJW 2009, 1669, 1670.

⁵⁰ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 88.

⁵¹ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 20a, 39, 73; BHG NJW 2009, 2952, 2954.

⁵² Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 76.

⁵³ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 39, 74.

herrschender Meinung auf den sogenannten Instruktions- oder Informationsfehler.⁵⁴ Es gilt: Je höher die möglichen Gefahren, umso höher sind die Anforderungen an eine Information des Nutzers.⁵⁵ Die Instruktionspflicht umfasst nicht nur die mit dem Gebrauch verbundenen Gefahren, sondern auch die mit einem naheliegenden Fehlgebrauch zusammenhängenden.⁵⁶ Sie entfällt nur dann, wenn das Produkt nur in Hände gelangen kann, die mit den Gefahren vertraut sind, die Gefahren offenkundig sind oder es sich um Fälle vorsätzlichen oder äußerst leichtfertigen Fehlgebrauchs handelt.⁵⁷ Die Darbietung umfasst alle Maßnahmen des Herstellers bzw. ihm zurechenbarer Maßnahmen zu verstehen, durch die das Produkt dem Nutzerkreis und der Allgemeinheit vorgestellt wird, wie Werbung, wenn sie Sicherheitserwartungen weckt, Produktbeschreibungen oder Gebrauchsanweisungen.⁵⁸ Auch Inhalt und Umfang der Informationspflichten richten sich nach der Art des gefährdeten Rechtsguts und der Größe der Gefahr.⁵⁹ Reichen auch Instruktionen nicht aus, um vor einer Gefahr zu schützen, muss die Vermarktung des Produkts unterbleiben.⁶⁰

4. Ausschluss der Produkthaftung

In bestimmten, in § 1 II ProdHaftG genannten Fällen ist die Produkthaftung ausgeschlossen. Für den Untersuchungsgegenstand sei hier auf die Regelung in § 1 II Nr. 5 ProdHaftG verwiesen.

Nach dieser Vorschrift ist die Produkthaftung ausgeschlossen, wenn der Fehler nach dem Stand der Wissenschaft und Technik in dem Zeitpunkt, in dem der Hersteller das Produkt in den Verkehr brachte, nicht erkannt werden konnte (sogenannter Entwicklungsfehler⁶¹). Die Ersatzpflicht entfällt demnach, wenn der Fehler nicht erkannt, nicht jedoch, wenn er zwar erkannt, aber nicht vermieden werden konnte.⁶² Die Erkennbarkeit bezieht sich dabei nicht auf den konkreten Fehler (dieser muss für den Hersteller nicht erkennbar sein), sondern auf ein allgemeines, mit der gewählten Konzeption verbundenes Fehlerrisiko.⁶³ Dabei ist die Erkennbarkeit nach einem

⁵⁴ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 46.

⁵⁵ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 46.

⁵⁶ OLG Bamberg VersR 2010, 403, 404.

⁵⁷ OLG Bamberg VersR 2010, 403, 404.

⁵⁸ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 42 f., Rn. 45.

⁵⁹ BGH NJW 2009, 2952, 2954 f.

⁶⁰ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 42 f., Rn. 105.

⁶¹ BGH NJW 2009, 2952, 2955.

⁶² Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 1 Rn. 123.

⁶³ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 1 Rn. 120 sowie § 3 Rn. 40: BGH NJW 2009, 2952, 2955.

objektiven Maßstab in Abhängigkeit von der zugrunde liegenden Gefahr zu bestimmen: Je höher das Risikopotenzial für die nach § 1 I ProdHaftG geschützten Rechtsgüter, desto höher sind die Anforderungen an entsprechende Nachforschungs-, Erkenntnis- und Dokumentationspflichten.⁶⁴

Hinsichtlich des Inhalts des Stands von Wissenschaft und Technik wird auf die Ausführungen oben B.I.3.b) verwiesen.

Der Entwicklungsfehler schließt nicht nur die Haftung wegen eines Konstruktionsfehlers aus, sondern lässt auch einen Instruktionsfehler entfallen: über eine nach dem Stand von Wissenschaft und Technik nicht erkennbare Gefahr kann nicht informiert oder gewarnt werden.⁶⁵

II. Anwendung auf den Untersuchungsgegenstand

1. Präzisierung der Sicherheitserwartungen in Bezug auf Software, Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren

a) Software

Mit Blick auf Software wird vertreten, dass ab einer gewissen Komplexitätsstufe Steuerungsabläufe nicht mehr fehlerfrei funktionieren können, und es daher keine fehlerfreie Software geben könne.⁶⁶ Obwohl diese Ansicht allgemein akzeptiert ist, wird daraus wohl überwiegend nicht der Schluss gezogen, dass eine Haftung von vornherein entfiele.⁶⁷ Software muss jedenfalls eine Basissicherheit gewährleisten, die die zentralen Funktionen des Steuerungsprogramms umfasst⁶⁸, welche zur Wahrung des Integritätsinteresses des Verwenders erforderlich sind.⁶⁹ Dies gilt prinzipiell auch mit Blick auf die Steuerungssoftware in Fahrerassistenzsystemen, automatisierten Fahrzeugen und Überführungssystemen in den „risikominimalen Zustand“. Da der Untersuchungsgegenstand auf die produkthaftungsrechtlichen Auswirkungen der Umsetzungsszenarien zur Überführung in den „risikominimalen Zustand“ beschränkt ist und nicht Fragen der Softwaresicherheit betrifft, wird auf diese Problematik hier nicht weiter eingegangen.

⁶⁴ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 1 Rn. 122.

⁶⁵ BGH NJW 2009, 2952, 2955.

⁶⁶ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 92.

⁶⁷ Foerste in: Produkthaftungshandbuch § 24 Rn. 173.

⁶⁸ Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 92.

⁶⁹ Meyer/Harland, CR 2007, 689, 694.

b) Technische Sicherheitsstandards für Fahrerassistenzsysteme, automatisiertes Fahren und Überführungssysteme

Sicherheitsstandards für Kraftfahrzeuge ergeben sich zunächst aus den öffentlich-rechtlichen Vorschriften, die Anforderungen an den Bau und die Ausführung von Kraftfahrzeugen stellen, namentlich die Anforderungen für Erteilung von Typgenehmigungen von Kraftfahrzeugen. Diese sind heute im Wesentlichen in Vorschriften des EU-Rechts und den zu ihrer Umsetzung ergangenen Regelungen des nationalen Rechts, in Deutschland der EG-Fahrzeuggenehmigungsverordnung (EG-FGV),⁷⁰ enthalten. Nur in seltenen Ausnahmefällen richtet sich die Genehmigung noch nach der Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO). Diese Vorschriften nehmen in nicht unerheblichem Maße internationale Normungen auf. Hierzu zählen insbesondere die Regelungen der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa im Rahmen des Genfer Übereinkommens über die Annahme einheitlicher technischer Vorschriften für Radfahrzeuge, Ausrüstungsgegenstände und Teile, die in Radfahrzeuge(n) eingebaut und/oder verwendet werden können, und die Bedingungen für die gegenseitige Anerkennung von Genehmigungen, die nach diesen Vorschriften erteilt wurden ("Geändertes Übereinkommen von 1958")⁷¹, die sogenannten UN/ECE-Regelungen oder auch einfach UN-Regelungen.⁷² Es handelt sich dabei zumeist um Vorschriften, die eine bestimmte Ausstattung mit bzw. Wirkanforderungen von technischen Fahrzeugeinrichtungen vorgeben.

Die vorgenannten Vorgaben decken aber gegenwärtig insbesondere nicht die technische Entwicklung in den Bereichen der Fahrerassistenzsysteme und der Fahrzeugautomatisierung ab. So sieht zwar die Verordnung (EG) Nr. 661/2009⁷³ in den Art. 10 bis 12 die Ausstattung bestimmter Fahrzeugklassen mit bestimmten

⁷⁰ Verordnung über die EG-Genehmigung für Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger sowie für Systeme, Bauteile und selbstständige technische Einheiten für diese Fahrzeuge (EG-FGV) vom 3. Februar 2011 (BGBl. I S. 126), zuletzt geändert durch Artikel 4 der Verordnung vom 19. Oktober 2012 (BGBl. I S. 2232).

⁷¹ Englisch: Agreement concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be fitted and/or be used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of These Prescriptions.

⁷² Vgl. z.B. Anhang IV der Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge.

⁷³ Verordnung (EG) Nr. 661/2009 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit.

Fahrerassistenzsystemen aus, u.a. in Art. 10 I mit einem Notbrems-Assistenzsystem. Damit ist aber das Spektrum der technisch möglichen Fahrerassistenzsysteme nicht voll umfasst. Außerdem werden von den öffentlich-rechtlichen technischen Bauvorschriften zumeist nicht alle Aspekte einer notwendigen Basissicherheit ausreichend erfasst, denn die an die sich schnell vollziehende technische Entwicklung zu stellenden Sicherheitsanforderungen schlagen sich nur mit Zeitverzögerung in den entsprechenden Vorschriften über Typgenehmigungen nieder.⁷⁴ Somit reicht die Beachtung dieser Vorschriften für die Gewährleistung der berechtigten Sicherheitserwartungen insbesondere dann nicht aus, wenn von dem Produkt eine Gefahr ausgeht, die in den Vorschriften noch gar nicht berücksichtigt wurde und diese Gefahr vermeidbar ist.⁷⁵

Die für die EG-Typengenehmigung von Kraftfahrzeugen relevanten Vorschriften mit ihren entsprechenden Durchführungsmaßnahmen enthalten keine zwingenden Rechtsvorschriften im Sinne von § 1 II Nr. 4 ProdHaftG, die die Produkthaftung entfallen lassen, da sie hinsichtlich der zu genehmigenden Fahrzeuge, Systeme und Bauteile lediglich Funktions- und Sicherheitsanforderung stellen, deren Umsetzung jedoch dem Hersteller überlassen.⁷⁶ Denn zwingend sind derartige Normen nur dann, wenn der Hersteller nur nach deren Maßgabe oder gar nicht produzieren darf; nicht zwingend ist eine Norm dagegen, wenn sie dem Hersteller abweichende Lösungen gestattet und dieser damit Raum für eigene Entscheidungen hat.⁷⁷

Daneben sind für den Fahrzeugbau auch private Normungsvorschriften von Belang. Dazu zählt mit Blick auf die zunehmende Ausstattung der Fahrzeuge mit elektrischen, elektronischen und elektronisch programmierbaren Bauteilen beispielsweise die ISO 26262 zur funktionalen Sicherheit dieser Bauteile in Straßenfahrzeugen.⁷⁸

Diese Hinweise mögen mit Blick auf den Untersuchungsgegenstand genügen.

⁷⁴ Gasser/Seeck/Smith, S. 27, 47.

⁷⁵ Mit Blick auf technische Normen OLG Hamm v. 21.12.2010, Az. I-21 U 14/08, justiz.nrw, Rn. 37.

⁷⁶ Vgl. allgemein zu Sicherheitsanforderungen in EU-Richtlinien Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 1 Rn. 105.

⁷⁷ Vgl. Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 1 Rn.103.

⁷⁸ Dazu ausführlich Reuter, InTeR 2015, 163-174.

c) Fahrerassistenzsysteme

Für Fahrerassistenzsysteme gilt daher zunächst, dass nicht jede beim Stand der Technik mögliche technologische Ausstattung bei jedem Fahrzeug erwartet werden kann, da die Ausstattung auch preisabhängig ist.⁷⁹ Das Fahrzeug weist also nicht automatisch einen Fehler auf, wenn es nicht mit einem bestimmten Assistenzsystem ausgestattet ist. Etwas anderes gilt nur dann, wenn das Assistenzsystem als Ausstattungsanforderung rechtlich vorgeschrieben ist⁸⁰ oder unter Berücksichtigung des Preis-Leistungsverhältnisses nach einer Übergangszeit über eine bestimmte Fahrzeugkategorie verbreitet ist.⁸¹ Allerdings lässt der Preis eines Fahrzeugs keine Rückschlüsse auf das Sicherheitsniveau eines eingebauten Assistenzsystems zu, da Assistenzsysteme im Regelfall unabhängig von ihrer konkreten Ausführung bezogen auf den Grundpreis mit nicht unerheblichen Mehrkosten in der Anschaffung verbunden sind.⁸²

Die Sicherheitserwartungen bezüglich Fahrerassistenzsystemen richten sich in erster Linie auf das bestimmungsgemäße Funktionieren des Systems, wenn das System einen Sicherheitsgewinn und sein Ausfall eine Gefahr bedeutet.⁸³ Bei der Frage, ob das Fahrerassistenzsystem fehlerhaft ist, sind grundsätzlich die Maßstäbe anzuwenden, die der BGH in seinem Airbag-Urteil⁸⁴ aufgestellt hat. Nach *Bewersdorf* sind insbesondere folgende Vorgaben konstruktiv einzuhalten:⁸⁵

- Situationen, in denen das Fahrerassistenzsystem durch richtigen oder falschen Gebrauch derart fehlerhaft reagiert, dass es zu einem Unfall kommt, müssen technisch praktisch ausgeschlossen werden.
- Die Wahrscheinlichkeit des Versagens eines Fahrerassistenzsystems muss bestmöglich reduziert werden. Führt ein technisches Versagen unweigerlich zu einem Unfall, muss es technisch ausgeschlossen werden.
- Der Fahrer muss das Fahrzeug auch dann kontrollieren können, wenn das Fahrerassistenzsystem ausfällt.
- Das Fahrerassistenzsystem muss sich abschalten lassen bzw. der Fahrer muss gewarnt werden, sobald das System nicht mehr oder nicht mehr zuverlässig

⁷⁹ Foerste in: Produkthaftungshandbuch, § 24 Rn. 176.

⁸⁰ Vgl. beispielsweise für die Ausstattung mit Notbrems-Assistenzsystemen gemäß Art. 10 I Verordnung (EG) Nr. 661/2009.

⁸¹ Anders, PHI 2009, 230, 235.

⁸² Anders, PHI 2009, 230, 232 f.

⁸³ Anders, PHI 2009, 230, 233; reine Komfortfunktionen können dagegen nach Anders keine Sicherheitserwartungen auslösen, ebd.

⁸⁴ BGH NJW 2009, 2952 ff.

⁸⁵ Bewersdorf, S. 225.

funktioniert, damit er die Steuerung übernehmen kann bzw. anderweitig geeignet reagieren kann.

Diese vor dem Airbag-Urteil des BGH formulierten Anforderungen lassen sich mit der Rechtsprechung durchaus in Einklang bringen. Soweit *Bewersdorf* auf einen praktischen Ausschluss bzw. eine bestmögliche Reduzierung bezüglich technischen Versagens abstellt, gilt dafür der im Airbag-Urteil formulierte Maßstab der praktisch einsatzfähigen Serienlösung hinsichtlich der erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen.⁸⁶ Die Frage der Kontrollierbarkeit des Fahrzeugs bei Ausfall des Systems dürfte angesichts der damit verbundenen Gefahren für Leib und Leben ein wichtiger Baustein in der Abwägung von Nutzen und konstruktiv nicht vermeidbaren Risiken sein. Dies gilt grundsätzlich auch für die Forderung nach Abschaltbarkeit und die Warnung bei Fehlfunktionen.

Verbleiben beim Einsatz von Fahrerassistenzsystemen Gefahren durch den Gebrauch oder den vorhersehbaren Fehlgebrauch für die von der Produkthaftung geschützten Rechtsgüter, die durch die konstruktive Maßnahmen⁸⁷ nicht aufgefangen werden können, sind diese entsprechend der Rechtsprechung im Airbag-Urteil mit dem Nutzen des Produkts in Abwägung zu bringen.⁸⁸ Maßgeblich für den Nutzen sind in erster Linie die mit dem jeweiligen Fahrerassistenzsystem verbundenen Sicherheitsgewinne.⁸⁹ Für die mit dessen Nutzung verbundenen, zulässigerweise verbleibenden Risiken liefert das Bundesverfassungsgericht in seinem Urteil bezüglich der Gurtanlegepflicht einen Hinweis, wenn es dort das Risiko einer (schwereren) Verletzung durch den Gurt in 0,5 bis 1% aller Unfälle für verfassungsrechtlich hinnehmbar erklärt hat, angesichts der erheblichen Vorteile, die der Sicherheitsgurt bietet.⁹⁰ Das Gericht führt u.a. aus: „Da die Vorteile, die die Benutzung des Sicherheitsgurtes zum Schutz von Leben und körperlicher Unversehrtheit bietet, gegenüber möglichen Risiken eindeutig überwiegen, kann eine am Schutz von Leben und körperlicher Unversehrtheit orientierte Entscheidung nur zugunsten des Sicherheitsgurtes ausfallen.“ Das Bundesverfassungsgericht macht damit deutlich, dass die Beurteilung der Verkehrssicherheit einer technischen Lösung einer Abwägung von Vor- und Nachteilen zugänglich ist, wobei im konkreten Fall ausschließlich Sicherheitsaspekte

⁸⁶ BGH NJW 2009, 2952, 2953.

⁸⁷ Vgl. BGH NJW 2009, 2952, 2953.

⁸⁸ BGH NJW 2009, 2952, 2953; Anders, PHI 2009, 230, 233 f.

⁸⁹ Anders, PHI 2009, 230, 233.

⁹⁰ BVerfG, NJW 1987, 180.

maßgeblich waren.⁹¹ In der Gesamtabwägung muss berücksichtigt werden, dass es sich bei den bekannten Gefahren gegebenenfalls um punktuelle technische Grenzen eines insgesamt die Sicherheit verbessernden Systems handelt.⁹² Überwiegen dagegen die Gefahren aus dem Gebrauch oder einem vorhersehbaren Fehlgebrauch, darf das System nicht eingebaut werden.⁹³ Es ist für den öffentlichen Straßenverkehr untauglich.⁹⁴

Darf das Fahrzeug mit Fahrerassistenzsystem trotz verbleibender Risiken für Leib und Leben im Sinne eines ernstzunehmenden Verdachts auf Gesundheitsschäden durch den Gebrauch und einen vorhersehbaren Fehlgebrauch gleichwohl in den Verkehr gebracht werden, ist der Fahrer entsprechend zu instruieren bzw. zu warnen.⁹⁵ Dies gilt bereits dann, wenn ein solches Risiko nach der zugrunde liegenden Konzeption allgemein besteht; der konkrete Fehler muss nicht bekannt sein.⁹⁶ Sinn und Zweck einer solchen Warnung ist es, den Fahrer in den Stand zu versetzen, über die Verwendung des Produkts in Kenntnis der damit verbundenen Gefahren zu entscheiden bzw. Vorkehrungen für eine Abwehr der Gefahr zu treffen.⁹⁷ Hinsichtlich der Beweisanforderungen an die erforderliche Kausalität zwischen einer unterlassenen Warnung und dem Eintritt des Schadens spricht eine Vermutung dafür, dass ein deutlicher und plausibler Hinweis auf das bestehende Risiko vom Adressaten auch beachtet worden wäre, so der BGH im Airbag-Urteil.⁹⁸ Allerdings bestehen Zweifel, ob tatsächlich davon ausgegangen werden kann, dass in einer plötzlichen Unfallsituation, die auf solchen Risiken beruht, noch eine Gefahrsteuerung durch den Fahrer möglich wäre, wie auch daran, dass eine Benutzung des Sicherheitssystems bzw. des gesamten Fahrzeugs wegen verbleibender Risiken unterbliebe.⁹⁹

Sofern das Fahrerassistenzsystem den Fahrer im Rahmen eines vorhersehbaren Fehlgebrauchs zu einem verkehrswidrigen Verhalten verleiten könnte, ist dem

⁹¹ Demgegenüber warnend, ob nach der Rechtsprechung des BGH überhaupt noch Produkte mit Sicherheitsgewinnen trotz konstruktiv nicht lösbarer Risiken für Leib und Leben beim Einsatz in den Verkehr gebracht werden können dagegen Lenz, PHI 2009, 196, 200.

⁹² Klindt/Handorn, NJW 2010, 1105, 1107 zum Airbag-Urteil.

⁹³ Anders, PHI 2009, 230, 233.

⁹⁴ Anders, PHI 2009, 230, 233.

⁹⁵ BGH NJW 2009, 2952, 2954 f.

⁹⁶ BGH NJW 2009, 2951, 2955; für den Hersteller stellt sich hier insbesondere die Frage, wann er sicher sein darf, dass im Entwicklungsprozess aufgetretene technische Probleme abgestellt wurden, Klindt/Handorn, NJW 2010, 1105, 1107; skeptisch insoweit auch Lenz, PHI 2009, 196, 200.

⁹⁷ BGH NJW 2009, 2952, 2954.

⁹⁸ BGH NJW 2009, 2952, 2956.

⁹⁹ Klindt/Handorn, NJW 2010, 1105, 1108.

insbesondere mit instruktiven Maßnahmen zu begegnen.¹⁰⁰ Konstruktive Maßnahmen sind dagegen nicht immer möglich¹⁰¹ und wohl auch nicht immer erforderlich: Der Hersteller ist nicht verpflichtet, für sämtliche Fälle eines nicht sorgfältigen Umgangs im Rahmen eines vorhersehbaren Fehlgebrauchs mit einem Produkt konstruktiv Vorsorge zu treffen.¹⁰² Für den Bereich des vorhersehbaren Fehlgebrauchs gilt damit nicht das Primat der sicherheitsgerechten Konstruktion (Konstruktion vor Instruktion).¹⁰³ Allerdings setzt dies voraus, dass der Verwender über den richtigen Gebrauch des Produkts ausreichend instruiert wird¹⁰⁴, im Hinblick auf Fahrerassistenzsysteme insbesondere über deren Funktionsweise, ihren Einsatzbereich, Systemgrenzen und die Auswirkungen eines Systemausfalls auf die Beherrschbarkeit des Fahrzeugs.¹⁰⁵ Konstruktive Maßnahmen sind jedoch dann erforderlich, wenn sie sicher und zu einem wirtschaftlich vertretbaren Preis verfügbar sind.¹⁰⁶

Die Fehlerhaftigkeit des Fahrerassistenzsystems kann auch darin begründet liegen, dass der Nutzer nicht über Fehlfunktionen und Systemausfälle informiert wird, so dass er sich darauf nicht einstellen kann.¹⁰⁷

d) Fahrzeugautomatisierung

Diese Vorgaben berücksichtigen noch nicht die verschiedenen, über die bloße Assistenz des Fahrers bei der Fahraufgabe hinausgehenden Automatisierungsgrade 2 und höher. Diesbezüglich gibt es in der Literatur eine gewisse Skepsis, ob sich die vom BGH im Airbag-Urteil¹⁰⁸ formulierten Maßstäbe im Hinblick auf die konstruktiven Anforderungen an ein fehlerfreies Produkt umstandslos auf solche Automatisierungssysteme übertragen lassen, die noch ein Zusammenwirken von

¹⁰⁰ Anders, PHI 2009, 230, 234.

¹⁰¹ Anders, PHI 2009, 230, 234 f.

¹⁰² So der BGH für den Fall einer unter Verstoß gegen die Installationsanleitung vorgenommenen Installation eines Heißwasser-Untertisches, Urt. v. 05.02.2013, Az. VI ZR 1/12, bundesgerichtshof.de, Rn. 14; vgl. auch OLG Hamm, Urt. v. 10.11.2008, Az. 2 U 155/08, justiz.nrw.de, Rn. 28, hinsichtlich des Ausreichens deutlicher Warnhinweise zur Erfüllung der Verkehrssicherungspflicht; ob sich diese Grundsätze allerdings unbesehen auf den Fall übertragen lassen, dass Fahrerassistenzsysteme zu einer weniger vorsichtigen Fahrweise verleiten und dadurch Gefahren an anderer Stelle entstehen, ist, soweit ersichtlich, bisher nicht entschieden, vgl. mit Blick auf das Airbag-Urteil zur Rechtslage 2010 Klindt/Handorn, NJW 2010, 1105, 1107.

¹⁰³ Molitoris/Klindt, NJW 2010, 1569, 1572 f.

¹⁰⁴ BGH, Urt. v. 05.02.2013, Az. VI ZR 1/12, bundesgerichtshof.de, Rn. 14.

¹⁰⁵ Anders, PHI 2009, 230, 234, 235 und 236.

¹⁰⁶ Anders, PHI 2009, 230, 236.

¹⁰⁷ Anders, PHI 2009, 230, 235.

¹⁰⁸ BGH NJW 2009, 2952 ff.

Mensch und Fahrzeug voraussetzen, wie dies in den Automatisierungsstufen 1 und 2 kontinuierlich sowie in Stufe 3 im Hinblick auf die Rückübertragung der Fahraufgabe an den Fahrer der Fall ist.¹⁰⁹ Soweit technische Lösungen für die Vermeidung bestimmter Gefahren, z.B. auch denen eines Fehlgebrauchs durch kurzzeitiges Abwenden von der Fahraufgabe¹¹⁰, nicht einsatzreif im Sinne der BGH-Rechtsprechung zur Verfügung stünden, sei der Fahrer im Hinblick auf den nach den Systemdefinitionen bestimmungsgemäßen Gebrauch ausreichend zu instruieren.¹¹¹ In diesem Sinne seien dann grundsätzlich Systemgrenzen akzeptabel. Anders stelle sich die Situation dagegen bei den Automatisierungsstufen 3 und 4 dar, sofern die Fahrzeuge im automatischen Modus verkehrten bzw. im Falle der Rückübertragung an den Fahrer keine ausreichende Zeitreserve für die Übernahme vorhanden sei. Da der Fahrer bei bestimmungsgemäßen Gebrauch sich von der Fahraufgabe abwenden dürfe, müssten die Fahrzeuge konstruktiv in der Lage sein, alle Fahraufgaben in der automatisierten Phase zu bewältigen sowie solche, die vom Fahrer ein unmittelbares bzw. sofortiges Eingreifen erforderten.¹¹² Schäden, die im hoch- oder vollautomatisierten Modus aufträten, ließen damit auf einen Produktfehler schließen, sofern der Unfall nicht ausschließlich durch den Fahrer selbst (z.B. Übersteuerungshandlung) oder andere Verkehrsteilnehmer verursacht würde.¹¹³

2. Beurteilung des Untersuchungsgegenstandes

a) Grundsätzliches zu den berechtigten Sicherheitserwartungen der Überführungssysteme

Bei der Ermittlung der für die berechtigten Sicherheitserwartungen maßgeblichen Verkehrsauffassung für Systeme, die ein Fahrzeug in einen risikominimalen Zustand überführen, ist zu berücksichtigen, dass die Systeme im allgemeinen Verkehr benutzt werden und sich nicht an einen speziellen Adressatenkreis wenden.¹¹⁴ Damit sind zum einen die Sicherheitserwartungen des Fahrers und der Insassen sowie des Halters von

¹⁰⁹ Gasser/Seeck/Smith, S. 27, 40.

¹¹⁰ Gasser et al., S. 22.

¹¹¹ Gasser/Seeck/Smith, S. 27, 40; ähnlich für Assistenzsysteme der Stufe 1 schon Anders, PHI 2009, 230, 236, insbesondere unter Verweis auf den Gestaltungsspielraum des Herstellers.

¹¹² Gasser/Seeck/Smith, S. 27, 40 f.

¹¹³ Gasser/Seeck/Smith, S. 27, 40; kritisch zu dieser Konsequenz unter Verweis auf das System Straße als möglicherweise eigenständige relevante Ursache für Unfallschäden ebenfalls Gasser, S. 543, 554 und 569. Von einer Haftungsverlagerung gehen etwa auch Klindt, S. 61, 63; Hilgendorf, S. 15, 25 und Lutz, NJW 2015, 119, 120.

¹¹⁴ Vgl. Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 20 f.

Bedeutung.¹¹⁵ Darüber hinaus sind auch die Sicherheitserwartungen der anderen Verkehrsteilnehmer im Einsatzbereich der Systeme – hier auf der Autobahn oder der autobahnähnlichen Straße – zu berücksichtigen, da sie von der Nutzung der Überführungssysteme betroffen sind.¹¹⁶ Inhaltlich stimmen die Sicherheitswartungen der genannten Personenkreise wegen des gleichgerichteten Interesses an einer möglichst unfallfreien Fahrt bzw. größtmöglicher Schonung im Falle eines Unfalls grundsätzlich überein.

Die berechtigten Sicherheitserwartungen im Hinblick auf die Konstruktion der Überführungssysteme orientieren sich, wie auch allgemein und grundsätzlich für autonome Fahrzeuge, an den Anforderungen, die der BGH u.a. im Airbag-Urteil¹¹⁷ entwickelt hat.¹¹⁸ Anders als im Bereich der Teilautomatisierung und der Hochautomatisierung ist hier kein Zusammenwirken von Mensch und Maschine erforderlich - und im Übrigen auch nicht möglich - das möglicherweise die berechtigten Sicherheitserwartungen beeinflussen könnte.¹¹⁹ Die Systeme sind Sicherheitssysteme, die als solche ohne Beeinflussung durch den Fahrer funktionieren und damit dem Airbag als Sicherheitssystem ähnlich. Hinzuweisen ist darauf, dass die im Airbag-Urteil entwickelten rechtlichen Anforderungen keine Festlegungen darüber treffen, was genau die Konstruktion eines Systems zur Überführung in den risikominimalen Zustand leisten muss, insbesondere nicht, welcher Endzustand sicher ist, sondern legen (nur) fest, welches Sicherheitsniveau diese Konstruktion erfüllen muss.

b) Sicherheitsgewinn durch die Überführungssysteme

Die zu untersuchenden Überführungsszenarien versprechen einen Sicherheitsgewinn dadurch, dass sie die Steuerung des Fahrzeugs in einem ansonsten steuerungslosen Zustand sicherstellen. Dies gilt, wenn der Fahrzeugführer in den Fällen der Automatisierungsgrade 0 bis 2 aus medizinischen Gründen ausfällt, aber auch, wenn in den Fällen der Automatisierungsgrade 3 und höher das automatisierte System plötzlich ausfällt oder fehlerhaft arbeitet oder der Fahrer an der Systemgrenze die

¹¹⁵ Anders, PHI 2009, 230, 231.

¹¹⁶ Vgl. Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 20.

¹¹⁷ BGH NJW 2009, 2952 ff.

¹¹⁸ Ebenso Lutz, NJW 2015, 119, 120.

¹¹⁹ Vgl. Gasser/Seeck/Smith, S. 27, 40.

Fahrzeugführung nicht übernimmt. In allen diesen Fällen stellt das jeweilige Überführungsszenario eine technische Rückfallebene für eine ansonsten weder durch menschliches Handeln noch durch das eingesetzte Automatisierungssystem beherrschbare Situation dar.

c) Berechtigte Sicherheitserwartungen und der angestrebte Endzustand

Überführungsszenarien sehen entweder vor, dass das Fahrzeug auf der Autobahn oder der autobahnähnlichen Straße auf dem eigenen Fahrstreifen anhält oder dass es nach einem Spurwechsel auf dem Seitenstreifen anhält.

Grundsätzlich dürfen durch den Einsatz eines Produkts, das einen Sicherheitsgewinn verspricht, keine neuen Gefahren und schon gar keine größeren Gefahren entstehen als ohne seinen Einsatz. Mit Blick auf die Gefährdung von Leib und Leben ist zunächst festzuhalten, dass die angestrebten Endzustände eine solche Gefahr nicht vollends auszuschließen vermögen. Dabei weist das Halten auf dem Fahrstreifen einer Autobahn wegen der hohen Geschwindigkeiten im Verkehrssystem Autobahn ein deutlich höheres Gefährdungspotential auf (ist also objektiv gefährlicher) als das Halten auf dem Seitenstreifen, auf dem grundsätzlich eine deutlich geringere Gefahr der Kollision mit nachfolgende Fahrzeugen wegen des Anhaltens besteht. Darüber hinaus kann auch in diesem Fall eine unfallursächliche Verkehrsbeeinflussung durch das stehende Fahrzeug nicht ausgeschlossen werden. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass der oder die notwendigen Spurwechsel eine hohe Komplexität aufweisen.

Dies heißt jedoch nicht, dass ein Überführungsszenario, dass das Anhalten auf dem eigenen Fahrstreifen vorsieht, schon deshalb einen Produktfehler aufweist, weil in diesem Szenario nicht der sicherere Seitenstreifen erreicht wird. Es ist Sache des Herstellers, das Design des Sicherheitssystems zu bestimmen, zumal die Anforderungen an Leistungsfähigkeit des Überführungssystems beim Anhalten auf dem Seitenstreifen wegen der Komplexität der dabei zu bewältigenden Fahraufgabe höher sind als beim Halten auf dem Fahrstreifen. Die Sicherheitserwartung bezieht sich deshalb immer nur auf das konkrete vom Hersteller angebotene System mit seinen Leistungen, jedenfalls solange bestimmte Ausstattungs- oder Leistungsanforderungen nicht selbst zum Standard geworden sind, insbesondere durch gesetzliche Regelung (vgl. beispielsweise Art. 10 I i.V.m. Art. 13 XII, XIII VO 661/2009 über die Erforderlichkeit eines Notbrems-Assistenzsystems für die EG-

Typgenehmigung bestimmter Fahrzeugklassen ab dem 1. November 2013 bzw. ab 1. November 2015 für die Zulassung von Neufahrzeugen dieser Fahrzeugklassen auf der Grundlage einer Übereinstimmungsbescheinigung mit einem EG-typgenehmigten Fahrzeug), oder sich sonst als Standard für die Fahrzeugklasse durchgesetzt haben.¹²⁰ Mit Blick auf die Leistungsfähigkeit von Überführungssystemen fehlen bisher jedoch sowohl rechtliche Vorgaben, wie sich auch noch kein Standard durchgesetzt hat.

Hinzuweisen bleibt in diesem Zusammenhang darauf, dass es in konkreten Verkehrssituationen sicherer sein kann, auf dem Fahrstreifen zu halten als auf dem Seitenstreifen. Eine Berücksichtigung solcher Alternativen kann aber erst von einem System erwartet werden, das beide Optionen bietet.

d) Berechtigte Sicherheitserwartungen und Überführung

Der Hersteller wird im Rahmen der Anforderungen an die Gefahrvermeidung für beide Endzustände und die Überführung dahin Vorkehrungen treffen müssen, damit es möglichst nicht zu Kollisionen mit nachfolgenden Fahrzeugen oder anderen vorhersehbaren Unfällen kommt. Da momentan noch keine serienmäßigen Lösungen zur Verfügung stehen, kann an dieser Stelle nur in sehr abstrakter Weise auf erforderliche Funktionsanforderungen verwiesen werden, die das System aus unserer Sicht erfüllen müsste und deren Ausführung konstruktiv sicherzustellen wäre.

Beim Anhalten **auf dem eigenen Fahrstreifen** müssten Vorkehrungen getroffen werden, damit das Überführungssystem das Fahrzeug nicht abrupt abbremst, sondern es eher durch kontinuierliche Verzögerung zum Stehen bringt. Das Manöver wie auch der Stillstand müssten dem umgebenden Verkehr angezeigt werden, z.B. durch Auslösen des Warnblinklichts, so dass die betroffenen Fahrzeugführer sich darauf einstellen können. Diese Funktion müsste auch im Stillstand aufrechterhalten werden, wobei zu berücksichtigen ist, dass sich unter Umständen immer wieder Fahrzeuge von hinten annähern und das „Hindernis“ zu umfahren versuchen. Fraglich könnte hier sein, ob auch ein automatischer Notruf an die Polizei oder die Rettungsleitstelle erforderlich ist.

¹²⁰ OLG München VersR 2004, 866.

Beim Anhalten **auf dem Seitenstreifen** muss das vorhergehende Spurwechselmanöver (ggf. über mehrere Fahrspuren hinweg) unter Beachtung des umgebenden Verkehrs durchgeführt werden. Hier ist eine Anzeige des Fahrstreifenwechsels für die anderen Verkehrsteilnehmer erforderlich, was nach derzeitigem Stand eine gleichzeitige Warnung durch Warnblinklicht unmöglich machen dürfte. Zudem müsste das System alle Situationen erkennen, in denen ein nutzbarer Seitenstreifen nicht zur Verfügung steht und in diesen Fällen zum Anhalten auf dem eigenen Fahrstreifen führen.

Generell dürfte gelten: Die durch die Überführungssysteme ausgelösten und durchgeführten automatischen Fahrmanöver müssen sich für andere Verkehrsteilnehmer als noch voraussehbar und nicht irrational darstellen. Dies erfordert der aus § 1 StVO abgeleitete Vertrauensgrundsatz, der allen Verkehrsteilnehmern die Gewähr bietet, dass sich jeder Einzelne regelgerecht und verkehrsvernünftig verhält.¹²¹ Darin liegt auch ein wesentlicher Teil des Sicherheitsgewinns gegenüber dem steuerungslosen Zustand.

e) Berechtigte Sicherheitserwartungen und Systemgrenzen der Überführungsszenarios

Die zu treffenden Sicherheitsmaßnahmen müssen Unfälle nicht absolut vermeiden können. Dies dürfte auch unter Rückgriff auf den Stand von Wissenschaft und Technik für die Bestimmung der objektiv erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen¹²² aufgrund der Vielzahl möglicher Unfallkonstellationen, für die insbesondere auch das Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer oder die Witterung und sonstige Umgebungsbedingungen von Bedeutung sein können, nicht möglich sein und daher nicht zu den berechtigten Sicherheitserwartungen gehören.

Dabei ist zu beachten, dass soweit konstruktiv unvermeidbare – insbesondere auch mithilfe der Steuerungssoftware nicht vermeidbare – Risiken verbleiben, diese hier nicht durch eine möglichst genaue Instruktion und Warnung des Fahrers für derartige Situationen ausgeglichen werden können, denn dieser fällt als Rückfallebene ja gerade aus. Dies dürfte jedoch gleichwohl nicht zu der Situation führen, dass unter Berücksichtigung ihrer Art und Größe sowie ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit die

¹²¹ Vogt in: Gasser et al., S. 112; vgl. auch König in Hentschel/König/Dauer, StVO § 1 Rn. 20.

¹²² BGH NJW 2009, 2952, 2953.

Gefahren aus den verbleibenden Risiken den Nutzen bei der dann erforderlichen Abwägung derart überwiegen, dass die hier betrachteten Systeme nicht eingebaut werden dürften.¹²³ Der Nutzen besteht hier in erster Linie in einem Sicherheitsgewinn,¹²⁴ der dadurch entsteht, dass ein ansonsten steuerungsloser Zustand durch das Überführungssystem beherrschbar(er) wird. Das Überführungssystem dürfte sowohl die Zahl als auch die Schwere von Unfällen gegenüber dem steuerungslosen Zustand vermindern. Insofern scheinen grundsätzlich auch Systemgrenzen akzeptabel, es sei denn, es stünden im Sinne der Rechtsprechung des BGH seriensreife alternative Sicherheitskonzepte bei der Ausgestaltung des Überführungssystems zur Vermeidung dieser Gefahren zur Verfügung.¹²⁵

Fraglich ist, ob es für die Akzeptanz von Grenzen der Überführungssysteme auf den Automatisierungsgrad ankommt, aus dem heraus der Einsatz des Überführungssystems erfolgt. Das Kriterium für einen möglichen Unterschied liegt hier nicht in der Steuerungslosigkeit, denn diese ist in allen Szenarien unabhängig vom vorausgehenden Automatisierungslevel gegeben. Allerdings beruht die Steuerungslosigkeit im Falle der Automatisierungslevel 0 bis 2 auf einem medizinisch bedingten Ausfall des Fahrers, während er im Übrigen für die Fahrzeugführung voll verantwortlich bleibt. Die Überführungssysteme stellen hier also einen Gewinn an zusätzlicher Sicherheit dar und stellen den Fahrer und die Insassen des Fahrzeugs wie auch die übrigen Verkehrsteilnehmer in wohl allen denkbaren Fällen besser als ohne ihren Einsatz.¹²⁶ Systemgrenzen des Überführungssystems sind daher vertretbar.

Ab dem Automatisierungsgrad 3 kommen die Systeme jedoch u.a. dann zum Einsatz, wenn das Automatisierungssystem ausfällt, fehlerhaft arbeitet oder der Fahrer auf eine Übernahmeaufforderung nicht reagiert. Die Überführungssysteme stellen hier eine maschinelle Rückfallebene für ein fehlerhaft arbeitendes Automatisierungssystem oder die nicht durchführbare Rückübernahme durch den Fahrer dar und sollen damit einer Gefahr begegnen, die durch das Automatisierungssystem erst geschaffen wurde,

¹²³ Vgl. allgemein Staudinger/Oechsler, ProdHaftG § 3 Rn. 42 f., Rn. 105.

¹²⁴ Mit Blick auf Fahrerassistenzsysteme maßgeblich, Anders, PHI 2009, 230, 233 f.

¹²⁵ Gasser/Seeck/Smith, S. 27, 43; BGH NJW 2009, 2952, 2953.

¹²⁶ So schon Gasser et al., S. 24.

insbesondere dadurch, dass es dem Fahrer das Abwenden erlaubt hat, womit dieser nicht für die kurzfristige Rückübernahme zur Verfügung steht.

Für die Akzeptanz von Systemgrenzen bei Nutzungen ab Automatisierungsgrad 3 kommt es dabei zunächst darauf an, ob nach dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik konstruktiv mögliche, geeignete und genügend erscheinende Sicherheitsmaßnahmen zur Verfügung stehen, wobei diese in Serie einsatzfähig sein und eine sicherheitstechnisch überlegene Alternativlösung darstellen müssen.¹²⁷ Diese Alternativlösungen müssen darüber hinaus wirtschaftlich zumutbar sein. Dabei ist zu beachten, dass hier hohe Anforderungen an die Zumutbarkeit zu stellen sind, denn ein Unterlassen technisch möglicher Alternativlösungen führt zur Gefährdung von Leib und Leben.¹²⁸ Wären demnach Alternativlösungen möglich und zumutbar, sind Systemgrenzen nicht akzeptabel.

Fehlt es dagegen an technisch möglichen und zumutbaren Alternativen, kommt es für die Akzeptanz von Systemgrenzen auf eine Abwägung zwischen dem Nutzen des Automatisierungssystems und den verbleibenden Nachteilen des Überführungssystems an. Dabei ist das Automatisierungssystem als Gesamtsystem aus dem automatisierten Modus und dem Überführungssystem zu betrachten. Die (gegebenenfalls verbleibende) Gefährlichkeit des Überführungssystems kann nur im Kontext des Automatisierungssystems sachgerecht beurteilt werden. Denn es soll Probleme lösen, die durch den automatisierten Modus, insbesondere durch die Möglichkeit des Abwendens, erst geschaffen werden. Insofern reicht es für die Akzeptanz von Systemgrenzen nicht aus, dass das Überführungssystem auch in den Automatisierungsstufen 3 und 4 einen ansonsten steuerungslosen Zustand beherrschbar(er) macht, denn dieser würde ohne die Automatisierung so gar nicht bestehen. Vielmehr ist das Automatisierungssystem selbst erst dann ausreichend sicher, wenn es die selbst hervorgerufenen Gefahren vermeiden kann oder verbleibende Risiken, etwa in Gestalt von Systemgrenzen des Überführungssystems, im Hinblick auf den Gesamtnutzen des Systems hinnehmbar sind.¹²⁹

Eine abstrakte rechtliche Beurteilung dieser Fragen ist schwierig. Insofern müssen hier einige Überlegungen zu den Kriterien genügen, die bei der Abwägung zu berücksichtigen sein werden. Zunächst ist mit Blick auf den Nutzen von

¹²⁷ BGH NJW 2009, 2952, 2953.

¹²⁸ Vgl. BGH NJW 20009, 2952, 2953 f.

¹²⁹ Eher ablehnend zur Akzeptanz von Systemgrenzen Gasser/Seeck/Smith, S, 27, 41.

Automatisierungssystemen der Level 3 und 4 davon auszugehen, dass die Automatisierungssysteme nicht nur mehr Komfort, sondern grundsätzlich auch ein Mehr an Sicherheit beim Fahren bieten sollen.¹³⁰ Unterstellt, diese Erwartung tritt ein, weil eine wesentliche Funktion des Automatisierungssystems der Stufen 3 und 4 in der Entlastung des Fahrers von monotonen Fahraufgaben liegt, wie sie insbesondere im Einsatzbereich Autobahn vorkommen, könnten die vorgenannten Automatisierungssysteme so etwa auch zur Vermeidung von Unfällen durch Unaufmerksamkeit beitragen.¹³¹ Zum Zweiten ist zu berücksichtigen, dass es durch das erlaubte Abwenden des Fahrers und das mögliche anschließende Versagen des Automatisierungssystems zu der Steuerungslosigkeit des Fahrzeugs kommt und damit eine akute Unfallgefahr besteht, die im Verkehrssystem Autobahn in der Regel gravierende Folgen hat. Zum Dritten ist der Sicherheitsgewinn durch das Überführungssystem selbst in die Abwägung einzustellen. Zum Vierten wären die Systemgrenzen des Überführungssystems zu berücksichtigen: um welche Systemgrenze handelt es sich, mit welcher Wahrscheinlichkeit und wie häufig wird sie erreicht, welcher Art und welchen Ausmaßes ist der dann drohende Schaden. Eine vertiefende Untersuchung dieser Fragen kann nur mit Blick auf ein bestimmtes System erfolgen.

f) Überführungsszenarien und Instruktion

Der Hersteller muss den Nutzer über die Einsatzbereiche, die Leistungen und die Grenzen des Überführungssystems informieren. Insbesondere bei Level 0 bis 2 gehört dazu auch der Hinweis, dass die Möglichkeit, im medizinischen Notfall durch das Überführungssystem gerettet zu werden, keinesfalls für einen kranken oder sich sonst schlecht fühlenden Fahrer als „Erlaubnis“ betrachtet werden darf, sich trotzdem ans Steuer zu setzen; hierauf wäre ausdrücklich hinzuweisen. Denn nach § 31 I StVZO muss der Fahrzeugführer zur selbständigen Leitung des Fahrzeugs geeignet sein, was

¹³⁰ Von einem deutlichen Sicherheitsgewinn durch autonome Fahrzeugsysteme geht etwa Hilgendorf, S. 15, 17 und 20 aus. Dass es bis jetzt an einem Nachweis fehlt, der den autonomen Systemen weniger und weniger gravierende Fehler attestiert als dem menschlichen Fahrer, wie auch an einer geeigneten Testmethodik, konstatieren dagegen Wachenfeld/Winner (2015a), S. 53 und 60.

¹³¹ Eine andere Frage ist, ob hierdurch nicht neue, andersartige Unfallgefahren erzeugt werden, etwa durch eine „Entprofessionalisierung“ der Fahrzeugführer durch häufige Abwendung von der Fahrzeugführung oder eine „Verlassen“ auf die neuen Fähigkeiten des Fahrzeugs, das zu riskanterem Fahrverhalten führen kann. Auch erscheint fraglich, ob alle Fahrzeugführer in der Lage sind, in den vorgegebenen Zeiten tatsächlich wieder „in the loop“ zu kommen.

die körperliche Leistungsfähigkeit für die Bewältigung der Fahrt einschließt.¹³² Konstruktive Maßnahmen, dies zu verhindern, sind dagegen nach geltender Rechtslage nicht erforderlich.¹³³

Ab Level 3 ist der Nutzer über gegebenenfalls zulässige Systemgrenzen zu instruieren: Verbleibende Risiken dürfen nicht verschleiert oder verschwiegen werden; die Information muss so klar und eindeutig sein, dass der Nutzer das Risiko versteht, es bewerten kann, entscheiden kann, ob er es übernehmen will oder gegebenenfalls andere Strategien entwickeln kann,¹³⁴ insbesondere entscheiden kann, ob er den hochautomatischen Modus benutzen möchte.

III. Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Untersuchung bis hier lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Für die Konkretion der berechtigten Sicherheitserwartungen an die Überführungssysteme ist auf den Fahrer, die Insassen, den Halter und die anderen Verkehrsteilnehmer abzustellen, die alle den Wirkungen des Produkts ausgesetzt sind. Inhaltlich stimmen die Sicherheitswartungen dieser Personenkreise wegen des gleichgerichteten Interesses an einer möglichst unfallfreien Fahrt bzw. größtmöglicher Verschonung im Falle eines Unfalls grundsätzlich überein.
2. Die berechtigten Sicherheitserwartungen im Hinblick auf die Konstruktion der Überführungssysteme orientieren sich an den Anforderungen, die der BGH u.a. im Airbag-Urteil im Jahr 2009 entwickelt hat.
3. Die im Airbag-Urteil entwickelten rechtlichen Anforderungen treffen keine Festlegungen darüber, was genau die Konstruktion eines Systems zur Überführung in den risikominimalen Zustand leisten muss, insbesondere nicht, welcher Endzustand sicher ist, sondern legen (nur) fest, welches Sicherheitsniveau diese Konstruktion erfüllen muss.
4. Die zu untersuchenden Überführungsszenarien versprechen einen Sicherheitsgewinn dadurch, dass sie die Steuerung des Fahrzeugs in einem

¹³² Dauer in Hentschel/König/Dauer, StVZO § 31 Rn. 10; Pflicht des Fahrzeugführers zur ständigen Beobachtung und Berücksichtigung seiner Leistungsfähigkeit, auch vor Fahrtantritt ebenso gemäß § 2 I 1 FeV, vgl. Dauer in Hentschel/König/Dauer, FeV § 2 Rn. 4.

¹³³ S.a. Anders PHI 2009, 230, 233.

¹³⁴ Schmidt/Rau/Helmig/Bauer, S. 3.

ansonsten steuerungslosen Zustand sicherstellen. In allen Einsatzfällen stellt das jeweilige Überführungsszenario eine technische Rückfallebene für eine ansonsten weder durch menschliches Handeln noch durch das eingesetzte Automatisierungssystem beherrschbare Situation dar.

5. Bezüglich des angestrebten Endzustands ist ein Produktfehler nicht allein deshalb gegeben, weil das Überführungssystem nur ein Anhalten auf dem eigenen Fahrstreifen ermöglicht und nicht der sicherere Seitenstreifen erreicht wird, solange nicht diese Leistungsanforderung rechtlich vorgeschrieben wird oder sich sonst als technischer Standard für die jeweilige Fahrzeugklasse durchgesetzt hat.

6. Die durch die Überführungssysteme ausgelösten und durchgeführten automatischen Fahrmanöver während der Überführung in den „risikominimalen Zustand“ müssen sich für andere Verkehrsteilnehmer als noch voraussehbar und nicht irrational darstellen.

7. Während Systemgrenzen der Überführungssysteme bei ihrem Einsatz im Rahmen der Automatisierungsstufen 0 bis 2 akzeptabel erscheinen, solange es keine möglichen und zumutbaren Alternativlösungen gibt, ist dies bei einem Einsatz im Rahmen der Automatisierungsstufen 3 und 4 eher zweifelhaft.

8. Zu den Instruktionspflichten des Herstellers gehört bei Level 0 bis 2 der Hinweis, dass das Überführungssystem nicht für den kranken oder sich sonst unwohl fühlenden Fahrer die Erlaubnis in sich birgt, sich gleichwohl ans Steuer zu setzen. Ab Level 3 ist der Nutzer über gegebenenfalls zulässige Systemgrenzen so klar und eindeutig zu instruieren, dass er das Risiko versteht, es bewerten und entscheiden kann, ob er es übernehmen will oder gegebenenfalls andere Strategien entwickelt.

C. Straßenverkehrsrechtliche Haftung des Halters

I. Grundsätze der straßenverkehrsrechtlichen Halterhaftung

1. Überblick über die Halterhaftung

Gemäß § 7 I StVG haftet der Halter eines Kraftfahrzeugs gegenüber dem Verletzten für Schäden, die durch die Tötung eines Menschen, eine Verletzung seines Körpers oder seiner Gesundheit oder einer Sache beim Betrieb des Kraftfahrzeugs¹³⁵ entstehen. Bei der Halterhaftung handelt es sich um eine Gefährdungshaftung.¹³⁶ Sie beruht auf dem Gedanken, dass jemand, der im eigenen Interesse eine Gefahr eröffnet, für die daraus resultierenden, auch bei aller Sorgfalt unvermeidbaren Schädigungen einzustehen hat, also unabhängig davon, ob ihm ein Fehlverhalten vorzuwerfen ist oder nicht.¹³⁷ Die Regelung in § 7 StVG soll gegen alle Gefahren schützen, die sich aus dem Betrieb des Fahrzeugs ergeben, unabhängig davon, wie es dazu gekommen ist, dass jemand beim Betrieb des Fahrzeugs einen Schaden erlitten hat.¹³⁸

Die Ersatzpflicht ist nach § 7 II StVG im Falle höherer Gewalt ausgeschlossen. Mit dieser Neuregelung des § 7 II StVG durch Art. 4 Nr. 1 des Zweiten Gesetzes zur Änderung schadensersatzrechtlicher Vorschriften vom 19. Juli 2002 wurden die Regelungen der straßenverkehrsrechtlichen Halterhaftung an andere Gefährdungshaftungstatbestände angepasst (vgl. § 1 II HPfIG zur Haftung beim Betrieb einer Schienen- bzw. Schwebebahn).¹³⁹ Gegenüber der gemäß Art. 229 § 8 EGBGB bis 31.07.2002 bestehenden Rechtslage, die eine Entlastung des Halters bei Vorliegen eines unabwendbaren Ereignisses vorsah, ist damit eine Erweiterung der Halterhaftung verbunden.¹⁴⁰ Schon nach der älteren Rechtslage war eine Entlastung des Halters wegen eines Fehlers in der Beschaffenheit oder bei technischem Versagen des Kraftfahrzeugs ausgeschlossen.¹⁴¹ Dies gilt auch für die neue Rechtslage, denn der Entlastungstatbestand der höheren Gewalt kommt nur bei betriebsfremden, von außen auf den Verkehr wirkenden Ereignissen in Betracht.¹⁴² Damit sollte insbesondere eine Verbesserung der

¹³⁵ Auf die ebenfalls in § 7 Abs. 1 StVG statuierte Halterhaftung für Anhänger wird im Folgenden nicht eingegangen, da dies für den zu beurteilenden Untersuchungsgegenstand irrelevant ist.

¹³⁶ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 1.

¹³⁷ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 1.

¹³⁸ BGH NJW 1962, 1676, 1677.

¹³⁹ BGBl. I 2674, 2675.

¹⁴⁰ BT-Drs. 14/7752, S. 30.

¹⁴¹ BT-Drs. 14/7752, S. 30.

¹⁴² BT-Drs. 14/7752, S. 30.

haftungsrechtlichen Stellung von Kindern, Hilfsbedürftigen und älteren Menschen erreicht werden, deren Handlungen für den Fahrzeugführer ein unabwendbares Ereignis darstellen¹⁴³ und zu einer Befreiung von der Haftung führen konnten.

Darüber hinaus enthält die Vorschrift des § 17 III StVG einen Haftungsausschluss für den Fall, dass der Unfall durch ein unabwendbares Ereignis verursacht wurde. Der Haftungsausschluss gilt gemäß § 17 III i.V.m. § 17 I StVG zum einen für den internen Schadenhaftungsausgleich zwischen den Haltern mehrerer am Unfall beteiligter Kfz im Rahmen ihrer gesamtschuldnerischen Haftung nach § 426 BGB für Schäden, die ein Dritter erlitten hat. Er gilt sodann gemäß § 17 III i.V.m. § 17 II StVG für die Haftung der Halter untereinander: Sind an einem Unfall mehrere Kraftfahrzeuge beteiligt, so schließt die Vorschrift die Haftung des Halters für den Schaden des anderen Halters¹⁴⁴ aus, wenn sich der Schadensfall als unabwendbares Ereignis darstellt.¹⁴⁵ War der Unfall für beide oder alle beteiligten Halter unabwendbar, entfällt der Schadensausgleich zwischen ihnen in Gänze.¹⁴⁶ Zwischen den Haltern entfällt die Haftung also nicht erst, wenn der Unfall auf höherer Gewalt beruhte, sondern bereits dann, wenn es sich bei dem Unfall um ein unabwendbares Ereignis gehandelt hat.

Mehrere an einem Unfall beteiligte Halter haften nach außen gemeinsam. Im Binnenverhältnis findet gemäß § 17 StVG ein Ausgleich statt. Für diesen Schadensausgleich ist neben der Frage einer möglichen Unabwendbarkeit im Sinne von § 17 III StVG nach § 17 I und II StVG der jeweilige Verursachungsbeitrag entscheidend.

Die Halterhaftung erstreckt sich gemäß § 8a StVG grundsätzlich auch auf Schäden von Personen, die im Fahrzeug befördert werden, es sei denn die Haftung gegenüber den Insassen wurde nach § 8a S. 1 StVG zulässigerweise beschränkt. Dagegen haftet der Halter gemäß § 8 Nr. 2 StVG nicht für Schäden, die der Fahrzeugführer beim Unfall erlitten hat.¹⁴⁷

¹⁴³ BT-Drs. 14/7752, S. 30.

¹⁴⁴ Bzw. den des Eigentümers, der nicht Halter ist (§ 17 III 3 StVG).

¹⁴⁵ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 17 Rn. 22; Grüneberg in Berz/Burmann, Allgemeines, Rn. 44; vgl. auch die Ausdehnung des Haftungsausschlusses in den Fällen des § 17 IV StVG.

¹⁴⁶ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 17 Rn. 22; Grüneberg in Berz/Burmann, Allgemeines, Rn. 45.

¹⁴⁷ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 8 Rn. 4.

Wesentliches Merkmal der Gefährdungshaftung ist die gegenüber der Verschuldenshaftung bestehende Beschränkung auf bestimmte Höchstbeträge (vgl. dazu im Einzelnen §§ 12 bis 12b StVG). Unberührt bleibt die Haftung aus anderen Normen, insbesondere aus § 823 BGB.¹⁴⁸

Für die durch den Untersuchungsgegenstand aufgeworfenen straßenverkehrshaftungsrechtlichen Fragen sind die Betriebsgefahr als haftungsbegründender Umstand, die höhere Gewalt bzw. die Unabwendbarkeit des Ereignisses als die Haftung ausschließende Umstände sowie der durch die Überführungssysteme bedingte Verursachungsbeitrag von Bedeutung. Diese werden im Folgenden näher erörtert und sodann auf den Untersuchungsgegenstand angewandt (s.u. II.). Sonstige Fragen der Gefährdungshaftung spielen für die Begutachtung keine Rolle; auf sie wird daher nicht näher eingegangen.

2. Der Haftungsgrund: Betriebsgefahr und Zurechnungszusammenhang

Der haftungsauslösende Umstand für den Halter ist gemäß § 7 I StVG, dass der Schaden beim Betrieb des Kraftfahrzeugs eingetreten ist, sich im Schaden also die Betriebsgefahr des Kraftfahrzeugs verwirklicht hat. Die Vorschrift will damit einen Schadensschutz für alle mit dem Betrieb des Fahrzeugs verbundenen Gefahren gewähren, ohne Rücksicht darauf, wie die Gefahren schadenswirksam werden.¹⁴⁹ Für die Auslegung des Begriffs „beim Betrieb des Kraftfahrzeugs“ ist daher der Schutzzweck der Norm von entscheidender Bedeutung: Wegen der hohen Verkehrsgefahr ist der Betriebsbegriff weit auszulegen.¹⁵⁰

Da die Halterhaftung alle Schadensereignisse umfasst, die mit dem Kfz-Betrieb zu tun haben,¹⁵¹ kommt es nicht darauf an, ob sich der Schaden beim Betrieb im öffentlichen Straßenverkehr oder auf nicht-öffentlichen Wegen realisiert hat.¹⁵² Mit Blick auf den Untersuchungsgegenstand ist letzteres jedoch unerheblich, weil es sich beim Halten auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen zweifelsfrei um öffentlichen Straßenverkehr handelt.

¹⁴⁸ Burmann in Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVG § 7 Rn. 1.

¹⁴⁹ BGH NJW 1962, 1676, 1677.

¹⁵⁰ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 4 mit umfangreichen Rechtsprechungsnachweisen; Grüneberg, NZV 2001, 109.

¹⁵¹ BGH v. 26.02.2013, Az. VI ZR 116/12, openjur, Rn. 19.

¹⁵² König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 1; BGH NZV 1995, 19 20; allgemeine Meinung, a.A. Schwab DAR 2011, 11, 15, 18: keine Halterhaftung im nicht öffentlichen Verkehrsraum.

a) „Betrieb des Fahrzeugs“: Die Betriebsgefahr

Für die inhaltliche Bestimmung des Begriffs der Betriebsgefahr werden im Wesentlichen zwei Auffassungen vertreten: die eine legt ein maschinentechnisches Verständnis zugrunde, die zweite und herrschende geht von einem verkehrstechnischen Verständnis der Betriebsgefahr aus.¹⁵³ Eine dritte, im Vordringen befindliche Auffassung orientiert sich strikt am Schutzzweck der Norm.¹⁵⁴

Nach der (engeren) maschinentechnischen Auffassung ist ein Fahrzeug in Betrieb, solange der Motor des Kfz das Fahrzeug oder eine andere Betriebseinrichtung bewegt.¹⁵⁵ Nur das mit Motorkraft bewegte oder ungesichert abrollende Fahrzeug kann nach dieser Auffassung die Gefährdungshaftung auslösen.¹⁵⁶ Diese Auffassung wurde v.a. für Unfälle im nicht-öffentlichen Verkehr vertreten und stößt insbesondere im Schrifttum auf Ablehnung, da auch auf Privatgelände reger Verkehr herrschen kann.¹⁵⁷

Die verkehrstechnische Auffassung findet dagegen Anwendung für alle Kfz, die sich im öffentlichen Verkehrsbereich bewegen, darin verkehrsbeeinflussend ruhen oder andere Verkehrsteilnehmer gefährden.¹⁵⁸ Danach beginnt die Betriebsgefahr, d.h. der Betrieb des Fahrzeugs, mit dem Ingangsetzen des Motors und endet erst, wenn das Fahrzeug an einem Ort außerhalb des öffentlichen Verkehrs abgestellt wird.¹⁵⁹ Beim Betrieb des Fahrzeugs entsteht somit ein Unfall, wenn sich das Fahrzeug im öffentlichen Verkehrsraum in Bewegung oder, nachdem es dorthin bewegt worden war, aus

¹⁵³ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 5 f.

¹⁵⁴ Grüneberg NZV 2001, 109 f.

¹⁵⁵ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 5a.

¹⁵⁶ Grüneberg, NZV 2001, 109, 110.

¹⁵⁷ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 5a; Burmann in Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVG § 7 Rn. 8; Grüneberg in Berz/Burmann, Allgemeines, Rn. 31; vgl. auch BGH NZV 1995, 19, 20, wonach auch ein auf Privatgelände vorübergehend abgestellte Fahrzeug noch in Betrieb ist.

¹⁵⁸ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 5; Schwab DAR 2011, 11, 12 und 14; kritisch zur Beschränkung auf den öffentlichen Verkehrsraum Grüneberg NZV 2001, 109, 110; vgl. auch BGH NZV 1995, 19, 20, wonach auch ein auf Privatgelände vorübergehend abgestellte Fahrzeug noch in Betrieb ist.

¹⁵⁹ ständige Rechtsprechung, vgl. schon BGH NJW 1959, 627, 628 (Liegenbleiben auf Fahrbahn wegen Motorschadens); OVG Münster NJW-RR 1995, 84, 85; OLG Köln VersR 1993, 122 für ein stehendes, in die Fahrbahn ragendes Fahrzeug.

beliebigen Grund außer Bewegung (Parken, Panne, Abstellen) befindet.¹⁶⁰ Im Gegensatz dazu wird vertreten, dass jedenfalls von ordnungsgemäß im öffentlichen Parkraum abgestellten Fahrzeugen keine Betriebsgefahr mehr ausgeht.¹⁶¹

Nach der dritten Ansicht ist ein Schaden „beim Betrieb“ des Kfz entstanden, wenn sich eine Gefahr realisiert hat, die mit dem Kraftfahrzeug als Verkehrsmittel (Transport- oder Beförderungsmittel) verbunden ist.¹⁶² Dafür kommt es weder auf den Einsatz von Maschinenkraft noch darauf an, ob sich das Fahrzeug im öffentlichen Verkehr befindet, sondern allein darauf, ob das Fahrzeug in seiner Eigenschaft als Verkehrsmittel, manövrierend oder abgestellt, für andere eine Verkehrsgefahr dargestellt hat, die sich im Schaden verwirklichte.¹⁶³ Diese konsequent am Schutzzweck des § 7 I StVG orientierte Auslegung wird als normativer Betriebsbegriff bezeichnet.¹⁶⁴ Sie knüpft für den Begriff des Betriebs schlicht an das Kfz als Verkehrsmittel im Verkehr und die dadurch hervorgerufene Gefahr an. Dieser Auffassung folgt auch der BGH ohne die maschinen- bzw. verkehrstechnische Auffassung ausdrücklich aufgegeben zu haben.¹⁶⁵ Im Übrigen spielt die Frage des Schutzzwecks jedoch auch im Rahmen der maschinen- bzw. verkehrstechnischen Auffassung eine Rolle, nämlich für die Bejahung des Zurechnungszusammenhangs, wie sie sich in der gesetzlichen Formulierung „beim Betrieb“ ausdrückt.¹⁶⁶

b) Zurechnungszusammenhang

Der entstandene Schaden muss dem Betrieb des Kraftfahrzeugs zuzurechnen sein, d.h. „beim Betrieb“ des Kfz verursacht worden sein. Dabei reicht ein nur möglicher Zusammenhang zwischen Betrieb und Schaden für die Bejahung des Zurechnungszusammenhangs nicht aus.¹⁶⁷ Vielmehr ist der haftungsrechtliche Zusammenhang zunächst im Sinne der Adäquanzlehre¹⁶⁸ zu bestimmen. Danach ist der Schaden beim

¹⁶⁰ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 10.

¹⁶¹ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 5 mit weiteren Literaturnachweisen; OLG Hamburg VersR 1994, 1441.

¹⁶² Grüneberg NZV 2001, 109, 110; Grüneberg in Berz/Burmann, Allgemeines, Rn. 29; BGH v. 26.02.2013, Az. VI ZR 116/12, openjur, Rn. 19.

¹⁶³ Grüneberg NZV 2001, 109, 110; BGH NZV 1995, 19, 20.

¹⁶⁴ Grüneberg NZV 2001, 109, 110.

¹⁶⁵ so schon Grüneberg NZV 2001, 109, 110; vgl. BGH NZV 1995, 19, 20; BGH v. 26.02.2013, Az. VI ZR 116/12, openjur, Rn. 19.

¹⁶⁶ dazu sogleich unter B.I.2.b).

¹⁶⁷ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 10.

¹⁶⁸ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 11, Burmann in Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVG § 7 Rn. 13; Grüneberg in Berz/Burmann, StVG § 7 Rn. 36.

Betrieb entstanden, wenn der Betrieb generell, d.h. im Allgemeinen, geeignet war, den Schaden herbeizuführen; nur besonders eigenartige, ganz unwahrscheinliche und nach dem regelmäßigen Lauf der Dinge nicht in Betracht zu ziehende Umstände schließen den Ursachenzusammenhang aus.¹⁶⁹

Darüber hinaus ist für die Bejahung des Zurechnungszusammenhangs erforderlich, dass der eingetretene Schaden vom Schutzzweck des § 7 I StVG umfasst ist.¹⁷⁰ Das Abstellen auf den Schutzzweck dient der sachgerechten Abgrenzung der Gefährdungshaftung: Nicht jede Beteiligung eines Kfz an einem Schadensgeschehen löst die Gefährdungshaftung aus. Unter Berücksichtigung des Schutzzwecks von § 7 I StVG ist der Schaden beim Betrieb eines Kfz dann entstanden, wenn er durch die dem Kfz-Betrieb typischerweise innewohnende Gefährlichkeit verursacht wurde bzw. sich bei seiner Entstehung die vom Betrieb des Fahrzeugs ausgehenden Gefahren ausgewirkt haben.¹⁷¹ Entscheidend ist die Sachlage vor dem Unfall aus Sicht einer objektiven nachträglichen Prognose (ex post).¹⁷² Der Schaden muss einen nahen örtlichen und zeitlichen Zusammenhang mit einem konkreten Betriebsvorgang oder einer konkreten Betriebseinrichtung des Kfz im Sinne einer Beeinflussung im Verkehr aufweisen, um beim Betrieb des Kfz verursacht worden zu sein (Schaden als Ergebnis des Fahrbetriebs oder einer seiner Folgewirkungen).¹⁷³ Die bloße Anwesenheit des Fahrzeugs am Unfallort genügt nicht; es muss durch sein Fahren oder Halten zum Unfall beigetragen haben.¹⁷⁴ Fehlt dagegen jede Auswirkung der Betriebsgefahr, so ist der Unfall nicht beim Betrieb geschehen.¹⁷⁵

Der Zurechnungszusammenhang kann durch das Handeln Dritter - auch von Tieren - entfallen.¹⁷⁶ Allerdings kommt dies nur in Betracht, wenn die Ursächlichkeit des früheren Unfallereignisses nach dem Schutzzweck des § 7 StVG für das Verhalten des Dritten oder sein Dazwischentreten bedeutungslos gewesen ist¹⁷⁷ und damit letztlich nur

¹⁶⁹ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 11; BGH 21.12.1965, Az. VI ZR 157-64, juris, Rn. 17; OLG Hamm NZV 1990, 231.

¹⁷⁰ BHG VersR 2005, 992; Burmann in Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVG § 7 Rn. 13.

¹⁷¹ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 4 und 10; BGH VersR 2005, 992.

¹⁷² König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 13; BGH NJW 1973, 44, 45; OLG Hamm NZV 2009, 31, 33.

¹⁷³ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 4, 10; OLG München NZV 2004, 205, 206; BGH VersR 2005, 992; BGH VersR 2008, 656.

¹⁷⁴ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 10; BGH VersR 2005, 992; KG NZV 2007, 358; OLG Brandenburg NJW 2009, 2962, 2963.

¹⁷⁵ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 13.

¹⁷⁶ BGH NZV 1988, 17.

¹⁷⁷ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 10; BGH NZV 1988, 17.

der Anlass für ein Verhalten des Dritten aus freien Stücken war.¹⁷⁸ Wirken in einem weiteren Unfall dagegen die besonderen Gefahren fort, die sich bereits im ersten Unfallgeschehen ausgewirkt hatten, kann der Zurechnungszusammenhang mit dem Erstunfall jedenfalls nicht verneint werden.¹⁷⁹ Dies ist letztlich eine Frage der rechtlichen Wertung.¹⁸⁰

c) Ergebnis

In der Mehrzahl der Haftungsfälle werden bei einer am Schutzzweck orientierten Auslegung des § 7 I StVG insbesondere die verkehrstechnische Auffassung und der normative Betriebsbegriff kaum zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Darüber hinaus wird die maschinentechnische Auffassung v.a. noch bezüglich von Kfz-Unfällen im nicht-öffentlichen Verkehrsraum vertreten.¹⁸¹ Dieser ist vom Untersuchungsgegenstand jedoch nicht betroffen, so dass diese Auffassung nicht weiter berücksichtigt wird.

3. Höhere Gewalt und unabwendbares Ereignis als haftungsausschließende Umstände

Gemäß § 7 II StVG ist die Haftung des Halters ausgeschlossen, wenn der Schaden auf höhere Gewalt zurückgeht. Nach der gängigen Definition liegt höhere Gewalt vor bei einem außergewöhnlichen, betriebsfremden und von außen¹⁸² durch elementare Naturkräfte oder Handlungen dritter (betriebsfremder) Personen hervorgerufenen Ereignis, das nach menschlicher Einsicht und Erfahrung unvorhersehbar ist, mit wirtschaftlich erträglichen Mitteln auch bei Anwendung der äußersten nach der Sachlage vernünftigerweise zu erwartende Sorgfalt nicht verhütet werden kann und auch nicht wegen der Häufigkeit vom Betriebsunternehmer in Kauf zu nehmen ist.¹⁸³ Maßgeblich ist insbesondere, dass es sich um ein von außen wirkendes, betriebsfremdes Ereignis

¹⁷⁸ BGH NZV 1988, 17.

¹⁷⁹ BGH v. 26.02.2013, Az. VI ZR 116/12, openjur, Rn. 15, der hier für die verschuldensabhängige Haftung formulierte Zusammenhang gilt auch im Rahmen der Gefährdungshaftung nach § 7 I StVG, vgl. Rn. 20.

¹⁸⁰ BGH NZV 1988, 17.

¹⁸¹ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 5a mit Kritik an dieser Auffassung des BGH wegen der damit verbundenen Privilegierung des Halters auf Privatstraßen und -wegen; ebenso Grüneberg, NZV 2001, 109, 110.

¹⁸² A.A. Grüneberg in Berz/Burmann, Allgemeines, Rn. 41: höhere Gewalt nicht auf von außen wirkende Ereignisse beschränkt.

¹⁸³ BT-Drs. 14/7752, S. 30; König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 32; BGH NZV 2008, 79 zu § 1 II HPfIG; OLG Saarbrücken NZV 2006, 418, 419; LG Itzehoe NZV 2004, 364, 365; Steffen, DAR 1998, 135.

handeln muss¹⁸⁴, doch müssen immer auch die übrigen Voraussetzungen vorliegen.¹⁸⁵ „Höhere Gewalt“ ist ein wertender Begriff, der Risiken ausschließen soll, die mit dem Kfz-Betrieb - dem gefährlichen Unternehmen - nichts zu tun haben und daher bei rechtlicher Bewertung diesem nicht zuzurechnen sind, sondern ausschließlich einem Dritt-ereignis.¹⁸⁶ Im Bereich der straßenverkehrsrechtlichen Haftung kommen wegen der komplexen Betriebsgefahren¹⁸⁷ v.a. außergewöhnliche Naturereignisse, vorsätzlich Eingriffe Dritter in den Straßenverkehr (z.B. Jugendliche, die von einer Brücke Steine auf die Fahrbahn werfen)¹⁸⁸ und Tierunfälle im „tierfreien Gelände“ in Betracht.¹⁸⁹ Es handelt sich um krasse Ausnahmefälle.¹⁹⁰

Hinsichtlich der gegenseitigen Haftung der Halter entfällt die Haftung nach § 17 III StVG bereits dann, wenn der Unfall auf einem unabwendbaren Ereignis beruhte. Unabwendbar ist ein Ereignis nach der Legaldefinition in § 17 III 2 StVG dann, wenn Halter und Fahrzeugführer jede nach den Umständen gebotene Sorgfalt beobachtet haben. Nach der in der Rechtsprechung gebräuchlichen Formel ist ein Ereignis unabwendbar, wenn es auch durch äußerste mögliche Sorgfalt nicht abgewendet werden kann; absolute Unvermeidbarkeit ist nicht gefordert.¹⁹¹ Erforderlich ist ein sachgemäßes, geistesgegenwärtiges Handeln über den gewöhnlichen und persönlichen Maßstab hinaus,¹⁹² das alle Gefahrenmomente berücksichtigt,¹⁹³ kurz die Sorgfalt eines Idealfahrers.¹⁹⁴ Für die Beurteilung kommt es dabei auf die konkrete Situation vor dem Unfall und dessen Vorhersehbarkeit an.¹⁹⁵ Für den Halter kommt es im Rahmen des Unabwendbarkeitsnachweises auf die sorgfältige Auswahl und Beaufsichtigung des Fahrzeugführers an.¹⁹⁶

¹⁸⁴ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 34.

¹⁸⁵ Burmann in Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVG § 7 Rn. 19.

¹⁸⁶ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 32; BGH NZV 2004, 395, 396 zu § 1 II HPfIG; Steffen DAR 1998, 135, 136.

¹⁸⁷ Schwierigkeiten bei der Abgrenzung außenstehender Gefahren im Straßenverkehr sieht auch Steffen DAR 1998, 135, 137 und 138.

¹⁸⁸ Grüneberg in Berz/Burmann, Allgemeines, Rn. 43.

¹⁸⁹ Burmann in Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVG § 7 Rn. 19.

¹⁹⁰ Grüneberg in Berz/Burmann, Allgemeines, Rn. 43.

¹⁹¹ Grüneberg in Berz/Burmann, Allgemeines, Rn. 47; König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 17 Rn. 22; BGH v. 18.01.2005, Az. VI ZR 115/04, juris, Rn. 15.

¹⁹² Grüneberg in Berz/Burmann, Allgemeines, Rn. 47; König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 17 Rn. 22; BGH v. 18.01.2005, Az. VI ZR 115/04, juris, Rn. 15: Handeln erheblich über dem Maßstab der im Verkehr erforderlichen Sorgfalt i.S.v. § 276 BGB.

¹⁹³ OLG Frankfurt VersR 1993, 1500; König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 17 Rn. 22.

¹⁹⁴ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 17 Rn. 22; BGH v. 13.12.1990, Az. III ZR 14/90, juris, Rn. 7.

¹⁹⁵ Steffen DAR 1998, 135, 136.

¹⁹⁶ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 17 Rn. 22.

Keine unabwendbaren Ereignisse sind nach § 17 III 1 Hs. 2 StVG Fehler in der Beschaffenheit des Fahrzeugs oder das Versagen seiner Vorrichtungen.¹⁹⁷ Beschaffenheitsfehler beruhen auf der Konstruktion, der Bauausführung oder der mangelhaften Unterhaltung des Fahrzeugs, wobei auf den zum Unfallzeitpunkt geltenden Stand der Technik abgestellt werden muss.¹⁹⁸ Sie sind relevant, sofern sie die Verkehrssicherheit einschließlich der Sicherheit der Insassen beeinflussen, insbesondere, wenn die Beschaffenheitsvorschriften der StVZO (§§ 30 ff) nicht eingehalten werden.¹⁹⁹ Dazu gehört beispielsweise das Versagen eines Regelungssystems zur automatischen Geschwindigkeits- und Abstandsregulierung.²⁰⁰ Technisches Versagen liegt bei plötzlich auftretenden Defekten vor, die unabhängig von Fehlern in der Beschaffenheit sind.²⁰¹ Beschaffenheitsfehler oder Funktionsversagen sind deshalb immer haftungsbegründend, weil sie dem durch den Betrieb des Fahrzeugs geschaffenen Gefahrenkreis angehören (und daher weder dem allgemeinen Lebensrisiko, noch dem Gefahrenkreis eines Dritten zurechenbar sind).²⁰² Darin liegt letztlich auch der Grund dafür, dass technische Probleme auch keinen Fall höherer Gewalt darstellen, denn es handelt sich bei ihnen nicht um betriebsfremde Ereignisse.

Allgemein lässt sich sagen, dass alle Unfälle, die auf höherer Gewalt beruhen, gleichzeitig unabwendbare Ereignisse sind.²⁰³

4. Schadensausgleich zwischen Haltern bei Verursachung durch mehrere Fahrzeuge

Gemäß § 17 I und II StVG sind mehrere am Unfall beteiligte Halter untereinander insbesondere nach ihrem jeweiligen Verursachungsbeitrag haftbar, d.h. danach wer im welchem Umfang zum Schaden beigetragen hat.²⁰⁴ Dabei kommen auch Schuldgesichtspunkte zum Tragen dergestalt, dass eine schwere Schuld die Betriebsgefahr zurücktreten lassen kann.²⁰⁵ Aber auch umgekehrt kann eine hohe Betriebsgefahr eine

¹⁹⁷ Burmann in Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVG § 7 Rn. 22; OLG Frankfurt NZV 2004, 262, 263; BGH NJW 1959, 627, 628.

¹⁹⁸ Burmann in Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVG § 7 Rn. 22; Grüneberg in Berz/Burmann, Allgemeines, Rn. 49 f.

¹⁹⁹ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 17 Rn. 30.

²⁰⁰ Grüneberg in Berz/Burmann, Allgemeines, Rn. 50.

²⁰¹ Burmann in Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVG § 7 Rn. 22; Grüneberg in Berz/Burmann, Allgemeines, Rn. 51.

²⁰² Steffen DAR 1998, 135, 136.

²⁰³ Steffen, DAR 1998, 135, 136.

²⁰⁴ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 17 Rn. 4.

²⁰⁵ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 17 Rn. 4 und 6.

geringe Schuld unberücksichtigt lassen.²⁰⁶ Insofern kommt es für das Maß der Halterverantwortlichkeit bei einem Unfall unter Beteiligung von Fahrzeugen, bei denen ein Überführungssystem am Unfall mitgewirkt hat, grundsätzlich auch auf ein schuldhaftes Verhalten anderer Unfallbeteiligter an. Maßgeblich sind in jedem Falle die konkreten Umstände des Einzelfalles, wobei die schadensursächlichen Faktoren nach ihren konkreten Auswirkungen in der jeweiligen Verkehrssituation gewichtet werden. Ein Versagen von Betriebseinrichtungen erhöht die Betriebsgefahr ohne Rücksicht auf ein Verschulden.²⁰⁷

II. Anwendung auf den Untersuchungsgegenstand

1. Ausgangssituation für den Einsatz von Systemen zur Überführung des Fahrzeugs in den risikominimalen Zustand

Die hier zu prüfenden Regelstrategien zur Überführung in den risikominimalen Zustand kommen in kritischen Situationen zum Einsatz, die dadurch gekennzeichnet sind, dass der Fahrzeugführer keinen aktiven Beitrag für die Notwendigkeit des Manövers geleistet hat. Mit Blick auf die Automatisierungsgrade 0 bis 2 sind dies insbesondere Fälle der medizinisch bedingten Handlungsunfähigkeit des Fahrers. Bei Fahrzeugen der Automatisierungsgrade 3 und 4 kommt der Einsatz der Überführungssysteme in Betracht, wenn bekannte (konstruktiv bedingte) Systemgrenzen ohne ausreichende Vorlaufzeit für eine Übernahme durch den Fahrer erreicht werden oder bei einem plötzlichen Ausfall des Systems, bei dem die Übernahmeaufforderung an den Fahrer nicht rechtzeitig erfolgen kann. Dies gilt auch im Falle einer missglückten Transition, wenn also z.B. der Fahrer etwa medizinisch bedingt auf eine Übernahmeaufforderung nicht reagieren kann. Kommt es bei Eintreten dieser Ausgangssituationen im Rahmen des Einsatzes des Überführungssystems zu einem Unfall, stellt sich die Frage, ob sich in dem eingetretenen Schaden nicht eine die Gefährdungshaftung auslösende Betriebsgefahr bereits wegen der Ausgangssituation realisiert hat, also unabhängig vom Einsatz des Überführungssystems.

²⁰⁶ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 17 Rn. 6.

²⁰⁷ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 17 Rn. 15.

a) Einsatz des Überführungssystem bei Ausfall des Fahrers

Für die Gefährdungshaftung ist es unerheblich, ob sich im Schadensfalle Gefahren der technischen Ausstattung des Fahrzeugs oder ein Verhalten des Fahrers ausgewirkt haben, denn die die Gefährdungshaftung auslösende Gefahrerhöhung beruht auf dem Zusammenwirken von Mensch und Maschine und liegt nicht allein in der Konstruktion des Fahrzeugs begründet.²⁰⁸ Die Sicherheit des Betriebs eines Kfz hängt daher grundsätzlich vom Wirken des das Fahrzeug lenkenden Menschen ebenso ab wie auch von der technischer Ausstattung.²⁰⁹

Hinsichtlich des menschlichen Fahrverhaltens kommt es im Rahmen der Gefährdungshaftung nicht darauf an, ob sich der Fahrer richtig oder verkehrswidrig verhalten hat.²¹⁰ Zudem ist auch ein körperliches und geistiges Versagen des Fahrzeugführers, wie z.B. ein auf plötzlicher Bewusstlosigkeit beruhender Ausfall des Fahrers, die nicht auf eine äußere Einwirkung zurückzuführen ist, dem Betrieb des Kfz zuzurechnen.²¹¹ Es stellt als gleichsam „innerbetriebliches“ Vorkommnis insbesondere auch keinen Fall höherer Gewalt dar.²¹² Höhere Gewalt wäre der plötzliche körperliche oder geistige Ausfall des Fahrers nur, wenn er durch Umstände von außen verursacht worden wäre,²¹³ wie etwa durch ein Attentat oder Sabotageakte.²¹⁴ Es handelt sich auch nicht um ein unabwendbares Ereignis im Sinne von § 17 III 1 StVG, da es dem Versagen der Vorrichtungen gleichzusetzen ist.²¹⁵ Hieraus ergeben sich die nachfolgenden Schlussfolgerungen.

Beurteilung:

Im Zuge der Fahrzeugautomatisierung kommt es auf das Zusammenwirken von Mensch und Maschine an, soweit und solange das Fahren automatisierter Fahrzeuge der verschiedenen Automatisierungsgrade ein solches Zusammenwirken noch vorsehen. Für die Automatisierungsgrade 0 und 1 drückt sich dieses Zusammenwirken in der eigenständigen Wahrnehmung der Fahraufgabe durch den Fahrer aus, die vom

²⁰⁸ BGH NJW 1957, 674.

²⁰⁹ BGH NJW 1957, 674.

²¹⁰ BGH NJW 1973, 44, 45; BGH NJW 1988, 2802.

²¹¹ BGH NJW 1957, 674; vgl. auch Burmann in Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVG § 7 Rn. 21.

²¹² BGH NJW 1957, 674, 675 unter Bezug auf die Rechtsprechung u.a. zu § 1 HPfIG.

²¹³ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 35; BGH NJW 57, 674, 675.

²¹⁴ Burmann in Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVG § 7 Rn. 19; Grüneberg in Berz/Burmann, Allgemeines, Rn. 43.

²¹⁵ BGH NJW 1957, 674, 675; Grüneberg in Berz/Burmann, Allgemeines, Rn. 54; König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 17 Rn. 29.

System bei Level 1 lediglich assistiert wird. Beim Automatisierungsgrad 2 ist der Fahrer zwar aus der eigentlichen Fahraufgabe entlassen, muss jedoch ständig überwachen und gegebenenfalls eingreifen. Im Automatisierungslevel 3 ist es dem Fahrer erlaubt, sich abzuwenden und die Wahrnehmung der Fahraufgabe in dessen Einsatzbereich dem System zu überlassen; bei Erreichen der Systemgrenzen muss er jedoch nach ausreichender Vorlaufzeit die Fahraufgabe wieder selbst übernehmen. Bei Automatisierungslevel 4 ist ein Zusammenwirken von Mensch und Maschine allerdings selbst bei Erreichen der Systemgrenzen nicht unbedingt vorgesehen: Übernimmt der Fahrzeugführer die Fahraufgabe nach Aufforderung des Systems mit ausreichender Vorlaufzeit nicht wieder selbst, überführt das System das Fahrzeug in den risikominimalen Zustand.

Soweit die Automatisierungsgrade noch ein Zusammenwirken des Menschen mit dem Fahrzeug erfordern, also für die Level 0 bis 3, stellt ein medizinisch bedingter Ausfall des Fahrers nach den dargestellten Auffassungen in Rechtsprechung und Literatur einen Unfall „beim Betrieb“ des Fahrzeugs dar. Dies gilt zum einen für die Level 0 bis 1, in denen der Fahrer die Fahraufgabe noch selbst wahrnimmt, zum anderen für Level 2, bei dem der Fahrer zumindest noch kontrolliert und sich eingriffsbereit hält. Mit Blick auf Level 3 gilt dies im Falle einer wegen eines medizinisch bedingten Ausfalls missglückten Übergabe. Kommt es daher beim Einsatz des Überführungssystems zu einem Unfall, realisiert sich darin u.E. auch die durch den Ausfall des Fahrers bedingte Betriebsgefahr, weil diese im Schaden noch fortwirkt. Anders liegt es bei Fahrzeugen des Automatisierungsgrades 4. Der Ausfall des Fahrers während der automatisierten Fahrt stellt hier keine Betriebsgefahr mehr dar, denn das Fahrzeug bewältigt im Automatisierungsmodus unabhängig von den Gründen auch die Fälle einer missglückten Transition eigenständig.

b) Einsatz des Überführungssystems bei nicht ausreichender Vorlaufzeit für eine Übernahme oder plötzlichem Systemausfall

Beim Betrieb eines Kfz ist ein Schaden nach dem oben Dargelegten²¹⁶ auch dann entstanden, wenn sich im Schaden die durch die technische Ausstattung des Kfz be-

²¹⁶ Vgl. B.II.1.a).

dingte Gefahr realisiert hat. Dabei stellen weder Fehler in der konstruktiven Beschaffenheit des Fahrzeugs noch ein Versagen seiner Einrichtungen einen Fall höherer Gewalt im Sinne von § 7 II StVG dar und führen daher immer zum Eingreifen der Halterhaftung.²¹⁷ Sie sind außerdem kein unabwendbares Ereignis im Sinne von § 17 III 1 Hs. 2 StVG, das eine Haftung der Fahrzeughalter untereinander ausschließen würde.

Beurteilung:

Im Rahmen der Automatisierungslevel 3 und 4 kommt das Überführungssystem neben dem schon unter a) dargelegten Fall zum Einsatz, wenn Systemgrenzen ohne ausreichende Vorlaufzeit für eine Übernahme erreicht werden oder bei einem plötzlichen Systemausfall.

Fraglich könnte sein, ob bereits die Definition einer Systemgrenze einen Fehler in der konstruktiven Beschaffenheit darstellt, der haftungsauslösend wirkt. Dagegen spricht jedoch, dass nach der Konzeption von Fahrzeugen der Automatisierungsgrade 3 und 4 das Erreichen der Systemgrenze im Falle ordnungsgemäßer Funktion für sich genommen gerade keinen Unfall provozieren soll. Vielmehr löst die Systemgrenze eine Übernahmeaufforderung an den Fahrer aus, die in Level 3 erst, wenn sie nicht zu einer erfolgreichen Übergabe an den Fahrer und infolgedessen zu einem Unfall führt, die Realisierung der Betriebsgefahr darstellt, die im Zusammenwirken von Mensch und Maschine liegt. Beim Automatisierungslevel 4 ist darüber hinaus eine zusätzliche Rückfallebene eingebaut, denn das Fahrzeug kann aus allen Situationen, auch dem einer missglückten Transition an den Fahrer, in den „risikominimalen Zustand“ überführen.

Im Rahmen dieser Untersuchung kommen die Überführungssysteme jedoch zum Einsatz, wenn die Vorlaufzeit für eine Übernahme durch den Fahrer zu gering ist bzw. das Automatisierungssystem plötzlich ausfällt. In diesen Fällen dürfte regelmäßig ein Fehler in der Beschaffenheit oder jedenfalls ein Versagen der Vorrichtungen des Fahrzeugs gegeben sein, so dass ein Haftungsausschluss weder in Form höherer Gewalt noch als unabwendbares Ereignis in Betracht kommt. Vielmehr realisiert sich in einem Unfall während des anschließenden Einsatzes des Überführungssystems auch die im Ausfall des Automatisierungssystems liegende Betriebsgefahr.

²¹⁷ Burmann in Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVG § 7 Rn. 22; OLG Frankfurt NZV 2004, 262, 263.

c) Zusammenfassung

Die Ausgangssituationen für den Einsatz des Überführungssystems, nämlich der medizinisch bedingte Ausfall des Fahrers oder plötzlicher Ausfall des Automatisierungssystems und die missglückte Transition, stellen selbst eine Betriebsgefahr dar, die in einem Unfall während des Einsatzes des Überführungssystems fortwirken.

2. Gefährdungshaftung während der Überführung in den risikominimalen Zustand

Beim Betrieb des Kraftfahrzeugs ist der Schaden dann entstanden, wenn er in einem unmittelbaren örtlichen und zeitlichen Zusammenhang mit einem bestimmten Betriebsvorgang oder einer bestimmten Betriebseinrichtung des Fahrzeugs steht.²¹⁸ Der Schaden kann insbesondere auch durch eine unmittelbare Auswirkung der technischen Einrichtungen entstanden sein.²¹⁹

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Haftung nicht voraussetzt, dass es zu einer Kollision der am Unfall beteiligten Fahrzeuge kommt.²²⁰ Die Zurechenbarkeit ist auch dann gegeben, wenn sich unter Berücksichtigung des Schutzzwecks der Norm im Unfall eine vom Kfz ausgehende Gefahr auf andere ausgewirkt hat.²²¹ Dies ist der Fall, wenn der Betriebsvorgang des einen Fahrzeugs (hier z.B. Nothalt) Betriebsvorgänge bzw. das Verhalten von Fahrzeugführern anderer Fahrzeuge beeinflusst hat und es dadurch zu einem Schaden gekommen ist; eine Kollision mit dem „ersten“ Fahrzeug ist nicht erforderlich.²²² Dabei ist der Zurechnungszusammenhang zum Betrieb des ersten Fahrzeugs selbst dann noch zu bejahen, wenn der Unfall die Folge einer voreiligen, objektiv nicht erforderlichen Ausweichreaktion des Dritten ist.²²³ Es genügt, dass der Betrieb des Kfz vom Dritten als gefährlich empfunden wurde.²²⁴ Das Ausweichen muss aus Sicht des Dritten nicht einmal subjektiv erforderlich oder vertretbar sein.²²⁵

²¹⁸ BGH NJW 1973, 44, 45.

²¹⁹ BGH NJW 1973, 44, 45.

²²⁰ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 10; BGH NJW 1988, 2802; BGH VersR 2005, 992; KG NZV 2000, 43; OLG Naumburg 15.09.2006, Az. 10 U 16/06, juris, Rn. 33.

²²¹ BGH NJW 1988, 2802; BGH NJW 2005, 2081, 2082.

²²² König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 6; BGH NJW 2010, 3713; LG Mainz NZV 2012, 131.

²²³ BGH NJW 2005, 2081, 2082; BGH NJW 2010, 3713f.; OLG Karlsruhe NZV 2011, 196, 197.

²²⁴ BGH NJW 2005, 2081, 2082.

²²⁵ BGH NJW 2010, 3713, 3714; BGH NZV 2012, 131, insoweit abweichend von KG NZV 2000, 43, wonach das Ausweichmanöver des Dritten subjektiv vertretbar sein muss.

Trägt demnach die Fahrweise eines Fahrzeugs dazu bei, dass zum Beispiel ein begegnendes Fahrzeug von der Fahrbahn abkommt, ist der Unfall beim Betrieb des ersten Fahrzeugs verursacht.²²⁶

Beurteilung:

Da während der Überführung in den „risikominimalen Zustand“ das Überführungssystem die Fahraufgabe selbsttätig wahrnimmt, handelt es sich bei den Fahrbewegungen des Fahrzeugs im Verkehr um unmittelbare Auswirkungen des eingesetzten technischen Systems, also um dadurch ausgelöste Betriebsvorgänge. Kommt es im Zusammenhang mit diesen Betriebsvorgängen zu einem Unfall, hat sich darin die Betriebsgefahr des vom Überführungssystem gesteuerten Fahrzeugs verwirklicht,²²⁷ unabhängig davon, ob das Fahrzeug auf dem Fahrstreifen oder dem Seitenstreifen zum Halten gebracht werden soll und unabhängig vom Automatisierungsgrad des Fahrzeugs. Dabei kommt es unserer Ansicht nach nicht darauf an, dass der Unfall auf einem technischen Defekt des Überführungssystems beruht,²²⁸ mag auch die anschließende Unfallanalyse einen solchen im Regelfall ergeben. Maßgeblich erscheint dagegen, dass das Überführungssystem Betriebsvorgänge initiiert, steuert und ausführt, die ihrerseits eine Betriebsgefahr begründen. Die Betriebsgefahr verwirklicht sich deshalb auch, wenn es unter dem Einfluss des Überführungssystems (ohne dass ein Defekt vorliegt) zu einem Unfall kommt.

Während der Überführung spielt insbesondere die durch das Überführungssystem umgesetzte Fahrweise eine Rolle. Dies zeigt sich u.a. darin, dass auch ohne Kollision mit einem anderen Fahrzeug die Gefährdungshaftung ausgelöst wird, wenn das vom Überführungssystem gesteuerte Fahrzeug durch seine Bewegung im Verkehr auf der Autobahn Schäden durch Ausweichreaktionen anderer Fahrzeugführer hervorgerufen hat. Unfälle dieser Art, wie im Übrigen wohl auch Kollisionen, ließen sich wohl am besten dadurch vermeiden, dass die Fahrweise der Überführungssystems möglichst weitgehend dem Fahrverhalten eines sich verkehrsgerecht verhaltenden Fahrzeugführers

²²⁶ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 10.

²²⁷ So schon Gasser et al., S. 23 zum Nothalteassistenten; bestätigt in Gasser/Seeck/Smith, S. 27, 42.

²²⁸ So aber wohl Gasser/Seeck/Smith, S. 27, 38 für Betriebsgefahr von Fahrzeugen der verschiedenen Automatisierungsgrade. Im Ergebnis führt die unterschiedliche Einordnung jedoch nicht zu voneinander abweichenden Wertungen, da nach dieser Ansicht maschinelle Steuerungsentscheidungen, die kausal für einen Schaden sind, immer ein technisches Versagen darstellen, das die Betriebsgefahr begründet, Gasser, S. 543, 567 im Hinblick auf autonomes Fahren.

entspricht. Dazu gehörte z.B. der Fahrstreifenwechsel ohne Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer und das Setzen des Fahrtrichtungsanzeigers für den notwendigen Fahrstreifenwechsel als Teil der Überführung bzw. die Einschaltung des Warnblinklichts, wenn das Fahrzeug auf dem Seitenstreifen zum Halten gebracht werden soll (vgl. § 7 V StVO). Im Falle des Haltens auf dem Fahrstreifen wäre eine langsame Verminderung der Geschwindigkeit unter Setzen des Warnblinklichts (vgl. § 15 S. 1 StVO) weniger unfallträchtig als ein diesbezügliches, abruptes Fahrmanöver.

Fehler in der Beschaffenheit des Überführungssystems oder dessen Versagen lassen die Gefährdungshaftung wie auch sonstige technische Fehler nicht entfallen (§ 7 II, § 17 III 1 Hs. 2 StVG).

Soweit es im Rahmen des Schadensausgleichs zwischen Fahrzeughaltern nach § 17 I und II StVG auf den konkreten Verursachungsbeitrag ankommt, könnte sich je nach den Umständen des Einzelfalls der Einsatz der Überführungssystems bei Fahrerausfall in einer Senkung der anzurechnenden Betriebsgefahr niederschlagen, wenn hierdurch eine an sich unbeherrschbare Situation beherrschbar(er) wird. Dies dürfte grundsätzlich für alle Automatisierungsgrade gelten. Allerdings kommt das Überführungssystem in den Automatisierungsgraden 3 und 4 auch wegen einer zu kurzen Vorlaufzeit bei Übergabe an den Fahrer oder eines Systemausfalls zum Einsatz. Hier stellt das Überführungssystem einen gewissen Ausgleich für eine durch Versagen von Betriebseinrichtungen oder Fehler in der Beschaffenheit im Regelfall grundsätzlich erhöhte Betriebsgefahr dar.²²⁹ Dies könnte haftungsrechtlich möglicherweise positiv berücksichtigt werden, indem die anzurechnende Betriebsgefahr wegen des eingesetzten Überführungssystems nicht erhöht wird. Ob der Überführung des Fahrzeugs auf den Seitenstreifen oder dem Anhalten auf dem Fahrstreifen während des jeweiligen Manövers die größere Betriebsgefahr innewohnt, lässt sich indes nicht abstrakt feststellen. Hier werden vielmehr die Umstände des Einzelfalles von Bedeutung sein, insbesondere die umgebende Verkehrssituation auf der Autobahn wie z.B. Dichte und Schnelligkeit des Verkehrs. Die Verkehrssituation kann dabei ergeben, dass das Halten auf dem Fahrstreifen weniger gefährlich ist als der Fahrstreifenwechsel.

²²⁹ Vgl. König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 17 Rn. 13.

3. Endzustand: Halten auf dem Fahrstreifen bzw. auf dem Seitenstreifen einer Autobahn

a) Fortdauer des Betriebs: Parken, Halten und Liegenbleiben im öffentlichen Verkehrsraum

Da es sich bei der Autobahn oder einer sonstigen Schnellstraße um öffentlichen Verkehrsraum handelt, beschränken sich die folgenden Ausführungen auf denselben.

Das Fahrzeug ist nach dem verkehrstechnischen oder dem normativen Betriebsbegriff solange in Betrieb, wie es im (öffentlichen) Verkehr verbleibt (auch im ruhenden),²³⁰ und solange die durch den Betrieb verursachte Gefahrenlage fortbesteht.²³¹ Damit kann für parkende und sonst (an)haltende Fahrzeuge nicht in jedem Fall davon ausgegangen werden, dass sie sich nicht mehr in Betrieb befinden.

(aa) Parkende und haltende Fahrzeuge

Parkende und haltende Fahrzeuge (§ 12 StVO) sind in Betrieb, solange sie den Verkehr irgendwie beeinflussen können,²³² also in verkehrsgefährdender Weise abgestellt wurden.²³³ Ordnungswidrig im öffentlichen Verkehrsraum abgestellte Fahrzeuge sind daher in Betrieb, wenn gerade durch den Verstoß eine Verkehrsgefahr begründet worden ist und sich diese im Schaden realisiert hat.²³⁴ Im Gegensatz dazu wird vertreten, dass von ordnungsgemäß im öffentlichen Parkraum abgestellten Fahrzeugen, also auf ausschließlich für den ruhenden Verkehr bestimmten, von der Fahrbahn abgetrennten Flächen wie z.B. auf Parkplätzen, in Parkbuchten oder auf Parkstreifen, keine Betriebsgefahr mehr ausgeht.²³⁵ Der BGH geht dagegen unter Zugrundelegung des ver-

²³⁰ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 7; OLG München NZV 2004, 205.

²³¹ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 11; OLG München NZV 2004, 205; BGH NJW 1982, 2669 (Verschmutzung der Fahrbahn).

²³² König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 8; OLG München NZV 1996, 199, 200; OLG Köln NJW-RR 1987, 478.

²³³ BGH NZV 1995, 19, 20

²³⁴ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 5; OLG Köln NJW-RR 1987, 478; OLG Köln VersR 1993, 122; LG Nürnberg-Führt v. 26.07.2007, 8 O 2722/07, juris, Rn. 18; OLG Karlsruhe NZV 1990, 189 f.; OLG Karlsruhe VersR 1986, 155.

²³⁵ König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 5 mit weiteren Literaturnachweisen; Schwab DAR 2011, 11, 14, sofern nicht aus- oder eingestiegen wird bzw. das Fahrzeug be- oder entladen wird; OLG Hamburg VersR 1994, 1441; Tschernitschek, Anmerkung zu BGH NJW 1984, 41, NJW 1984, 41, 42; der BGH selbst hatte sich nur dahingehend geäußert, dass ein verkehrsgerecht auf dem Seitenstreifen geparktes Fahrzeug nicht allgemein geeignet sei, Unfälle herbeizuführen, NJW 1984, 41; a.A. Grüneberg NZV 2001, 109, 112: keine generelle Ausnahme für ordnungsgemäß geparkte Fahrzeuge, maßgeblich sei, ob der Schaden vom Schutzzweck der Norm umfasst wird.

kehrstechnischen Betriebsbegriffs davon aus, dass sich auch von einem auf dem Parkstreifen am Fahrbahnrand abgestellten Pkw in Betrieb befindet; dieser muss sich jedoch schadensursächlich auswirken.²³⁶

(bb) Liegegebliebene Fahrzeuge

Liegegeblieben sind Fahrzeuge, die wegen wirklicher oder vermeintlicher Betriebsstörung unfreiwillig anhalten müssen (vgl. § 15 StVO); diese Fahrzeuge halten nicht im Sinne von § 12 StVO.²³⁷ Im Rahmen der Halterhaftung stellt sich die Frage, unter welchen Voraussetzungen liegegebliebene Fahrzeuge eine Betriebsgefahr darstellen.

Der BGH hat schon sehr früh entschieden, dass ein Kfz, das wegen Motorschadens oder Treibstoffmangel auf der Fahrbahn einer dem Schnellverkehr dienenden Straße stehenbleibt, noch im Betrieb ist.²³⁸ Anders als noch in der Rechtsprechung des Reichsgerichts kommt es danach nicht auf die Dauer des Stehenbleibens an; auch wenn das Fahrzeug mit abgestelltem Motor für mehr als nur kurze Zeit nicht mehr fortbewegt werden könne, liege keine Beendigung des Fahrzeugbetriebs vor.²³⁹ Denn die von dem stehenden Fahrzeug ausgehenden Gefahren häufen sich eher noch, je länger es als Hindernis im öffentlichen Verkehr verbleibe.²⁴⁰ Der Unfall, der sich durch Kollision mit einem auf das haltende Fahrzeug auffahrenden Kfz ereignet, ist daher auch dem Betrieb des haltenden Fahrzeugs zuzurechnen.²⁴¹ Die Gefährdung endet erst, wenn das Fahrzeug von der Fahrbahn gezogen wird und an einem Ort außerhalb des öffentlichen Verkehrs abgestellt wird.²⁴² Die wesentliche Begründung dafür sah der BGH Ende der 1950er Jahre in der „gewaltigen Steigerung des Kfz-Verkehrs und seiner Gefahren“, sowohl hinsichtlich der Zunahme an sich wie auch mit Blick auf die Abwicklung des Verkehrs, mithin im Schutzzweck des § 7 I StVG.²⁴³ Gerade auf dem Fahrstreifen einer Autobahn würde ein stehendes Fahrzeug für den Kraftverkehr typische Gefährdungen für andere Verkehrsteilnehmer hervorrufen, die sogar größer sein

²³⁶ BGH NJW 1984, 41; KG NZV 2007, 358, 359.

²³⁷ König in Hentschel/König/Dauer, StVO § 12 Rn. 19; König in Hentschel/König/Dauer, StVO § 15 Rn. 2.

²³⁸ BGH NJW 1959, 627.

²³⁹ BGH NJW 1959, 627.

²⁴⁰ BGH NJW 1959, 627, 628.

²⁴¹ BGH NJW 1959, 627.

²⁴² BGH NJW 1959, 627, 628.

²⁴³ BGH NJW 1959, 627 und 628; Schwab DAR 2011, 11, 14.

können als die von einem fahrenden Fahrzeug ausgehenden.²⁴⁴ Unerheblich sei, ob der Fahrer freiwillig halte²⁴⁵ oder das Fahrzeug wegen eines technischen Defekts liegen bliebe.²⁴⁶ Von Interesse an dieser Entscheidung ist neben dem hier entschiedenen Einzelfall, dass eine am Schutzzweck orientierte Auslegung des § 7 I StVG den Raum für eine dynamische Interpretation der Vorschrift öffnet in dem Sinne, dass die Betriebsgefahr von Fahrzeugen mit der Entwicklung des Verkehrs hinsichtlich seines Umfangs und seiner Abwicklung und Schnelligkeit wachsen kann, aber auch mit den technischen Entwicklungen am Fahrzeug selbst.²⁴⁷

Dass auch das liegengebliebene und fahruntüchtige Kfz so lange in Betrieb bleibt, wie es aufgrund des Standortes Gefahren für den fließenden Verkehr hervorrufen kann, hat der BGH später bestätigt.²⁴⁸ Dies dürfte insbesondere für das auf dem Fahrstreifen einer Autobahn liegengebliebene Fahrzeug zutreffen, das für den nachfolgenden Verkehr eine gemeine Gefahr darstellt.²⁴⁹ Wird eine Autobahn durch ein Unfallgeschehen ganz oder teilweise blockiert, wirkt die Betriebsgefahr des für die Blockade ursächlichen Fahrzeugs fort, bis die Unfallstelle geräumt, ausreichend abgesichert oder jedenfalls soweit wieder befahrbar ist, dass keine besonderen Gefahren des Unfallgeschehens für den nachfolgenden Verkehr mehr bestehen.²⁵⁰ Eine fortdauernde Betriebsgefahr kann aber auch für das auf dem Seitenstreifen der Autobahn stehende Kfz gegeben sein²⁵¹, jedenfalls solange die erforderlichen Sicherungsmaßnahmen noch nicht getroffen sind.²⁵² Dies ist auch der Fall, wenn ein Lkw wegen einer Reifenpanne auf einer Brücke am rechten Fahrbahnrand anhält; ein solcher vorübergehender Stillstand beendet und unterbricht den Betrieb nicht.²⁵³ Eine Beendigung des Betriebsvorgangs liegt ebenfalls nicht vor, wenn das verunfallte Fahrzeug in einem Graben gleich neben dem Fahrbahnrand liegt und dadurch den Straßenverkehr weiter beeinflusst.²⁵⁴ Zum

²⁴⁴ BGH NJW 1959, 627; so auch Schwab DAR 2011, 11, 14 insbesondere für Beeinträchtigungen des fließenden Verkehrs von auf der Autobahn haltenden bzw. liegengebliebenen Fahrzeuge.

²⁴⁵ So im Falle BGH NJW 1957, 1878: Abstellen eines Lkw zur Nachruhe des Fahrers auf der Fahrbahn einer Bundesstraße.

²⁴⁶ BGH NJW 1959, 627 f.

²⁴⁷ Vgl. insoweit indirekt BGH NJW 1959, 627 und 628.

²⁴⁸ BGH NJW 1996, 2023; BGH v. 05.10.2010, Az. VI ZR 286/09, openjur, Rn. 32.

²⁴⁹ BGH NZV 2001, 75.

²⁵⁰ BGH NZV 2004, 243, 244.

²⁵¹ BGH NZV 2010, 609, 611; König in: Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 8.

²⁵² BGH NZV 2010, 609, 612.

²⁵³ OL Köln VersR 1978, 771.

²⁵⁴ LG Schweinfurt, NJW-RR 1993, 220.

Betrieb des liegengebliebenen Fahrzeugs gehören zudem Maßnahmen zur Beseitigung des Hindernisses.²⁵⁵

Auch Maßnahmen zur Absicherung des liegengebliebenen Fahrzeugs führen nicht in jedem Fall zu einer Beendigung des Betriebs. Denn auch Sicherungsmaßnahmen stehen grundsätzlich im Zusammenhang mit dem Betrieb des Fahrzeugs, jedenfalls wenn sie zur Sicherung der Unfallstelle unsachgemäß oder sogar gefährlich²⁵⁶ oder einfach unzureichend sind.²⁵⁷ Sind dagegen alle erforderlichen Sicherungsmaßnahmen nach einem Erstunfall getroffen, kann dies die Betriebsgefahr des verunfallten Fahrzeugs beenden.²⁵⁸ Ausreichende Sicherungsmaßnahmen können auch den Zurechnungszusammenhang zwischen der Betriebsgefahr des auf dem Fahrstreifen zum Stehen gekommenen Fahrzeugs und dem Zweitunfall unterbrechen.²⁵⁹

Ebenfalls zum Betrieb des auf dem Seitenstreifen einer Autobahn wegen einer Panne liegengebliebenen Fahrzeugs gehört das Verhalten des Insassen, wenn dieser vorbeifahrende Fahrzeuge um Hilfe bitten will und es dabei zu einer Kollision kommt, da das Verhalten durch den Betriebsvorgang Panne ausgelöst wurde und die Panne daher nicht nur der äußere Anlass für ein Verhalten aus freien Stücken war.²⁶⁰ Anders hat das OLG Hamm für den Fall entschieden, dass der Insasse eines verunfallten Fahrzeugs, das bereits außerhalb des Straßenrandes stand, am Fahrbahnrand um Hilfe nachsucht, wodurch es zu einem Ausweichmanöver eines anderen Fahrzeugs kam. Der Unfall des ausweichenden Fahrzeugs war nicht dem Betrieb des zuerst verunfallten Fahrzeugs zuzurechnen, da sich dieses außerhalb des Verkehrsraums auf einer Wiese befand, sich nicht mehr störend auf den Verkehr auf der Fahrbahn auswirkte und dessen Betriebsvorgänge daher abgeschlossen waren.²⁶¹

²⁵⁵ Vgl. OLG Köln VersR 1987, 1226 für das Erfassen des Fahrers eines verunfallten Lkw durch ein Fahrzeug auf der Gegenfahrbahn bei dem Versuch, ein durch den Unfall auf die Gegenfahrbahn geschleudertes Teil von der Fahrbahn zu beseitigen.

²⁵⁶ OLG Köln VersR 1978, 771 für roten Bierkasten zur Sicherung eines auf einer Brücke am rechten Fahrbahnrand wegen Reifenpanne abgestellten Fahrzeugs handelt, der bei guter Sicht auf den Lkw in nur geringer Entfernung von diesem aufgestellt wurde, daher leicht übersehen wurde und gegen den das auffahrende Fahrzeug zuerst geprallt ist.

²⁵⁷ vgl. BGH NZV 1988, 57.

²⁵⁸ BGH NZV 2010, 609, 612.

²⁵⁹ BGH NZV 2004, 243, 244.

²⁶⁰ OLG Frankfurt NZV 2004, 262, 263.

²⁶¹ OLG Hamm NZV 1999, 469, 470; a.A. König in Hentschel/König/Dauer, StVG § 7 Rn. 8.

Zum Betrieb können auch durch das abgestellte Fahrzeug ausgelöste Fahrmanöver Dritter gehören. So hat wiederum das OLG Hamm²⁶² im Falle eines auf dem Seitenstreifen der Autobahn abgestellten Lkw entschieden, dessen Fahrer den Lkw verließ, um auf der Fahrbahn liegende Fahrzeugladepapiere aufzusammeln. Der abgestellte Lkw veranlasste ein nachfolgendes Fahrzeug zum Wechsel auf die mittlere Fahrbahn, wodurch das diesem nachfolgende Fahrzeug auf der linken Fahrbahn überholen wollte. Wegen des dort am linken Fahrbahnrand fahrenden Lkw-Fahrers zog das überholende Fahrzeug wieder nach rechts und kollidierte dort mit dem ersten, auf den Mittelstreifen gewechselten Fahrzeug.

(cc) Zusammenfassung

Parkende, haltende oder liegengebliebene Fahrzeuge stellen dann eine Betriebsgefahr dar, wenn sie durch ihren Standort weiterhin den Verkehr in verkehrsgefährdender Art und Weise beeinflussen und diese Gefahr schadensursächlich wurde, der eingetretene Schaden also vom Schutzzweck der Gefährdungshaftung umfasst wird. Hinsichtlich dieses Ausgangspunktes besteht in Rechtsprechung und Literatur Einigkeit, mag es auch geringfügige Abweichungen in der Beurteilung konkreter Einzelfälle geben. Bei im öffentlichen Verkehrsraum liegengebliebenen Fahrzeugen ist davon auszugehen, dass sie grundsätzlich weiter eine Betriebsgefahr darstellen; allenfalls ausreichende Sicherungsmaßnahmen können hier zu einem Betriebsende führen und damit die Halterhaftung entfallen lassen.

b) Beurteilung

Mit Blick auf den Untersuchungsgegenstand ist davon auszugehen, dass ein so gestopptes Fahrzeug nicht parkt oder hält im Sinne von § 12 StVO, sondern liegen geblieben ist, im Sinne von § 15 StVO. In den jeweiligen Ausgangssituationen für den Einsatz des Überführungssystems lag eine Betriebsstörung vor, wobei die Ursache für

²⁶² OLG Hamburg NZV 2009, 187, 189.

die Betriebsstörung unerheblich ist.²⁶³ Maßgeblich ist vielmehr, dass das Fahrzeug unabhängig vom Willen des Fahrzeugführers hält.²⁶⁴ Davon ist sowohl bei den technischen Defekten in den Ausgangssituationen wie auch beim Ausfall des Fahrers auszugehen.

(aa) Halten auf dem Fahrstreifen

Kommt das Fahrzeug auf dem Fahrstreifen der Autobahn zum Stehen, stellt es ein Hindernis für den nachfolgenden, zumeist mit hohen Geschwindigkeiten sich bewegendem Verkehr dar. Von ihm geht dementsprechend wegen seines Standorts im öffentlichen Verkehrsraum grundsätzlich eine Betriebsgefahr aus. Diese wird sich im Regelfall in einem Auffahrunfall auch realisieren.

Eine sachgemäße und ausreichende Sicherung der Unfallstelle kann die Betriebsgefahr auch eines auf dem Fahrstreifen stehenden Fahrzeugs beenden. Was in diesem Sinne erforderlich ist, hängt von den Umständen des Einzelfalls ab. Das Setzen des Warnblinklichts (vgl. § 15 S. 1 StVO) wird im Regelfall nicht genügen. Insbesondere bei schnellem Verkehr, wie er auf der Autobahn zumeist herrscht, ist nämlich grundsätzlich ein warnendes Zeichen gut sichtbar in etwa 100 m Entfernung von der Unfallstelle aufzustellen (vgl. § 15 S. 2 StVO). Diese Vorschriften wenden sich zwar an den Fahrzeugführer, geben aber darüber hinaus auch einen Hinweis darauf, welche Sicherungsmaßnahmen der Verordnungsgeber an der Unfallstelle im Regelfall erwartet. Allerdings sind auch diese Sicherungsmaßnahmen nur dann notwendig, wenn sie die Sicherheit tatsächlich verbessern; gegebenenfalls können auch andere oder weitere Maßnahmen für eine ausreichende Sicherung erforderlich sein.²⁶⁵ Eine sachgemäße Sicherung der Unfallstelle wird im Regelfall nicht ohne menschliches Zutun erreichbar sein. Bis dahin dauert die Betriebsgefahr jedoch fort und ist auch das menschliche Handeln zur Absicherung der Unfallstelle der Betriebsgefahr des liegengebliebenen Fahrzeugs zuzurechnen.

Mit Blick auf den Schadensausgleich nach § 17 I und II StVO und die dafür maßgeblichen Verursachungsbeiträge verschiedener am Unfall beteiligter Fahrzeughalter könnte sich bei Ausfall des Fahrers durch den Einsatz des Überführungssystems die

²⁶³ Vgl. König in Hentschel/König/Dauer, StVO § 15 Rn. 2.

²⁶⁴ Vgl. König in Hentschel/König/Dauer, StVO § 15 Rn. 2.

²⁶⁵ Vgl. König in Hentschel/König/Dauer, StVO § 15 Rn. 5.

anzurechnende Betriebsgefahr verringern. Dabei wäre für alle Automatisierungsgrade zu berücksichtigen, dass eine an sich unbeherrschbare Situation beherrschbar(er) wird. Das Fahrzeug blockiert in jedem Falle nur einen Fahrstreifen. In den Automatisierungsgraden 3 und 4 stellt der Einsatz des Überführungssystems wegen einer zu kurzen Vorlaufzeit oder einem Systemausfall lediglich einen gewissen Ausgleich für die technischen Betriebsstörungen dar, so dass sich die Betriebsgefahr möglicherweise wenigstens nicht erhöht.²⁶⁶ Allerdings ist bei der konkreten Beurteilung zu berücksichtigen, dass ein Hindernis auf der Autobahn grundsätzlich zu einer erhöhten Betriebsgefahr führt.²⁶⁷ Eine Senkung der anzurechnenden Betriebsgefahr kann sich je nach der konkreten Verkehrssituation und je nachdem, auf welchem Fahrstreifen das Fahrzeug anhält, ergeben. Die Verkehrssituation könnte sich etwa so gestalten, dass die von dem auf dem Fahrstreifen stehenden Fahrzeug ausgehende Betriebsgefahr nicht oder nur unmaßgeblich schadensursächlich geworden ist, etwa wegen eines schweren Fehlverhaltens des nachfolgenden Fahrzeugs bei dichtem, langsamen oder fast stehendem Verkehr oder bei einem Anhalten auf dem rechten Fahrstreifen, auf dem langsame Fahrzeuge ohnehin überholt werden können.²⁶⁸ Dies gilt für alle Automatisierungsgrade, wobei neben dem Überführungssystem hier vor allem die konkrete Verkehrssituation für die Bewertung der Betriebsgefahr und der Verursachungsanteile von Bedeutung ist.

(bb) Halten auf dem Seitenstreifen

Das Halten auf dem Seitenstreifen beendet die Betriebsgefahr nicht ohne weiteres. Eine Verkehrsbeeinflussung und damit eine Gefährdung können sich etwa ergeben, wenn Fahrzeuge wegen des auf dem Seitenstreifen liegegebliebenen Fahrzeugs die Spur wechseln. Erforderlich für eine Beendigung der Betriebsgefahr sind auch hier sachgemäße und ausreichende Maßnahmen zur Absicherung der Unfallstelle. Insofern kann auf die Ausführungen unter B.II.3.b)(aa) verwiesen werden.

Mit Blick auf die Verursachungsbeiträge verschiedener Fahrzeughalter beim Schadensausgleich nach § 17 I und II StVG dürfte ein Halten auf dem Seitenstreifen die Betriebsgefahr jedenfalls nicht erhöhen, wenn das Fahrzeug an sich in diesem Szenario

²⁶⁶ Vgl. oben B.II.2.

²⁶⁷ BGH NZV 2004, 243, 244.

²⁶⁸ Z.B. durch ungebremstes Auffahren auf eine Unfallstelle, BGH NZV 2004, 243, 244.

kein unmittelbares Hindernis für den fließenden Verkehr mehr darstellt. Für den Einsatz des Überführungssystems bei Ausfall des Fahrers könnte sich, wie schon dargelegt, sogar eine Minderung der anzurechnenden Betriebsgefahr ergeben. Allerdings geht die Rechtsprechung davon aus, dass das Verhalten von Personen, etwa auch des Fahrers und sonstiger Insassen, sehr wohl dem Betrieb des außerhalb des Fahrstreifens liegendebliebenen Fahrzeugs zuzurechnen ist, jedenfalls solange die Unfallstelle nicht sachgemäß abgesichert ist.²⁶⁹

III. Zusammenfassung

Eine sachgerechte Bewertung der Betriebsgefahr bei Einsatz von Systemen zur Überführung in den risikominimalen Zustand kann nicht nur von der Wirkungsweise des Überführungssystems selbst ausgehen. Zwar spielt die technische Ausstattung eine Rolle bei der Bewertung der Betriebsgefahr. Jedoch kommt es darüber hinaus auch auf das (nicht mehr mögliche) Zusammenwirken mit dem Menschen sowie auf die konkrete Verkehrssituation an, die zum Unfall geführt hat. Gerade die Komplexität und Variabilität unterschiedlichster Verkehrssituationen lässt generelle Feststellungen zur Betriebsgefahr beim Einsatz der Überführungssysteme nur schwer zu. Im Ergebnis der Untersuchung lassen sich jedoch folgende Aussagen treffen:

1. Die Wirkungen der Überführungssysteme gehören wie die jeder technischen Fahrzeugausstattung zu der vom Fahrzeug ausgehenden Betriebsgefahr. Fehlfunktionen der Überführungssysteme lassen die Betriebsgefahr weder als höhere Gewalt noch als unabwendbares Ereignis zwischen Fahrzeughaltern entfallen, sondern erhöhen diese.
2. Sowohl das Halten auf dem Fahrstreifen als auch das Halten auf dem Seitenstreifen lassen die Betriebsgefahr allenfalls nach ausreichender und sachgemäßer Sicherung der Unfallstelle entfallen. Dafür werden im Regelfall vom Menschen getroffene Maßnahmen erforderlich sein.
3. Es lässt sich nicht grundsätzlich feststellen, welcher der Endzustände (Halten auf dem Fahrstreifen oder auf dem Seitenstreifen) und welche der zu ihrer Herbeiführung notwendigen Fahrmanöver im Vergleich weniger gefährlich sind. Dies ist maßgeblich von der jeweiligen Verkehrssituation abhängig.

²⁶⁹ Vgl. B.II.3.a)(bb).

4. Eine Verringerung der Betriebsgefahr des Fahrzeugs durch Systeme zur Überführung in den „risikominimalen Zustand“ lässt sich unabhängig vom Automatisierungsgrad des Fahrzeugs v.a. im Falle ihres Einsatzes bei Ausfall des Fahrers begründen, denn in diesem Fall wird eine unbeherrschbare Situation durch das System beherrschbar(er).

Kommt das System dagegen in den Automatisierungsgraden 3 und 4 bei zu kurzen Vorlaufzeiten für die Übernahme durch den Fahrzeugführer bzw. bei Systemausfall zum Einsatz, stellt das Überführungssystem einen technischen Ausgleich für technische Probleme dar, der die Betriebsgefahr bestenfalls nicht erhöht.

D. Zulassungsrecht

I. Übersicht über das Zulassungsrecht

Gemäß § 1 StVG sowie der Verordnungsermächtigung in § 6 I Nr. 2 StVG regelt das Zulassungsrecht die Voraussetzungen, unter denen Fahrzeuge am Verkehr auf öffentlichen Straßen teilnehmen dürfen.²⁷⁰ Die StVZO²⁷¹ geht dabei in § 16 I vom Grundsatz der Verkehrsfreiheit²⁷² aus: Fahrzeuge dürfen danach grundsätzlich ohne besonderes Erlaubnisverfahren am Straßenverkehr teilnehmen, es sei denn, für bestimmte Fahrzeugarten ist etwas anderes vorgeschrieben. Kraftfahrzeuge für den Einsatz auf Autobahnen oder autobahnähnlichen Schnellstraßen, die im Projekt Gegenstand der Untersuchung sind, benötigen dementsprechend gemäß §§ 1, 6 Nr. 2 lit. a) StVG i.V.m. §§ 1, 3 I FZV²⁷³ für ihre Inbetriebsetzung auf öffentlichen Straßen eine verwaltungsbehördliche Zulassung.

Die Zulassung hängt gemäß § 3 I 2 FZV von verschiedenen Voraussetzungen ab. Im vorliegenden Zusammenhang interessiert lediglich das Erfordernis einer Typgenehmigung für das Kraftfahrzeug. Diese Anforderung verweist gemäß § 2 Nr. 4 und 5 FZV entweder auf eine EG-Typgenehmigung oder eine nationale Typgenehmigung (auch allgemeine Betriebserlaubnis i.S.d. StVZO). Die Typgenehmigung bestätigt die Übereinstimmung des Fahrzeugs bzw. seiner Bauteile oder technischen Einheiten mit den einschlägigen Vorschriften und technischen Anforderungen (EG-Typgenehmigung) bzw. den geltenden Bauvorschriften (nationale Typgenehmigung).²⁷⁴ Dabei handelt es um Regelungen über die Beschaffenheit und technische Ausrüstung des Fahrzeugs, die insbesondere im Interesse der Verkehrssicherheit bestehen.²⁷⁵ Die Genehmigung stellt also eine fahrzeug(typ)bezogene technische Betriebserlaubnis dar,²⁷⁶ für deren Erlangung entsprechende Sicherheitsnachweise erbracht werden müssen.

²⁷⁰ Die Fahrerlaubnisverordnung regelt dagegen die Voraussetzungen für die Teilnahme von Personen am Straßenverkehr. Sie geht dabei ebenfalls vom Grundsatz der Verkehrsfreiheit aus (§ 1 FeV), verlangt aber von Personen, die im öffentlichen Straßenverkehr ein Kraftfahrzeug führen wollen, eine Fahrerlaubnis (§ 2 StVG i.V.m. § 4 FeV).

²⁷¹ Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung vom 26. April 2012, BGBl. I S. 679.

²⁷² Dauer in: Hentschel/König/Dauer, StVZO, § 16, Rn. 1.

²⁷³ Fahrzeug-Zulassungsverordnung vom 03. Februar 2011, BGBl. I S. 139.

²⁷⁴ Meyer in: Bender/König, StVZO, § 19 Rn. 3

²⁷⁵ Vgl. beispielhaft § 30 I und III StVZO.

²⁷⁶ Der Begriff Betriebserlaubnis ist dem deutschen Sprachgebrauch in der StVZO entnommen (vgl. § 18), während die FZV entsprechend dem EU-Recht von Genehmigung spricht, vgl. Rebler RAW 2013, 20.

1. EU-rechtliche Vorgaben

Im Einsatzbereich der Überführungssysteme werden insbesondere Kraftfahrzeuge der Fahrzeugklassen M - vorwiegend für die Beförderung von Fahrgästen und deren Gepäck ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge - und N - vorwiegend für die Beförderung von Gütern ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge - verwendet. Rechtsgrundlage für deren Typgenehmigung ist die Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. September 2007 zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge,²⁷⁷ die durch die EG-FGV²⁷⁸ in deutsches Recht umgesetzt wurde.²⁷⁹ Von der Richtlinie werden gemäß Art. 3 Nr. 11 Kraftfahrzeuge mit eigener Antriebsmaschine, mindestens vier Rädern und einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von mehr als 25 km/h erfasst (vgl. auch § 3 Abs. 1 EG-FGV).

Für alle Neufahrzeuge, die diese Voraussetzungen erfüllen und damit in ihren Anwendungsbereich fallen, hat die Richtlinie ein einheitliches Genehmigungsverfahren geschaffen (vgl. Art. 1), das auf dem Grundsatz der vollständigen Harmonisierung der technischen Merkmale beruht, wie der EuGH unter Verweis auf Art. 1 sowie die Erwägungsgründe 2, 3 und 14 zur Richtlinie festgestellt hat.²⁸⁰ Sofern für die genannten Fahrzeuge vom Hersteller eine EG-Typgenehmigung²⁸¹ beantragt wird (§ 3 Abs. 5 S. 1 EG-FGV i.V.m. Art. 6 und 7 Richtlinie 2007/46/EG), gelten daher für die von der Richtlinie erfassten Ausstattungsmerkmale ausschließlich die dort festgelegten Anforderungen (§ 4 Abs. 4 EG-FGV i.V.m. Art. 8 Richtlinie 2007/46/EG).²⁸² Die nationalen Bestimmungen der StVZO kommen dann nicht mehr zur Anwendung.

²⁷⁷ Vgl. Anhang II Teil A Nr. 1 der Richtlinie, ABl. L 263 vom 09. Oktober 2007, S. 1, zuletzt geändert durch Verordnung (EU) 2015/758, ABl. L 123 vom 19. Mai 2015, S. 77. Die Richtlinie gilt auch für Fahrzeuge der Fahrzeugklasse O: Anhänger, die sowohl für die Beförderung von Gütern und Fahrgästen als auch für die Unterbringung von Personen ausgelegt und gebaut sind, ebd.

²⁷⁸ EG-Fahrzeuggenehmigungsverordnung vom 03. Februar 2011, BGBl. I S. 126.

²⁷⁹ Vgl. Zunner in: Bender/König, EG-FGV, § 4 Rn. 2.

²⁸⁰ EuGH v. 20.3.2014, Rs. C-639/11, Kommission ./ Polen, Rn. 34; dies gilt auch für die Festlegungen in Richtlinie 2002/24/EG - vgl. Art. 4 Abs. 1 und 6 - und in Richtlinie 2003/37/EG - vgl. Erwägungsgrund 4, Art. 4 Abs. 1 und 2.

²⁸¹ Eine nationale Typgenehmigung kommt nur bei Kleinserien von Fahrzeugen in Betracht. Sie können alternativ zu den EU-rechtlichen Vorgaben nach den Vorschriften der StVZO genehmigt werden. Vgl. § 11 I EG-FGV i.V.m. Art. 23 Richtlinie 2007/46.

²⁸² Vgl. auch Art. 4 Abs. 3 Richtlinie 2007/46/EG, wonach die Mitgliedstaaten die Zulassung, den Verkauf, die Inbetriebnahme oder die Teilnahme am Straßenverkehr von Fahrzeugen, Bauteilen oder selbstständigen technischen Einheiten nicht unter Verweis auf die von dieser Richtlinie erfassten Aspekte des Baus oder der Wirkungsweise untersagen, beschränken oder behindern dürfen, wenn diese den Anforderungen dieser Richtlinie entsprechen.

Die Richtlinie verweist hinsichtlich der konkret einzuhaltenden Beschaffenheitsvorschriften auf weitere Rechtsakte.²⁸³ Zu diesen Rechtsakten gehören zum einen zahlreiche Einzelrichtlinien und Einzelverordnungen²⁸⁴, unter denen wiederum die Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit²⁸⁵ von besonderer Relevanz ist. Sie erlangt ab dem 1. Januar 2017 volle Verbindlichkeit (vgl. Art. 20). Zudem gehören zu den einzuhaltenden Rechtsakten die von der EU angenommenen Regelungen der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UN Economic Commission for Europe), die so genannten UN-Regelungen.²⁸⁶

2. UN-Regelungen

Die EU ist mit Beschluss 97/836/EG²⁸⁷ des Rates vom 27. November 1997 mit Wirkung vom 23. Januar 1998 beigetreten dem Übereinkommen der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen über die Annahme einheitlicher technischer Vorschriften für Radfahrzeuge, Ausrüstungsgegenstände und Teile, die in Radfahrzeuge(n) eingebaut und/oder verwendet werden können und die Bedingungen für die gegenseitige Anerkennung von Genehmigungen, die nach diesen Vorschriften erteilt wurden ("Geändertes Übereinkommen von 1958").²⁸⁸

Ähnlich wie im Rahmen der Europäischen Union ist das Ziel des Abkommens die Etablierung einheitlicher technischer Standards als Voraussetzung für die gegenseitige Anerkennung von die Vorschriftsmäßigkeit bestätigenden Genehmigungen für Fahrzeugtypen bzw. -teile (vgl. Art 2 und 3 des Abkommens). Das Abkommen enthält selbst

²⁸³ Vgl. Art. 9 Abs. 1 lit. a) i.V.m. Art. 3 Nr. 1 sowie Anhang IV Richtlinie 2007/46/EG.

²⁸⁴ Vgl. Art. 9 Abs. 1 lit. a) i.V.m. Art. 3 Nr. 1 und 2 sowie Anhang IV Richtlinie 2007/46/EG.

²⁸⁵ ABl. L 200 vom 31. Juli 2009, S. 1, zuletzt geändert durch Verordnung (EU) 2015/166, ABl. L 28 vom 4. Februar 2015, S. 3.

²⁸⁶ Art. 9 Abs. 1 i.V.m. Art 3 Nr. 1 und Anhang IV Richtlinie 2007/46/EG.

²⁸⁷ ABl. L 346 vom 17. Dezember 1997, S. 78.

²⁸⁸ Englisch: Agreement concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be fitted and/or be used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of These Prescriptions.

²⁸⁸ Deutschland ist ebenfalls Vertragspartner und hat den Vertrag mit Gesetz vom 20. Mai 1997 zur Revision des Übereinkommens vom 20. März 1958 über die Annahme einheitlicher Bedingungen für die Genehmigung der Ausrüstungsgegenstände und Teile von Kraftfahrzeugen und über die gegenseitige Anerkennung der Genehmigung angenommen, BGBl. II S. 998. Die Mitgliedstaaten können ECE-Regelungen annehmen, denen die Union nicht beigetreten ist, vorausgesetzt die Regelungen sind mit EU-Recht vereinbar, vgl. Art. 6 Abs. 1 Beschluss 97/836/EU.

keine Vorschriften über die Beschaffenheit von Fahrzeugen oder Fahrzeugteilen, etabliert aber den rechtlichen Rahmen für die Setzung derartiger Regelungen. Dazu sieht es in Art. 1 die Einrichtung eines aus Vertretern aller Vertragsparteien bestehenden Verwaltungskomitees - als „World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations – WP.29“ bezeichnet - vor, durch das die technischen Regelungen verabschiedet werden. Technische Regelungen kommen gemäß Art. 1 II zustande, wenn nicht innerhalb von 6 Monaten nach deren Notifikation mehr als ein Drittel der Vertragsparteien der notifizierten Regelung widersprochen hat. Die Regelung tritt jedoch nur für diejenigen Vertragsparteien in Kraft, die nicht widersprochen haben (Art. 1 III), d.h. gegen den Willen einer Vertragspartei kann keine technische Regelung für diese verbindlich werden. Inzwischen sind 136 solcher technischen Regelungen in Kraft.²⁸⁹ Die von der EU verbindlich anerkannten UN-Regelungen sind in der Richtlinie 2007/46/EG aufgeführt²⁹⁰ und stellen damit für die Mitgliedstaaten verbindliches EU-Recht dar.

3. Nationale Vorgaben

Das nationale Recht enthält in den §§ 30 bis 31e StVZO allgemeine Bau- und Betriebsvorschriften für Fahrzeuge und darüber hinaus in §§ 32 bis 62 StVZO besondere Vorschriften für Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger. Diese Regelungen kommen mit Blick auf die im Einsatzbereich der Überführungssysteme verwendeten Fahrzeugklassen nur im Ausnahmefall zur Anwendung, z.B. wenn eine nationale Kleinserien-Typgenehmigung gemäß Art. 23 Richtlinie 2007/46/EG i.V.m. § 11 I EG-FGV beantragt wird. Allerdings lässt das nationale Recht wiederum die Einhaltung EU-rechtlicher Vorgaben anstelle der nationalen für die Erteilung der Genehmigung zu (§ 19 Abs. 1 S. 2 StVZO).²⁹¹

²⁸⁹ Vgl. UNECE, <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs1-20.html> (letzter Zugriff: 19.05.2016).

²⁹⁰ Vgl. Anhang IV.

²⁹¹ Meyer in: Bender/König, StVZO, § 19 Rn. 7.

II. Bauvorschriften für Fahrerassistenzsysteme

1. EU-Recht

a) Überblick über rechtliche Vorgaben

Gemäß den zeitlichen Vorgaben in Art. 13 der Verordnung (EG) Nr. 661/2009 müssen Neufahrzeuge bestimmter Fahrzeugklassen sukzessive mit verschiedenen Assistenzsystemen ausgestattet werden, die den Vorschriften der Verordnung und den dazu ergangenen Durchführungsmaßnahmen entsprechen.

Bei den vorgesehenen Assistenzsystemen handelt es sich mit Blick auf ihre Wirkweise²⁹² zum einen um informierende und warnende Systeme (Wirkweise A):

- Reifendrucküberwachungssystem gemäß Art. 9 II i.V.m. Art. 3 Nr. 7, das vor einem Verlust des Reifendrucks warnt, für Fahrzeuge der Klasse M1²⁹³
- Spurhaltewarnsystem gemäß Art. 10 II i.V.m. Art. 3 Nr. 4, das den Fahrzeugführer vor dem unwillentlichen Verlassen der Fahrspur warnt, für Fahrzeuge der Klassen M2, M3, N2 und N3²⁹⁴
- Gangwechselanzeiger Art. 11 i.V.m. Art. 3 Nr. 15, der dem Fahrzeugführer den Gangwechsel anzeigt, v.a. für Fahrzeuge der Klasse M1.

Vorgeschrieben wird des Weiteren gemäß Art. 12 i.V.m. Art. 3 Nr. 1 die Ausrüstung verschiedener Fahrzeugklassen (u.a. M1 und N1²⁹⁵) mit einem elektronischen Fahrdynamik-Regelsystem zur fahrdynamischen Stabilisierung des Fahrzeugs, das zu den Notfallsystemen (Wirkweise C) gehört.²⁹⁶

Schließlich sieht die Verordnung in Art. 10 I die Ausrüstung von Fahrzeugen der Klassen M2, M3, N2 und N3 mit einem Notbrems-Assistenzsystem vor, das nach Art. 3 Nr. 5 ein System ist, das eine Gefahrensituation selbstständig erkennt und das Abbremsen des Fahrzeugs veranlassen kann, um einen Zusammenstoß zu verhindern oder abzu-

²⁹² Vgl. Gasser, DAR 2015, 6, 7.

²⁹³ M1: Fahrzeuge der Klasse M (vorwiegend zur Beförderung von Personen und deren Gepäck) mit höchstens acht Sitzplätzen und dem Fahrersitz, ohne Stehplätze. Dazu gehören insbesondere normale Pkw. Zu den Fahrzeugklassen vgl. Art. 2 Verordnung (EG) Nr. 661/2009 i.V.m. Anhang II Teil A Richtlinie 2007/46/EG.

²⁹⁴ M2: Fahrzeuge der Klasse M mit mehr als 8 Sitzplätzen sowie Fahrersitz und einer Gesamtmasse von höchstens 5 Tonnen, ggf. mit Stehplätzen; M3: wie M2, aber mit Gesamtmasse von mehr als 5 Tonnen; N2: Fahrzeuge der Klasse N (vorwiegend zur Beförderung von Gütern) mit einer Gesamtmasse von mehr als 3,5 Tonnen und höchstens 12 Tonnen; N3: wie N2, aber mit einer Gesamtmasse von mehr als 12 Tonnen.

²⁹⁵ N1: Fahrzeuge der Klasse N mit bis zu 3,5 Tonnen.

²⁹⁶ Vgl. Gasser, DAR 2015, 6, 7.

mildern. Es gehört zu den eingreifenden Notfallfunktionen (Wirkweise C). Insbesondere ein „normaler“ Personen-Pkw (Fahrzeugklasse M1) muss nach dieser Vorgabe (noch) nicht mit einem Notbremssystem ausgestattet werden.

Der Vollständigkeit halber sei in diesem Zusammenhang auch auf die Verordnung (EU) 2015/758 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2015 über Anforderungen für die Typgenehmigung zur Einführung des auf dem 112-Notruf basierenden bordeigenen eCall-Systems in Fahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG²⁹⁷ hingewiesen. Fahrzeuge der Fahrzeugklassen M1 und N1 sind danach ab 31. März 2018 mit eCall-Systemen zur frühzeitigen Alarmierung der Notdienste im Falle eines schweren Unfalls auszustatten (vgl. Art. 2 Abs. 1, Art. 4, Art. 14 Abs. 3).

b) Relevanz für den Untersuchungsgegenstand

Überführungssysteme mit den im Untersuchungsgegenstand beschriebenen Funktionen schreibt der europäische Gesetzgeber bisher nicht vor. Doch dürfte ein Überführungssystem insbesondere auf der elektronischen Fahrdynamik-Regelung und dem Notbrems-Assistenzsystem aufbauen. Hinsichtlich der technischen Anforderungen an die Fahrdynamik-Regelung verweist das Verzeichnis der verbindlichen UN-Regelungen in Anhang IV Verordnung (EG) Nr. 661/2009 auf die Regelungen in

- Anhang 21 UN-Regelung 13 u.a. für die Fahrzeugklassen M2, M3 und N sowie
- Anhang 9 Teil A UN-Regelung 13-H für die Fahrzeugklassen M1 und N1.²⁹⁸

Hinsichtlich des Notbrems-Assistenzsystems hat die Kommission mit der Verordnung (EU) Nr. 347/2012 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Typgenehmigung von Notbremsassistenten (AEBS) formuliert. Diese ergeben sich gemäß Art. 4 III aus Anhang II Verordnung (EU) Nr. 347/2012. Die Funktionsanforderungen sehen in Nr. 1.2.1 eine Kollisionswarnung an den Fahrzeugführer vor, an die sich nach Nr. 1.2.2 die Notbremsphase anschließt. In der Notbremsphase muss eine deutliche Verringerung der Geschwindigkeit erreicht werden (Nr. 1.2.2) - die zu erreichenden Werte ergeben sich aus Nr. 2.4.5 i.V.m. den Anlagen 1 und 2 -, wobei die Kollision mit einem beweglichen Ziel

²⁹⁷ ABI. L 123 vom 19.5.2015, S. 77ff.

²⁹⁸ Vgl. auch Nr. 9A und Nr. 9B in Anhang IV Richtlinie 2007/46/EG.

²⁹⁹ ABI. L 109 vom 21. April 2012, S. 1. Verordnung gemäß Art. 14 Verordnung (EG) Nr. 661/2009.

vermieden werden muss (Nr. 2.5.3). Die Anforderungen an die Überführungssysteme hinsichtlich der Vermeidung der Kollision mit vorausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen Fahrstreifen dürften im Falle einer entsprechenden Notbremssituation nicht geringer ausfallen. Zu berücksichtigen ist dabei, dass diese Anforderungen „vorläufiger“ Natur sind. Denn Grundlage für die Leistungsanforderungen war ausweislich des Erwägungsgrundes 5 Verordnung (EU) Nr. 347/2012 eine Kosten-/Nutzenanalyse hinsichtlich der technischen und der Sicherheitsaspekte sowie der Wunsch, weitere Erfahrungen mit den Systemen zu machen und weitere technische Entwicklungen zu ermöglichen sowie zu international harmonisierten Regelungen im Rahmen der UN/ECE zu gelangen.

2. UN-Regelungen

Für die Fahrzeugklassen M1 und N1 regelt die UN-Regelung 13-H die Anforderungen an Bremsen.³⁰⁰ Die Anforderungen stehen einer automatischen Bremsung, wie sie auch in den Überführungssystemen verwendet werden, nicht entgegen.³⁰¹

Einer Automatisierung im Sinne eines Überführungssystems, welches das Fahrzeug auf den Seitenstreifen lenkt, steht auch nicht die Regelung zu Fahrerassistenz-Lenkanlagen in Ziffer 2.3.4.f. der UN-Regelung 79³⁰² entgegen, nach der eine automatische Lenkung nur bei niedrigen Geschwindigkeiten (nach Ziffer 5.1.6.1. bis zu 12 km/h) und bei Parkvorgängen zulässig ist.³⁰³ Fahrerassistenz-Lenkanlagen sind nach Ziffer 2.3.4 dadurch gekennzeichnet, dass sie den Fahrer bei der Steuerung des Fahrzeugs unterstützen, dieser aber die Hauptverantwortung für die Steuerung behält. Im Einsatzfall der Überführungssysteme ist der Fahrzeugführer jedoch nicht handlungsfähig und kann somit die Hauptverantwortung für die Steuerung nicht ausüben (Notfallsystem nach Wirkweise C). Solche Systeme werden von der UN-Regelung 79 bisher nicht erfasst.

Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass inzwischen eine informelle Arbeitsgruppe der „Working Party on Brakes and Running Gear“ innerhalb des „World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations“ an Änderungsvorschlägen für die UN-Regelung

³⁰⁰ Zur Verbindlichkeit im EU-Recht vgl. Nr. 9B Anlage IV Richtlinie 2007/46/EG.

³⁰¹ Lutz, S. 33, 46.

³⁰² Zur Verbindlichkeit im EU-Recht vgl. Nr. 5A Anhang IV Richtlinie 2007/46/EG.

³⁰³ Anders jedoch für automatische Lenkanlagen ab dem Automatisierungsgrad 3 im Rahmen der kontinuierlichen Fahrzeugautomatisierung (Wirkweise B), vgl. dazu Lutz, S. 33, 47.

79 arbeitet, die den Einsatz automatischer Lenksysteme über die bisherige Geschwindigkeitsgrenze hinaus im Überlandverkehr ermöglichen sollen.³⁰⁴ Ein (informeller) Vorschlag³⁰⁵ zur Einbeziehung derartiger Steuerungssysteme in die UN-Regelung 79 wurde von der Arbeitsgruppe auf der 81. Sitzung der Working Party on Brakes and Running Gear vorgelegt.³⁰⁶ Die informelle Arbeitsgruppe will ihre Arbeit bis September 2016 abschließen (Nr. I-6).³⁰⁷

III. Allgemeine Sicherheitsanforderungen an Fahrzeuge

Vorschriften über die Beschaffenheit von Fahrzeugen, gleich, ob im nationalen, europäischen oder internationalen Recht, sind in der Regel Wirkvorschriften: Sie geben keine bestimmte Konstruktion vor, sondern definieren das zu erreichende Ziel, also den gewünschten Erfolg; die Art und Weise der Umsetzung obliegt den Fahrzeugherstellern.³⁰⁸ Dies gilt insbesondere für Vorschriften, die allgemein auf eine zu gewährleistende Sicherheit abstellen, aber ganz überwiegend auch für die technischen Spezifikationen.

Wie aufgezeigt, liegen derzeit für Überführungssysteme keine technischen Spezifikationen vor. Im Folgenden sollen daher Anforderungen an die Sicherheit der Überführungssysteme betrachtet werden, die sich aus den allgemeinen Regelungen ergeben.

1. Rechtliche Anforderungen an die Sicherheit in der Verordnung (EG) Nr. 661/2009 und der StVZO

Allgemeine Anforderungen an die Sicherheit von Fahrzeugen ergeben sich aus der Verordnung (EG) Nr. 661/2009 sowie aus § 30 StVZO.

Die Verordnung (EG) Nr. 661/2009 enthält technische Anforderungen insbesondere an Fahrzeuge der Klassen M und N (vgl. Art. 2). Gemäß Art. 5 Abs. 1 ist von den

³⁰⁴ Adopted revised terms of reference for the IWG on ACSF in: Working Party on Brakes and Running, ECE/TRANS/WP.29/GRRF/80, S. 30.

³⁰⁵ Informal Working Group, Proposal for amendments to Regulation No. 79 to include ACSF > 10 km/h, GRRF-81-18, <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2016/wp29grf/GRRF-81-18e.pdf> (letzter Zugriff: 19.05.2016).

³⁰⁶ Working Party on Brakes and Running Gear, ECE/TRANS/WP.29/GRRF/81, S. 12.

³⁰⁷ Adopted revised terms of reference for the IWG on ACSF in: Working Party on Brakes and Running, ECE/TRANS/WP.29/GRRF/80, S. 30.

³⁰⁸ So mit Blick auf die StVZO Jagow/Karneth/Koehl, Teil 2 - StVZO, S. 85f.; Mindorf, Teil 6/A-2, S. 19.

Herstellern sicherzustellen, „dass Fahrzeuge so konstruiert, gefertigt und zusammengebaut sind, dass die Gefahr von Verletzungen der Fahrzeuginsassen und anderer Verkehrsteilnehmer möglichst gering ist.“ Diese Anforderung gilt für Bauteile, die Gegenstand besonderer technischer Spezifikationen sind, also z.B. für Lenkanlagen, Bremsanlagen, Kraftstoffbehälter und Unterfahrschutz³⁰⁹ usw. und zielt auf eine verkehrssichere Ausführung dieser Spezifikationen. Ob die Verordnung (EG) Nr. 661/2009 darüber hinaus auch eine Anforderung an den Bau von Fahrzeugen allgemein darstellt - was der Wortlaut nahelegt³¹⁰ - erscheint angesichts der differenzierten Festlegung des Geltungsbereichs von Art. 5 Abs. 1 nach einzelnen Fahrzeugteilen und Fahrzeugklassen in Anhang I der Verordnung (EG) Nr. 661/2009 zumindest fraglich.³¹¹ Für ein solches Verständnis der Regelung spricht, dass durch die Verordnung in Teil 1 Nr. 63 Anhang IV der Richtlinie 2007/46/EG, der nach Art. 9 I der Richtlinie die für die Erteilung der Typgenehmigung einzuhaltenden Vorschriften aufführt, ein Genehmigungsgegenstand „Allgemeine Sicherheit“ unter Verweis auf die Verordnung (EG) Nr. 661/2009 eingeführt wurde. Im Folgenden wird ein Verständnis der Vorschrift im Sinne einer allgemeinen (und nicht nur spezifikationsbezogenen) Sicherheit zugrunde gelegt. Soweit ersichtlich, gibt es jedoch bisher keine Literatur oder Rechtsprechung zur Auslegung der Vorschrift, insbesondere hinsichtlich der Frage, was eine „möglichst gering(e)“ Gefahr von Verletzungen im Sinne der Norm bedeuten soll.

Nach § 30 I Nr. 1 StVZO müssen Fahrzeuge so gebaut werden, dass ihr verkehrsüblicher Gebrauch niemanden schädigt. Verkehrsüblich ist der Gebrauch, der von dem Fahrzeug im Verkehr gemacht werden wird.³¹² Für die sich daraus mit Blick auf eine Schädigung ergebenden Gefahren sind Maßnahmen zu ihrer Vermeidung erforderlich. Sie müssen nach allgemeiner Auffassung ergriffen werden, wenn die abstrakte Gefahr einer Schädigung besteht,³¹³ eine konkrete (tatsächliche) Gefahr muss dagegen im

³⁰⁹ Vgl. Anhang I Verordnung (EG) Nr. 661/2009 sowie Anhang IV Richtlinie 2007/46/EG.

³¹⁰ In diesem Sinne auch Art. 1 Nr. 1 und Erwägungsgrund 6 Verordnung (EG) Nr. 661/2009.

³¹¹ Hintergrund ist die Einführung eines neuen Regulierungskonzepts, nach dem künftig die EU-Kommission die technischen Spezifikationen in Durchführungsmaßnahmen regeln soll (sie sind nicht Sache des EU-Parlaments als europäischen Gesetzgeber, wohingegen die Kommission dem nationalen Verwaltungsgeber vergleichbar agiert), vgl. Art. 14 i.V.m. Erwägungsgrund 7 Verordnung (EG) Nr. 661/2009. Insofern wird mit der grundlegenden Sicherheitsanforderung der Kommission auch ein zu erreichendes Regelungsziel vorgegeben.

³¹² Dauer in: Hentschel/König/Dauer, StVZO, § 30 Rn. 4.

³¹³ BayObLGSt 1967, 131, 132; BayObLGSt 1969, 47, 49; KG v 29.11.2000 - 2 Ss 151/00 - 3 Ws (B) 503/00, juris, Rn. 17.

Unterschied zu § 1 II StVO nicht vorliegen.³¹⁴ In Anlehnung an den allgemeinen polizeirechtlichen Begriff der abstrakten Gefahr³¹⁵ fehlt es daher an der Verkehrssicherheit, wenn eine Schädigung mit der gewählten Beschaffenheit bei generell abstrakter Betrachtung mit hinreichender Wahrscheinlichkeit eintreten kann. Dabei gilt die sogenannte Je-desto-Formel: Je höher die Bedeutung des gefährdeten Rechtsgut und das potentielle Ausmaß des Schadens, desto geringere Anforderungen sind an die Wahrscheinlichkeit seines Eintritts zu stellen.³¹⁶ Da in Bezug auf mögliche Schädigungen die Formulierung „nicht mehr als unvermeidbar“ - anders als bei Gefährdungen und Belästigungen nach § 30 I Nr. 1 StVZO - fehlt, kann eine Betriebserlaubnis nicht erteilt werden, wenn Schädigungen durch die bauliche Beschaffenheit unvermeidbar sind.³¹⁷ Der Wortlaut der Norm verbietet daher unter allen Umständen eine Fahrzeugbeschaffenheit, die andere schädigt.³¹⁸

Damit dürfte jedoch gleichwohl keine absolute Vermeidbarkeit von Schäden gemeint sein. Sowohl das Bundesverfassungsgericht als auch der BGH gehen bei der Unvermeidbarkeit von Schädigungen für Leib und Leben grundsätzlich von einer Abwägung zwischen Sicherheitsgewinnen einerseits und verbleibenden Risiken andererseits aus, die dazu führen kann, dass trotz gewisser Risiken die Rechtspflicht zum Gurtanlegen nach § 21a Abs. 1 StVO verfassungsgemäß ist³¹⁹ bzw. ein Produkt in den Verkehr gebracht werden darf.³²⁰ Dies scheint auch für eine Beurteilung im Rahmen des § 30 I Nr. 1 StVZO mit Blick auf Schädigungen sachgerecht. Ansatzpunkt für eine derartige Betrachtung wäre der erwähnte Gefahrbegriff: Risiken, die keine Gefahr darstellen, müssen nicht vermieden werden. Hinsichtlich der geforderten Anstrengungen zur Vermeidung solcher Schädigungen wird überwiegend angenommen, dass die in § 30 genannten Ziele nach den anerkannten Regeln der Technik (Stand der Technik) anzu-

³¹⁴ BayObLGSt 1967, 131, 132; OLG Düsseldorf, VRS 74, 294; Dauer in: Hentschel/König/Dauer, StVZO, § 30 Rn. 5; Lütkes/Ferner/Kramer, Leitzahl 3 - StVZO, § 30 Rn. 1; Mindorf, Teil 8, S. 5.

³¹⁵ Rachor in: Lisken/Denninger, E 97; s.a. BayObLGSt 1969, 47, 49 zur Anwendbarkeit des Maßstab der abstrakten Gefahr für § 30 StVZO.

³¹⁶ Vgl. etwa mit Blick auf die konkrete Gefahr etwa BVerfG, Urt. v. 04.04.2006, Az. 1 BvR 518/02, bverfg.de, Rn. 136 zur Rasterfahndung.

³¹⁷ Dauer in: Hentschel/König/Dauer, StVZO, § 30 Rn. 6.

³¹⁸ Dauer in: Hentschel/König/Dauer, StVZO, § 30 Rn. 6; Zunner/Szczepkowski, StVZO, § 30, S. 263.

³¹⁹ BVerfG, NJW 1987, 180: das Risiko einer (schwereren) Verletzung durch den Gurt in 0,5 bis 1% aller Unfälle wurde für verfassungsrechtlich hinnehmbar erklärt angesichts der erheblichen Vorteile, die der Sicherheitsgurt bietet.

³²⁰ BGH, Urt. v. 16.06.2009 (Airbag), Az. VI ZR 107/08, openjur, Rn. 22.

streben sind, die insofern den gebotenen Standard der Verkehrssicherheit bestimmen.³²¹ Rechtsprechung, die explizit die Anforderung an die Vermeidbarkeit von Schäden nach § 30 I Nr. 1 StVZO im Rahmen der Erteilung einer Genehmigung betrifft, ist nicht ersichtlich.

2. Anwendung auf Untersuchungsgegenstand

a) Pflicht zur Ausstattung mit einem Überführungssystem?

Da die technischen Bauvorschriften keine explizite Regelung enthalten, besteht grundsätzlich keine Pflicht zur Ausstattung von Fahrzeugen mit den Überführungssystemen. Fraglich ist, ob sich eine solche aus den Vorschriften über die allgemeinen Sicherheitsanforderungen (Art. 5 I Verordnung (EG) Nr. 661/2009 bzw. § 30 I Nr. 1 StVZO) ergibt. Mit Blick auf ein Überführungssystem für die Automatisierungsgrade 0 bis 2 lässt sich eine solche Pflicht den genannten Vorschriften nicht entnehmen. Der medizinische Ausfall des Fahrzeugführers war bisher ein akzeptiertes Risiko des Straßenverkehrs. Allein die technische Möglichkeit eines Systems, das dieses Risiko auffängt, begründet keine Rechtspflicht zur Ausstattung aller Fahrzeuge mit diesem System. Wollte der Gesetz- bzw. Ordnungsgeber dies ändern, müsste er eine explizite Regelung schaffen.

Im Falle des Einsatzes der Überführungssysteme ab dem Automatisierungsgrad 3 ergeben sich die Risiken einer (missglückten) Transition an den Fahrzeugführer, die zum Einsatz der Überführungssysteme führen, aus der Automatisierung selbst. Dies gilt jedenfalls für den Einsatz der Systeme im Falle zu kurzer Vorlaufzeiten für eine Übernahme bei einem Ausfall oder Fehler des Automatisierungssystems. Daraus ergibt sich die abstrakte Gefahr einer Schädigung im Sinne von § 30 I Nr. 1 StVZO und eine Gefahr im Sinne von Art. 5 I Verordnung (EG) Nr. 661/2009, die Maßnahmen zur Vermeidung erfordern. Der Fall eines medizinisch bedingten Ausfalls des Fahrers im Zeitpunkt der Transition begründet dagegen keine durch die Automatisierungsstufe bedingte Gefahr. Hier gilt das zu den Automatisierungslevels 0 bis 2 Ausgeführte.

³²¹ Lütkes/Ferner/Kramer, Leitzahl 3 - StVZO, § 30 Rn. 1-3; Jagow/Karneth/Koehl, Teil 2 - StVZO, S. 87; Mindorf, Teil 8, S. 8. A.A. scheint Dauer in: Hentschel/König/Dauer, StVZO, § 30 Rn. 5 zu sein: Dort ist vom Stand der Technik lediglich im Hinblick auf die Gefährdungen, Belästigungen und Behinderungen in § 30 I Nr. 1 StVZO die Rede.

b) Pflicht einen bestimmten Endzustand zu erreichen?

Überführungsszenarien sehen entweder vor, dass das Fahrzeug auf der Autobahn oder der autobahnähnlichen Straße auf dem eigenen Fahrstreifen oder nach einem Spurwechsel auf dem Seitenstreifen anhält.

Hinsichtlich des Einsatzes der Systeme in den Automatisierungslevels 0 bis 2 ergibt sich aus den Vorschriften über die allgemeine Sicherheit keine Anforderung, das Fahrzeug auf dem Fahrstreifen bzw. durch Wechsel auf den Seitenstreifen in den risikominimalen Zustand zu überführen, auch wenn das Halten auf dem Fahrstreifen grundsätzlich mit größeren Gefahren hinsichtlich eines Auffahrunfalls verbunden sein dürfte. Hier gilt das schon im Rahmen der Produkthaftung Gesagte: Das Überführungssystem führt zur Beherrschbarkeit einer ansonsten unbeherrschbaren Verkehrssituation (Ausfall des Fahrzeugführers) und erhöht damit grundsätzlich die Verkehrssicherheit, auch wenn „nur“ auf dem Fahrstreifen kontrolliert gehalten wird. Es ist dann Sache des Herstellers, das Design des Sicherheitssystems zu bestimmen, zumal die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit des Überführungssystems beim Anhalten auf dem Seitenstreifen wegen der Komplexität der dabei zu bewältigenden Fahraufgabe höher sind als beim Halten auf dem Fahrstreifen.³²² Entscheidend ist, dass das Überführungssystem in sich sicher funktioniert und keine neuen Gefahren verursacht. Letzteres ist hier hinsichtlich der Funktion des Überführungssystems wegen der Beherrschung einer ansonsten nicht beherrschbaren Situation grundsätzlich der Fall.³²³ Das Gebot der Vermeidung von Schäden in § 30 I Nr. 1 StVZO bezieht sich immer auf das vom Hersteller angebotene System mit seinen Leistungen, jedenfalls solange bestimmte Ausstattungs- oder Leistungsanforderungen nicht selbst zum Standard geworden sind.

Dies dürfte grundsätzlich auch für den Einsatz der Überführungssysteme ab dem Automatisierungslevel 3 gelten. Sie bieten über den medizinischen Notfall des Fahrers hinaus eine Lösung für den Fall mangelnder Beherrschbarkeit des Fahrzeugs wegen einer technikbedingten missglückten Transition an (z.B. zu kurze Vorlaufzeiten für die Übernahme). Allerdings ist zu berücksichtigen, dass sich diese Gefahr aus der Automatisierung selbst ergibt. Mit Blick auf ein konkretes Automatisierungssystem wäre daher zu prüfen, ob die Gefahren, die insbesondere aus dem potenziell

³²² Vgl. B.II.2.c).

³²³ Für die konkrete Ausführung eines Überführungssystems kann dies natürlich anders sein. Dies wäre im Rahmen der Typp Genehmigung zu beurteilen.

gefährlicheren Halten auf dem Fahrstreifen resultieren, nicht größer sind als das Fahren ohne Automatisierungssystem.

Wie auch schon im Rahmen der Produkthaftung³²⁴ bleibt in diesem Zusammenhang darauf hinzuweisen, dass es in konkreten Verkehrssituationen sicherer sein kann, auf dem Fahrstreifen zu halten als auf dem Seitenstreifen. Eine Berücksichtigung solcher Alternativen kann aber erst von einem System erwartet werden, dass beide Optionen bietet.

c) Pflichten während der Überführung

Die Überführungssysteme müssen so leistungsfähig sein, dass abstrakte Gefahren für andere Verkehrsteilnehmer aus dem Überführungsvorgang selbst vermieden werden. Dabei dürfte es, wie schon im Rahmen der Produkthaftung ausgeführt,³²⁵ insbesondere darauf ankommen, die Fahrvorgänge für die Fahrzeugführer anderer Fahrzeuge vorhersehbar und nachvollziehbar zu gestalten. Anhaltspunkte dafür, was vorhersehbar ist, liefern in erster Linie die Verhaltensvorschriften der StVO. Dazu gehören etwa die Einschaltung des Warnblinklichts beim Halten auf dem eigenen Fahrstreifen oder das Setzen des Fahrtrichtungsanzeigers oder Warnblinkers beim Spurwechsel, wie auch die Beachtung des umgebenden Verkehrs bei der Durchführung der notwendigen Fahrmanöver für die Überführung.

d) Systemgrenzen der Überführungssysteme

Systemgrenzen, die mit der abstrakten Gefahr einer Schädigung verbunden sind, sind grundsätzlich nicht akzeptabel. Die gewählte Konstruktion bzw. technische Lösung darf also gemäß § 30 I Nr. 1 StVZO bei generell abstrakter Betrachtungsweise nicht mit hinreichender Wahrscheinlichkeit zu einer Schädigung führen. Mögliche Schädigungen müssen mit Maßnahmen, die dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen, vermieden werden, wobei im Sinne der oben zitierten Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts und des BGH³²⁶ bei fehlender Vermeidbarkeit ein gewisses verbleibendes Schadenspotenzial (Risiko) unter Abwägung der Vor- und Nachteile

³²⁴ Vgl. B.II.2.c).

³²⁵ B.II.2.d).

³²⁶ Vgl. C. III.1.

hinnehmbar sein kann. Allerdings dürften in diese Abwägung mit Blick auf den gefahrenabwehrenden Charakter der Norm wohl nur Aspekte eingehen, die einen Bezug zur Verkehrssicherheit aufweisen. Dabei sind die Anforderungen an die Vorteile im Rahmen der Abwägungsentscheidung im Regelfall hoch, da die ggf. drohenden Schäden zumeist hochwertige Rechtsgüter wie Leib und Leben betreffen.

Im Falle des Einsatzes der Überführungssysteme im Rahmen der Automatisierungslevel 0 bis 2 scheinen dabei unvermeidbare abstrakte Gefahren eher hinnehmbar als bei den Systemen ab dem Automatisierungsgrad 3. Denn bei einer Abwägung hinsichtlich der Automatisierungsgrade 0 bis 2 schlägt im Rahmen der Verkehrssicherheit zu Buche, dass die Systeme einen zuvor unbeherrschbaren Zustand - den Ausfall des Fahrzeugführers - technisch beherrschbar(er) machen und damit einen Sicherheitsgewinn darstellen. Allerdings dürfen durch die Überführungssysteme gleichwohl keine neuen und erheblichen Gefahren entstehen, die nicht vermeidbar sind. Bei Fahrzeugen ab dem Automatisierungsgrad 3 ist dagegen zu berücksichtigen, dass die Überführungssysteme einen Ausgleich für Gefahren im Rahmen einer notwendigen Transition darstellen und damit Gefahren begegnen sollen, die durch die Automatisierung erst hervorgerufen wurden. Zu betrachten ist ab dem Automatisierungsgrad also die Gesamtheit aus Automatisierungs- und Überführungssystem, wobei zu fragen ist, ob damit verbundene unvermeidbare abstrakte Gefahren wegen der Vorteile für die Verkehrssicherheit insgesamt hinzunehmen sind.

IV. Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Untersuchung zum Zulassungsrecht lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Anders als insbesondere das Umweltrecht, das neben der Gefahr auch den Begriff der Gefahren- bzw. Risikovorsorge kennt, handelt es sich beim Zulassungsrecht um reines Gefahrenabwehrrecht. Dies ergibt sich sowohl aus den einschlägigen Vorschriften des europäischen wie auch des nationalen Zulassungsrechts. Wegen der im Wesentlichen bekannten Gefahren des Straßenverkehrs bedarf das Zulassungsrecht mit Blick auf die Automatisierung keiner neuen Herangehensweise im Sinne der umweltrechtlichen Risikovorsorge.

2. Eine zulassungsrechtliche Verpflichtung zur Ausstattung automatisierten Fahrzeuge der Grade 3 und 4 mit Überführungssystemen ergibt sich aus dem Gedanken der von den Automatisierungssystemen selbst erst hervorgerufenen abstrakten Gefahr von Abläufen, in denen eine Rückübernahme durch den Fahrzeugführer wegen zu kurzer Vorlaufzeiten nicht mehr möglich ist.
3. Überführungssysteme können den risikominimalen Zustand in Abhängigkeit von den technischen Möglichkeiten grundsätzlich sowohl durch Anhalten auf dem Fahrstreifen als auch durch Anhalten auf dem Seitenstreifen herbeiführen. Allerdings ist mit Blick auf Automatisierungsgrade ab Level 3 besonders zu prüfen, ob die Gefahren eines Haltens auf dem Fahrstreifen hinnehmbar sind.
4. Während der Überführung in den risikominimalen Zustand müssen die Fahrvorgänge durch die Überführungssysteme so gestaltet werden, dass sie für die übrigen Fahrzeugführer möglichst vorhersehbar sind.
5. Systemgrenzen der Überführungssysteme sind bei den Automatisierungsgraden 0 bis 2 eher hinnehmbar als bei den Automatisierungsgraden 3 und 4, bei denen sie einen Ausgleich für automatisierungsbedingte Gefahren darstellen.

E. Verantwortlichkeit des Fahrzeugführers

Im Zusammenhang mit dem Untersuchungsgegenstand stellt sich auch die Frage nach der Verantwortlichkeit des Fahrzeugführers beim Einsatz der Überführungssysteme einerseits in verhaltensrechtlicher, andererseits in haftungsrechtlicher Hinsicht. Entsprechend dem Untersuchungsauftrag bleiben zum einen strafrechtliche Aspekte, zum anderen die rechtlichen Auswirkungen eines Fehlverhaltens des Fahrzeugführers vor Einsatz der Überführungssysteme in den folgenden Ausführungen unberücksichtigt (es geht insoweit lediglich um die Verantwortlichkeit des Fahrzeugführers während des Einsatzes der Überführungssysteme).

I. Grundsätzliches zum Verhaltens- und Haftungsrecht

1. Überblick

a) Verhaltensrecht

Das Verhaltensrecht, also die rechtlichen Anforderungen an das Verhalten der Verkehrsteilnehmer im Straßenverkehr, ergeben sich im nationalen Recht aus der Straßenverkehrsordnung (StVO),³²⁷ die ihre Rechtsgrundlage in § 6 StVG hat. Das Verhaltensrecht gilt für den öffentlichen Verkehrsraum, der sowohl die dem öffentlichen Verkehr rechtlich gewidmeten Verkehrsflächen als auch Verkehrsflächen umfasst, die tatsächlich für die allgemeine Nutzung mit Zustimmung des Berechtigten freigegeben sind.³²⁸ Mit der Autobahn und den autobahnähnlichen Straßen gehört der Einsatzbereich der Überführungssysteme zum öffentlichen Verkehrsraum. Die Regelungen wenden sich an Verkehrsteilnehmer im Sinne des § 1 StVO. Verkehrsteilnehmer ist, wer sich verkehrserheblich verhält, wer also körperlich und unmittelbar durch aktives Tun oder Unterlassen auf einen Verkehrsvorgang einwirkt³²⁹, unabhängig von der Art der Teilnahme, insbesondere ob motorisiert oder nicht-motorisiert. Verkehrsteilnehmer sind demnach u.a. Fußgänger, Radfahrer und Fahrzeugführer (vgl. § 3 I StVO), wobei es mit Blick auf den Untersuchungsgegenstand hier nur auf letztere ankommt.

³²⁷ Neufassung gemäß Verordnung vom 06. März 2013, BGBl. I 367.

³²⁸ König in: Hentschel/König/Dauer, StVO § 1 Rn. 12; Heß in: Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVO § 1 Rn. 5.

³²⁹ König in: Hentschel/König/Dauer, StVO § 1 Rn. 17; Heß in: Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVO § 1 Rn. 16.

Mit den straßenverkehrsrechtlichen Regelungen in der StVO erfüllt die Bundesrepublik gleichzeitig ihre völkerrechtlichen Verpflichtungen aus Art. 3 I des Wiener Übereinkommens über den Straßenverkehr von 1968 (WÜ).³³⁰ Danach obliegt es den Vertragsstaaten, die nationalen Regelungen zum Verhalten im Straßenverkehr im Wesentlichen in Übereinstimmung mit den Bestimmungen des Übereinkommens in Kapitel II „Rules of the Road“ zu gestalten. Ziel dessen ist ausweislich der Präambel eine weitgehende Vereinheitlichung der Straßenverkehrsregeln in den Vertragsstaaten des WÜ, um so den internationalen Verkehr zu erleichtern und die Sicherheit auf den Straßen zu erhöhen. Die Bestimmungen des Übereinkommens entfalten in den Vertragsstaaten jedoch keine unmittelbare Wirkung³³¹, d.h. die Verkehrsteilnehmer werden durch die Regelungen nicht direkt verpflichtet. Die Verhaltenspflichten werden erst durch die in der StVO i.V.m. mit § 6 StVG und im nach Art. 59 II GG erlassenen Zustimmungsgesetz zum Wiener Übereinkommen erfolgte Umsetzung der Vertragsbestimmungen innerstaatlich verbindliches Recht. Das Wiener Übereinkommen hat gleichwohl insofern eine Bedeutung für das innerstaatliche Recht, als die Bestimmungen der StVO völkerrechtsfreundlich, also möglichst in Übereinstimmung mit den Regelungen des Übereinkommens auszulegen sind.³³²

b) Haftungsrecht

Die zivilrechtliche Haftung des Fahrzeugführers für Schäden an Leib und Leben bzw. Sachschäden ergibt sich aus § 18 I StVG, § 823 I BGB sowie § 823 II BGB i.V.m. mit Bestimmungen der StVO als Schutzgesetz³³³. Die Regelung in § 18 I StVG begründet die Haftung des Fahrzeugführers für Schäden, die im Rahmen der Halterhaftung nach § 7 I StVG, also beim Betrieb des Fahrzeugs entstehen. Sie ist, wie auch die Haftung des Fahrzeugführers nach § 823 I bzw. § 823 II BGB, im Gegensatz zur Halterhaftung eine Verschuldenshaftung. Im Rahmen der straßenverkehrsrechtlichen Haftung nach § 18 I StVG wird - anders als in den Fällen der Haftung nach § 823 I und II BGB³³⁴ - das Verschulden des Fahrzeugführers vermutet (Beweislastumkehr zugunsten des

³³⁰ Konsolidierter Vertragstext in der Fassung der am 28. März 2006 in Kraft getretenen Änderung unter <http://www.unece.org/trans/conventn/legalinst.html> (letzter Zugriff: 19.05.2016).

³³¹ Für Art. 3 III, Art. 5 und Art. 6 des WÜ ordnet dagegen Art. 1 II Zustimmungsgesetz v. 21.09.1977 (BGBl. II 809) dagegen die unmittelbare Wirkung an.

³³² Nettessheim, in: Maunz/Dürig, Art. 59, Rn. 187.

³³³ Burmann in: Burmann/Heß/Jahnke/Janker, 1. Teil - Einführung Rn. 127; Wagner in: Münchener Kommentar, § 823 Rn. 553.

³³⁴ Burmann in: Burmann/Heß/Jahnke/Janker, 1. Teil - Einführung Rn. 136.

Geschädigten); er kann sich jedoch nach § 18 I 2 StVG exkulpieren, haftet also nicht, wenn er beweisen kann, dass ihn kein Verschulden trifft.³³⁵ Der im Rahmen der zivilrechtlichen Haftung anzuwendende Sorgfaltsmaßstab ergibt sich für alle drei Haftungsgrundlagen aus § 276 II BGB, wonach fahrlässig handelt, wer die im Verkehr erforderliche Sorgfalt außer Acht lässt, wobei ein objektiver Fahrlässigkeitsmaßstab zugrunde zu legen ist.³³⁶

2. Der Begriff des Fahrzeugführers im Verhaltens- und Haftungsrecht

Adressat der verhaltens- und haftungsrechtlichen Verpflichtungen im vorliegenden Zusammenhang ist der Fahrzeugführer. Fahrzeugführer ist, wer sich unter eigener (eigenhändiger) Allein- oder Mitverantwortung aller oder eines Teiles der wesentlichen technischen Einrichtungen des Fahrzeugs bedient, um es bestimmungsgemäß in Bewegung zu setzen oder es während der Fahrbewegung durch den öffentlichen Verkehrsraum ganz oder wenigstens zum Teil zu lenken.³³⁷ Vorbereitende Handlungen oder Handlungen nach Abschluss der Bewegung genügen nicht.³³⁸ Zu den wesentlichen technischen Einrichtungen, auf die zur Fahrzeugführung Einfluss genommen wird, gehören insbesondere solche, ohne die eine zielgerichtete Bewegung des Fahrzeugs im Verkehr nicht möglich wäre, namentlich das Lenken und Bremsen.³³⁹ Die Bedienung dieser Einrichtungen kann dabei auch arbeitsteilig erfolgen.³⁴⁰ Diese Definition ist im Verkehrsrecht allgemein anerkannt, etwa für §§ 2, 18, 21 StVG und § 23 StVO.³⁴¹ Im Sinne der Haftung nach § 18 StVG führt der Fahrzeugführer das Fahrzeug im Falle des Abstellens solange, bis ein anderer die Führung übernimmt.³⁴²

³³⁵ Heß in: Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVG § 18 Rn. 8; Kaufmann in: Geigel - Haftpflichtprozess, 25. Kapitel Rn. 311 und 320.

³³⁶ Wagner in: Münchener Kommentar, § 823 Rn. 48.

³³⁷ König, in: Hentschel, StGB § 316, Rn. 3; BGH Urt. v. 18.01.1990, Az. 4 StR 292/89, juris Rn. 11.

³³⁸ König in: Hentschel/König/Dauer, StVG § 21 Rn.10; BGHSt 35, 390 (393) zu § 316 StGB.

³³⁹ BGH, Urt. v. 18.01.1990, Az. 4 StR 292/89, juris Rn. 11.

³⁴⁰ BGH, Urt. v. 18.01.1990, Az. 4 StR 292/89, juris Rn. 11; vgl. auch Kaufmann in: Geigel - Haftpflichtprozess, 25. Kapitel Rn. 316 zu § 18 StVG.

³⁴¹ Vgl. Dauer in: Hentschel/König/Dauer, StVG § 2 Rn. 18; König in: Hentschel/König/Dauer, StVG § 18 Rn. 2 und § 21 Rn. 10; König in: Hentschel/König/Dauer, StVO, § 23 Rn. 10; Heß in: Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVG § 18 Rn. 3; Kaufmann in: Geigel - Haftpflichtprozess, 25. Kapitel Rn. 314.

³⁴² König in: Hentschel/König/Dauer, StVG § 18 Rn. 2.

Entsprechend den bisherigen Vorstellungen vom Zusammenwirken zwischen Mensch und Maschine, die auch den verhaltens- und haftungsrechtlichen Vorschriften zugrunde liegen, kann Fahrzeugführer nur ein Mensch sein,³⁴³ der aber nur dann Fahrzeugführer im Sinne der vorstehenden Definition ist, wenn er auch einen gewissen beherrschenden Einfluss auf die Fahrzeugführung ausübt.³⁴⁴ Diese Auslegung wird mit Blick auf die StVO durch die Definition des u.a. in Art. 8 sowie Art. 13 WÜ verwendeten Begriffs „driver“ gestützt, bei dem es sich nach Art. 1 lit. v) um eine (natürliche) Person handeln muss, die nach Art. 8 V WÜ und Art. 13 I WÜ ständig in der Lage sein muss, ihr Fahrzeug zu beherrschen.³⁴⁵

Diesem Verständnis wurde mit Blick auf Normen in der StVO, die - wie etwa § 2 I bzw. § 3 II StVO - an Fahrzeugbewegungen und nicht an das Verhalten des Fahrzeugführers anknüpfen, widersprochen.³⁴⁶ Demnach würde die StVO auch ohne Änderung die Bewegungen automatisierter Fahrzeuge regeln (können). Mit dem Sinn und Zweck der StVO als verhaltenssteuerndes Recht für die Verkehrsteilnehmer, einschließlich des menschlichen Fahrzeugführers, ist ein solches Verständnis aus unserer Sicht jedoch nicht vereinbar. Daran ändert sich auch bei einer Umsetzung der am 23. März 2016³⁴⁷ in Kraft tretenden Änderung des WÜ durch Einfügung eines Art. 8 *Vbis* nichts.³⁴⁸ Die Änderung sieht vor, dass Fahrzeugsysteme, die die Art und Weise, wie das Fahrzeug gefahren wird, beeinflussen, mit Art. 8 V und 13 I WÜ übereinstimmen, wenn sie entweder internationalen Vereinbarungen über die technische Ausstattung von Fahrzeugen entsprechen oder aber übersteuert bzw. abgeschaltet werden können. Davon erfasst sind etwa Notbremssysteme.³⁴⁹ Ausweislich der Begründung soll die Neuregelung den Fahrzeugführer zudem nicht der Verpflichtung entheben, jede Aktion des Fahrzeugsystems zu überwachen und zu kontrollieren.³⁵⁰ Darüber hinaus liegt ein

³⁴³ Vgl. für das WÜ Lutz/Tang/Lienkamp NZV 2013, 57, 58.

³⁴⁴ Vgl. für das Verhaltensrecht dazu auch Arzt/Eier/Ruth-Schumacher in: Gasser et al., S. 57 und 64.

³⁴⁵ Vgl. zur Diskussion über die Bedeutung Arzt/Eier/Ruth-Schumacher in: Gasser et al., S. 54 f. (mit entsprechenden Nachweisen) und Lutz, S. 33, 36 ff. (mit weiteren Nachweisen).

³⁴⁶ Lutz NJW 2015, 119, 122.

³⁴⁷ ECE - Working Party on Road Traffic Safety, ECE/TRANS/WP.1/151, S. 3 f.

³⁴⁸ ECE - Working Party on Road Traffic Safety, ECE/TRANS/WP.1/145, S. 5 und 9 ff.

³⁴⁹ Vgl. Punkt 5 der Begründung des Änderungsvorschlags, ECE - Working Party on Road Traffic Safety, ECE/TRANS/WP.1/145, S. 11.

³⁵⁰ Punkt 6 der Begründung, ECE - Working Party on Road Traffic Safety, ECE/TRANS/WP.1/145, S. 11.

neuer Änderungsvorschlag für Art. 8 WÜ vor, der alle Stufen der Fahrzeugautomatisierung abdecken soll.³⁵¹ Er sieht nach Automatisierungsgraden differenzierte Verhaltenspflichten des Fahrzeugführers vor und bestimmt für den in Art 8 *Vquarter* geregelten Fall des autonomen Fahrens (alle Fahraufgaben von der Abfahrt bis zu Ankunft werden durch das Fahrzeugsystem erledigt), dass u.a. Art. 8 I WÜ nicht mehr anwendbar ist.³⁵² Damit entfällt bei diesen Fahrzeugsystemen die Erforderlichkeit eines (menschlichen) Fahrzeugführers, ohne dass das System an seine Stelle tritt. Somit bestätigen die Änderung(s)vorschläge) zum WÜ, dass Fahrzeugführer nur ein Mensch sein kann,³⁵³ wenn er im Sinne der oben angegebenen Definition einen bestimmenden Einfluss auf die Fahrzeugbewegung ausübt, auch wenn diese (nur) in einer Überwachung und Kontrolle besteht.³⁵⁴

Hinsichtlich der Haftung des Fahrzeugführers hoch- und vollautomatisierter bzw. autonomer Fahrzeuge wird in den Phasen der hoch- oder vollautomatisierten bzw. autonomen Fahrt mit Blick auf § 18 I 2 StVG von seiner regelmäßigen Exkulpation ausgegangen, nicht jedoch die Fahrzeugführereigenschaft des Menschen in Frage gestellt.³⁵⁵ Dies ist mit Blick auf den systematischen Zusammenhang zum Verhaltensrecht, das

³⁵¹ ECE - Working Party on Road Traffic Safety, ECE/TRANS/WP.1/2015/8, S. 7 f. Der Vorschlag ist Grundlage für die weitere Arbeit der Working Party on Road Traffic Safety und einer eingesetzten informellen Arbeitsgruppe an Fragen der Fahrzeugautomatisierung, ECE - Working Party on Road Traffic Safety, ECE/TRANS/WP.1/151, S. 5.

³⁵² Vgl. Art. 8 *Vquarter* Amendment Proposal, ECE - Working Party on Road Traffic Safety, ECE/TRANS/WP.1/2015/8, S. 8.

³⁵³ Vgl. zur grundsätzlichen Erforderlichkeit eines menschlichen Fahrers auch unter Berücksichtigung von Art 8 *Vbis* WÜ neu auch Lutz, S. 33, 43f.; ders., DAR 2016, 55f. sowie mit Zweifeln v. Bodungen/Hoffmann, SVR 2016, 41, 42 und 93, 95-97.

³⁵⁴ Vgl. Franke DAR 2016, 61, 62, wonach jedoch eine bloße Überwachung und Eingriffsbereitschaft für die Fahrzeugführereigenschaft nicht ausreicht; a.A. wonach Art. 8 *Vbis* WÜ neu auch ohne ständige Überwachung und Kontrolle eine von den Automatisierungsgraden 3 und 4 intendierte Nutzung des Fahrzeugs zulasse, ohne dass dadurch die Eigenschaft des Menschen als Fahrer im Sinne des WÜ aufgehoben würde Lutz, S. 33, 43f.; ders., DAR 2016, 55f. sowie mit anderer Begründung v. Bodungen/Hoffmann, SVR 2016, 41, 42 und 93, 93-96.

³⁵⁵ Gasser et al., S. 19 für den Fall der verhaltensrechtlichen Zulässigkeit einer hoch- und vollautomatischen Nutzung des Fahrzeugs; Schrader NJW 2015, 3537, 3541; Schrader schlägt wegen des mit der Exkulpation verbundenen Bedeutungsverlusts der Fahrzeugführerhaftung eine Einbeziehung des Herstellers in diese vor (a.a.O. S. 3541). Dies scheint unter Zugrundelegung der unter E.I.2 vorgestellten Definition nicht unplausibel, auch wenn die Steuerungsentscheidungen nicht mehr situativ, sondern „formalisiert und standardisiert“ getroffen werden (a.a.O. S. 3541). In dieser fehlenden Verkehrssituationsbezogenheit der Steuerungsentscheidungen unterscheidet sich die Anwendung des Fahrzeugführerbegriffs auf den Hersteller auch von der ebenfalls befürworteten Anwendung auf den Teleoperator ferngesteuerter Fahrzeuge (vgl. Lutz/Tang/Lienkamp NZV 2013, 57, 58). Gegen eine Ausdehnung der Haftung nach § 18 I StVG auf den Hersteller sprechen u.E. indes die oben angeführten systematischen Erwägungen. Zudem ist fraglich, ob in der mit der Anwendung auf den Hersteller verbundenen Ausweitung des Fahrzeugführerbegriffs nicht eher ein Analogieschluss liegt, für den neben der Produkt- und Produzentenhaftung kein Bedarf besteht. Dem wird hier jedoch nicht weiter nachgegangen. Zweifeln an der Fahrzeugführereigenschaft des Menschen in den Phasen autonomen Fahrens mit einer daraus folgenden Verneinung der Haftung Franke DAR 2016, 61, 63.

nur für den menschlichen Fahrzeugführer gilt, sachgerecht. Eine andere Auffassung im Haftungsrecht würde die weitgehend einheitliche Verwendung des Begriffs in Frage stellen.

Die Überführungssysteme kommen damit als Adressat der verhaltens- und haftungsrechtlichen Vorschriften nicht in Betracht.

3. Der Handlungsbegriff im Verhaltens- und Haftungsrecht

Verhaltens- und Haftungsrecht können nur das willentliche Verhalten eines Menschen steuern.³⁵⁶ Für das Verhaltensrecht ist ein verkehrserhebliches Verhalten erforderlich, also ein Handeln oder pflichtwidriges Unterlassen mit der Absicht der Beteiligung am Straßenverkehr und einer Einwirkung auf den Verkehrsvorgang.³⁵⁷ Im Sinne des § 18 I StVG sowie der Vorschriften in § 823 I und II BGB liegt eine Verletzungshandlung nur vor, wenn es sich um ein der Bewusstseinskontrolle und Willenslenkung unterliegendes, beherrschbares Verhalten des Schädigers handelt.³⁵⁸ Ein im Sinne des Verhaltens- und Haftungsrecht relevantes Tun oder Unterlassen des Menschen setzt deshalb voraus, dass es sich um ein unter Mitwirkung der geistigen Kräfte des Menschen sich vollziehendes³⁵⁹ Verhalten handelt. Keine Handlungen sind daher Körperbewegungen im Zustand der Bewusstlosigkeit, etwa im Falle einer Ohnmacht oder in tiefem Schlaf.³⁶⁰

II. Anwendung auf den Untersuchungsgegenstand

Fraglich ist, inwieweit sich aus dem Verhaltens- und Haftungsrecht Pflichten für den Fahrzeugführer im Einsatzbereich der Überführungssysteme ergeben. Zu unterscheiden ist dabei zwischen Situationen der Fahruntüchtigkeit des Fahrzeugführers und dem Einsatz der Überführungssysteme bei den Automatisierungsgraden 3 und 4 im Falle technischer Fehler, in denen die Übernahmeaufforderung an den Fahrzeugführer nicht rechtzeitig ergehen kann.

³⁵⁶ König in: Hentschel/König/Dauer, StGB § 316, Rn. 3.

³⁵⁷ Heß in: Burmann/Heß/Jahnke/Janker, StVO § 1 Rn. 16; König in: Hentschel/König/Dauer, StVO § 1 Rn. 17.

³⁵⁸ Burmann in: Burmann/Heß/Jahnke/Janker, 1. Teil - Einleitung, Rn. 138; Wagner in: Münchener Kommentar, § 823 Rn. 53.

³⁵⁹ Vgl. zum strafrechtlichen Handlungsbegriff Eisele, in: Schönke/Schröder, Vorbem. vor § 13 Rn. 37.

³⁶⁰ Vgl. Wagner in: Münchener Kommentar, § 823 Rn. 53.

1. Einsatz der Überführungssysteme im Falle der Fahruntfähigkeit des Fahrzeugführers

Kommen die Überführungssysteme zum Einsatz, wenn der Fahrzeugführer medizinisch bedingt fahruntüchtig wird und deshalb nicht mehr in der Lage ist, das Fahrzeug zu steuern, fehlt es regelmäßig an der willensgesteuerten Handlungsfähigkeit des Fahrzeugführers. Dies gilt insbesondere für Fälle einer eintretenden Bewusstlosigkeit. Der Fahrzeugführer kann die ihm nach dem Verhaltensrecht obliegenden Pflichten nicht mehr erfüllen, ohne dass er dafür verantwortlich ist. Ebenso fehlt es für eine haftungsrechtliche Verantwortlichkeit an einer willensgesteuerten Verletzungshandlung bezüglich der Verhaltenspflichten und damit auch an einem Verschulden. Dies gilt sowohl beim Einsatz der Überführungssysteme in den Automatisierungsgraden 0 bis 2 wie in den Automatisierungsgraden 3 und 4, wenn die Transition wegen des medizinisch bedingten Ausfalls der Fahrzeugführers misslingt. Solange der Zustand des Fahrzeugführers andauert, können auch Sicherungsmaßnahmen im Sinne von § 15 StVO (Liegenbleiben des Fahrzeugs) vom Fahrzeugführer nicht wahrgenommen werden, ohne dass dies verhaltens- oder haftungsrechtliche Konsequenzen nach sich zieht.

2. Einsatz der Überführungssysteme in den Automatisierungsgraden 3 und 4 im Falle technischer Fehler

Kommen die Überführungssysteme in den Automatisierungsgraden 3 und 4 infolge eines technischen Fehlers (plötzlicher Abwurf der Funktion, Ausfall des Systems) und einer dadurch fehlenden ausreichenden Zeitreserve für die Übernahme durch den Fahrzeugführer zum Einsatz, muss für die Beurteilung berücksichtigt werden, ob der Einsatz von Automatisierungssystemen der genannten Grade rechtlich möglich ist oder nicht.

Mit Blick auf hoch- und vollautomatisierte Systeme ist zur gegenwärtigen Rechtslage festgestellt worden, dass deren intendierte Benutzung einschließlich des Abwendens des Fahrzeugführers vom aktuellen Fahrgeschehen mit den verhaltensrechtlichen Anforderungen der StVO nicht vereinbar ist, da er hiernach zur Überwachung der Verkehrssituation und des Fahrzeugs verpflichtet ist und sich eingriffsbereit halten

muss.³⁶¹ Die Einsatzsituationen der Überführungssysteme wären danach gerade auch Situationen, in denen ein Eingreifen des Fahrzeugführers erforderlich werden könnte. Kommen nunmehr die Überführungssysteme zum Einsatz, bleibt es jedoch dabei, dass der Fahrzeugführer das Verkehrsgeschehen auch während der Überführung überwachen, gegebenenfalls eingreifen und nach Abschluss der Überführung insbesondere Sicherungsmaßnahmen nach § 15 StVO ergreifen muss. Dies schlägt sich auch in einer haftungsrechtlichen Verantwortlichkeit des Fahrzeugführers nieder.

Anders stellt sich die Situation im Falle einer rechtlich erlaubten Nutzung³⁶² von Fahrzeugen der Automatisierungsgrade 3 und 4 dar. Während der automatisierten Fahrt müssen die verhaltens- und haftungsrechtlichen Verpflichtungen vom Fahrzeugführer grundsätzlich dann nicht erfüllt werden. Dies schließt die bestimmungsgemäße Nutzung der Überführungssysteme bis zum Erreichen des Endzustands grundsätzlich ein. Allerdings wird sich ein Fahrzeugführer, der sich während der automatisierten Fahrt vom Fahrgeschehen abgewendet hat, nach Einleiten der Überführung in den risikominimalen Zustand im Laufe des Überführungsvorgangs dem Fahrgeschehen unter Umständen wieder zuwenden, sei es, dass er von sich aus die Veränderung der Fahrweise bemerkt (insbesondere bei Überführung in den risikominimalen Zustand durch Halten auf dem Seitenstreifen) oder vom Automatisierungssystem zusätzlich zur Einleitung des Überführungsvorgangs darüber informiert wird. In diesen Fällen kann sich zur Vermeidung von Unfällen eine Pflicht zur Übersteuerung der Überführungssysteme aus § 1 II StVO bzw. aus den haftungsrechtlichen Vorschriften ergeben. Dabei ist allerdings unklar, welche Zeitspanne dem Fahrzeugführer für die Rückkehr zum Verkehrsgeschehen zugebilligt werden muss³⁶³ und wann überhaupt von einer Rückkehr zum Verkehrsgeschehen ausgegangen werden kann (am ehesten wäre dies anzunehmen im Falle einer Information des Systems über die Einleitung der Überführung).

³⁶¹ Arzt/Eier/Ruth-Schumacher in: Gasser et al., S.91.

³⁶² Eine solche Erlaubnis wird gegenwärtig auf unterschiedlichen Ebenen diskutiert. Im Rahmen der Working Party on Road Traffic Safety der Wirtschaftskommission der UN für Europa würde eine Erlaubnis zur Nutzung von Fahrzeugen der Automatisierungsgrade 3 und 4 sowie autonomer Fahrzeuge mit der Annahme des jüngsten Änderungsvorschlags zu Art. 8 verbunden sein, einschließlich der Erlaubnis für den Fahrzeugführer, in den Automatisierungsgraden 3 und 4 während der automatisierten Fahrt andere Tätigkeiten wahrzunehmen (vgl. Amendment Proposal Art. 8 Vter und Art. 8 Vquater ECE - Working Party on Road Traffic Safety, ECE/TRANS/WP.1/2015/8, S. 8).

Die Bundesregierung plant offenbar einen Gesetzentwurf zur Haftung des Fahrzeugführers, der bei einer ordnungsgemäßen Nutzung der Automatisierungssysteme den Vorwurf einer Sorgfaltspflichtverletzung entfallen lässt (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, S. 15).

³⁶³ Vgl. zur Schreck- und Reaktionszeit nach geltendem Recht etwa Heß in: Burmann/Heß/Jahnke/Jancker, StVO § 1 Rn. 52 ff., was auf den hier vorliegenden Fall der Rückkehr zum Verkehrsgeschehen nicht ohne weitere Forschung übertragbar ist.

Nach Abschluss der Überführung treffen den Fahrzeugführer die Pflichten aus § 15 StVO zur Sicherung des liegengelassenen Fahrzeugs, deren Missachtung auch haftungsrechtliche Konsequenzen haben kann.

III. Exkurs: Pflicht des Fahrzeugführers zur Rückübernahme

Eine explizite Pflicht des Fahrzeugführers zur Rückübernahme nach einer automatisierten Phase in den Automatisierungsgraden 3 und 4 ist bisher im geltenden Recht nicht geregelt.

Verhaltensrechtlich lässt diese sich jedoch aus § 1 und § 3 I StVO ableiten. Die Grundregel in § 1 verlangt nach Absatz 1 ständige Vorsicht und gegenseitige Rücksichtnahme von allen Teilnehmern am Straßenverkehr. Absatz 2 enthält die Verpflichtung des Verkehrsteilnehmers und damit auch des Fahrzeugführers zur Vermeidung von Schäden oder Gefährdungen bei anderen, hinsichtlich aller nicht in den speziellen Regelungen der StVO geregelten schadensgeneigten Verkehrssituationen.³⁶⁴ Nach § 3 I StVO darf ein Fahrzeug nur so schnell gefahren werden, dass der Fahrzeugführer es ständig beherrscht. Der Fahrzeugführer ist demnach für eine sichere Fahrzeugführung verantwortlich, bei der er das Fahrzeug so beherrscht, dass Schäden bei Dritten oder ihre Gefährdung vermieden werden.³⁶⁵

Werden bei einer hoch- oder vollautomatisierten Fahrt Systemgrenzen erreicht, erfolgt, sofern keine Überführung in den risikominimalen Zustand vorgenommen wird, eine Rückgabe der Fahraufgabe an den Fahrzeugführer, der damit wieder in das aktuelle Verkehrsgeschehen eingebunden wird. Die Rückgabe setzt, jedenfalls bei einer erlaubten Nutzung der Automatisierungssysteme, eine entsprechende Übernahmeaufforderung voraus. Die Übernahmeaufforderung zeigt dem Fahrzeugführer an, dass er die Fahraufgabe wieder übernehmen muss. Mit der Abgabe der Fahraufgabe vom System an den Fahrzeugführer tritt ein Zustand ein, der ohne die zeitgerechte Übernahme eine von § 1 II StVO geforderte konkrete Gefahr³⁶⁶ darstellt und damit eine entsprechende Handlungspflicht zur Abwehr der Gefahr beim Fahrzeugführer auslöst, die in der Rückübernahme der Fahraufgabe liegt und zeitgerecht erfolgen muss. Der Fahr-

³⁶⁴ Arzt/Eier/Ruth-Schumacher in: Gasser et al., S.56.

³⁶⁵ Vgl. schon Arzt/Eier/Ruth-Schumacher in: Gasser et al., S.57.

³⁶⁶ Vgl. König in: Hentschel/Dauer/König, StVO § 1 Rn. 35.

zeugführer ist demnach verpflichtet, der Rückübernahmeaufforderung nachzukommen.³⁶⁷ Dies dürfte auch gelten, wenn das Fahrzeug wie im Automatisierungsgrad 4, von sich aus alle Systemgrenzen durch Überführung in den risikominimalen Zustand bewältigen kann, denn diese Rückfallebene soll gerade auch den Fall der fehlenden Rückübernahme durch den Fahrzeugführer technisch absichern, nicht jedoch den Fahrzeugführer von seiner Rückübernahmepflicht bei Erreichen der Systemgrenzen befreien. Konsequenterweise kann sich der Fahrzeugführer bei Systemen des Automatisierungsgrades 4 nicht auf die technische Möglichkeit der Überführung in den risikominimalen Zustand verlassen.

Kommt der Fahrzeugführer seiner Rückübernahmeverpflichtung nicht nach und führt dies zu einem Unfall, hat er dafür haftungsrechtlich einzustehen.

Ergänzend sei auf den neue Änderungsvorschlag zu Art. 8 WÜ in Art. 8 *Vter* für die Nutzung von Systemen, die weder autonom von der Abfahrt bis zur Ankunft am Ziel fahren und bei denen es sich auch nicht Fahrerassistenzsysteme handelt, also insbesondere Systeme der Automatisierungsstufen 3 und 4, hingewiesen.³⁶⁸ Dieser sieht ausdrücklich eine Verpflichtung des Fahrzeugführers vor, im Falle einer Alarmierung durch das Automatisierungssystem die Kontrolle über das Fahrzeug unverzüglich zu übernehmen. Bei Annahme wäre die Bundesrepublik verpflichtet, eine entsprechende Regelung in die StVO aufzunehmen. Gegenwärtig ist jedoch offen, ob der Vorschlag in dieser Form angenommen werden wird.

IV. Zusammenfassung

Die Ergebnisse der verhaltens- und haftungsrechtlichen Untersuchung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die verhaltens- und verkehrshaftungsrechtliche Verantwortlichkeit trifft grundsätzlich den menschlichen Fahrzeugführer, nicht das Fahrzeug oder den Hersteller.

³⁶⁷ Vgl. im Ergebnis ebenso Bewersdorf, S. 223 f. mit Blick auf Vorliegen eines haftungsrechtlichen Verschuldens für der Rückübernahmeaufforderung vergleichbare Unkenntnis des Fahrzeugführers von den Systemgrenzen oder fehlendem Erkennen einer Systemgrenze in einer bestimmten Verkehrssituation.

³⁶⁸ ECE - Working Party on Road Traffic Safety, ECE/TRANS/WP.1/2015/8, S. 8.

2. Mangels einer willensgesteuerten Handlung beim Fahrzeugführer entfällt seine verhaltens- und haftungsrechtliche Verantwortlichkeit, wenn die Überführungssysteme bei einem medizinisch bedingten Ausfall des Fahrzeugführers zum Einsatz kommen.

3. Im Falle einer verhaltens- und haftungsrechtlich erlaubten Nutzung der Automatisierungsgrade 3 und 4 leben die verhaltens- und haftungsrechtlichen Verpflichtungen des Fahrzeugführers auf, wenn er sich dem Fahrgeschehen infolge der Einleitung eines Überführungsvorgangs, insbesondere nach einer entsprechenden Information, wieder zuwendet oder sich dem Verkehrsgeschehen wieder hätte zuwenden müssen. Die verhaltens- und haftungsrechtlichen Verpflichtungen können mithin bei drohenden Gefahren oder Schäden sein Eingreifen erforderlich machen.

4. Der Fahrzeugführer ist im Falle der Aufforderung durch das System zur Rückübernahme der Fahraufgabe gemäß § 1 II StVO verpflichtet.

F. Schlussbetrachtung: Sicherer/Risikominimaler Zustand und Forschungsbedarf

Im Rahmen der Schlussbetrachtung zur rechtlichen Beurteilung der Überführungsszenarien soll hier der Versuch einer Annäherung an den Begriff des „sicheren“ bzw. „risikominimalen Zustands“ unternommen werden.

Die Sicherheit des Straßenverkehrs ergibt sich aus dem Zusammenwirken mehrerer Komponenten: Dazu gehören das Verkehrssystem Straße als solches, die Betriebssicherheit u.a. der Kraftfahrzeuge auf den Straßen und das Verhalten der Verkehrsteilnehmer, insbesondere der Fahrzeugführer.

Verkehrssicherheit im Verkehrssystem Straße beruhte bisher zu einem wesentlichen Teil auf dem Zusammenwirken von Mensch und Maschine. Die Betriebssicherheit des Kraftfahrzeugs konnte man daher als gegeben ansehen, wenn das Fahrzeug so ausgelegt war und funktionierte, dass es dessen Beherrschbarkeit durch den Fahrzeugführer sicherstellte.³⁶⁹

In Abhängigkeit von den unterschiedlichen Automatisierungsgraden der Wirkweise B verliert das Zusammenwirken zwischen Mensch und Maschine jedoch an Bedeutung. Während das System bei der Teilautomatisierung (Level 2) während der automatisierten Fahrt so ausgelegt ist, dass der Fahrzeugführer sich jederzeit zur Übernahme der Fahraufgabe bereit halten muss, bedarf es eines Zusammenwirkens zwischen Mensch und Maschine in den Automatisierungsgraden 3 und 4 während der automatisierten Fahrt nicht mehr. Abweichend hiervon ist indes ein Zusammenwirken erforderlich beim Wechsel der Fahraufgabe vom Menschen auf das System und wieder zurück. Damit übernimmt das System während der automatisierten Fahrt in den Graden 3 und 4 Aufgaben, für deren sichere Ausführung bisher der Fahrzeugführer im Zusammenwirken mit der Fahrzeugtechnik verantwortlich war. Die Anforderungen an die Betriebssicherheit des Fahrzeugs erhöhen sich damit.

Bei Automatisierungssystemen der Wirkweise C, wie sie mit den Überführungssystemen Gegenstand des Projekts waren, scheidet ein Zusammenwirken zwischen Mensch und Maschine von vornherein grundsätzlich aus, da sie definitionsgemäß in

³⁶⁹ Vgl. Wachenfeld/Winner (2015b), S. 439, 443.

Situationen zum Einsatz kommen, die der Fahrzeugführer faktisch nicht mehr kontrollieren kann.³⁷⁰ Demgemäß kann die oben angesprochene Beherrschbarkeit des Fahrzeugs durch den Fahrzeugführer kein Kriterium für den sicheren/risikominimalen Zustand mehr darstellen.

Der Projekt-Bericht des IQZ definiert den sicheren bzw. risikominimalen Zustand im Anschluss an Isermann 2010 als „Stillstand an einem sicheren Ort“ mit der eindimensionalen Ausprägung des Abbremsens des Fahrzeugs bis zum Stillstand auf dem eigenen Fahrstreifen und in zweidimensionaler Ausprägung als Erreichen eines sicheren Ortes in Abhängigkeit vom Degradationszustand des Fahrzeugs und der zeitbezogenen Wahrscheinlichkeit.³⁷¹

Mit Blick auf diese Definition kommen aus rechtlicher Perspektive in erster Linie das Produkthaftungsrecht und das Zulassungsrecht als „Lieferanten“ von Kriterien für die Betriebssicherheit eines Kraftfahrzeugs in Betracht. Daneben können auch die straßenverkehrsrechtliche Halterhaftung sowie das Verhaltensrecht bzw. die Fahrzeugführerverantwortlichkeit nicht unberücksichtigt bleiben.

Festzuhalten ist zunächst, dass das Recht weder ausdrücklich den Begriff des „sicheren Zustands“ noch den des „risikominimalen Zustands“ kennt. Es operiert im Produkt- und im straßenverkehrsrechtlichen Haftungsrecht mit dem Begriff des „Schadens“, im Zulassungsrecht mit dem Begriff der „Schädigung“.³⁷²

Dabei geht es jeweils um Schäden, die aus der Verletzung von Personen oder Sachen entstehen. Das EU-Recht spricht von einer möglichst geringen Gefahr von Verletzungen für Insassen und andere Verkehrsteilnehmer.³⁷³ Insofern sind die Schutzgegenstände jedenfalls mit Blick auf die Verletzung von Personen gleich.

Während das Zulassungsrecht unmittelbar Schädigungen vermeiden bzw. Verletzungsgefahren möglichst gering halten will (prospektive Betrachtung), rekonstruiert das Haftungsrecht das Schadensgeschehen einschließlich des Schadens selbst retrospektiv, um über die Frage nach dem Schadenersatz entscheiden zu können. Es entfaltet damit eine Wirkung hinsichtlich der Vermeidung von Schäden mittelbar im Sinne einer Vermeidung der Haftung.

³⁷⁰ Gasser/Seeck/Smith, S. 27, 29.

³⁷¹ Meyna/Heinrich, S. 84.

³⁷² Vgl. § 1 I ProdHG, § 7 I StVG und § 30 I StVZO.

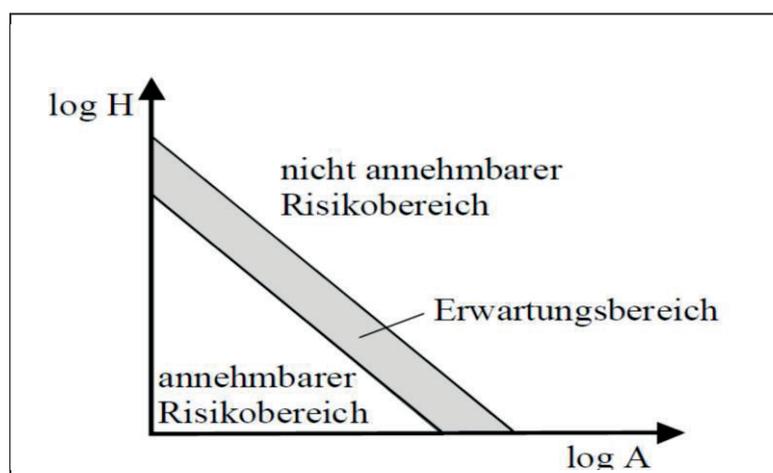
³⁷³ Art. 5 I VO (EG) Nr. 661/2009.

Mit Blick auf das Schadenshaftungsrecht ist dabei auf die folgenden zwei Umstände hinzuweisen:

Zum einen erfasst es nur Schadenssituationen. Nichtschadenssituationen sind haftungsrechtlich irrelevant. Dies muss jedoch nicht bedeuten, dass sie (technisch) sicher sind. Allerdings ist ein eingetretener Schaden ein Indiz dafür, dass sich das Fahrzeug nicht in einem sicheren Zustand befand.

Zum anderen schränken rechtliche Haftungsvoraussetzungen wie etwa die Kausalität zwischen dem haftungsbegründenden Umstand und dem Schaden die haftungsrechtlich erfassten Schäden ein. Es sind demnach Schadenssituationen denkbar, die haftungsrechtlich nicht relevant sind.

Hinweise für die technisch-konstruktive Sicherheit eines Überführungssystems liefern zunächst das Produkthaftungsrecht und das Zulassungsrecht. Die Produkthaftung verlangt die Fehlerfreiheit des Produkts. Diese ist aus konstruktiv-technischer Sicht nur dann gegeben, wenn alle konstruktiv möglichen, geeigneten und genügenden Maßnahmen getroffen wurden, um Schäden zu vermeiden, wobei der Stand von Wissenschaft und Technik zugrunde zu legen ist. Anders als in der nachfolgenden Grafik für die technische Beurteilung dargestellt, geht das Produkthaftungsrecht demnach grundsätzlich nicht davon aus, dass Risiken anzunehmen sind. Vielmehr ist jedes Risiko in erster Linie konstruktiv zu vermeiden.



Darstellung des Risikos im Farmer-Diagramm,

Fehlt es an der Vermeidbarkeit von Risiken, ist unter Abwägung von Art und Umfang der Risiken, der Wahrscheinlichkeit ihrer Verwirklichung und des mit dem Produkt verbundenen Nutzens zu prüfen, ob das gefahrträchtige Produkt überhaupt in den Verkehr gebracht werden darf.³⁷⁴ Dabei sind hohe Anforderungen an die Hinnehmbarkeit von Risiken zu stellen, weil diese Risiken bei der Fahrzeugautomatisierung Leib und Leben als hochrangige Rechtsgüter der Verkehrsteilnehmer betreffen. Insbesondere für automatisierungsbedingte Risiken, wie sie sich aus der Erlaubnis zum Abwenden und den daraus resultierenden Problemen bei der Rückübernahme der Fahraufgabe in den Automatisierungsgraden 3 und 4 ergeben, müssen konstruktive Lösungen gefunden werden. Solche Risiken sind nicht hinnehmbar, weil sie durch die Automatisierung erst hervorgerufen werden. Keine andere Beurteilung ergibt sich aus dem zulasungsrechtlichen Kriterium der Vermeidung von Schädigungen, das Maßnahmen bei Vorliegen einer abstrakten Gefahr verlangt, bzw. dem einer möglichst geringen Verletzungsgefahr. Der Begriff der abstrakten Gefahr verlangt nach der Je-desto-Formel Maßnahmen zur Vermeidung daraus resultierender Schäden, je größer der mögliche Schaden bzw. je höher die Wahrscheinlichkeit seines Eintritts ist, wobei an das jeweils zweite Element des Gefahrbegriffs umso geringere Anforderungen gestellt werden dürfen.³⁷⁵ Im Falle der angesprochenen Automatisierungsrisiken sind jedoch Schadensgröße und Schadenswahrscheinlichkeit grundsätzlich als hoch zu beurteilen.

Diese Überlegungen sind auch bei der Frage nach der Zulässigkeit von Systemgrenzen solcher technisch-konstruktiven Lösungen zu berücksichtigen. Überführungssysteme funktionieren nicht ohne jedes Risiko. Zugunsten der Systeme fällt insbesondere bei ihrem Einsatz in den Leveln 0 bis 2 ins Gewicht, dass sie die ansonsten gegebene Steuerungslosigkeit zugunsten einer maschinellen Steuerbarkeit aufheben. Ob verbleibende Risiken in gleichem Umfang bei den Automatisierungsgraden 3 und 4 hinzunehmen sind, erscheint dagegen fraglich, denn der Zustand der Steuerungslosigkeit ergibt sich hier ggf. automatisierungsbedingt.

Überlegenswert erscheint, ob mit Blick auf die Fahrzeugautomatisierung eine Absenkung der Schwelle für die Erforderlichkeit von Sicherheitsmaßnahmen erforderlich ist. Anders als bei den Bau- und Ausstattungsvorschriften für Fahrzeuge gilt beispielsweise im Umweltrecht nicht nur das Prinzip der Gefahrenabwehr, sondern auch das

³⁷⁴ BGH NJW 2009, 2952, 2953.

³⁷⁵ Vgl. zum Gefahrbegriff D.III.1.

Vorsorgeprinzip,³⁷⁶ wie es z.B. in § 7 II Nr. 3 AtG bzw. §§ 6 und 12 WHG niedergelegt ist. Damit soll potenziellen Umweltbelastungen vorgebeugt werden.³⁷⁷ Die Risikovorsorge greift bereits dann, wenn eine bloße Schadensmöglichkeit besteht, ein Schaden also nicht ausgeschlossen werden kann, und damit bei der geringsten Wahrscheinlichkeit eines Schadens, nicht erst bei dessen hinreichender Wahrscheinlichkeit, wie sie für das Vorliegen einer Gefahr (auch im Umweltrecht) erforderlich ist.³⁷⁸ Ein im Rahmen der praktischen Vernunft nicht erkennbares Risiko (verbleibendes Risiko) muss jedoch auch im Rahmen der Risikovorsorge nicht ausgeschlossen werden, auch nicht aus grundrechtlichen Erwägungen einer bestehenden Schutzpflicht des Staates für Leib und Leben aus Art. 2 II 1 GG.³⁷⁹

Mit dem Vorsorgeprinzip wird insbesondere dem Umstand Rechnung getragen, dass gesichertes wissenschaftlich-technisches Wissen über Umweltgefahren häufig nicht zur Verfügung steht.³⁸⁰ Auch bei nur möglichen Schäden sollen bereits Maßnahmen zur Abwehr der Gefahr getroffen werden können. Damit wird auch dem Umstand Rechnung getragen, dass Umweltschäden häufig erst langfristig auftreten, ihr Ausmaß oft nur schwer vorhersehbar ist, sich die Gefährlichkeit häufig erst aus dem Zusammenwirken mehrerer Faktoren ergibt und Maßnahmen zur Beseitigung der eingetretenen Schäden gegebenenfalls nur schwer möglich sind. Die Gefahren des Straßenverkehrs sind demgegenüber grundsätzlich bekannt. Die Automatisierung, eingeschlossen Überführungssysteme, muss diesen Gefahren grundsätzlich begegnen können, wobei die zulassungsrechtlichen Anforderungen an die Technik steigen, je weniger der Fahrzeugführer in die Fahraufgabe involviert ist. Die Technik selbst darf dabei, wie bereits dargelegt, nicht die abstrakte Gefahr anderer, neuer Schädigungen hervorrufen. Bei einem derartigen Verständnis der zulassungsrechtlichen Normen bedarf es u.E. nach keiner Neujustierung der Schwelle für das Erfordernis von Sicherheitsmaßnahmen im Sinne einer Risikovorsorge.

Dem Recht der Halterhaftung ist das Kriterium der Betriebsgefahr zu entnehmen. Sie resultiert mit dem Wegfall des aktiven Handelns durch den Fahrer, wie sie bei den Überführungssystemen vorausgesetzt wird, aus dem Fahrzeug und seinen Bewegungen im Verkehr selbst. Wie die Untersuchung gezeigt hat, endet die Betriebsgefahr in

³⁷⁶ Erbguth/Schlacke, S. 47.

³⁷⁷ Erbguth/Schlacke, S. 50.

³⁷⁸ Erbguth/Schlacke, S. 50.

³⁷⁹ Erbguth/Schlacke, S. 67; BVerfGE 49, 89, 143.

³⁸⁰ Erbguth/Schlacke, S. 50.

Abhängigkeit von der konkreten Verkehrssituation in der Regel nicht mit dem Stillstand des Fahrzeugs, auch nicht, wenn dieses auf dem Seitenstreifen zum Stillstand kommt. Zumeist werden zudem Maßnahmen zur Absicherung der Stillstandstelle erforderlich sein, die von den Überführungssystemen (gegenwärtig) nur bedingt geleistet werden können. Aus der Perspektive der Halterhaftung ist daher ein sicherer/risikominimaler Zustand durch die Überführungssysteme eher der Ausnahmefall. Da die Betriebsgefahr zudem nicht nur aus der technischen Beschaffenheit des Fahrzeugs, sondern auch aus den jeweiligen Verkehrssituationen und damit aus dem Verkehrssystem Straße an sich resultiert,³⁸¹ lässt sich die Betriebsgefahr als solche u.E. nicht ohne weiteres in eine konstruktiv-technische Anforderung an Überführungssysteme übersetzen. Ob und wie hier sinnvolle Abgrenzungen getroffen werden können, ist allerdings eine offene Frage.³⁸²

Vorschriften zur Verantwortlichkeit des Fahrzeugführers nach § 18 I StVG bzw. aus dem Verhaltensrecht könnten Anhaltspunkte liefern für einen konstruktiv-technischen Sicherheitsmaßstab in Bezug auf Überführungssysteme, nach dem diese in ihren Fahrmanövern mindestens so sicher wie ein Mensch funktionieren müssen, ergänzt um das höhere Maß an Sicherheit, das sich aus der technischen Überlegenheit ergibt.³⁸³ Von besonderer Bedeutung dabei ist die Sicherstellung der Vorhersehbarkeit und Berechenbarkeit der automatisierten Fahrbewegungen für die übrigen Verkehrsteilnehmer. Es bleibt jedoch dabei, dass Vorschriften zur Fahrerverantwortlichkeit den Fahrzeugführer und nicht den Hersteller adressieren.

Aus dem Projekt ergeben sich u.E. im Kontext der Fahrzeugautomatisierung folgende weitere rechtliche Fragestellungen:

- Zum einen sollten die Betrachtungen zum Verhältnis Recht und risikominimaler Zustand vertieft werden. Im Fokus könnte dabei das produkthaftungs- bzw. zulassungsrechtlich ggf. akzeptable Risiko stehen, wobei das von der Halterhaftung abgedeckte Risiko des Verkehrssystems Straße besondere Beachtung finden sollte.
- Weiterhin ergeben sich Fragen mit Blick auf das Verhaltensrecht und Fahrerverantwortlichkeit einerseits und das Produkthaftungsrecht andererseits, nachdem eine technische Aufforderung zur Übernahme erfolgt ist.

³⁸¹ Vgl. Gasser, S. 543, 554.

³⁸² Gasser, S. 543, 554.

³⁸³ Vgl. etwa Gomille, C., S. 76, 77.

Schließlich sei auf die Behandlung rechtlicher Fragen im Zusammenhang mit dem im Projekt-Bericht des IQZ aufgezeigten technischen Forschungsbedarfs verwiesen.

Literaturverzeichnis

Anders, S., Die berechtigte Sicherheitserwartung – Zum produkthaftungsrechtlichen Fehlerbegriff von Fahrerassistenzsystemen in Kraftfahrzeugen, PHI 2009, S. 230-237

Bender, E.; König, P., Münchener Kommentar zum Straßenverkehrsrecht, Band 1 - Verkehrsstrafrecht und Verkehrsverwaltungsrecht, München 2016

Berz, U.; Burmann, M., Handbuch des Straßenverkehrsrechts 33. Ergänzungslieferung: April 2015, München

Bewersdorf, C., Zulassung und Haftung bei Fahrerassistenzsystemen im Straßenverkehr, Berlin 2005

Bodungen, B. v.; Hoffmann, M., Das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr und die Fahrzeugautomatisierung - Wege aus dem Zulassungsdilemma (Teil 1), SVR 2016, S. 41-47

Bodungen, B. v.; Hoffmann, M., Das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr und die Fahrzeugautomatisierung - Wege aus dem Zulassungsdilemma (Teil 2), SVR 2016, S. 93-97

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.), Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren - Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten, Berlin, September 2015

Burmann, M.; Heß, R.; Jahnke, J.; Janker, H., Straßenverkehrsrecht, 23. Aufl., München 2014

Denninger, E.; Rachor, F. (Hrsg.), Lisken/Denninger - Handbuch des Polizeirechts, 5. Auflage, München 2012

ECE - Working Party on Road Traffic Safety, Report of the sixty-eighth session of the Working Party on Road Traffic Safety (Geneva 24.-25.03.2014), ECE/TRANS/WP.1/145

ECE - Working Party on Road Traffic Safety, Report of the Seventy-first session of the Working Party on Road Traffic Safety (Geneva 05.-07.10.2015), ECE/TRANS/WP.1/151

ECE - Working Party on Road Traffic Safety, Automated driving, ECE/TRANS/WP.1/2015/8

Erbguth, W.; Schlacke, S., Umweltrecht, 5. Auflage, Baden-Baden 2014

Foerste, U.; Graf v. Westphalen, F., Produkthaftungshandbuch, 3. Auflage, München 2012

Franke, U., Rechtsprobleme beim automatisierten Fahren - ein Überblick, DAR 2016, S. 61-66

Gasser, T.M., Die Veränderung der Fahraufgabe durch Fahrerassistenz-systeme und kontinuierlich wirkende Fahrzeugautomatisierung, DAR 2015, S. 6-12

Gasser, T. M., Grundlegende und spezielle Rechtsfragen für autonome Fahrzeuge in: Maurer, M.; Gerdes, J. Chr.; Lenz, B.; Winner, H. (Hrsg.), Autonomes Fahren - Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte, Berlin, Heidelberg 2015, S. 543-574

Gasser, T. M.; Seeck, A.; Bryant, W., Rahmenbedingungen für die Fahrerassistenzentwicklung in: Winner, H.; Hakult, S.; Lotz, F.; Singer, C. (Hrsg.), Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 3. Aufl., Wiesbaden 2015, S. 27-54

Gasser, T. M.; Arzt, C.; Ayoubi, M.; Bartels, A.; Bürkle, L.; Eier, J.; Flemisch, F.; Häcker, D.; Hesse, T.; Huber, W.; Lotz, C.; Maurer, M.; Ruth-Schumacher, S.; Schwarz, J.; Vogt, W.; Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung in: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.), Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen – Fahrzeugtechnik, F 83, Bergisch Gladbach 2012

Gomille, C., Herstellerhaftung für automatisierte Fahrzeuge, JZ 2016, S. 76-82

Grüneberg, C., Schadensverursachung durch ein außerhalb der Fahrbahn abgestelltes Kfz - ein Fall des § 7 StVG, NZV 2001, S. 109-112

Haag, K., Geigel - Der Haftpflichtprozess, 27. Auflage, München 2015

Hager, J. (Hrsg.), J. von Staudingers Kommentar zum Bürgerlichen Gesetzbuch - Buch 2: Recht der Schuldverhältnisse, §§ 826-829 - Unerlaubte Handlungen, Teilband 2: Produkthaftung, 15. Neubearbeitung, München 2013

Hentschel, P.; König, P.; Dauer, P., Straßenverkehrsrecht, 43. Auflage, München 2015

Hilgendorf, E., Teilautonome Fahrzeuge: Verfassungsrechtliche Vorgaben und rechtspolitische Herausforderungen in: Hilgendorf, E.; Hötitzsch, S., Rechtliche Aspekte automatisierter Fahrzeuge - Beiträge zur 2. Würzburger Tagung zum Technikrecht im Oktober 2014, Baden-Baden 2015, S. 15-32

Informal Working Group, Proposal for amendments to Regulation No. 79 to include ACSF > 10 km/h, GRRF-81-18, <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2016/wp29grrf/GRRF-81-18e.pdf> (letzter Zugriff: 19.05.2016)

Jagow, J.; Karneth, G.; Koehl, F., Fahrerlaubnis- und Zulassungsrecht - Zulassungsvorschriften für den Straßenverkehr mit Kommentar, 1. bis 50. Ergänzungslieferung, Stand Mai 2009, München

Klindt, T.; Handorn, B., Haftung eines Herstellers für Konstruktions- und Instruktionsfehler, NJW 2010, S. 1105-1108

Klindt, T., Die Fahrzeugautomatisierung unter dem Blickwinker des Produktsicherheits- und Produkthaftungsrechts in: Hilgendorf, E.; Hötitzsch, S., Rechtliche Aspekte automatisierter Fahrzeuge - Beiträge zur 2. Würzburger Tagung zum Technikrecht im Oktober 2014, Baden-Baden 2015, S. 61-65

Lenz, T., Zur Herstellerhaftung für die Fehlauflösung von Airbags, PHI 2009, S. 196-200

Lütkes, H.; Ferner, W.; Kramer, C., Straßenverkehr - Kommentar zu StVG, StVO, FeV, StVZO, Fahrlehrerrecht, Europäisches Verkehrsrecht, Bußgeld, OWiG und StGB, 145. Ergänzungslieferung, Stand 2005, München

Lutz, L.S., Automatisiertes Fahren: Änderung des Wiener Übereinkommens tritt im März 2016 in Kraft, DAR 2016, S. 55-56.

Lutz, L.S., Autonome Fahrzeuge als rechtliche Herausforderung, NJW 2015, S. 119-124

Lutz, L.S., Zulassung eine Frage des Verhaltensrechts in: Hilgendorf, E.; Hötitzsch, S., Rechtliche Aspekte automatisierter Fahrzeuge - Beiträge zur 2. Würzburger Tagung zum Technikrecht im Oktober 2014, Baden-Baden 2015, S. 33-51

Lutz, L.S.; Tang, T.; Lienkamp, M., Die rechtliche Situation von teleoperierten und autonomen Fahrzeugen, NZV 2013, S. 57-63

Maunz, T.; Dürig, G.: Grundgesetz – Kommentar, 75. Ergänzungslieferung, Stand 09/2015, München

Meyer, O.; Harland, H., Haftung für softwarebezogene Fehlfunktionen technischer Geräte am Beispiel von Fahrerassistenzsystemen, CR 2007, S. 689-695

Mindorf, P, Verkehrsrecht - Nationale Zulassung von Personen und Fahrzeugen zum Straßenverkehr, 14. Ergänzungslieferung, Stand Juli 2012, Stuttgart

Molitoris, M.; Klindt, T., Die Entwicklungen im Produkthaftungs- und Produktsicherheitsrecht, NJW 2010, S. 1569-1573

Rebler, A., Die Genehmigung von Kraftfahrzeugen nach nationalem und europarechtlichem Standard, RAW 2013, S. 19-27

Reuter, A., ISO 26262 – Funktionale Sicherheit im Automobil, InTeR 2014, S. 163-174

Säcker, J.; Rixecker, R.; Oetker, H.; Limperg, B. (Hrsg.), Münchener Kommentar zum Bürgerlichen Gesetzbuch, Band 6: Schuldrecht - Besonderer Teil IV, §§ 705-853, Partnerschaftsgesellschaftsgesetz, Produkthaftungsgesetz, 6. Auflage, München 2013

Schmidt, M.; Rau, M.; Helmig, E.; Bauer, B., Funktionale Sicherheit – Umgang mit Unabhängigkeit, rechtlichen Rahmenbedingungen und Haftungsfragen, <http://www.sgs-tuev-saar.com/pdf/Fachartikel-ISO-26262-Jura-08-2011.pdf> (letzter Zugriff: 19.05.2016)

Schönke, A.; Schröder, H., Strafgesetzbuch – Kommentar, 29., neu bearbeitete Auflage, München 2014

Schrader, P.T., Haftungsrechtlicher Begriff des Fahrzeugführers bei zunehmender Automatisierung von Kraftfahrzeugen, NJW 2015, S. 3537-3542

Schwab, H.-J., Betrieb und Gebrauch eines Kraftfahrzeugs - hier im Sinne des § 7 Abs. 1 StVG und A 1.1.1 AKB 2008, DAR 11, S. 11-18

Steffen, E., „Höhere Gewalt“ statt „unabwendbares Ereignis“ in § 7 Abs. 2 StVG ?, DAR 1998, S. 135-138

Vogt, W., Dokumentteil 4 - Produkt- und Straßenverkehrshaftungsrecht, in: Gasser, T. M.; Arzt, C.; Ayoubi, M.; Bartels, A.; Bürkle, L.; Eier, J.; Flemisch, F.; Häcker, D.; Hesse, T.; Huber, W.; Lotz, C.; Maurer, M.; Ruth-Schumacher, S.; Schwarz, J.; Vogt, W.; Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung in: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.), Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen – Fahrzeugtechnik, F 83, Bergisch Gladbach 2012, S. 95-122

Wachenfeld, W.; Winner, H. (2015a), Der Sicherheitsnachweis für autonome Fahrzeuge in: Hilgendorf, E.; Hötitzsch, S., Rechtliche Aspekte automatisierter Fahrzeuge - Beiträge zur 2. Würzburger Tagung zum Technikrecht im Oktober 2014, Baden-Baden 2015, S. 53-60

Wachenfeld, W.; Winner, H. (2015b), Die Freigabe des autonomen Fahrens in: Maurer, M.; Gerdes, J. Chr.; Lenz, B.; Winner, H. (Hrsg.), Autonomes Fahren - Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte, Berlin, Heidelberg 2015, S. 439-464

Working Party on Brakes and Running Gear, Report of the Working Party on Brakes and Running Gear on its eightieth session (Geneva 15-18.09.2015), ECE/TRANS/WP.29/GRRF/80

Working Party on Brakes and Running Gear, Report of the Working Party on Brakes and Running Gear on its eighty-first session (Geneva, 1–5 February 2016), ECE/TRANS/WP.29/GRRF/81

Zunner, B.; Szczepkowski, T., Die Zulassung von Fahrzeugen, Köln 2009