

Masterarbeit

Einsatzmöglichkeiten eines Gesamtfahrzeugprüfstands für die effiziente Fahrzeugentwicklung der Zukunft

ausgeführt am



FACHHOCHSCHULE DER WIRTSCHAFT

Fachhochschul-Masterstudiengang
Innovationsmanagement

von

DI Alexander Heese

1810321004

betreut und begutachtet von

DI Gerd Hribernig und FH-Prof. DI Dr. mont. Michael Terler

Graz, im Jänner 2024

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Alexander Heese", is written over a horizontal dotted line. Below the line, the word "Unterschrift" is printed.

Unterschrift

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.



.....

Unterschrift

DANKSAGUNG

Diese Arbeit ist im Rahmen meiner Tätigkeit im Unternehmen Kristl, Seibt und Co GmbH (KS) entstanden. An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Kolleginnen und Kollegen für die Unterstützung und das dabei ausgezeichnete Arbeitsklima bedanken.

Mein Dank gilt dabei meinem Betreuer im Unternehmen, Herrn Dr. Martin Wipfler, der mich durch die lange Zusammenarbeit in zahlreichen fachlichen und privaten Diskussionen immer unterstützt und motiviert hat. Weiters möchte ich meinem Betreuer an der FH CAMPUS 02, Herrn FH-Prof. DI Gerd Hribernig, für die Unterstützung danken.

Nicht minder gilt mein Dank meiner Familie und meinen Freunden, die immer motivierend und mit konstruktiver Kritik hinter mir gestanden sind. Ein besonderer Dank gilt meiner Freundin Katharina für die Unterstützung und das Verständnis in vielen Situationen.

Diese Masterarbeit ist meinem während meines Studiums verstorbenen Vater gewidmet.

KURZFASSUNG

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Einsatz von Gesamtfahrzeugprüfständen für die Fahrzeugentwicklung der Zukunft. Im Rahmen von theoretischen Überlegungen, Recherchen und der Analyse von Befragungen mit Experten und Expertinnen der Branche zeigt sich, dass die Verlagerung von Erprobungsaufgaben auf Prüfstände in der Automobilindustrie fortschreitet. Dies ist vor allem auf die zunehmende Komplexität von Fahrzeugen und deren Systemen sowie den großen Aufwand bei der Straßenerprobung zurückzuführen. Die modellbasierte Erprobung auf Prüfstandssystemen bietet dabei eine Reihe von Vorteilen gegenüber der Straßenerprobung, wie beispielsweise reproduzierbare Testbedingungen, die beschleunigte Versuchsdurchführung oder Sicherheitsaspekte.

Die Verlagerung von Erprobungsaufgaben auf den Prüfstand birgt jedoch eine Reihe von Herausforderungen. Dazu gehören unter anderem die Sicherstellung der Validität der Prüfstandsergebnisse, die Integration der Prüfstandsergebnisse in den Entwicklungsprozess und die Zusammenarbeit der verschiedenen Stakeholder.

Um die Verschiebung von Erprobungsaufgaben auf den Prüfstand erfolgreich umzusetzen, ist es wichtig, die unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Stakeholderbereiche zu berücksichtigen. Das entwickelte Vorgehensmodell kann hier als ein hilfreiches Werkzeug dienen. Darüber hinaus ist ein zentraler Punkt die Einbeziehung verschiedener Stakeholder der Fahrzeugentwicklung bereits in die Entwicklung von Prüfstandskonzepten und -methoden im Kontext der Erprobung des Gesamtsystems.

Darüber hinaus ist es wichtig, die Herausforderungen bei der modellbasierten Prüfstandserprobung zu adressieren. Die modellbasierte Prüfstandserprobung bietet zwar das Potenzial zur Effizienzsteigerung und Kosteneinsparung, birgt aber auch Risiken, wie z. B. die Unsicherheit der Modellgüte.

ABSTRACT

This thesis deals with the use of complete vehicle test benches in the vehicle development of the future. Theoretical considerations, research and the analysis of interviews with experts in the industry show that the shift of testing tasks to test benches in the automotive industry is progressing. This is primarily due to the increasing complexity of vehicles and their systems as well as the great effort involved in road testing. Model-based testing on test bench systems offers a number of advantages over road testing, such as reproducible test conditions, accelerated test execution and safety aspects.

However, the transfer of testing tasks to the test bench harbours a number of challenges. These include ensuring the validity of the test bench results, integrating the test bench results into the development process and cooperation between the various stakeholders.

In order to successfully implement the transfer of testing tasks to the test bench, it is important to take into account the different requirements of the individual stakeholder areas. The process model developed can serve as a helpful tool here. In addition, a central point is the involvement of various stakeholders in vehicle development in the development of test bench concepts and methods as part of the testing of the overall system.

It is also important to address the challenges of model-based test bench testing. Although model-based test bench testing offers the potential to increase efficiency and save costs, it also harbours risks, such as the uncertainty of model quality.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
1.1	Motivation / Aufgabenstellung	1
1.2	Forschungsdesign	1
1.3	Ziele der Arbeit	3
2	Fahrzeugentwicklung	4
2.1	Produktentstehungsprozess	5
2.2	Fahrzeugentwicklung, Verifikation und Validierung	12
2.2.1	Systemdefinition und -beschreibung eines Gesamtfahrzeugs	13
2.2.2	Entwicklungs- und Freigabeprozesse	17
2.2.3	Erprobungs- und Absicherungsprozesse	19
3	Straßenerprobung (Road-Testing)	25
3.1	Einordnung in den Entwicklungsprozess	25
3.2	Prüfmethoden und -szenarien	26
3.2.1	Erprobung von Fahrwerksregelungen: Antiblockiersysteme (ABS) oder elektronisches Stabilitätsprogramme (ESC)	26
3.2.2	Erprobung von Fahrerassistenzsystemen bzw. automatisierten Fahrfunktionen am Beispiel eines Notbremsassistent	29
3.2.3	Reichweitenversuche und Leistungsmessungen	32
3.3	Einflussfaktoren	34
4	Prüfstandserprobung (Testbench-Testing)	37
4.1	Einordnung in den Entwicklungsprozess	37
4.2	Systembeschreibung von Testplattformen / Prüfstandstypen	38
4.2.1	Komponentenprüfstände	39
4.2.2	Gesamtfahrzeugprüfstände	41
4.2.2.1	Rollenprüfstände	41
4.2.2.2	Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstände	44
4.3	Prüfmethoden und -szenarien	47
4.3.1	Erprobung von Fahrwerksregelungen	48
4.3.2	Erprobung von Fahrerassistenzsystemen bzw. automatisierten Fahrfunktionen	52
4.3.3	Reichweitenversuche und Leistungsmessungen	55
4.4	Einflussfaktoren	57
5	Vorgehensmodell bei der Verlagerung der Versuchsdurchführung auf den Prüfstand	59
5.1	Ebenen im Entwicklungsprozess	59
5.2	Aufbau des Vorgehensmodells	61

6	Experteninterviews	65
6.1	Qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring	65
6.1.1	Vorgehensweise	65
6.1.2	Aufbau des Fragebogens	67
6.1.3	Definition der Kategorien	67
6.1.4	Auswahl der Expertinnen und Experten	68
6.1.5	Transkription	70
6.2	Auswertung	71
6.2.1	Kodierleitfaden	71
6.2.2	Zusammenfassende Auswertung nach den Hauptkategorien	77
6.2.2.1	Verständnis von Erprobungsmethodiken	77
6.2.2.2	Einsatz von Erprobungsplattformen über Stakeholderbereiche	79
6.2.2.3	Erprobungsmethodiken auf unterschiedlichen Plattformen	85
6.2.2.4	Erprobungsherausforderungen bei der modellbasierten Prüfstandserprobung	89
7	Handlungsempfehlung	91
8	Zusammenfassung und Ausblick	95
	Literaturverzeichnis	96
	Abbildungsverzeichnis	102
	Tabellenverzeichnis	105

1 EINLEITUNG

1.1 Motivation / Aufgabenstellung

Aufgrund der stetigen Verkürzung der Produktlebenszyklen von Fahrzeugen erfordert es dabei auch die Entwicklungszeiten zu verkürzen sowie die Kosten für die Entwicklung und Erprobung zu verringern. Nicht zuletzt durch die voranschreitende Elektrifizierung des Antriebsstrangs sowie die zunehmende Integration von Fahrerassistenzsystemen steigt der Vernetzungsaufwand im Gesamtsystem, was einen beträchtlichen Entwicklungs-, Erprobungs- und Absicherungsaufwand im Freigabeprozess im Rahmen der Fahrzeugentwicklung mit sich bringt. Um verfügbare Ressourcen (kosten-)effizient und nachhaltig einsetzen zu können werden bereits in frühen Phasen der Fahrzeugentwicklung unterschiedliche Prüfstände in verschiedenen Varianten und Ausprägungen eingesetzt. Schlussendlich erfolgt ein gewichtiger Teil der Freigabe und Absicherung (z. B. Verbund-Release-Freigaben) von Funktionen und Systemen (z. B. Antiblockiersystem (ABS), Electronic Stability Control (ESC), Antischlupfregelung (ASR)) im Gesamtfahrzeug aus unterschiedlichen Gründen aber überwiegend bei realen Straßenversuchen (z. B. Wintererprobung, Rennstreckentests, etc.).

Darüber hinaus ist besonders für hoch vernetzte Fahrfunktionen (Fahrerassistenzsysteme (FAS), Hochautomatisiertes Fahren (HAF)) wie beispielsweise Adaptive Cruise Control (ACC), Lane Keeping Assistance (LKA) der Aufwand hinsichtlich der Erprobung enorm. Völlig autonome Fahrzeuge müssten Hunderte Millionen von Kilometern und manchmal Hunderte Milliarden von Kilometern zurücklegen, um ihre Zuverlässigkeit in Bezug auf Todesfälle und Verletzungen zu beweisen. Selbst unter optimistischen Testannahmen würden die bestehenden Flotten Dutzende und manchmal Hunderte von Jahren brauchen, um diese Kilometer zurückzulegen.¹ Diese Faktoren in Kombination mit der vorherrschenden Konkurrenzsituation durch die Elektrifizierung des Automobils erfordert eine effiziente und effektive Erprobung.

1.2 Forschungsdesign

Im Rahmen der Arbeit sollen Möglichkeiten bzw. Voraussetzungen für die Erprobung von Fahrzeugen im Gesamtsystem auf unterschiedlichen Prüfstandsvarianten, im Speziellen für die Erprobung auf Gesamtfahrzeugprüfständen, untersucht werden. Dazu braucht es eine grundlegende Sichtweise auf den Fahrzeugentwicklungsprozess mit dem Fokus auf Erprobungs-, Freigabe und Absicherungsprozesse (Abbildung 1.1).

Für die Erprobung im Gesamtsystem finden in der klassischen komponentenorientierten Fahrzeugentwicklung häufig Versuche auf der Straße oder auf dem Testgelände statt. Dazu werden eine Vielzahl der Erprobungsumfänge in Form von Fahrmanövern und -szenarien bei unterschiedlichen Bedingungen durchgeführt. Gerade für die Verlagerung der Versuchsdurchführung auf den Prüfstand braucht es eine Analyse und in weiterer Folge eine Definition von relevanten Einflussfaktoren im Kontext dieser Erprobungsplattform. Dies erfolgt grundlegend durch

¹Vgl. Kalra/Paddock (2016), S. 182., Online-Quelle [05.01.2024].

die Analyse von konkreten Erprobungsszenarien von Fahrfunktionen und der dabei relevanten Faktoren. Im nächsten Schritt werden aktuelle Möglichkeiten hinsichtlich Prüfverfahren für die Erprobung auf Prüfständen recherchiert und analysiert. Dazu werden unterschiedliche Prüfstandsvarianten entlang des Prozesses der Systemintegration von der Komponentenentwicklung bis zum Gesamtfahrzeug analysiert. Zusätzlich werden Möglichkeiten für die Verlagerung der im Rahmen der Straßenerprobung analysierten Versuchsszenarien auf Prüfständen aufgezeigt. Durch den Vergleich von Einflussfaktoren zwischen der Straßen- und Prüfstandserprobung wird in der Folge ein Vorgehensmodell zur Verschiebung der Versuche auf den Prüfstand erarbeitet, welches besonders auf die notwendige Methodenentwicklung und Absicherung der modellbasierten Prüfstandserprobung abgestimmt wird.

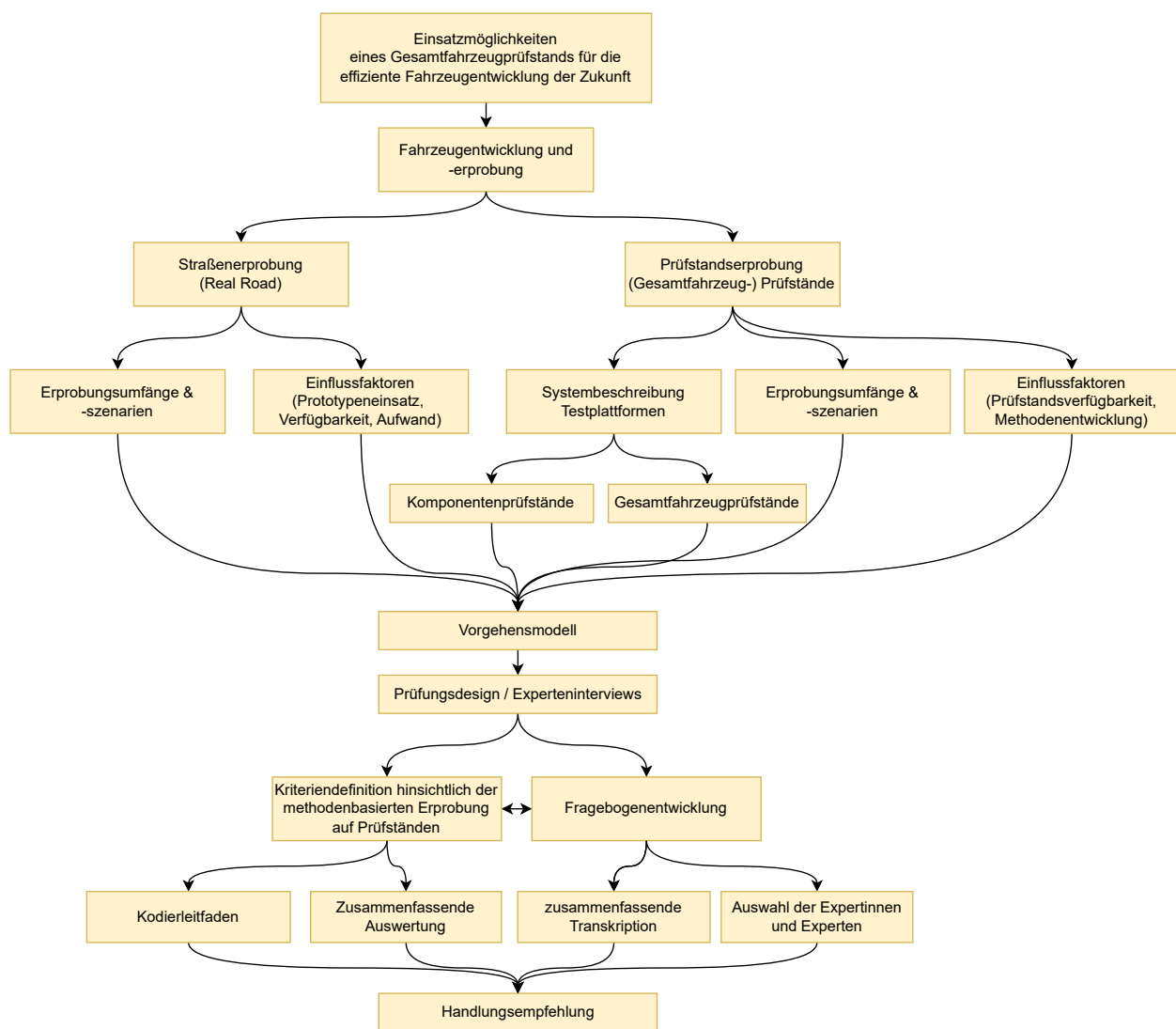


Abb. 1.1: Forschungsdesign, Quelle: Eigene Darstellung

Ein rein quantitativer Vergleich auf Basis von Kosten, Verfügbarkeiten oder Auslastungen zwischen der Straßen- und Prüfstandserprobung ist aus mehreren Gründen nicht zielführend. Die Bewertung für den sinnvollen Einsatz

von Prüfständen im Rahmen der Erprobung könnte überwiegend nur auf bereits bestehenden Erprobungsszenarien basieren. Gerade der technologische Wandel von Fahrzeugen und der damit einhergehenden und notwendigen Transformation von Erprobungsumfängen (z. B. FAS, HAF) lässt eine Exploration der Kostenbetrachtung nicht wirklich zu. Darüber hinaus stehen durch viele technologische Hürden vieler Fahrzeugfunktionen einzelne Erprobungsnotwendigkeiten und -umfänge noch gar nicht fest (z. B. technologisch sinnvolle und rechtliche Rahmenbedingungen für die Erprobung von Systemen mit künstlicher Intelligenz).

Ein Vorgehensmodell zur Entwicklung von Prüfmethoden für Prüfstände, das basierend auf Erprobungsszenarien Abhängigkeiten zwischen unterschiedlichen Prozessen und Stakeholdern identifiziert und darstellt, kann in Abhängigkeit zu den technologischen Faktoren auch für eine quantitative Bewertung die Basis darstellen.

Im Rahmen einer qualitativen Inhaltsanalyse von Befragungen mit Expertinnen und Experten der Branche soll der Einsatz von aktuellen Erprobungsplattformen sowie dessen Erprobungsmethodiken beleuchtet. Dazu braucht es ein Verständnis über die Erprobungsvorgänge in einzelnen Stakeholderbereichen. Darunter fallen Kriterien wie die Versuchsdefinition und Festlegung von Erprobungszielen. Skeptische Sichtweisen zur modellbasierten Prüfstandserprobung sollen analysiert werden, um diese Erprobungsform auf vielen Prüfstandssystemen im Rahmen der Systemintegration etablieren zu können.

1.3 Ziele der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, die Rahmenbedingungen für den Einsatz von Prüfständen, im Speziellen von Gesamtfahrzeugprüfständen, in der Fahrzeugentwicklung und im Rahmen der Systemintegration zum Gesamtsystem definieren zu können. Die zentrale Forschungsfrage dabei lautet:

Wie kann ein strukturierter methodenorientierter Ansatz zur Entwicklung von modellbasierten Prüfmethoden für Prüfstände in der Automobilindustrie gestaltet werden, um die Effizienz und Effektivität der Erprobung von Fahrzeugsystemen zu verbessern und gleichzeitig Herausforderungen wie die Unsicherheit der Modellgüte zu adressieren?

Das bedeutet, dass gerade aus der Gesamtfahrzeugsicht auf Basis von notwendigen Erprobungsszenarien im konventionellen straßenbasierten Ansatz eine strukturierte Verlagerung mit den technologischen Möglichkeiten auf dem Prüfstand erarbeitet wird. Neben den technologischen Möglichkeiten bzw. Herausforderungen sollen auch die Sichtweisen und Stellenwerte unterschiedlicher Stakeholder entlang des Fahrzeugentwicklungsprozess und der Integration für die Erprobung auf Gesamtfahrzeugebene berücksichtigt werden.

2 FAHRZEUGENTWICKLUNG

Die Entwicklung von Fahrzeugen ist ein komplexer und vielschichtiger Prozess, bei dem sehr viele unterschiedliche Bereiche in Einklang gebracht werden müssen. Dazu zählen an erster Stelle Faktoren, die zur Erfüllung von Kundenanforderungen beitragen. Gerade immer höhere Anforderungen an die Fahrzeuge in Bezug auf Individualisierung und Differenzierung, aber auch Anforderungen an Performance, Umweltfreundlichkeit, Energieeffizienz und Komfort stellen viele Fahrzeug- bzw. Komponentenhersteller vor Herausforderungen, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

Darüber hinaus ist die Automobilindustrie in einem stetigen Wandel, sodass aktuelle Trends und Technologien wie die Elektromobilität, die Automatisierung des Fahrens oder die Vernetzung im und um das Fahrzeug immer wichtiger werden. Diese Entwicklungen erfordern eine enorme Innovationskraft und Investitionen in die Forschung und Entwicklung. Neben den Chancen, die durch diese Entwicklungen in Bezug auf technologische Fortschritte entstehen, ergeben sich auch Risiken aus Sicht vieler Unternehmen. Besonders die Verlagerung der technologischen Schwerpunkte im Gesamtfahrzeug von der Hardware zur Software bringt ein viel größeres Spektrum an Konkurrenz und Wettbewerb mit sich. Eine alternative Sichtweise hierzu ist, dass große Softwarefirmen Komplementäre zur Branche darstellen könnten.

Wie einleitend erwähnt, ist der Prozess der Fahrzeugentwicklung ein sehr komplexer und unübersichtlicher durch die Vielzahl an Stakeholdern. Besonders im Rahmen des Entstehungsprozesses von Fahrzeugen gilt es die unterschiedlichen Bereiche in einem strukturierten Prozess abzustimmen. Ein kleiner Ausschnitt an möglichen Stakeholdern ist in Abbildung 2.1 angeführt.



Abb. 2.1: Wordcloud mit Stakeholdern in der Automobilindustrie, Quelle: Eigene Darstellung

Durch die technologische Transformation von modernen Fahrzeugen drängen zudem neue Automobilhersteller (Original Equipment Manufacturer (OEM)) auf den Markt. Getrieben durch die Konkurrenzsituation, den technologischen Wettkampf in vielen Bereichen sowie durch den damit verbundenen Kostendruck müssen sich die Entstehungszyklen von Fahrzeugmodellen und -varianten stetig verkürzen. Darüber hinaus gilt es aber gesetzliche bzw. rechtliche Rahmenbedingungen einzuhalten.

Dahingehend müssen einzelne Komponenten, Funktionen und Systeme über die unterschiedlichen Ebenen des Entstehungsprozesses auf Basis definierter Kriterien erprobt und abgesichert werden. Im Folgenden gilt es daher ein Grundverständnis für einzelne Prozessschritte in der Fahrzeugentstehung auch im Hinblick auf das Zusammenspiel verschiedener Stakeholder (z. B. Zulieferer) zu verstehen, sodass in weiterer Folge der Stellenwert von Erprobungen sichtbar wird.

2.1 Produktentstehungsprozess

Der klassische Produktentstehungsprozess (PEP) von Fahrzeugen ist ein komplexer und strukturierter Ablauf, der von der Konzeption bis zur Markteinführung eines Fahrzeugs reicht. Dieser Prozess umfasst grundsätzlich alle Phasen der Entwicklung und beschreibt die Kernprozesse, um ein Produkt termin-, qualitäts-, kostengerecht und nachhaltig am Markt zu platzieren.² Letztendlich beruht die Komplexität des Produktentstehungsprozesses auf den vielfältigen Anforderungen an die Produktgestaltung, insbesondere wenn es sich um ein Fahrzeug für den globalen Markt handelt.³

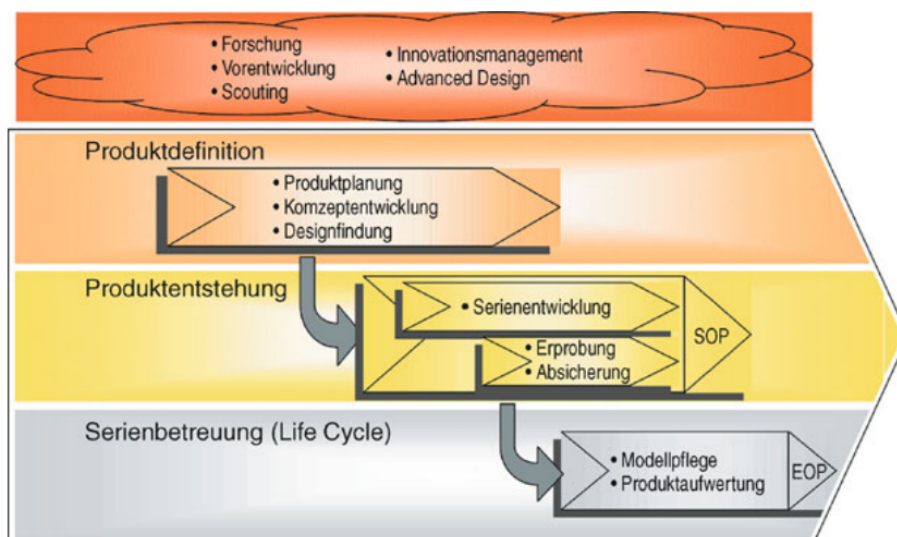


Abb. 2.2: Vereinfachte Darstellung des Produktentstehungsprozesses, Quelle: Pischinger/Seiffert (2016), S. 1258.

Der in Abbildung 2.2 stark vereinfacht dargestellte Produktentstehungsprozess umfasst allgemein die Phasen von der Produktdefinition über die Produktentstehung (Start of Production (SOP)) bis zur Serienbetreuung (Life-

²Vgl. Porsche Engineering (2015), S. 10 f., Online-Quelle [07.08.2023].

³Vgl. Pischinger/Seiffert (2016), S. 1258.

Cycle-Management, End of Production (EOP)). Vorgelagert dem eigentlichen Produktentstehungsprozess ist der Abschnitt der Vorentwicklung (Pre-PEP), welcher vorrangig der Konkretisierung der Produktidee dient.⁴ Dafür werden Produktmerkmale und Anforderungen bzw. Innovationen sowie Wettbewerber, Partner und Zielmärkte in einem Produktsteckbrief festgehalten, welcher auch die Basis für erste Bewertungen mit Hinblick auf die Machbarkeit und technische Zielsetzungen, die Sicherheit des Produkts, Markt- und Kundenbedürfnisanalysen sowie wirtschaftliche Rahmendaten darstellt. Komplexe Innovationen wie die Entwicklung von neuen Antriebsvarianten benötigen zudem einen erheblichen Zeitaufwand für die Grundlagenforschung und die Vorentwicklung, bis der erforderliche Reifegrad erreicht ist, um sie in weiterer Folge in Produktkonzepte integrieren zu können.⁵ Letztendlich ist das Ergebnis dieser Vorentstehungsphase ein Grobkonzept für das Gesamtfahrzeug.

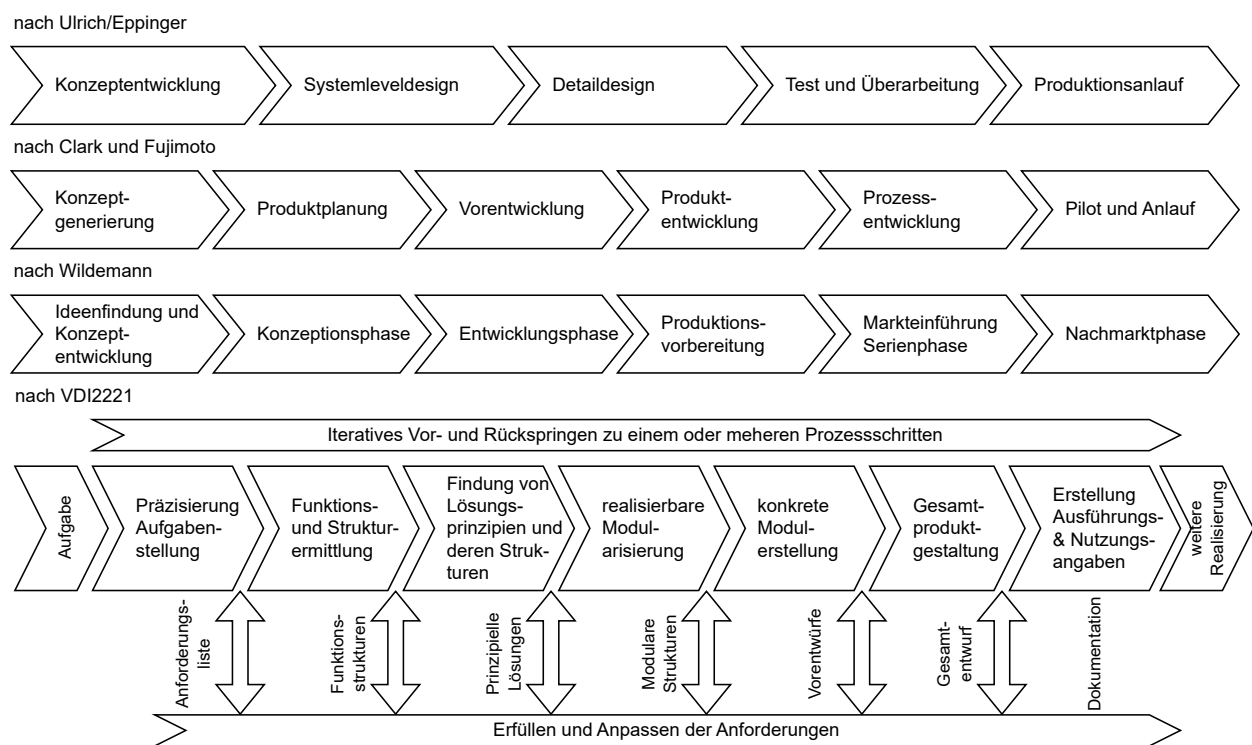


Abb. 2.3: Vergleich von verschiedenen Modellen zur Beschreibung des Produktentwicklungsprozesses, Quelle: Eigene Darstellung angelehnt an Schömann (2012), S. 81.

Prinzipiell gestaltet jeder Fahrzeughersteller (OEM) einen spezifischen Produktentstehungsprozess, der besonders für die eigenen Netzwerke, Strukturen und Prozesse optimiert ist. In der Literatur finden sich dahingehend eine Vielzahl an Modellvarianten für die Beschreibung dieses Prozesses. Beispiele hierfür wären der PEP nach Ulrich und Eppinger⁶, nach Clark und Fujimoto⁷, nach Wildemann⁸ oder nach VDI 2221⁹ (Abbildung 2.3).

Die grundsätzliche Gemeinsamkeit der verschiedenen Modelle ist die phasenweise Ausrichtung, wobei unter-

⁴Vgl. Porsche Engineering (2015), S. 11 f., Online-Quelle [07.08.2023].

⁵Vgl. Vahs/Brem (2015), S. 381.

⁶Vgl. Ulrich/Eppinger (2016), S. 22 f.

⁷Vgl. Fujimoto (1999), S. 205 f.

⁸Vgl. Wildemann (2023), S. 34 f.

⁹Vgl. VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Projektmanagement (2019), Online-Quelle [14.08.2023].

schiedliche Bezeichnungen und Anordnungen der einzelnen Abschnitte gewählt werden und die Aktivitäts- und Informationsreihenfolge prinzipiell sequentiell ausfällt.¹⁰ Nicht zuletzt durch den steigenden Kostendruck sowie die notwendige Verkürzung von Entwicklungszeiten und der weltweiten und unternehmensübergreifenden Arbeitsteilung innerhalb der Wertschöpfungskette führt zu einem komplexeren und vernetzten Ablauf des PEP.¹¹ Im Folgenden wird ein Konzept eines Produktentwicklungsprozess aus dem praktischen Umfeld mit offensichtlicher Anlehnung an die zuvor beschriebenen Modelle näher erklärt. Dabei sollen besonders der Stellenwert und die Abhängigkeiten des Versuchs bzw. der Absicherung und der Erprobung mit anderen Bereichen des PEP herausgearbeitet werden. Prinzipiell geht aus Abbildung 2.4 hervor, dass die Grundvoraussetzung für den effizienten Produktfortschritt ein durchgängiger Prozess mit entsprechender Meilenstein-Struktur (Stage-Gate-Prozess¹²) unter Einbeziehung verschiedener Abteilungen und Geschäftsbereiche ist.¹³ Dahingehend sind auch wechselseitige Beziehungen zwischen den einzelnen Geschäftsbereichen, Abteilungen und Lieferanten erkennbar.

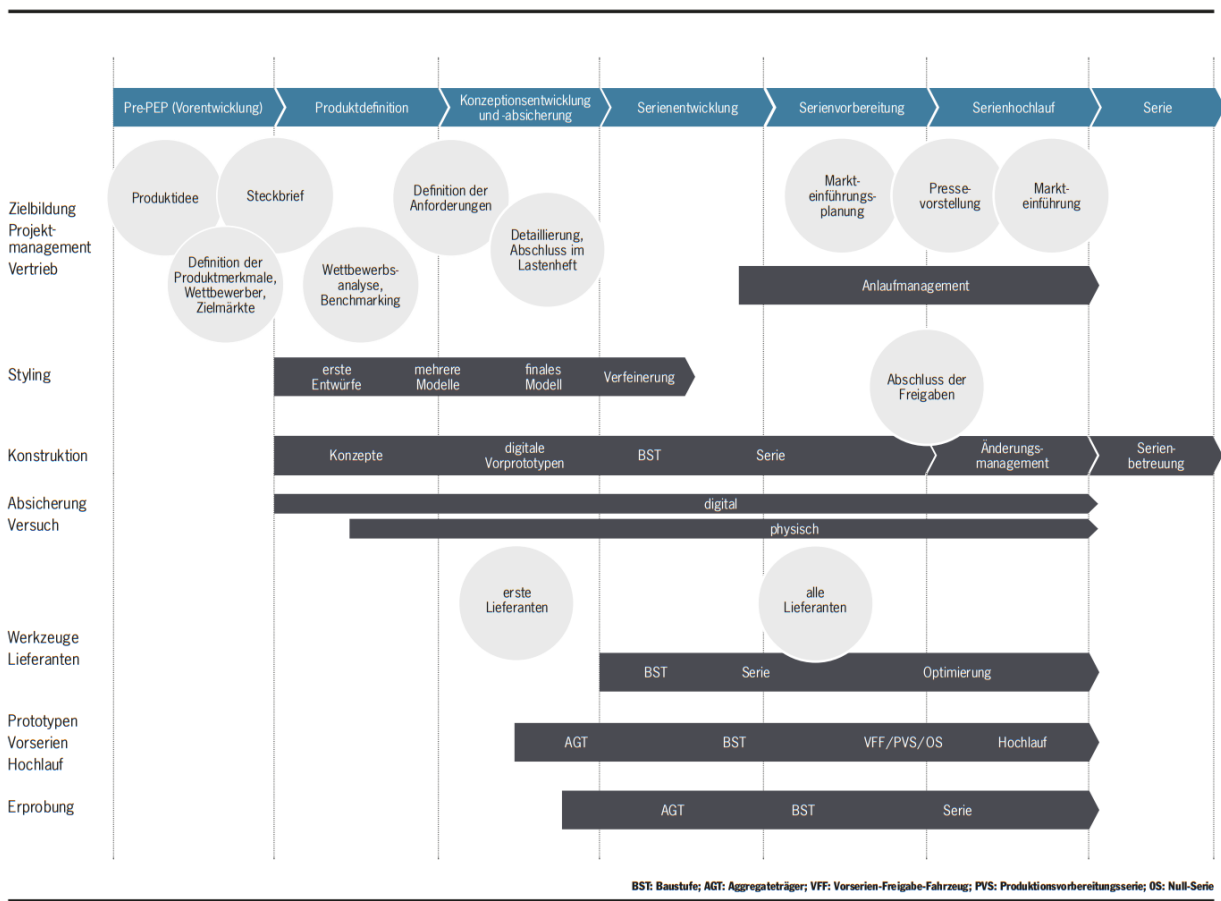


Abb. 2.4: Variante eines Produktentwicklungsprozess, Quelle: Porsche Engineering (2015), Online-Quelle [07.08.2022].

¹⁰Vgl. Ulrich/Eppinger (2016), S. 22.

¹¹Vgl. Eigner/Stelzer (2009), S. 14.

¹²Vgl. Cooper (1990), S. 44 ff.

¹³Vgl. Pischinger/Seiffert (2016), S. 1262 f.

Wie einleitend in dieses Kapitel erklärt, beginnt vor dem eigentlichen Start des PEP die Phase der Vorentwicklung (Pre-PEP). Während dieses Abschnitts wird die Produktidee konkretisiert und in einem Produktsteckbrief ausformuliert. Dieser Steckbrief bildet in weiterer Folge die Basis für erste Analysen hinsichtlich der technologischen Ausrichtung sowie möglicher Innovationen, der Zielmarkt- und Kundenbedürfnisse und der Wettbewerbssituation. Durch die Tatsache, dass sich die Produktentwicklung von Kraftfahrzeugen durchschnittlich über mehrere Jahre abhängig des Entwicklungsumfangs erstrecken kann, müssen vor allem die voranschreitenden technologischen Möglichkeiten sowie die Entwicklung der Markt- und Kundenbedürfnisse bis zum Zeitpunkt des SOP vorausgesagt oder angenommen werden. Hierzu werden oftmals aus Sicht der OEMs externe Zukunfts- bzw. Trendforschungsinstitute hinzugezogen. Ganz allgemein kann aber auch festgehalten werden, dass der Technology Push im Markt für Personenkraftwagen (PKW) die überwiegende Mehrheit von Innovationen und Neuerungen einnimmt und somit die Entwicklungsgeschwindigkeit einen maßgeblichen Einfluss auf die Marktposition einzelner Hersteller hat.

Der gesamtheitliche Produktentstehungsprozess beginnt mit der Phase der konkreten Produktdefinition auf Basis des zuvor formulierten Produktsteckbriefs sowie einer fundierten Analyse der technologischen Möglichkeiten und Innovationen (z. B. automatisierte oder autonome Fahrerumgebungen), der Markt- und Kundenbedürfnisse und der rechtlichen Rahmenbedingungen (z. B. Verbot von Benzin und Dieselfahrzeuge in der Europäischen Union ab 2035¹⁴). Die Fachbereiche des Fahrzeugherstellers leiten daher aus dem Produktsteckbrief die fundamentalen Anforderungen an das Produkt unter Berücksichtigung der durch die Analysen und Bewertungen gewonnenen Informationen ab.¹⁵ Unter diesen Rahmenbedingungen können weiterführend Konzepte für das Gesamtfahrzeug und alle relevanten Systemebenen erarbeitet werden. Unter den Systemebenen werden beispielsweise Designkonzepte (z. B. Aerodynamikzielwerte) oder Modellvarianten bezogen auf die verfügbaren Antriebsvarianten des Gesamtfahrzeugs (2WD¹⁶, 4WD¹⁷), die Betriebsstrategie bei Hybridfahrzeugen¹⁸ bis hin zur detaillierten Hardware- und Vernetzungsarchitektur von Steuergeräten sowie der darauf implementierten Software verstanden. Eine weitere Präzisierung und gegebenenfalls Modifizierung der Anforderungen durch die Fachbereiche während der nachfolgenden Arbeitsabschnitte erfolgt üblicherweise in iterativen Schleifen.¹⁹

Besonders im Hinblick auf die mehrheitlich parallel stattfindende Entwicklung einzelner Subsysteme in den einzelnen Entstehungsphasen des Gesamtfahrzeugs ist es notwendig frühzeitig begleitende Prozesse zu etablieren. Hierzu zählen neben dem Projektmanagement vor allem das Kostenmanagement, das Qualitäts- und Risikomanagement, Normung und Patente, Änderungsmanagement sowie Beschaffung und Fertigungsplanung. Im Rahmen der Kostenkontrolle (Kostencontrolling) soll neben den Produktkosten (z. B. definiert durch die Herstellkosten) auch eine Optimierung der entstehenden Kosten über den gesamten Lebenszyklus des Gesamtfahrzeugs

¹⁴Vgl. Europäisches Parlament (2023), Online-Quelle [22.08.2023].

¹⁵Vgl. Porsche Engineering (2015), S. 11., Online-Quelle [07.08.2023].

¹⁶2-Wheel-Drive (Front- oder Heckantrieb) (2WD)

¹⁷4-Wheel-Drive (Allradantrieb) (4WD)

¹⁸Vgl. Tschöke/Gutzmer (2019), S. 139 ff.

¹⁹Vgl. VDI-Fachbereich Produktentwicklung (1993), S. 10.

(Total cost of ownership (TCO)) erfolgen.²⁰

Der Meilenstein der nächsten Entwicklungsstufe ist ein belastbares Modell sowie ein detailliertes Lastenheft (Anforderungsliste) des Gesamtfahrzeugs. Üblicherweise werden in dieser Entwicklungsstufe Vorentwicklungen, Machbarkeitsstudien oder der Bau von Prototypkonzepten parallel zur Planungsphase durchgeführt.²¹ Unter Umständen kann es auch bereits zu diesem Zeitpunkt sinnvoll sein, externe Partner und Lieferanten in den Produktentstehungsprozess mit einzubinden.

Potentielle Modellvarianten werden unter anderem auf Basis der ursprünglich definierten Anforderungen bewertet, verifiziert und zur Freigabe vorgelegt. Neben der bereits angesprochenen schwierigen Definition relevanter Markt- und Kundenbedürfnisse zum Startzeitpunkt der tatsächlichen Serienproduktion ist vor allem auch der durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Kraftfahrzeugen entfachte technologische Wettkampf vieler OEMs (z. B. Reichweite eines Elektrofahrzeugs, Ladeleistung) im Hinblick auf patentrechtliche, normative oder gesetzliche Bestimmungen relevant. Ein weiterer Aspekt hierzu ist mit Sicherheit die zunehmende Automatisierung von Fahrfunktionen (z. B. Spurhalteassistent, Einparkassistent). Vor diesem Hintergrund gestaltet sich die Entscheidungsfindung für ein finales Modell äußerst komplex und wird üblicherweise mit detaillierten Bewertungsverfahren bewältigt. Prinzipiell können folgende Kriterien neben der aus der Aufgabenstellung selbst festgelegten Eigenschaften für eine Auswahl herangezogen werden:²²

- Entwicklungs- bzw. Herstellkosten
- Entwicklungsaufwand (z. B. können Entwicklungszeiten und -ziele mit verfügbaren Ressourcen eingehalten werden?)
- Entwicklungsrisiko / Realisierbarkeit (z. B. technologische Hürden)
- Kunden- und gesellschaftlicher Nutzen (z. B. lokale Emissionsfreiheit bei Elektrofahrzeugen)
- Gesetzliche Rahmenbedingungen (z. B. Verbot von Benzin und Dieselfahrzeugen ab 2035)
- Potentielle weitere produktspezifische Kriterien (z. B. sollen eine oder mehrere Produktvarianten angeboten werden?)

Darüber hinaus kann die Entscheidungsfindung für eine optimale und gesamtheitliche Produktlösung durch den Einsatz von virtuellen Fahrzeug- und Fahrsimulatoren erheblich erleichtert werden. Dadurch lässt sich neben einer Verkürzung der Entwicklungszeit, der Reduzierung des Prototypenaufbaus und der Erkennung von Zielkonflikten bei der Gesamtkonzeptauslegung unter Umständen auch eine deutlich höhere Produktreife zum Produktionsstartzeitpunkt erreichen.²³ Dies setzt bei der Fahrzeugentwicklung eine funktionsorientierte Entwicklung an Stelle des traditionellen komponentenbasierten Ansatzes voraus. Einen Schwerpunkt bildet hierbei das softwaredefinierte Fahrzeug.²⁴ Besonders durch die Vielzahl an Komponenten und Systemen wie beispielsweise

²⁰Vgl. Naefe/Luderich (2005), S. 33 ff.

²¹Vgl. Naefe/Luderich (2005), S. 33 f.

²²Vgl. Naefe/Luderich (2005), S. 34 f.

²³Vgl. Pischinger/Seiffert (2016), S. 1279 f.

²⁴Vgl. AVL (2023), Online-Quelle [25.08.2023].

Fahrwerk und Karosserie über Antriebsvarianten bis hin zu ADAS²⁵/AD²⁶-Funktionen und anderen technischen Charakteristika, welche funktionsbezogen eine große Schnittstelle zueinander besitzen, steigert sich auch der Erprobungs- und Absicherungsaufwand.²⁷

Dies erfordert eine frühzeitige Erprobung und Absicherung im Gesamtsystem und kann mit der Verlagerung des Prototypen in eine virtuelle Umgebung ermöglicht werden. Damit können solche komplexe Systeme (z. B. Antiblockiersystem, Elektronisches Stabilitätsprogramm, etc.) in sehr frühen Entstehungsphasen des realen Gesamtfahrzeugs in einer realitätsnahen Simulation erfolgen. Die Basis an die Qualität der Fahrdynamik- oder Fahrsimulation stellt primär das Entwicklungs- bzw. Erprobungsziel dar. Während für strukturelle oder funktionelle Versuche rudimentäre Simulationsumgebungen ausreichen ist die Methodenentwicklung und -absicherung für komplexe Systeme deutlich aufwendiger. Hierfür muss in weiterer Folge eine Abwägung der Vorteile im Rahmen des Produktentstehungsprozesses gemacht werden. Nichtsdestotrotz können zahlreiche Rücksprünge in den Entwicklungsschritten oder Erkennung von Fehlern erst anhand von realen Prototypen oder im Worst-Case Szenario erst bei Start der Serienfertigung erhebliche wirtschaftliche und imagetechnische Schäden verursachen.²⁸ Beim Übergang in die Serienentwicklung nimmt der Versuchs- und Absicherungsaufwand neben der eigentlichen Entwicklungstätigkeit die wichtigste Rolle ein. Maßgebliche Konzeptänderungen haben zu diesem Zeitpunkt des Produktentstehungsprozesses bereits eine hohe Tragweite im Hinblick auf die Entwicklungsqualität, -kosten und -zeiten. Aus diesem Grund wird im Gegensatz zur traditionellen Vorgehensweise, der rein sequentiellen Bearbeitung der Entwicklungsphasen von der Komponentenentwicklung bis hin zur eigentlichen Funktionserprobung mit einem realen Prototypen versucht, komplexe zusammenhängende Systeme aus gesamtheitlicher Sicht zu erproben. Das bedeutet, dass die Entwicklung und Erprobung dieser komplexen Funktionen mit einer Kombination aus real zur Verfügung stehenden Teilen (Software oder Hardware) und virtuellen Komponenten in einem Gesamtsystem, einer Co-Simulation erfolgt (Abbildung 2.5). Noch nicht zur Verfügung stehende Teile oder Bereiche werden, sofern möglich, durch simulierte Modelle oder Modellteile ersetzt. Es kommen somit Prüflinge aus einer Kombination aus Modellen, Rapid-Prototyping Modulen und realen Komponenten zum Einsatz.²⁹ Dieser Vorteil der Co-Simulation kann besonders auf hochmodernen Prüfstandssystemen ausgenutzt werden. Gleichzeitig besteht der Anspruch, dass einzelne Komponenten auf ihre korrekte Funktion, Robustheit und Beständigkeit getestet und weiterentwickelt werden.

In nachfolgenden Entwicklungs- und Versuchsschritten können graduell virtuelle Modellteile gegen reale Komponenten oder Systeme getauscht werden, wobei die eingesetzten Prüfmethode und -szenarien im Idealfall erweitert werden. Nichtsdestotrotz werden in aktuellen Versuchs- und Absicherungsprozesse von Gesamtfahrzeugen eine Vielzahl an Straßentestkilometern abgspult. Dies liegt überwiegend an unzureichend verifizierten und validierten Simulationsumgebungen und der damit einhergehenden unzureichenden Qualität der Mess- und Versuchsergebnisse.

²⁵Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)

²⁶Automated Driving (AD)

²⁷Vgl. AVL (2023), Online-Quelle [25.08.2023].

²⁸Vgl. Eigner/Stelzer (2009), S. 12.

²⁹Vgl. Liebl/Beidl (2018), S. 5 f.

Bei der Serienvorbereitung bzw. beim Serienhochlauf rücken neben der Fahrzeugentwicklung, Erprobung und Absicherung zusätzliche Aspekte wie die Markteinführungsplanung, die Marketingstrategie oder das Lieferantenmanagement vermehrt in den Vordergrund. Zudem finden in diesen beiden Entstehungsphasen üblicherweise auch Produktvorstellungen statt. Diese Stufe der Produktentstehung konkretisiert damit, ob das Produkt erfolgreich oder nicht erfolgreich am Markt platziert werden kann. Einerseits können die zu Beginn der Produktentstehung definierten und über den gesamte Entwicklungszeitraum iterativ angepassten Kunden- und Marktbedürfnisse den tatsächlich zum Startzeitpunkt der Serienfertigung herrschenden Bedürfnissen gegenübergestellt werden, andererseits werden technologische Innovationen bei konkurrierenden Herstellern erst zu diesen Phasen deutlich. Ein potentieller Nachteil des Produkts bei wichtigen Kriterien wie Technologie, Innovation im Rahmen des jeweiligen Preissegments mit nachfolgenden Änderungs- oder Neuentwicklungskosten würde nicht nur einen erheblichen wirtschaftlichen Schaden bedeuten sondern auch eine Verzögerung des ohnehin schon lange andauernden Produktentstehungsprozesses mit sich bringen.³⁰ Prinzipiell ist nach Abschluss des Serienhochlaufs die eigentliche Produktentwicklung abgeschlossen. Der gesamtheitliche PEP betrachtet zusätzlich noch die Phase die Serienbetreuung.



Abb. 2.5: Einordnung der virtuellen bzw. realen Fahrzeugerprobung in den Produktentstehungsprozess, Quelle: angelehnt an Pischinger/Seiffert (2016), S. 1284.

³⁰Vgl. Eigner/Stelzer (2009), S. 15 f.

2.2 Fahrzeugentwicklung, Verifikation und Validierung

Erprobungsszenarien sowie Freigabe- und Absicherungsprozesse stellen üblicherweise wichtige Abschnitte und Meilensteine im Rahmen der Fahrzeugentwicklung dar. Ausschlaggebend hierfür sind mehrere Aspekte. Vor allem durch den Cross-Enterprise Engineering Ansatz bei der Produktentwicklung, bei dem eine Parallelisierung, Verteilung und Vernetzung verschiedener Entwicklungsschritte innerhalb des Unternehmens und im Rahmen der Zuliefer- und Kundenbeziehung über alle Disziplinen hinweg stattfindet, wird die Vielschichtigkeit des Produkts ausgeweitet.³¹ Darüber hinaus verstärkt der Megatrend der Individualisierung besonders bei Fahrzeugherstellern, die eine Differenzierung mit ihrer Produktstrategie anstreben, die Modellvielfalt zusätzlich und damit in weiterer Folge die Komplexität.³² Hinzu kommen Faktoren wie die voranschreitende Elektrifizierung des Antriebsstrangs oder die funktionsbezogene Vernetzung verschiedener Komponenten im Gesamtfahrzeugkontext (z. B. ADAS, AD). Sämtliche Faktoren erfordern eine strukturierte Funktionserprobung, Verifikation und Validierung. Das in der Automobilindustrie und ihrem Umfeld weit verbreitete V-Modell nach VDI 2206 stellt hierfür eine geeignete und vielseitig anwendbare Basis der Vorgehensweise bei der Entwicklung und Erprobung dar (Abbildung 2.6).

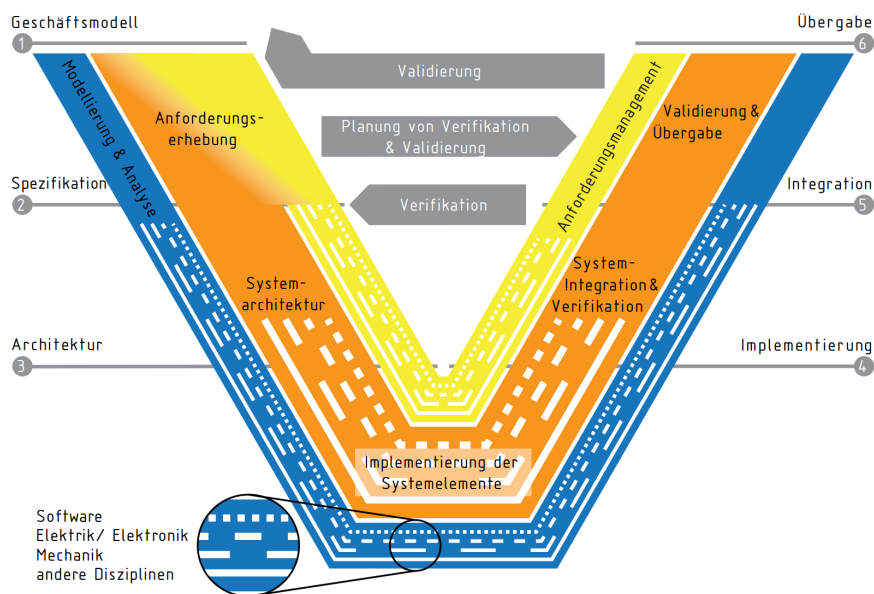


Abb. 2.6: Darstellung des V-Modells nach VDI/VDE 2206:2021, Quelle: VDI-Fachbereich Mess- und Automatisierungstechnik (2021), Online-Quelle [31.08.2023].

Prinzipiell stützt sich die Anwendung des V-Modells im Produktentstehungsprozess auf das Systemdenken, das eine klare Definition seiner Elemente, seiner Verbindungen und die Trennung von der Umwelt durch die Definition von Systemgrenzen beinhaltet.³³ Strukturell beschreibt das V-Modell die einzelnen Phasen der Entwicklung von

³¹Vgl. Eigner/Stelzer (2009), S. 18 f.

³²Vgl. Raubold (2011), S. 12.

³³Vgl. Graessler/Hentze (2020), S. 316., Online-Quelle [03.09.2023].

der Anforderungsdefinition und der Beschreibung der Systemarchitektur über die Systementwicklung bis hin zur Systemintegration. Das Vorgehensmodell sieht überdies neben der Definition der Anforderungen an das System oder Produkt auch die Planung der Kriterien für die später zu erfolgende Systemverifikation und -absicherung vor. Entlang des Entwicklungszyklus' des V-Modells findet bereits in iterativen Schritten eine stetige Verifikation und Absicherung der entwickelten Systemelemente auf Basis der definierten Anforderungen statt. Dieser wiederkehrende Link zurück zu den Anforderungen an das System bzw. die Systemarchitektur ist mitunter ein zentrales Element des Vorgehensmodells für eine erfolgreiche Produktentwicklung.

Darüber hinaus besteht das V-Modell prinzipiell aus drei Hauptsträngen stellvertretend für die elementaren Handlungsfelder, welche über den gesamten Prozess bedient werden müssen (Abbildung 2.6). Der orange zentrale Strang definiert dabei die Kernaktivitäten und -aufgaben. Der innere gelbe Strang beschreibt das Handling von Anforderungen, welche zwar prinzipiell zu Beginn des Entwicklungsprozesses in Form eines Lasten- oder Pflichtenheft definiert werden aber im Rahmen der voranschreitenden Produktentwicklung bei Bedarf an äußere Gegebenheiten angepasst werden. Der äußere blaue Strang stellt die parallel zur Kernentwicklung laufende Modellierungs- und Analysetätigkeiten dar.³⁴

In weiterer Folge geht es überwiegend um die Entwicklung, Erprobung, Absicherung und Freigabe von antriebsstrangnahen Komponenten, Funktionen und Systemen. Um die Versuchsplanung und -durchführung bis zur Verbundfreigabe (Verbund-Release (VR)) von beispielsweise längsdynamischen Assistenzsystemen (z. B. ABS, Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP)) oder Fahrerassistenzsystemen (z. B. Notbremsassistent) zu verstehen erfordert es insbesondere ein grundlegendes Verständnis der Bestandteile eines Antriebsstrangs von Gesamtfahrzeugen. Aus diesem Grund erfolgt im nachfolgenden Kapitel eine Systembeschreibung der Komponenten des Antriebsstrangs eines Gesamtfahrzeugs sowie komplementärer Funktionen (Fahrerfunktionen oder Fahrerassistenzsysteme) vom gesamtheitlichen Entwicklungsprozess vorgenommen. Sämtliche antriebsstrangferne aber trotzdem relevante Entwicklungstätigkeiten, Untersuchungen und Absicherungen (z. B. Crashtests zur Absicherung der Karosserie) werden für die aktuellen Betrachtungen außen vor gelassen. Darüber hinaus bedarf es eine Erklärung zu vielseitig eingesetzten Teststrategien im Kontext der Antriebsstrangerprobung entlang des Produktentwicklungsprozesses.

2.2.1 Systemdefinition und -beschreibung eines Gesamtfahrzeugs

Im Folgenden werden zwei gewöhnliche Antriebskonzepte, dessen Komponenten und Funktionen erklärt. Die erste Konstruktionsvariante stellt eine weit verbreitete und vor allem komplexe Allradantriebsstrangtopologie mit mildem Hybridantrieb dar. Mildhybrid-Konzepte stellen üblicherweise Antriebsvarianten dar, bei denen bereits ein Teil der Antriebsleistung durch eine elektrische Komponente realisiert wird.³⁵ Grundsätzlich bedarf es bei Allradsystemen normalerweise einer klareren Definition, da es auch hierbei eine Vielzahl von abgewandelter Varianten gibt (z. B. Heckantrieb mit Hang-On-Kupplung zur Vorderachse → zuschaltbarer Allradantrieb), für die Analyse von Versuchen und Absicherungsprozessen im Kontext der Antriebsstrangerprobung und darauf aufbauenden

³⁴Vgl. Graessler/Hentze (2020), S. 317 f., Online-Quelle [03.09.2023].

³⁵Vgl. Tschöke (2015), S. 95.

Funktionen und Systemen (z. B. Fahrdynamikregelungen wie ABS, ASR, ESP oder Fahrerassistenzsysteme wie das Advanced Emergency Braking System (AEBS)) ist diese Festlegung der Systemgrenze aber vollkommen ausreichend.

Abbildung 2.7 zeigt den elementaren Leistungsfluss im Gesamtfahrzeug sowie alle relevante Komponenten eines klassischen Allradantriebsstrangs mit parallelem Hybridantrieb (P2-Hybrid). Der Leistungseintrieb erfolgt abhängig der herrschenden Betriebsart des Fahrzeugs bzw. der aktuellen Fahrsituation entweder durch die VKM, die elektrische Eintriebsmaschine (EM) oder aus einer Kombination beider Eintriebsvarianten (z. B. zusätzlicher Boost durch die elektrische Maschine beim Losfahren aus dem Stillstand), wobei die elektrische Maschine koaxial zur Antriebswelle meist als getriebeintegrierte Variante zwischen VKM und Getriebeeintrieb ausgeführt wird.³⁶

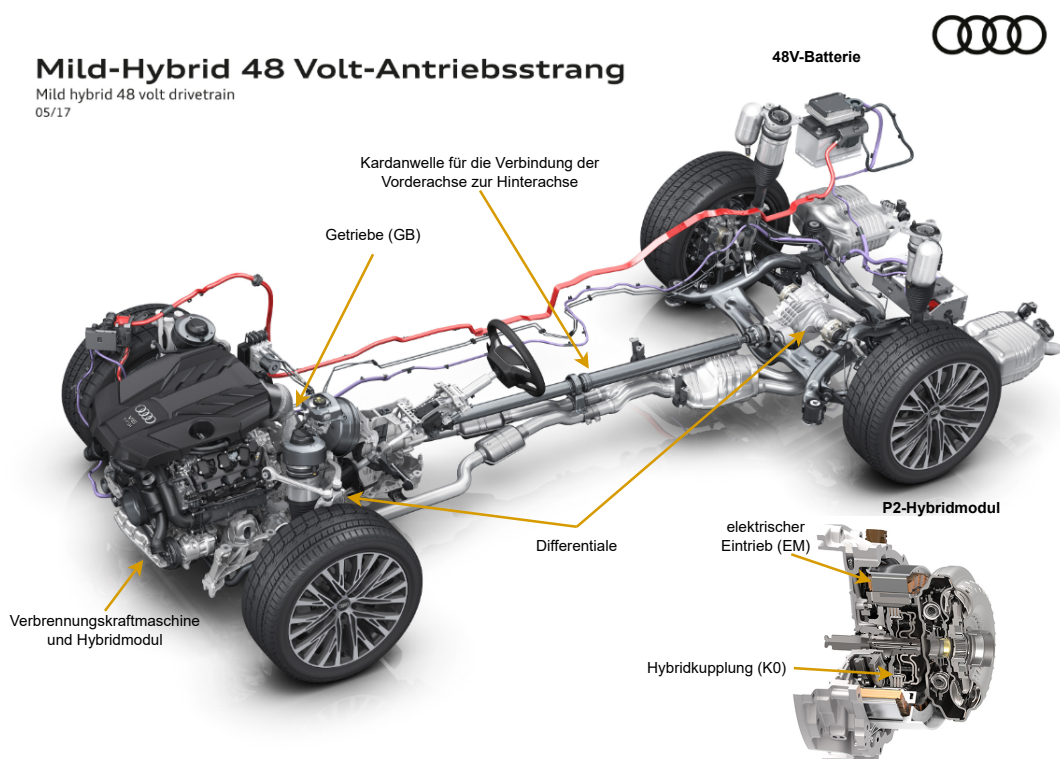


Abb. 2.7: Antriebsstrangkomponenten eines Allradfahrzeugs mit P2-Hybridantrieb, Quelle: Audi (2023a), Online-Quelle [09.09.2023] und Schaeffler Technologies AG & Co. KG (2014), Online-Quelle [06.11.2023].

In einigen Fahrsituationen, beispielsweise beim Segelbetrieb, kann es notwendig werden die Hybridkupplung (K0) zu öffnen, damit die VKM von der elektrischen Maschine am Getriebeeingang und dem damit auch dem restlichen Antriebsstrang getrennt wird um etwaige Schleppverluste dieser vorzubeugen. Nachgelagert zum Eintrieb ist das Getriebe (GB) positioniert. Dieses besitzt üblicherweise eine oder mehrere Kupplungen und mehrere Übersetzungsstufen um den relativ eingeschränkten Drehzahlbereich einer Verbrennungskraftmaschine für den Fahrbetrieb nutzbar zu machen. Auch hierfür gibt es wieder unzählige konstruktive Varianten (z. B. manuelles Getriebe vs. Automatikgetriebe) und Betriebsstrategien. Für die Leistungsverteilung am Getriebeausgang auf beide

³⁶Vgl. Tschöke (2015), S. 3.

Antriebsachsen kommen bei Allradfahrzeugen hochmoderne Mittendifferentiale zum Einsatz. Damit kann unter anderem eine asymmetrisch-dynamische Verteilung der Kräfte auf die Vorder- bzw. Hinterachse vorgenommen werden. Mit den beiden Achsdifferentialen auf der Vorder- bzw. Hinterachse wird die vom Eintrieb bereitgestellte Leistung an die Räder bzw. Reifen weitergegeben. Beide Differentiale können zudem durch eine elektronische Differenzialsperre per Bremseneingriff abgeregelt werden, sollten einzelne Räder in verschiedenen Betriebsituationen durchdrehen.³⁷

Der Vorteil bei Gesamtfahrzeugen mit rein elektrischem Antrieb liegt eindeutig am sehr großen und stufenlos regelbaren Betriebsbereich von elektrischen Maschinen sowie an der Möglichkeit der Energierückgewinnung in verzögernden Fahrsituationen (generatorischer Betrieb der elektrischen Maschine(n)).³⁸ Durch den Einsatz einer Leistungselektronik zur Regelung der Maschine(n) können Getriebestufen im Antriebsstrang des Fahrzeugs reduziert oder sogar eingespart werden. Dabei lässt sich eine kompakte Bauform mit Achsmodulen als Antriebseinheiten erreichen, welche sich bei klassischen Elektrofahrzeugen bewährt haben. Diese bestehen in der Regel aus einer hochdrehenden elektrischen Antriebsmaschine (z. B. permanentmagneterregte Synchronmaschine (PMSM)) sowie aus einem Achsdifferential mit meist einer oder zwei Übersetzungsstufen (Abbildung 2.8).³⁹ Die fahrdynamische Kopplung beider Antriebsachsen erfolgt, im Gegensatz zum klassischen Ansatz, rein durch eine übergeordnete elektronische Fahrdynamikregelung, welcher eine Leistungsverteilung entsprechend der aktuellen Fahrsituation vornimmt. Vor allem diese Flexibilität bringt auch einen erheblichen Aufwand mit Hinblick auf die Applikation und Absicherung fahrdynamischer Assistenz- und Sicherheitssysteme mit sich.

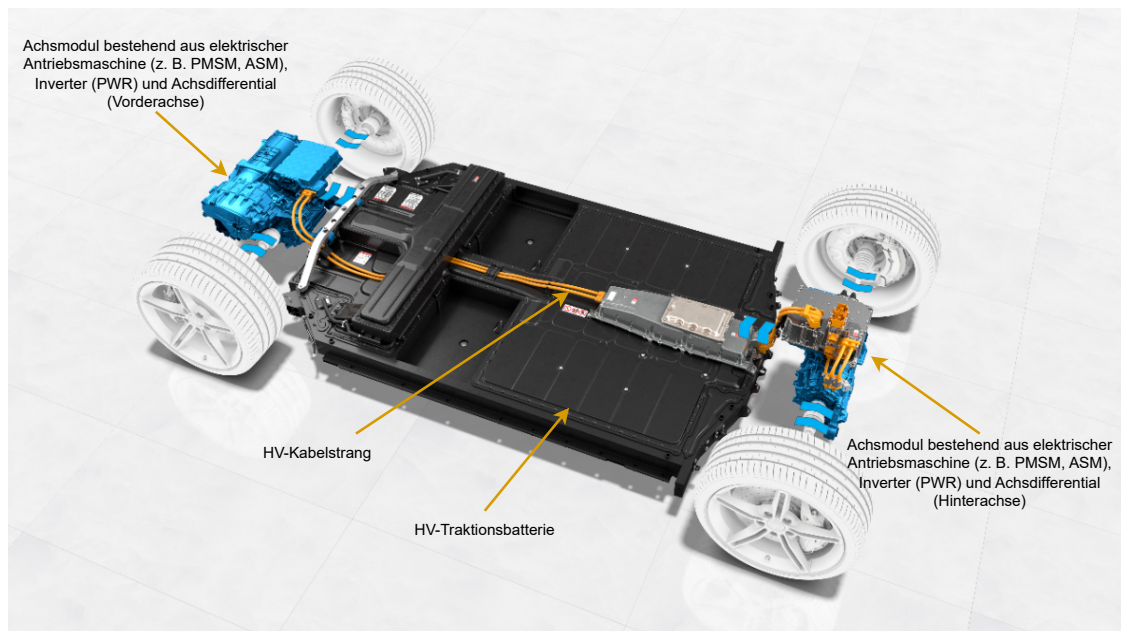


Abb. 2.8: Antriebsstrangkomponenten eines Elektrofahrzeugs, Quelle: Porsche (2019), Online-Quelle [05.09.2023].

³⁷Vgl. Audi (2023b), Online-Quelle [04.09.2023].

³⁸Vgl. Porsche (2019), Online-Quelle [05.09.2023].

³⁹Vgl. Porsche (2019), Online-Quelle [05.09.2023].

Darüber hinaus kommen neben der verschiedenen Antriebsvarianten (z. B. Benzin, Diesel, Elektro, Brennstoffzelle, etc.) und Antriebsstrangtopologien (2WD, 4WD) sowie der damit einhergehenden Varianz von Betriebsarten (z. B. Betriebspunktverschiebung bei Hybridfahrzeugen)⁴⁰ auch eine Vielzahl aktiver und semi-aktiver Fahrwerksysteme zum Einsatz. Eine grobe Übersicht über verfügbare Systeme ist in Abbildung 2.9 dargestellt und reicht von der servohydraulischen Vorderachslenkung bis zur aktiven Wankstabilisierung. Die Vielzahl an Hardwarekomponenten im Fahrwerk und Antriebsstrang eines modernen Gesamtfahrzeugs erfordert im Hinblick auf die ideale Ausführung von Antriebs-, Fahrwerks- oder Assistenzsystemen eine enorme Vernetzung über unzählige Steuergeräte (Electronic Control Unit (ECU)) und Vernetzungsarchitekturen.

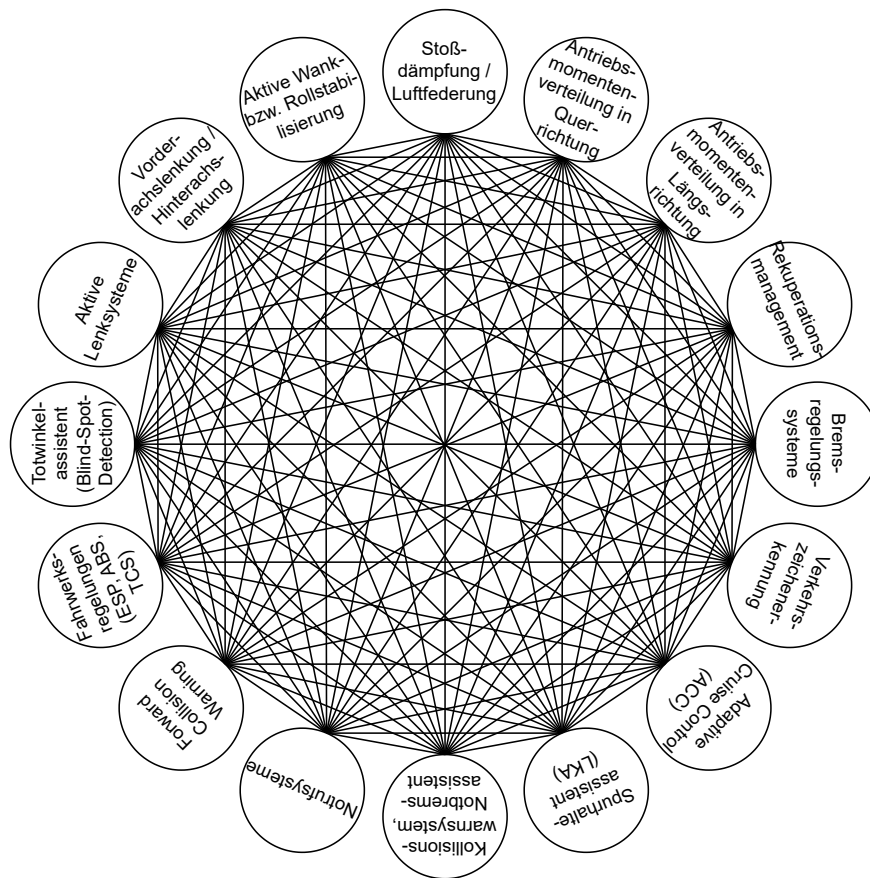


Abb. 2.9: Übersicht über aktive, semi-aktive Fahrodynamik- und Assistenzsysteme, Quelle: Eigene Darstellung

Durch diese fortwährende Strömung hin zu immer stärker vernetzten Fahrzeugen bieten sich enorme Potentiale im Kontext der Fahrsicherheit, des Fahrkomforts, des Energieverbrauchs, der Fahrleistung, der laufenden Kosten für den Endverbraucher, der Abgas- und Außengeräuschemissionen, der Zuverlässigkeit und Qualität, Umweltfreundlichkeit etc.⁴¹ Die Kehrseite dieses Megatrends ist der steigende Versuchs- und Absicherungsaufwand des softwaredefinierten Fahrzeugs.

⁴⁰Vgl. Tschöke (2015), S. 133 ff.

⁴¹Vgl. Pischinger/Seiffert (2016), S. 12 f.

2.2.2 Entwicklungs- und Freigabeprozesse

Eine Schwierigkeit bei Erprobungs-, Freigabe- und Absicherungsprozessen ist die Bewertung einzelner Prozessfortschritte während des gesamten Entwicklungszyklus durch die Vielzahl an Einflussfaktoren, unterschiedlichen organisatorischen Bereichen und Abteilungen bzw. auch Zulieferern und der damit unübersichtlichen Struktur. Im ersten Schritt der Komponentenentwicklung und -erprobung ist eine granulare hardwareorientierte Gliederung der Bereiche, Abteilungen und Prozesse vorteilhaft, es entsteht aber oftmals ein gewisses Vakuum im Hinblick veränderlicher Ziele, Anforderungen und Zusammenhänge im Gesamtkontext. Vor allem die Forderungen des Marktes nach Umweltfreundlichkeit, Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Benutzerfreundlichkeit führen zur zunehmenden Vernetzung von Komponenten im Fahrzeug und erzwingen Innovationen mit steigender Komplexität in immer kürzeren Abständen. Deshalb und durch die allgegenwärtige Elektrifizierung des Antriebsstrangs sowie die voranschreitende Automatisierung von Fahrfunktionen verlagern sich relevante Entwicklungsschwerpunkte von der Hardware zur Software. Die damit verbundenen kürzer realisierbaren Entwicklungszeiten machen es in Verbindung mit steigenden Anforderungen an die Zuverlässigkeit unabdingbar, die Entwicklungsprozesse in der softwarebasierten Systementwicklung zu überwachen und zu verbessern.⁴² Ein Werkzeug für die strukturierte Gliederung und Bewertung der Entwicklungsprozesse anhand von vordefinierten Attributen ist das ASPICE-Modell (Abbildung 2.10).

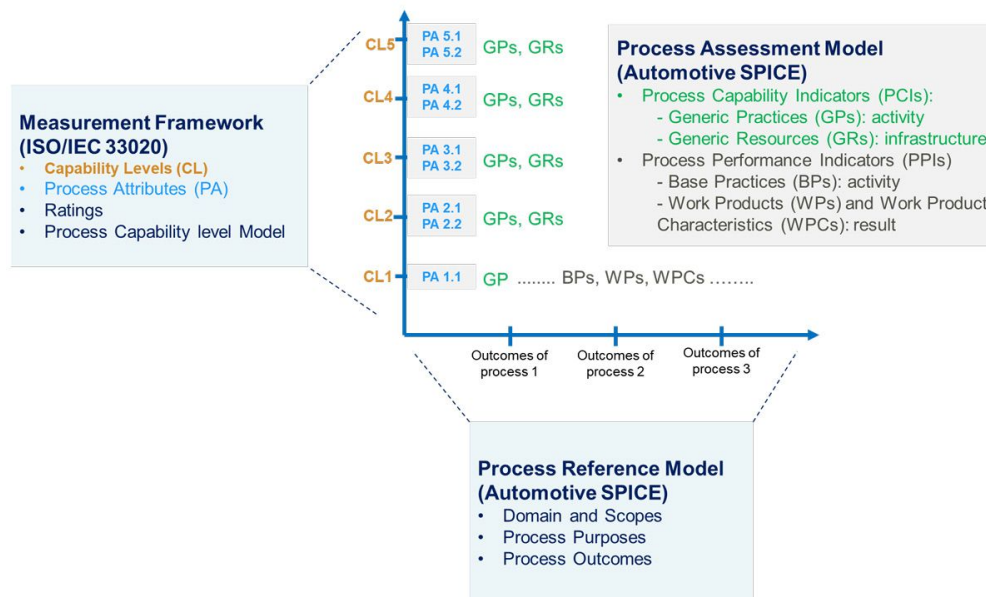


Abb. 2.10: Zweidimensionales Framework für die Prozessbewertung durch ASPICE: Prozesse werden aus einem Prozessreferenzmodell (erste Dimension) ausgewählt, ihr Reifegrad wird auf Basis von Versuchen bestimmt (zweite Dimension), Quelle: MathWorks (2023), Online-Quelle [07.11.2023].

Automotive SPICE⁴³ ist ein Standard auf Basis der ISO/IEC 15504- und ISO 330xx-Standards zur Bewertung und Verbesserung der Qualität und Effizienz der eigenen Prozesse von OEMs und der Prozesse ihrer Zulieferer.⁴⁴

⁴²Vgl. VDA (2023a), Online-Quelle [17.11.2023].

⁴³Software Process Improvement and Capability Determination (SPICE)

⁴⁴Vgl. MathWorks (2023), Online-Quelle [17.11.2023].

Prinzipiell ist das Modell in zwei Dimensionen gegliedert: der Prozessdimension und der Reifegraddimension.⁴⁵ Dabei teilt das Prozess-Referenzmodell unterschiedliche Prozesse bzw. Prozessgruppen in 3 Prozesskategorien:

- primäre Lebenszyklusprozesse
- organisatorische Lebenszyklusprozesse
- unterstützende Lebenszyklusprozesse

Vor allem die primären wertschöpfenden Lebenszyklusprozesse für unterschiedliche Bereiche bezogen auf die Hardware- und Softwareentwicklung sowie übergeordnete Systemintegrationsebenen spielen im Rahmen des Entwurfs, der Konzeption, Entwicklung, Integration und den damit verbundenen Tests im Hinblick auf die Freigabe und Absicherung auf Software- und Systemebene im Rahmen der Produktspezifikationen eine gewichtige Rolle. Durch die rasante Weiterentwicklung von künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen sowie des enormen Potentials dieser Technologien in vielen Bereichen der Fahrzeugentwicklung und bei verschiedenen Fahr- und Fahrzeugfunktionen (z. B. automatisierte Fahrfunktionen) bedarf es der Gliederung in eine eigene Prozessgruppe mit starker Vernetzung zur parallelen Softwareentwicklung (Abbildung 2.11). Darüber hinaus gibt es noch weitere Prozessgruppen wie die Validierung zum Nachweis bzw. zur Absicherung, ob das zu liefernde Produkt die Erwartungen für seinen Verwendungszweck erfüllt.

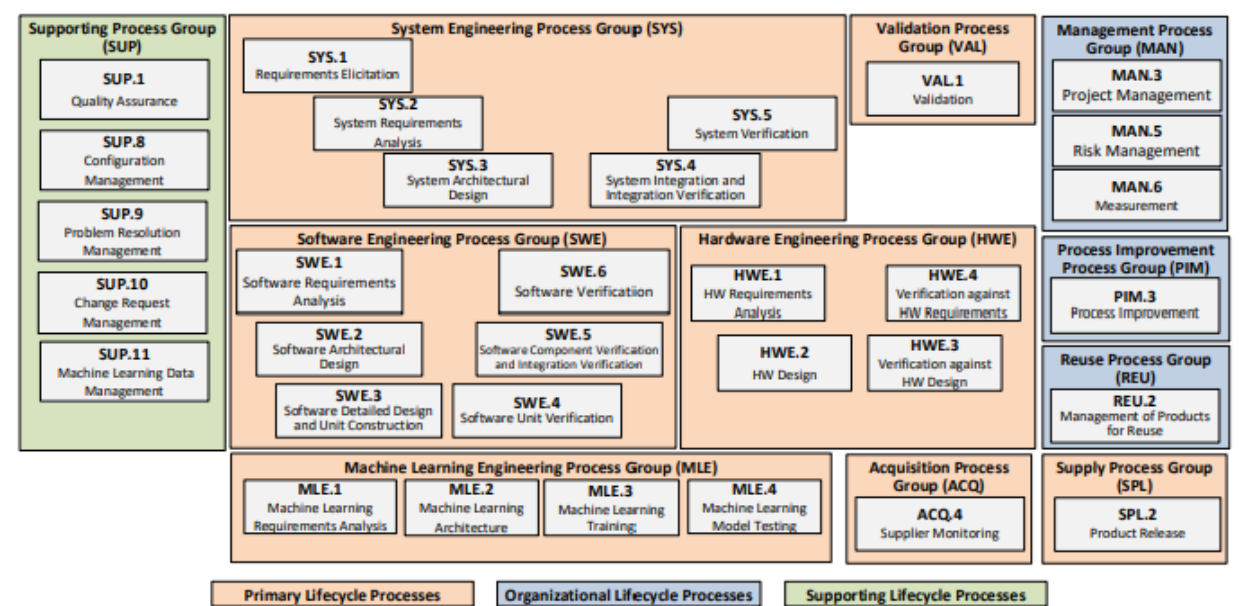


Abb. 2.11: Prozessreferenzmodell im Rahmen von ASPICE, Quelle: VDA (2023b), S. 13., Online-Quelle [17.11.2023].

Die zweite Dimension des ASPICE-Modells bezieht sich auf die Prozessbewertung. Dabei bietet das Modell Indikatoren für die Feststellung des Fähigkeitsniveaus einzelner Prozesse, Bereiche oder Projekte zur Leistungserfüllung. Diese Fähigkeitsniveaus oder Reifegrade werden als Teil des Messrahmens definiert. Jeder Reifegrad bietet verschiedene Prozessattribute und messbare Eigenschaften zur Bewertung der Prozesse über ein Rating

⁴⁵Vgl. VDA (2023a), Online-Quelle [17.11.2023].

System auf der Grundlage einer definierten Ratingskala.⁴⁶

Auf Basis der Reifegrade der jeweiligen Prozesse können Entwicklungs-, Integrations- und Erprobungsschritte für verschiedene Bereichen abgeleitet werden. Die Entwicklung, Erprobung und Freigabe innerhalb von spezifischen Prozessgruppen erfolgt angelehnt an das V-Modell, wobei die System Engineering Prozess-Gruppe den Fokus auf die Integration einzelner Software- und Hardware-Komponenten zu einem Gesamtsystem legt.

	Reifegrad	Beschreibung
0	Inkomplett	Kein definierter Prozess. Arbeit wird ad hoc durchgeführt.
1	Initial	Prozesse werden dokumentiert und standardisiert, aber noch nicht konsequent angewendet.
2	Managed	Prozesse werden verwaltet und kontrolliert. Dokumentation und Schulungen sind vorhanden.
3	Defined	Prozesse sind vollständig definiert und dokumentiert. Klare Richtlinien und Standards werden befolgt.
4	Quantitatively Managed	Einführung quantitativer Management- und Kontrollmechanismen. Prozessleistung wird quantitativ analysiert.
5	Optimizing	Kontinuierliche Verbesserung. Organisation evaluiert ständig ihre Prozesse und sucht nach Effizienzsteigerungen.

Tab. 2.1: Reifegraddimensionen bei der Prozessbewertung im Rahmen von Automotive SPICE, Quelle: angelehnt an VDA (2023a), Online-Quelle [17.11.2023].

2.2.3 Erprobungs- und Absicherungsprozesse

Grundlegend hat die Erprobung in den jeweiligen Prozessgruppen (z. B. Software Engineering Prozess-Gruppe (SWE), Hardware Engineering Prozess-Gruppe (HWE)) als auch im übergeordneten Prozess (z. B. System Engineering Prozess-Gruppe (SYS)) zwei Hauptziele:

- die Ermittlung von Ist-Eigenschaften und
- das Entdecken von Abweichungen der Ist-Eigenschaften gegenüber den definierten Ziel-Eigenschaften.⁴⁷

Die Verifikation und Validierung von verschiedenen Entwicklungsschritten und Integrationsebenen hinsichtlich definierter, funktionaler und sicherheitsrelevanter Aspekte ist mitunter ein Schlüsselbereich im gesamten Produktentstehungsprozess.⁴⁸ Dabei erfolgt zum Stand der Technik die Integration einzelner Komponenten in das Gesamtantriebssystem über den rechten Ast des V-Modells durch die Verifikation und Validierung mit den definierten Anforderungen. Diese Integration und Absicherung findet auf allen Ebenen von den Komponenten (z. B. Elektromotor), über Aggregate (z. B. Verbrennungskraftmaschine, Getriebe), Systeme (z. B. Antriebsstrang) bis hin zum Gesamtfahrzeug statt. Für die Verifikation und Validierung der Anforderungen an einzelne Komponenten und Systeme kommen während der Entwicklungs- und Integrationsphasen unterschiedliche Prüfplattformen zum

⁴⁶Vgl. VDA (2023b), S. 23 f., Online-Quelle [17.11.2023].

⁴⁷Vgl. Karthaus (2020), S. 71., Online-Quelle [16.10.2023].

⁴⁸Vgl. Carhs (2022), S. 106., Online-Quelle [07.09.2023].

Einsatz. Während der klassischen Komponentenerprobung sowie während der Integration auf Prüfständen stehen überwiegend Kriterien wie die Kalibrierung, Beständigkeit, Energieanalyse und Validierung im Vordergrund. Die daraus resultierenden Erkenntnisse über einzelne Komponenten oder Systeme können dem Produkt zugeordnet werden, weshalb Prüfstände auch als Werkzeuge im Produktentstehungsprozess angesehen werden können.⁴⁹

Die zuvor angesprochene voranschreitende Elektrifizierung der Antriebsstrangkomponenten sowie die Vernetzung verschiedener Komponenten miteinander bieten immer größere Möglichkeiten zur Realisierung und Optimierung von komponentenübergreifenden Funktionen und Systemen wie dynamischen Fahrwerksregelungen (z. B. ESC, ABS, elektromechanische aktive Wankstabilisierung (EWAS)) oder die unaufhaltsame Automatisierung von Fahrfunktionen wie beispielsweise Komfort-Funktionen (z. B. ACC, LKA), aktive Sicherheitsfunktionen Warnen, Bremsen und Ausweichen (WBA) bis hin zum vollautonomen Fahren.

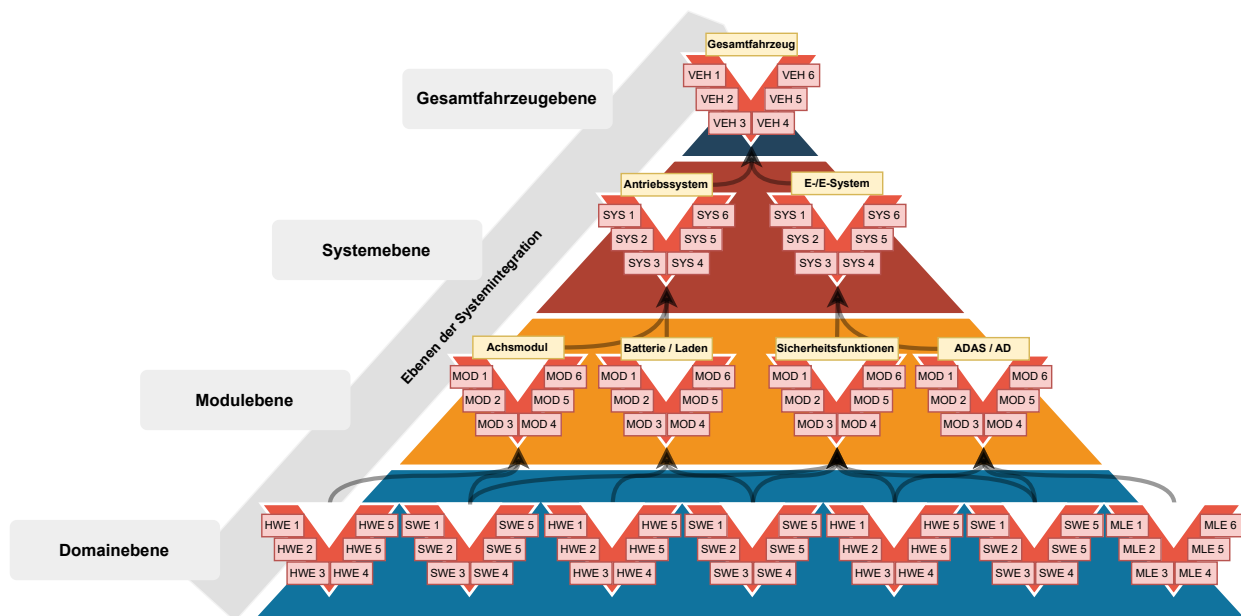


Abb. 2.12: Exemplarische Darstellung von Entwicklungsebenen während der Systemintegration von der Einzeldomäne bei der Systemintegration zum Gesamtfahrzeug, Quelle: angelehnt an Karthaus et al. (2023), S. 228., Online-Quelle [07.11.2023].

Diese Entwicklungen von der komponentenorientierten bzw. Hardware dominierenden Entwicklung zum softwaredefinierten Gesamtfahrzeug mit unzähligen Softwaremodulen bringen beträchtliche Zusatzaufwände und auch Komplexität in den Entwicklungs, Erprobungs- und Absicherungsprozess (Abbildung 2.12). Besonders im Hinblick auf die Automatisierung von Fahrfunktionen explodiert die Bandbreite der möglichen Versuche und Absicherungszenarien in verschiedenen Rahmen- und Umweltbedingungen regelrecht. Zudem können solche Funktionen aufgrund ihrer Komplexität und Abhängigkeit einerseits zu anderen Elementen im vernetzten System als auch zur Umwelt (z. B. Sensorinformationen) nur über verschiedene Szenarien im Gesamtsystem untersucht, bewertet und abgesichert werden. Neben den technischen Hürden ist die auf Hardwarekomponenten des Ge-

⁴⁹Vgl. Karthaus et al. (2023), S. 221 f., Online-Quelle [06.11.2023].

samtfahrzeugs ausgelegte Organisationsstruktur bei vielen Fahrzeugherstellern im Kontext der softwaretechnischen Funktionsentwicklung nachteilig.

Wie aus Abbildung 2.12 erkennbar ist, können stark vernetzte Funktionen auch erst zu relativ späten Entwicklungszeitpunkten oder überhaupt erst im Gesamtfahrzeug getestet werden. Dies widerspricht prinzipiell der Anforderung an die frühzeitige Systemverifikation und -validierung und kann in weiterer Folge beträchtliche Aufwände bei etwaigen Änderungen auf Komponentenebene mit sich bringen. Darüber hinaus lässt sich auch ableiten, dass besonders die Erprobung und Absicherungen von Gesamtsystemfunktionen mit Prototypen auf Testgeländen mühsam und ineffizient durch den höchstwahrscheinlich relativ niedrigen System- bzw. Funktionsreifegrad abläuft.

Zurückkommend zur Versuchsdurchführung von zuvor beschriebenen komplexen Funktionen und Systemen lassen sich diese nicht mit einfachen linearen Methoden wie Lastprofilen o. ä. (im Kontrast zur klassischen Komponentenerprobung) testen. Sinnvoller dafür ist der szenarienbasierte Testansatz, welcher ein interaktives Zusammenspiel von statischen und dynamischen Objekten und Systemen in einer speziellen Konstellation, auch unter Berücksichtigung etwaiger äußerer Einflussfaktoren, Umweltbedingungen und Systemeigenschaften zulässt. Dabei enthält die Szenarienbeschreibung auf der einen Seite eine Definition der involvierten Komponenten, Systeme und Systemkontexte und auf der anderen Seite alle Parameter und deren Wertebereiche bzw. Eigenschaften sowie eine Definition der System- und Versuchsgrenzen. Auf Basis der formalen, abstrakten Szenarienbeschreibung werden mit speziellen Verfahren (z. B. Monte-Carlo-Simulation) konkrete Testvorgaben und -parameter abgeleitet.⁵⁰ Obwohl bereits eine Vielzahl an Regulativen, gesetzliche Bestimmungen und Verbraucherschutzzielen (z. B. EuroNCAP), welche von den jeweiligen Systemen eingehalten und erfüllt werden müssen, definiert sind, wird der zukünftige Erprobungs- und Absicherungsaufwand kontinuierlich anwachsen. Exploratives und stichprobenartiges Testen werden aufgrund der zunehmend unzureichenden Testspezifikationen steigen, da nicht alle Testfälle konkret definiert werden können.⁵¹

In weiterer Folge definiert der Szenarien- oder Manöverkatalog den Ablaufplan für die reale Erprobung des Gesamtfahrzeugs bei der Straßenerprobung. Durch den Einsatz von Simulationsmodellen auf modernen Prüfplattformen (z. B. Hardware in the Loop (HiL), Software in the Loop (SiL), Vehicle in the Loop (ViL)), bei denen nicht real vorhandene Fahrzeugkomponenten durch Echtzeit-Simulationen ersetzt werden, wird eine Möglichkeit eröffnet, um trotzdem Versuche im Gesamtsystem durchführen zu können. Damit können unterschiedliche Versuchsszenarien den realen Straßenversuchen vorgezogen werden. Die eigentlich zu Grunde liegende Testaufgabe, das Szenario, bleibt in beiden Fällen jedoch unverändert. Dadurch wird eine Erprobungsebene eingezogen, auf deren Basis virtuelle Versuche in der Simulation, Co-Simulationen auf Prüfständen und die reale Erprobung vergleichbar gemacht werden können.

⁵⁰Vgl. Carhs (2022), S. 101., Online-Quelle [07.09.2023].

⁵¹Vgl. Karthaus et al. (2023), S. 224 f., Online-Quelle [06.11.2023].

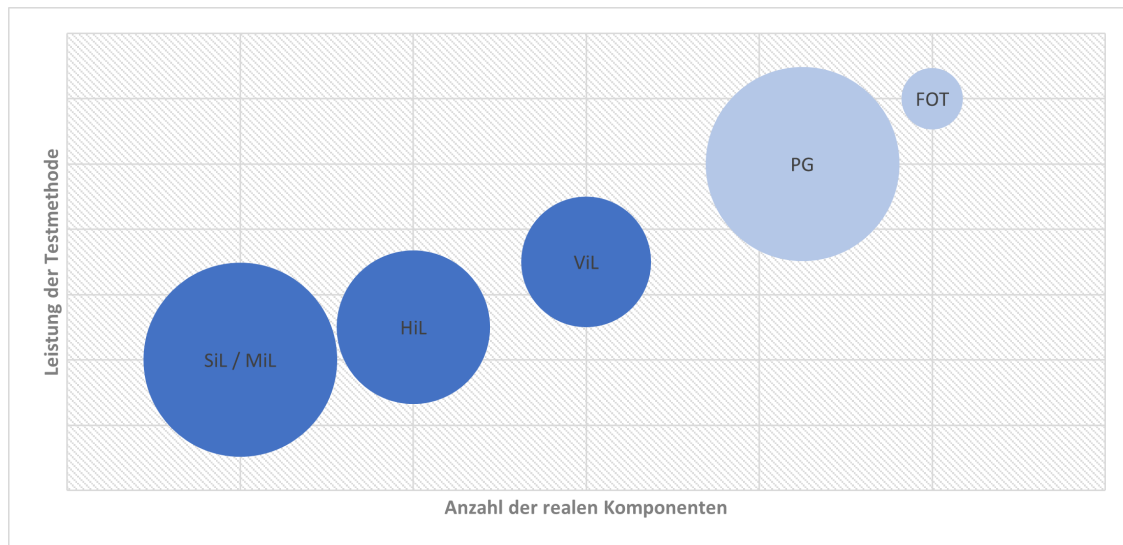


Abb. 2.13: Testmethodeneinsatz, Quelle: angelehnt an Carhs (2022), S. 106., Online-Quelle [07.09.2023].

Absicherungsstrategien können auf Basis der Szenarienerprobung fundamental in die Bereiche der virtuellen, simulativen Erprobung und der realen Erprobung kategorisiert werden. Vor allem durch den x-in-the-loop Ansatz, der besonders bei modernen Prüfstandssystemen angewandt werden kann, verschmelzen diese beiden Bereiche zusehends.⁵² Abbildung 2.13 illustriert die Relevanz dieser technologisch verschiedenen Erprobungsansätze entlang des Entwicklungsprozesses von Gesamtfahrzeugen, im Speziellen bei der Absicherung von Fahrdynamikregelungen oder automatisierten Fahrerassistenzsystemen.

Üblicherweise nehmen die Anzahl der realen Komponenten des finalen Gesamtfahrzeugs für Erprobungsumfänge mit zunehmender Entwicklungsdauer kontinuierlich zu. Die eher software- bzw. modelllastigen Funktionsmodule werden in frühen Entwicklungsphasen vorwiegend auf SiL bzw. Model in the Loop (MiL) in Kombination mit realitätsnahen Hardware-Entwicklungsplattformen mit einem sehr hohen Abstraktionslevel getestet. Mit voranschreitendem Modell- bzw. Softwarereifegrad werden die Erprobungsszenarien um reale originale Bauteile (x Control Unit (xCU), wobei das x unterschiedliche Steuergeräte kennzeichnet) bis zum vollständigen HiL-System erweitert, sodass das Gesamtsystem aus Hardware- und Softwaremodulen in virtuellen Szenarien erprobt werden kann. Auch die vorgelagerten Simulationsmodelle durch die Rückkopplung der Informationen aus den realen Erprobungen weiter adaptiert und optimiert werden. Je nach Entwicklungsfortschritt können neben der realen Recheneinheiten auch reale Sensoren oder Aktoren zum Einsatz kommen. Diese Entwicklungs- und Erprobungsumfänge finden normalerweise weit vor dem Einsatz im realen Gesamtsystem statt. Bei vielen Funktionen und Modulen kann aber gerade durch dieses Frontloading ein sehr guter Systemreifegrad erreicht werden, was nachgelagerte Entwicklungsschritte erleichtert und möglicherweise beschleunigt.

In weiterer Folge kann eine Fusion aller Komponenten, Baugruppen und Funktionsmodule zu einem realen Gesamtfahrzeug für Versuche als ViL durchgeführt werden. Parallel zum realen Gesamtfahrzeug entsteht durch diesen Ansatz auch eine virtuelle Fahrzeugumgebung, welche abhängig der Modellierungsgenauigkeit und -

⁵²Vgl. Carhs (2022), S. 106., Online-Quelle [07.09.2023].

qualität im Idealfall hinreichend gleiche Eigenschaften beispielsweise in Bezug auf die Fahrdynamik aufweist.⁵³ Somit können weiterführende Erprobungsszenarien einerseits auf Prüfstandssystemen mit virtueller Simulation der Fahrzeugeigenschaften und virtueller Umweltbedingungen (z. B. Straßenbeschaffenheit, Umgebungstemperatur, etc) und andererseits auf realen Teststrecken durchgeführt werden.

Die letzte Ebene der Erprobungsmöglichkeiten stellen Field Oriented Tests (FOT) dar. Die Basis stellen hierfür mitunter weitreichende Möglichkeiten zur Datenerfassung und -speicherung während des regulären Fahrbetriebs bei interessanten bzw. kritischen Fahrsituationen oder -szenarien. Dafür existieren einige technologische und rechtliche Hindernisse im Hinblick auf das Thema Datenschutz, die verfügbare messtechnische Ausstattung von Serienfahrzeugen oder die Übertragungsmöglichkeiten der im Fahrzeug aufgezeichneten Daten in eine für den OEM zugängliche Plattform (Datenbank oder Cloud). Nichtsdestotrotz stellt diese Variante der Erprobung ein sehr großes Potential bezüglich der Szenariengenerierung und -validierung dar. Die Durchführung von Versuchen sowohl bei realen Testfahrten als auch bei virtuellen Testfahrten erfordert ein strukturiertes Vorgehen auf Basis eines Szenarienkatalogs um aussagekräftige und vergleichbare Bedingungen zu schaffen (Abbildung 2.14).

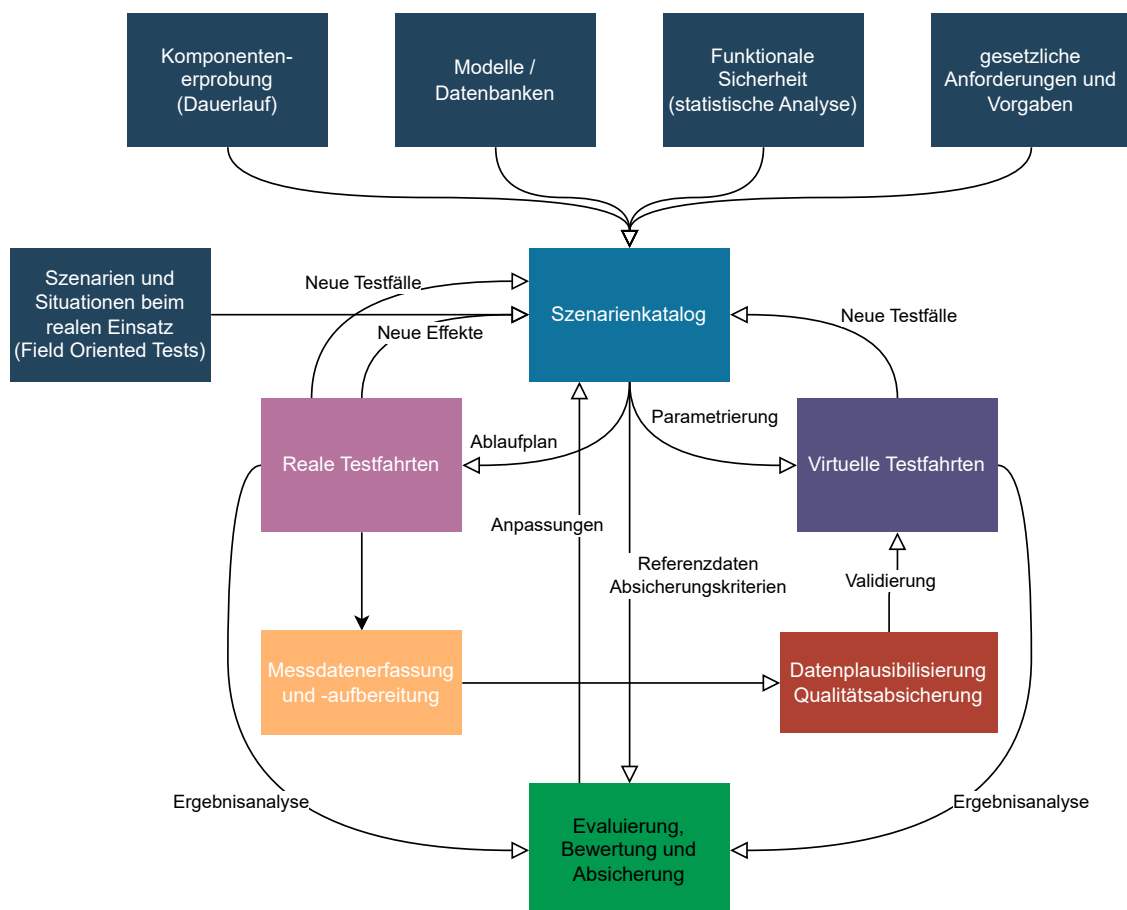


Abb. 2.14: Szenarienbasierte Erprobungs- und Absicherungsstrategie, Quelle: angelehnt an Feilhauer (2022), Online-Quelle [07.09.2023] und Carhs (2022), S. 107., Online-Quelle [07.09.2023].

⁵³Vgl. Carhs (2022), S. 106., Online-Quelle [07.09.2023].

Wie zuvor kurz angeschnitten, können Versuchsszenarien aus verschiedenen Bereichen abgeleitet und definiert werden. Dazu zählen vor allem Erfahrungswerte aus der Komponentenerprobung (Dauerläuferprobung), aus der virtuellen, modellbasierten Funktionserprobung (z. B. HiL, SiL), aus dem Bereich der funktionalen Sicherheit und statistischen Betrachtungen hinsichtlich Eintritts- oder Ausfallwahrscheinlichkeiten und aus gesetzlichen Anforderungen bzw. Vorgaben. Darüber hinaus besteht für die Steigerung der Qualität der virtuellen Testfahren ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess durch eine Kopplung dieser zur realen Versuchsdurchführung auf Basis einer detaillierten Messdatenerfassung, -aufbereitung, -plausibilisierung und Bewertung. Dazu werden einerseits fahrzeugbezogene Modellteile verbessert, andererseits werden auch Modellteile zur Simulation der Umwelt (z. B. Straßeneigenschaften und -zustände, etc) durch den Vergleich zu realen Straßenmessungen angeglichen.

In den nächsten Abschnitten soll die szenarienbasierte Erprobung auf Basis von sehr relevanten Funktionen des Gesamtfahrzeugs weiter ausdetailliert werden. Um den Blick dabei auf ein breites Spektrum an verschiedenen Szenarien bei grundsätzlich gleicher Systemfunktion richten zu können wird im ersten Schritt die Erprobung und Absicherung der Sicherheitsfunktion zur Erhaltung der longitudinalen Fahrstabilität eines Fahrzeugs (ESC) in kritischen Fahrsituationen betrachtet. Im zweiten Schritt erfolgt analog die Analyse für den Versuch und die Absicherung eines Notbremsassistenten als Fahrerassistenzsystem. Zusätzlich soll der Umfang von vergleichsweise unspektakulären Versuchen wie die Reichweitenbestimmung bei tiefen Temperaturen und deren Potential zur Verkürzung von Entwicklungszeiten bei der Verlagerung auf einen Gesamtfahrzeugprüfstand untersucht werden.

3 STRASSENERPROBUNG (ROAD-TESTING)

3.1 Einordnung in den Entwicklungsprozess

Trotz weitreichender Simulationsmöglichkeiten für das Fahrzeug und die Umgebung ist das Testen auf realen Prüfgeländen (Proving Ground Testing) vor allem im Bereich der Verifikation, Validierung, Inspektion und Homologation von mit ADAS/ADS ausgestatteten Fahrzeugen ein Kernelement.⁵⁴ Aber auch Versuche zur Erprobung von längs- bzw. querdynamischen Fahrdynamikfunktionen auf schwierigen und wechselhaften Fahrbahnverhältnissen bei sehr tiefen oder extrem hohen Temperaturen finden im Gesamtfahrzeugkontext überwiegend auf Prüfgeländen statt. Dies erfordert hochmoderne Teststrecken und erfahrene Testfahrer, um Versuchsszenarien unter den geforderten Bedingungen einigermaßen reproduzierbar durchführen zu können. Versuche mit realen Prototypen können zudem üblicherweise erst in relativ späten Produktentwicklungsphasen stattfinden, da hierfür eine Vielzahl an vorangestellter Meilensteine erreicht werden müssen (Abbildung 3.1).

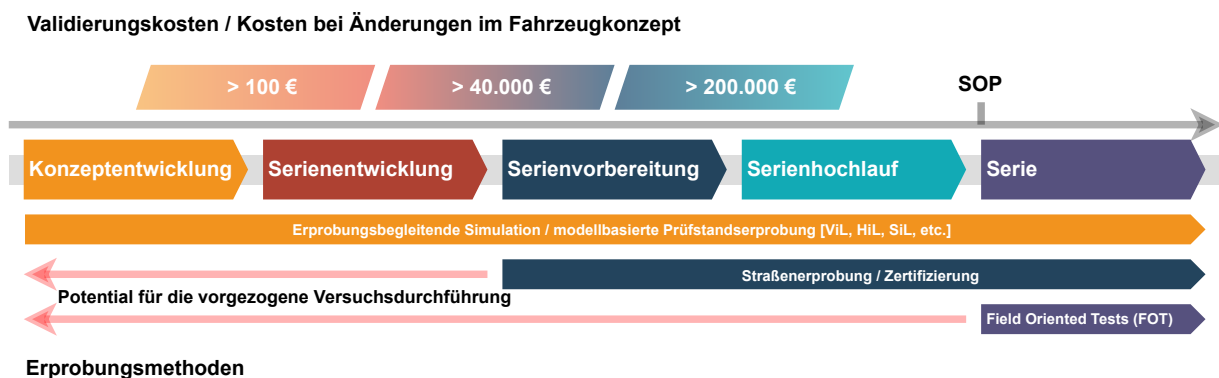


Abb. 3.1: Entwicklung der Validierungskosten bzw. Änderungskosten des Fahrzeugkonzepts während des Produktentstehungsprozesses, Quelle: angelehnt an KS Engineers (2020), Online-Quelle [16.10.2023].

Gravierende strukturelle Änderungen am Fahrzeugdesign bzw. -konzept während oder nach der realen Straßenerprobung mit Prototypen oder Vorserienfahrzeugen auf Basis dieser Versuchserkenntnisse sind immer mit enormen zeitlichen und finanziellen Aufwänden verbunden. Um hierbei vorbeugen zu können, ist heutzutage das Frontloading für die Erprobung und Absicherung auf Komponenten- und Funktionsebene ein essentieller Bestandteil der Fahrzeugentwicklung. Vor allem für die Komponentenerprobung im Hinblick auf die funktionale Leistungsfähigkeit, die Sicherheit, die Haltbarkeit und Lebensdauer, die Umweltbeständigkeit, die Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit sowie Kosten und Effizienz kommen unterschiedliche Prüfstandsvarianten zum Einsatz (Kapitel 4).

⁵⁴Vgl. Carhs (2022), S. 109., Online-Quelle [07.09.2023].

3.2 Prüfmethode und -szenarien

Im Folgenden werden die Anforderungen sowie konkrete Durchführungsbestimmungen von Funktionsversuchen bei realen Fahrversuchen analysiert. Aufbauend darauf soll eine Verlagerung dieser Erprobungsumfänge auf den Gesamtfahrzeugprüfstand veranschaulicht werden. Schlussendlich ist das Ziel dieses Vergleichs allgemein anwendbare Performance-Indikatoren für ein Vorgehensmodell zur Methodenentwicklung und -absicherung zu erhalten, um einer Verlagerung der Versuchsdurchführung im Rahmen der Systemintegration von der Straße auf den Prüfstand möglich zu machen.

3.2.1 Erprobung von Fahrwerksregelungen: Antiblockiersysteme (ABS) oder elektronisches Stabilitätsprogramme (ESC)

Um das Fahrverhalten von Fahrzeugen in unterschiedlichen Szenarien und Situationen für den Fahrer bzw. die Fahrerin zu verbessern stehen in modernen Fahrzeugen eine Vielzahl an elektronisch geregelten Funktionen und Systeme zur Verfügung. Besonders durch die fortwährende Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Gesamtfahrzeugen ergeben sich weitere Potentiale bei der Optimierung der Fahrdynamik. Dabei erstreckt sich der Funktionsbereich von Sicherheitseinrichtungen wie Antiblockiersystemen (ABS) oder elektronischen Stabilitätsregelungen (ESC) bis hin zur aktiven Antriebsmomentverteilung auf die einzelnen Räder (z. B. Torque-Vectoring) oder aktiven Feder- bzw. Dämpfungsregelungen.

Wie im vorangegangenen Kapitel bereits erwähnt, braucht es für die Funktionserprobung im realen Straßenversuch einen vollständigen und funktionsfähigen Prototypen sowie eine auf die zu erprobende Fahrfunktion abgestimmte Teststrecke. Der Fokus liegt im Folgenden aber nicht auf der detaillierten technischen Beschreibung und Analyse einzelner Fahrfunktionen sondern auf der Versuchsdurchführung und -erprobung dieser und der Ableitung von Bewertungs- bzw. Leistungsindikatoren, um in weiterer Folge eine Verlagerung der Versuchsdurchführung auf den Prüfstand quantifizierbar machen zu können.

In der Realität wird höchstwahrscheinlich die Versuchsvorbereitung und -durchführung sowie die Anzahl und Varianz von Versuchsszenarien zwischen verschiedenen OEMs abweichen, nichtsdestotrotz stellen gesetzliche Rahmenbedingungen und Anforderungen prinzipiell eine allgemeine Ausgangssituation an die Versuchsvorbereitung, -durchführung und Leistungsbewertung dar. Aus diesem Grund basieren die nachfolgend erklärten Prüfvorschriften mitunter auf diversen Regulativen. Einen bedeutend größeren Anteil der Versuchskriterien werden hersteller- und funktionsspezifisch während der Entwicklungs- und Erprobung definiert.

Die primäre Hauptaufgabe von elektronischen Fahrwerksregelungen (ABS, ESC) unter dem Sicherheitsaspekt ist es, eine Verbesserung der Richtungsstabilität des Fahrzeugs mit kontrollierten Bremsingriffen auf allen vier Rädern zu erreichen. Die Aufgabe von Antiblockiersystemen ist selbstständig den Schlupf der Räder an einem oder mehreren Rädern des Fahrzeugs während einer Bremsung zu regeln.⁵⁵ Die Idee bei der elektronischen Stabilitätsregelung ist, ein korrigierendes Giermoment zu erzeugen, dem die Einschätzung des tatsächlichen Fahrzeugverhaltens gegenüber dem vom Fahrer gewünschten Fahrzeugverhalten zugrunde liegt. Damit soll der

⁵⁵Vgl. UN ECE (2015), Anhang 13, Online-Quelle [07.10.2023].

Fahrer im Rahmen einer betriebsüblichen Beanspruchung vor einem Ausbrechen in eine nicht oder nur schwer zu kontrollierende Fahrsituation (z. B. über- oder untersteuern des Fahrzeugs bis hin zur Extremsituation des Schleuderns) bewahrt werden. Darüber hinaus muss das System über den gesamten Geschwindigkeitsbereich des Fahrzeugs zuverlässig funktionieren. In wenigen Ausnahmefällen ist eine Inaktivität dieser Fahrfunktion gestattet, wobei eine manuelle Deaktivierung durch den Fahrer auch zu einem inaktiven System führt.⁵⁶

Im Rahmen der Versuchsdurchführung gibt es auch eine Vielzahl an Anforderungen einerseits an das Fahrzeug selbst, andererseits auch an die Teststrecke bzw. Umweltbedingungen. Folgende Prüfanforderungen resultieren grundsätzlich aus den gesetzlichen Anforderungen für die Erprobung von elektronischen Fahrwerksregelungen:

1. Umgebungsbedingungen am Prüfgelände

a) für Entwicklungs- und Abstimmungsversuche:

- i. Umgebungstemperatur zwischen -30 °C und 50 °C
- ii. Windspitzen in Längs- und Querrichtung des Fahrzeugs

b) für Zertifizierungsversuche:

- i. Umgebungstemperatur zwischen 0 °C und 45 °C
- ii. Die höchste Windgeschwindigkeit übersteigt nicht 10 m s^{-1} für Fahrzeuge mit statischem Stabilitätsfaktor (SSF^{57}) $> 1,25$ und 5 m s^{-1} für Fahrzeuge mit $\text{SSF} \leq 1,25$

2. Teststrecke am Prüfgelände

a) für Entwicklungs- und Abstimmungsversuche:

- i. Fahrbahnzustand: trocken, feucht, nass, schneebedeckt, vereist (Eisplatten)
- ii. Fahrbahneigenschaft (Ebenheit, Textur): Asphalt, Kopfsteinpflaster, Randsteinüberfahrt
- iii. ungleichförmige Neigungen des Testabschnitts bis $\pm 30\%$ (z. B. max. Straßensteigung in San Francisco⁵⁸)

b) für Zertifizierungsversuche:

- i. Trockener, gleichmäßiger und befestigter Belag
- ii. Nennwert des maximalen Bremskoeffizienten (PBC^{59}) von 0,9
- iii. gleichförmige Neigung des Testabschnitts zwischen Null und 1 %

3. Gesamtfahrzeugzustand

a) Assistenzsysteme aktiv

b) Lenk- bzw. Bremsroboter zur reproduzierbaren Durchführung der zu prüfenden Manöver

⁵⁶Vgl. UN ECE (2021a), Online-Quelle [07.09.2023].

⁵⁷SSF ist der Quotient aus der Division der halben Spurweite des Fahrzeugs durch die Höhe des Fahrzeugschwerpunkts

⁵⁸Vgl. ADAC (2023), Online-Quelle [05.12.2023].

⁵⁹PBC ist das Maß für die Reibung von Reifen und Straßenoberfläche

- c) für Entwicklungs- und Abstimmungsversuche:
 - i. unterschiedliche Fahrzeugmassen bzw. Zuladungen (inkl. Anhänger)
 - ii. verschiedene Reifenvarianten (Robustheitsuntersuchungen der Funktionen)
- d) für Zertifizierungsversuche:
 - i. Fahrzeugmasse mit 90 % vollem Kraftstofftank inkl. Zuladung durch Testfahrer und Prüfgeräte (Zusatzmesstechnik, Lenkroboter, etc.)
 - ii. Reifendruck laut Herstellerangabe (Fahrzeug- oder Reifenhersteller)

Neben den vom Fahrzeughersteller definierten Anforderungen an die Fahrfunktionen existieren auch eine Vielzahl zertifizierungsrelevanter Leistungsanforderungen zur Bewertung der Fahrfunktionen. Diese sind für die Evaluierung der Funktionen relevant, für die weitere Analyse des Prüfverfahrens und die Verlagerung auf Gesamtfahrzeugprüfstände aber vorerst unerheblich, da dieser Prozessschritt bei der Absicherung von fahrzeugrelevanten Funktionen oder Systemen in beiden Fällen durchgeführt werden muss.

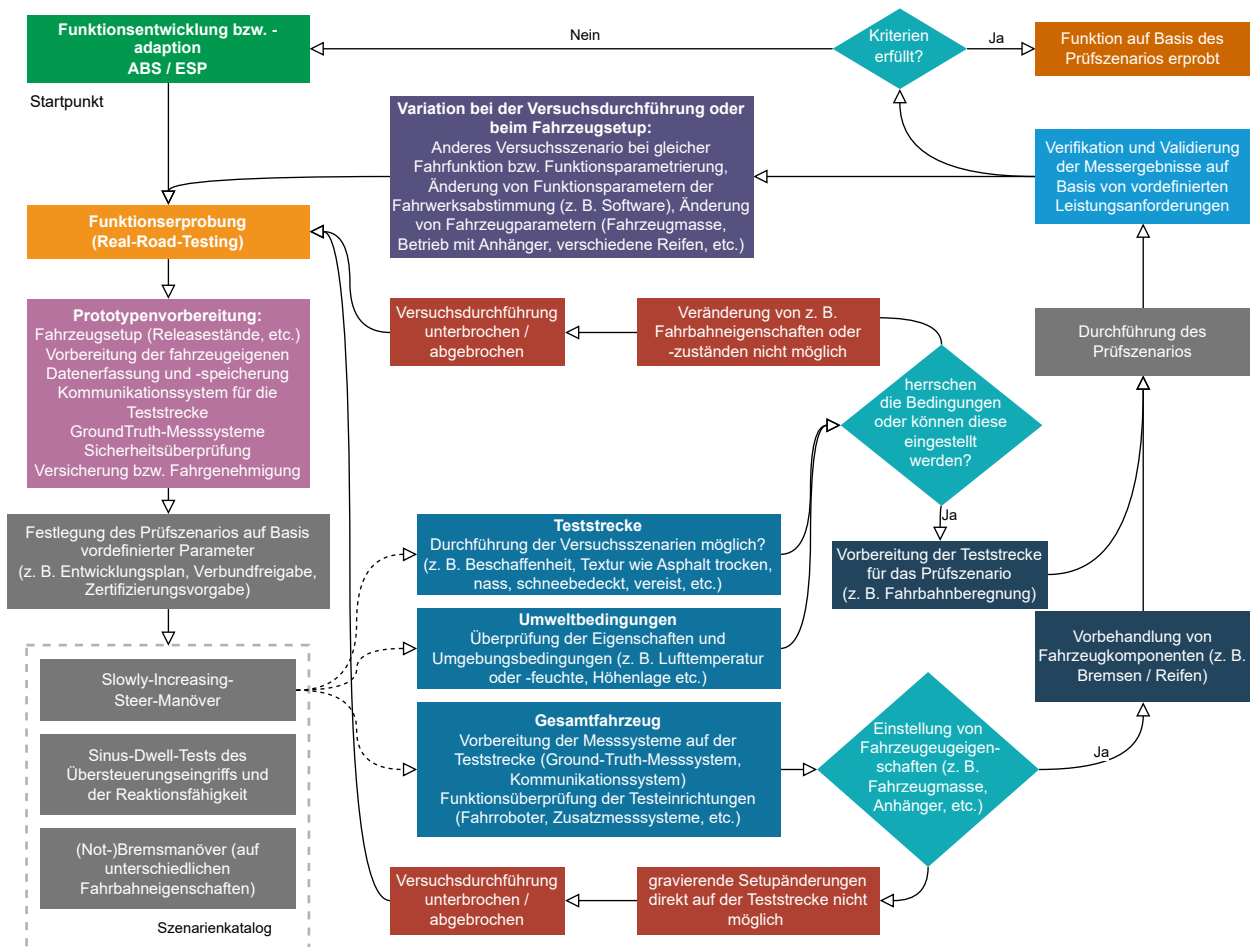


Abb. 3.2: Variante der Versuchsdurchführung der Funktionserprobung von ABS/ESC, Quelle: abgeleitet bzw. angelehnt an UN ECE (2021a), Online-Quelle [07.09.2023].

Aus zuvor definierten Anforderungen bzw. gesetzlichen Vorgaben kann eine exemplarische Versuchsdurchführung wie in Abbildung 3.2 dargestellt abgeleitet werden. Grundsätzlich müssen die Anforderungen an die Teststrecke, die Umgebungsbedingungen auf dem Prüfgelände sowie an das Gesamtfahrzeug während der gesamten Dauer der Funktionserprobung erfüllt werden. Nur so können realistische Vergleiche von unterschiedlichen Entwicklungsstufen oder Systemdesigns einzelner Funktionen angestellt werden. Die zeitintensive Versuchsvorbereitung und -durchführung steht dabei jedoch im Widerspruch mit immer gleichen Bedingungen für reproduzierbare und vergleichbare Versuchsergebnisse.

Die Validierung bzw. Verifikation der Messergebnisse erfolgt auf Basis der definierten Leistungsanforderungen an das System. Diese resultieren für diesen konkreten Fall auch aus gesetzlichen Anforderungen. Prinzipiell müssen das Richtungsstabilitäts und das Reaktionsfähigkeitskriterium in allen Testszenarien erfüllt werden.

3.2.2 Erprobung von Fahrerassistenzsystemen bzw. automatisierten Fahrfunktionen am Beispiel eines Notbremsassistent

Die zunehmende Automatisierung von Fahrfunktionen bis hin zu autonom fahrenden Fahrzeugen erfordert prinzipiell ein hoch vernetztes Fahrzeug. Letztendlich greifen verschiedene Fahrfunktionen und Assistenzsysteme unterschiedlich tief in die Fahrzeugsteuerung ein, weshalb besonders für die Erprobung dieser Funktionen eine Einteilung auf Basis des Automatisierungsgrades sinnvoll ist. Die SAE J3016 verwendet dazu sechs verschiedene Ebenen (Level 0 bis Level 5) für automatisierte Fahrsysteme (Automated Driving Systems (ADS)) von keiner Automatisierung des Fahrens bis hin zur vollständigen Automatisierung des Fahrens (Tabelle 3.1).

Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
No Driving Automation	Driver Assistance	Partial Driving Automation	Conditional Driving Automation	High Driving Automation	Full Driving Automation
Fahrer führt die dynamische Fahraufgabe (DDT) ganz oder teilweise aus			ADS führt die dynamische Fahraufgabe (DDT) vollständig aus		

Tab. 3.1: Klassifizierung von automatisierten Fahrfunktionen auf Basis des Automatisierungsgrads, Quelle: angelehnt an SAE - Society of Automotive Engineers (2021), Online-Quelle [08.10.2023].

Wie zuvor kurz angemerkt basiert der Grad der Fahrautomatisierung auf der Funktionalität des Fahrautomatisierungssystems, die durch eine Rollenverteilung in einer dynamischen Fahraufgabe (Dynamic Driving Task (DDT)) und der DDT-Rückfalleistung zwischen dieser Funktion und dem menschlichen Benutzer bestimmt. Die niedrigeren Ebenen der Fahrautomatisierung (Level 0 bis Level 2) beziehen sich auf Funktionen, in denen der menschliche Fahrer weiterhin einen Teil der dynamischen Fahraufgabe (DDT) ausführt, während das Fahrautomatisierungssystem eingeschaltet ist. Funktionen dieser Ebene werden daher als *fahrerunterstützende* Funktionen angesehen. Die obere Ebene dieser Einteilung (Level 3 bis Level 5) beziehen sich auf Fälle, in denen das automatisierte Fahrsystem (ADS) die gesamte DDT auf Dauer ausführt, während die Fahrfunktion einge-

Straßenerprobung (Road-Testing)

schaltet ist. Aus diesem Grund werden für solche Funktionen oftmals die Bezeichnung *automatisiertes Fahren* verwendet.⁶⁰ Aktive Sicherheitssysteme wie Notbremsassistenten (Automatic Emergency Braking (AEB)) oder andere Assistenzsysteme wie Spurhalteassistenten (LKA) sind definitionsgemäß aus dem Anwendungsbereich dieser Taxonomie der Fahrautomatisierung ausgeschlossen, da sie nicht dauerhaft einen Teil oder die gesamte DDT durchführen, sondern nur kurzzeitig in teilweise gefährlichen Situationen eingreifen. Diese sporadischen Eingriffe etwaiger Sicherheitssysteme ändern aber nichts an der grundsätzlichen Tatsache, dass ein Fahrer die eigentliche Fahraufgabe ganz oder teilweise übernimmt. Bei automatisierten Fahrsystemen (ADS), die eine vollständige DDT durchführen, ist die Fähigkeit zur Kollisionsminderung und -vermeidung Teil der ADS-Funktion.⁶¹ Diese formale Klassifizierung ändert aber an der grundsätzlichen Funktion und deren Erprobung, Verifikation und Validierung nichts.

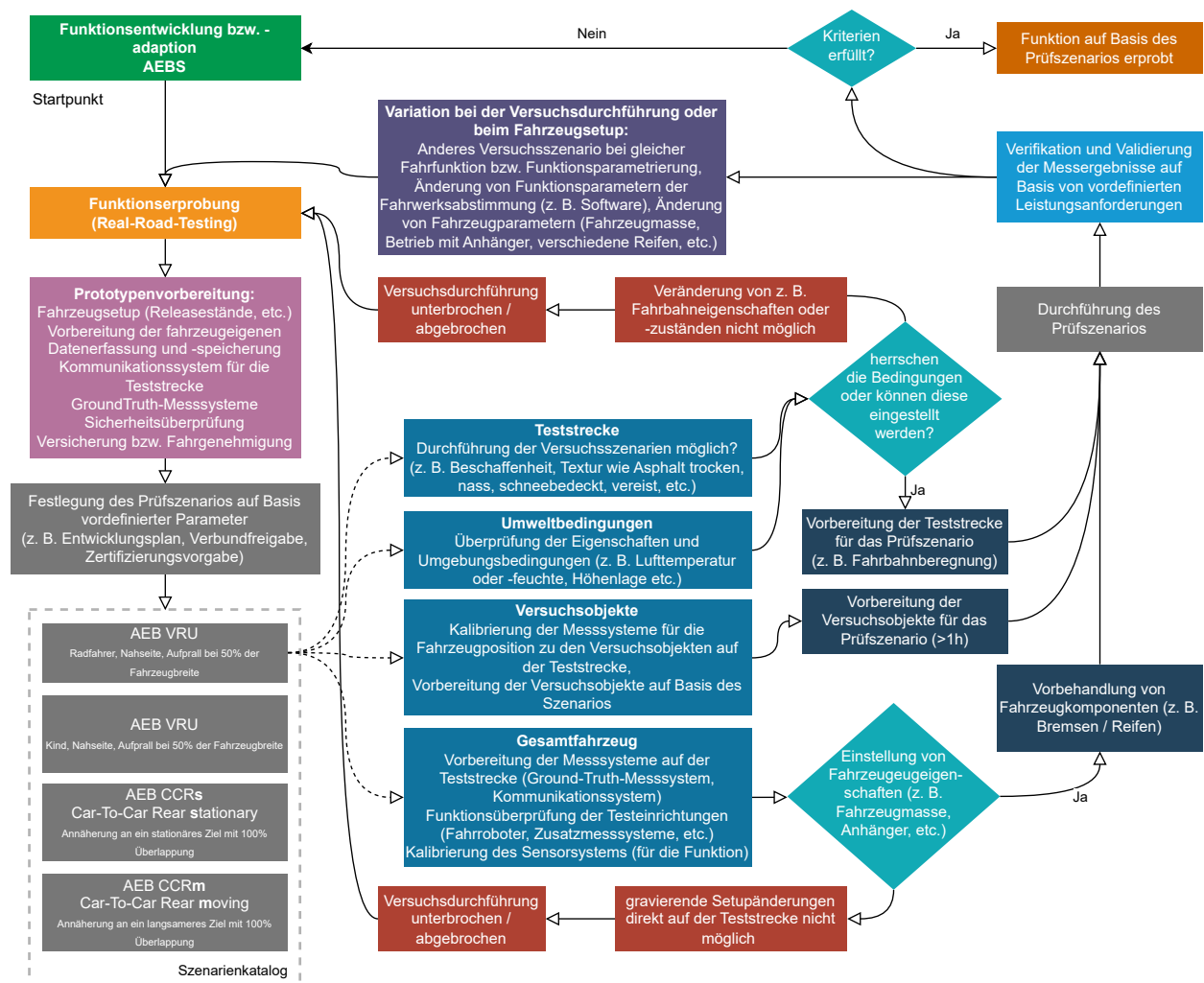


Abb. 3.3: Variante der Versuchsdurchführung der Funktionserprobung von AEBs, Quelle: abgeleitet bzw. angelehnt an UN ECE (2021b), Online-Quelle [07.09.2023].

⁶⁰Vgl. SAE - Society of Automotive Engineers (2021), S. 30 f., Online-Quelle [08.10.2023].

⁶¹Vgl. Carhs (2022), S. 17., Online-Quelle [07.09.2023].

Die Voraussetzungen und die Funktionserprobung der aktiven Sicherheitsfunktion des Notbremsassistenten (AEBS) ähneln jenen zu ABS / ESC. Unterschiede ergeben sich überwiegend in den Leistungsanforderungen der Funktion sowie bei den durchzuführenden Versuchsszenarien (Abbildung 3.3).

Die Funktionsprüfung eines Notbremsassistenten stellt deutlich komplexere Anforderungen vor allem an die Teststrecke im Vergleich zu den zuvor erklärten Prüfungen. Einerseits müssen für die unterschiedlichen Versuche verschiedene, teilweise bewegliche Prüfaufprallziele zur Verfügung stehen, andererseits müssen diese exakt auf die Fahrzeugposition und -geschwindigkeit des Versuchsfahrzeugs auf dem Testgelände abgestimmt die geforderten Bewegungen bzw. Manöver automatisch ausführen. Während die Prüfungen mit stehendem Fahrzeug in Fahrtrichtung des Versuchsprototypen relativ einfach durchzuführen sind, muss bei allen weiteren Versuchen der Annäherung an ein langsames vorausfahrendes Ziel dieses mit einer konstanten Geschwindigkeit vor dem Versuchsfahrzeug herfahren. In der Regel kommen für diese Aufprallfahrzeuge elastische Nachbauten realer Fahrzeuge zum Einsatz (Guided Soft Targets (GTS)), um besonders den Aufwand bzw. Schaden bei etwaigen Fehlfunktionen des Notbremsassistenten gering halten zu können (Abbildung 3.4).

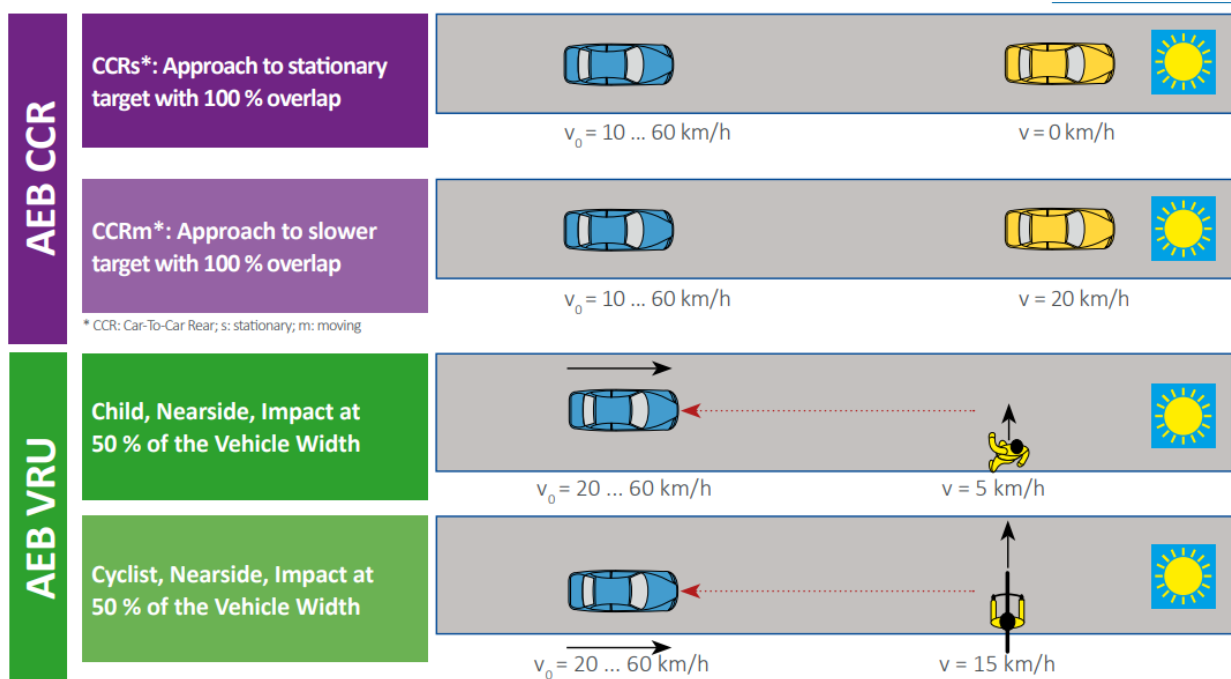


Abb. 3.4: Versuchsszenarien für die Erprobung eines Advanced Emergency Braking Systems, Quelle: Carhs (2022), Online-Quelle [07.09.2023].

Um die Versuche mit zum Versuchsfahrzeug querenden Fußgängern oder Radfahrern, klassifiziert als ungeschützte Verkehrsteilnehmer (VRU⁶²), erfolgreich durchführen zu können muss die Auslösung der Bewegung der Prüfaufprallziele exakt auf die Fahrzeugposition und -geschwindigkeit und die Anforderungen aus der Versuchsbeschreibung abgestimmt werden. Aus diesem Grund müssen für die Objektsteuerung am Testgelände

⁶²Vulnerable Road Users (VRU)

mehrere aktuelle Fahrzeuggrößen in Echtzeit zur Verfügung stehen. Zusätzlich braucht es auch für die Verifikation und Validierung der Fahrfunktionen einen objektiven Vergleich der Sensordaten des Fahrzeugs (Kameras, Radar, LiDAR, IMU⁶³ und GNSS⁶⁴-Navigationssysteme), mit welchen Geschwindigkeiten, Positionen, Abstände bzw. Entfernungen und einige weitere bestimmt werden zu mit den tatsächlichen realen Werten. Dazu kommen oftmals noch genauere Versionen der gleichen Sensoren zusätzlich zum Einsatz.⁶⁵

Kritische Argumente bei Versuchen aus dem Euro NCAP⁶⁶-Programm zur Bewertung der Sicherheit von Personenkraftwagen sind vor allem, dass die Versuche unter Laborbedingungen, d.h. unter Ausschluss weiterer externer Einflüsse wie zusätzlichen Verkehrsteilnehmern neben den erprobungsrelevanten Teilnehmern, stattfinden. Versuche in realen Szenarien mit realem Verkehrsfluss wären aber aus Sicherheits-, Genehmigungs- und Versicherungsaspekten nicht möglich. Reale Verkehrsflüsse auf Versuchsgeländen nachstellen zu können würde die Versuchsplanung und -durchführung aber zusätzlich um Potenzen steigern. Für diese Versuche eignen sich damit eigentlich nur Simulationen oder Co-Simulationen auf Versuchsprüfständen.

3.2.3 Reichweitenversuche und Leistungsmessungen

Klassische Reichweitenbestimmungen bei Elektrofahrzeugen werden vergleichbar zu Abgas- bzw. Emissions-tests, Überprüfungen hinsichtlich der Produktionsqualität und -konformität (COP) oder Homologationsversuche überwiegend auf Rollenprüfständen durchgeführt. Einerseits bestehen in vielen Testzentren meist mehrere solcher Prüfstände, andererseits erfordern diese Versuche keine dynamischen Anforderungen hinsichtlich der Längs- oder Querdynamik, im Gegensatz zu Versuchen von Fahrwerksregelungssystemen. Die tatsächlichen Versuchsszenarien dabei sind oftmals das Abfahren unterschiedlicher, teils reglementierter Geschwindigkeitsprofile (z. B. WLTP⁶⁷, FTP⁶⁸). Ein oft kritisiertes Merkmal solcher synthetischer Geschwindigkeitsprofile ist die Repräsentativität der Ergebnisse im Vergleich zu realen Fahrszenarien. Besonders bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen und topologischen Eigenschaften können reale Energie- und Verbrauchskennzahlen deutlich von den ermittelten Werten aus den standardisierten Versuchsszenarien abweichen, wenn gleich auch durch die Einführung des WLTP die Repräsentativität der aus dem Prozedere abgeleiteten Kennzahlen (Reichweite, Verbrauch, etc.) zu realen im Straßenverkehr auftretenden Werten gestiegen ist.

Nichtsdestotrotz gibt es aus Entwicklungs- und Integrationsintegrationssicht für den sehr großen Betriebsbereich von Elektrofahrzeugen (wie z. B. Lufttemperatur -30°C bis 50°C) besonders im Hinblick auf das Thermomanagement von Elektrofahrzeugen die Notwendigkeit der Erprobung im Gesamtkontext bei unterschiedlichen Umweltbedingungen (Umweltbedingungen wie Außentemperatur, Luftfeuchte aber auch topologische Straßeneigenschaften) und Ausgangssituationen. Eine große Schwierigkeit für die Erzielung belastbarer und reproduzierbarer Ergebnisse ist die Sicherstellung von ähnlichen Bedingungen zu Testbeginn bzw. während der Versuchsdurchführung. Neben unbeeinflussbaren Umweltfaktoren wie den vorherrschenden Wetterbedingungen (z. B. Regen, Eis,

⁶³Inertiale Messeinheiten (IMU)

⁶⁴Global Navigation Satellite System (GNSS)

⁶⁵Vgl. Dewesoft (2023), Online-Quelle [14.10.2023].

⁶⁶European New Car Assessment Programm (EuroNCAP)

⁶⁷Worldwide Harmonised Light-Duty Vehicles Test Procedure (WLTP)

⁶⁸Federal Test Procedure (FTP)

extreme Hitze, etc.) oder Naturereignisse (Stürme, Überschwemmungen, Luftqualität) spielen bei städtischen Versuchsfahrten auch Faktoren wie Verkehrsbedingungen (Verkehrsdichte, Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer, Baustellen) eine nicht unwesentliche Rolle. Darüber hinaus gilt es auch den Zustand der Erprobungsfahrzeuge möglichst vergleichbar aufrechtzuerhalten. Die Bandbreite hierbei erstreckt sich von realisierbaren Faktoren wie beispielsweise die Einstellung von bestimmten SOC⁶⁹-Werten zu Versuchsbeginn, die Systempflege von unterschiedlichen Verbundfreigaben bis hin zur Berücksichtigung von Alterungseffekten verschiedener Komponenten.

Besonders bei schwierigen topologischen Verhältnissen (z. B. extreme Temperaturen, rurales oder abgeschiedenes Gebiet, etc.) müssen vermeintlich einfache Versuchsvorbereitungen gut geplant und abgestimmt werden (Abbildung 3.5).

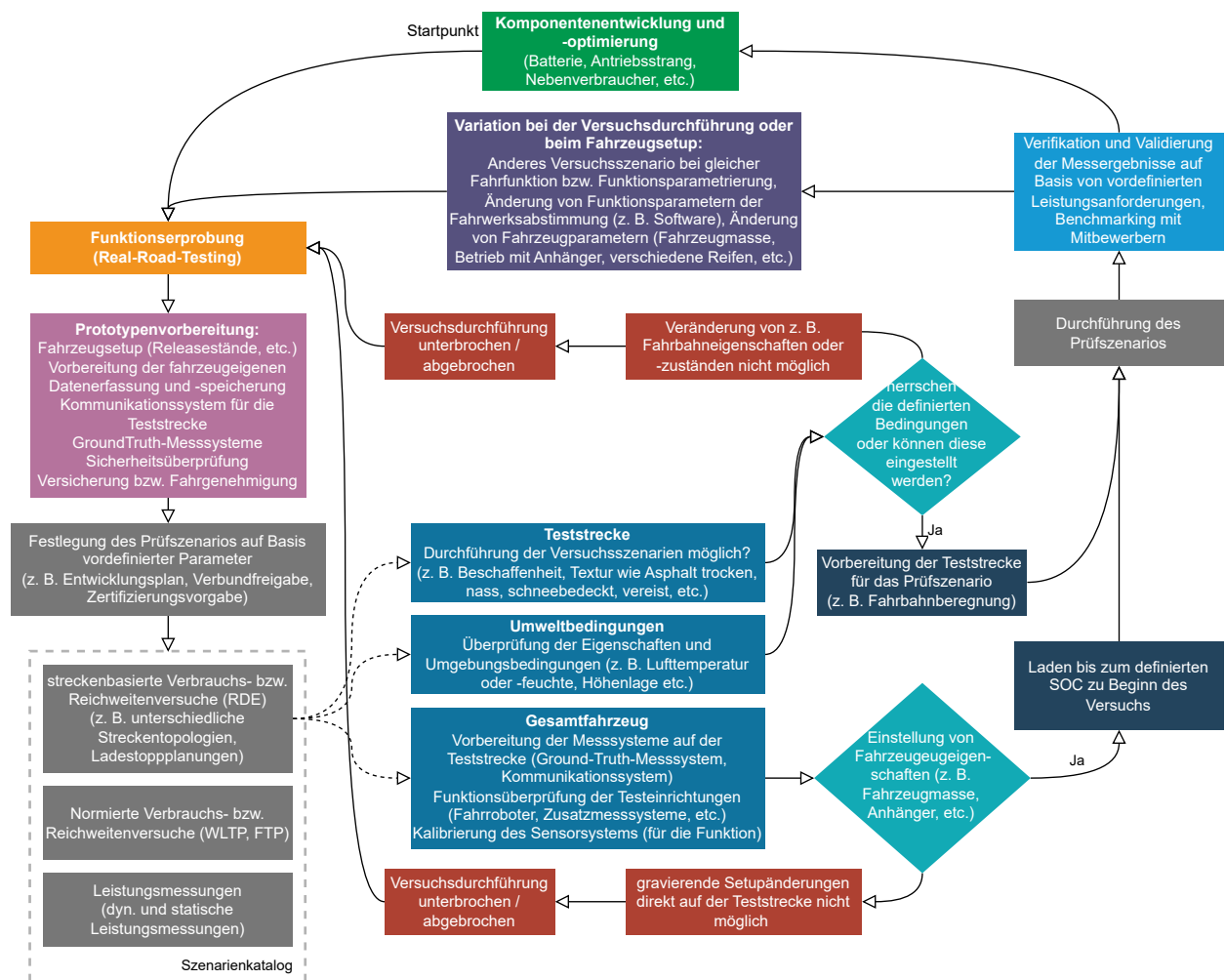


Abb. 3.5: Variante der Versuchsdurchführung für Reichweiten- oder Leistungsmessungen, Quelle: Eigene Darstellung.

Neben den antriebs- und fahrwerksnahen Verbrauchs- bzw. Reichweitenversuchen gibt es eine beträchtliche Anzahl von Nebenverbrauchern (z. B. Wärmepumpe zur Konditionierung der Batterie) eine Vielzahl von Softwa-

⁶⁹State of Charge (SOC)

remodulen (z. B. Range-Prediction-Algorithmen, Ladestopplanungen), welche bei Versuchen im Gesamtfahrzeugkontext zu unterschiedlichen Bedingungen getestet werden müssen.

Abgesehen von Energie- und Reichweitenuntersuchungen werden Leistungskennzahlen von klassischen Gesamtfahrzeugen auf Basis von Komponenten- oder Verbunduntersuchungen (z. B. auf Antriebsstrangprüfständen) stationär ermittelt und ausgewiesen. Bei Elektrofahrzeugen gestaltet sich dieser Zugang als unvorteilhaft, da dessen Systemleistung maßgeblich von unterschiedlichen Faktoren (z. B. Leistung der elektrischen Antriebs-einheiten, Batteriegröße und -ladezustand, Leistung bzw. Verbrauch von Nebenaggregaten im Hinblick auf das Thermomanagement, Dauer der abrufbaren Leistung, etc.) abhängen. Für die standardisierte Leistungsbestimmung von Elektrofahrzeugen besteht aber noch keine konkrete gesetzliche Anforderung, ein Regulativ dazu ist aber bereits ausgearbeitet.⁷⁰

3.3 Einflussfaktoren

Wie einleitend in dieses Kapitel erwähnt, können komponentenübergreifende Funktionen wie beispielsweise Fahrdynamikregelungssysteme oder Energie- bzw. Reichweitenuntersuchungen von Fahrzeugen üblicherweise erst zu relativ späten Zeitpunkten im Produktentstehungsprozess im Gesamtfahrzeug bzw. mit realen Prototypen bei Straßenerprobungen auf Versuchsstrecken oder Erprobungsgeländen sinnvoll durchgeführt werden. Die Gründe hierfür sind vielschichtig und reichen von der komponentengeprägten Organisationsstruktur und dem damit oftmals unzureichenden Fokus auf der Systemintegration vieler OEMs bis hin zu unzureichend definierten bzw. definierbaren Anforderungen auf unterschiedlichen Systemebenen und der damit schwachen Validierung und Verifikation von der Komponenten-, über die Systemintegration bis zur Gesamtfahrzeugebene.

Vor diesem Hintergrund ist ein entscheidender Faktor für die Versuchsdurchführung die Verfügbarkeit von Prototypen zu den richtigen Versuchszeiträumen mit sinnvollen Reifegraden unterschiedlicher Systeme. Ein weiterer Aspekt vor allem für die Erprobung von antriebsstrang- bzw. fahrwerksnahen Systemen im realen Straßenversuch ist, dass neben der offensichtlich relevanten Antriebsstrang- bzw. Fahrwerksebene auch andere Bereiche wie beispielsweise Karosserie und Aerodynamik erprobungsfähige Reifegrade aufweisen müssen. Darüber hinaus ist die Verfügbarkeit von Teststrecken oder Erprobungsgeländen zu den geforderten Zeitpunkten ein relevantes Kriterium (z. B. Wintererprobung kann nur im Winter stattfinden). Aus den zuvor erklärten Prüfmethode und -szenarien können in weiterer Folge maßgebliche Einflussfaktoren abgeleitet werden (Abbildung 3.6).

Dabei lassen sich diverse Kriterien während der Versuchsvorbereitung bzw. -durchführung in beeinflussbare oder nicht beeinflussbare Faktoren unterteilen. Nachdem die Zielsetzung von Erprobungen die Validierung und Verifikation definierter Anforderungen mit reproduzierbaren, genauen und vergleichbaren Versuchsergebnissen ist, braucht es auch eine Gliederung bezogen auf beeinflussende bzw. nicht beeinflussende Faktoren. Daraus wird deutlich, dass Faktoren des rechten unteren Feldes idealerweise eliminiert werden sollen, da diese vor oder während der Versuchsdurchführung nicht beeinflusst werden können, diese aber gleichzeitig einen Einfluss auf Versuchsergebnisse haben können.

⁷⁰Vgl. UN GTR (2015), Online-Quelle [07.01.2024].



Abb. 3.6: Gliederung von relevanten Einflussfaktoren bei der realen Straßenerprobungsvorbereitung und -durchführung im Hinblick auf zu erzielenden Versuchsergebnisse, Quelle: Eigene Darstellung.

Unter anderem lässt sich aus der Grafik erkennen, dass Faktoren wie die Reproduzierbarkeit und die Konsistenz im Hinblick auf die resultierenden Ergebnisse von unterschiedlichen aber nicht beeinflussbaren Faktoren maßgeblich bestimmt werden. Beispielsweise lassen sich Umwelt- oder Wettereigenschaften zu gewünschten Zeitpunkten nicht kontrollieren oder es muss in der Versuchsplanung und -vorbereitung bereits Rücksicht auf unterschiedliche Anforderungen genommen werden. Darüber hinaus ist eine kontrollierte Varianz von Versuchen mit einer geforderten Veränderung von Eigenschaften der Teststrecke (z. B. Eisplatte über eine gewisse Distanz) oder auch des Versuchsprototypen aufwandsbedingt nicht immer realisierbar. Oftmals spielen auch Elemente wie die Reifegrade unterschiedlicher Funktionen und Systeme zum erprobungsrelevanten Zeitraum eine Rolle. Besonders beim softwaredefinierten Fahrzeug ergeben sich teilweise kurze Entwicklungsintervalle für die Freigabe

von Softwareständen bzw. Systemen, was besonders die Erprobung im Gesamtfahrzeug vor Herausforderungen stellt. Auch im Hinblick auf die oftmals manuell durchgeführten Fahrscenarien und -manöver bzw. Fahrzyklen ergeben sich natürliche Varianzen, welche vor allem bezogen auf die Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit von Ergebnissen in diesem Versuchskontext nicht immer vorteilhaft ist.

Nichtsdestotrotz gibt es eine Vielzahl an nicht die Versuchsergebnisse beeinflussende Faktoren wie Sicherheitsauflagen und -vorkehrungen oder die Beschaffung von Fahrgenehmigungen, damit Versuchsszenarien überhaupt durchgeführt werden können bzw. dürfen. Auch die Anzahl verschiedener erprobungsreifer Prototypen ist in vielen Fällen sehr stark limitiert um den Aufwand und die Kosten im Entwicklungsprozess gering halten zu können. Besser gelagert bei der Versuchsvorbereitung bzw. -durchführung sind beeinflussbare Faktoren. Diese können prinzipiell von außen gesteuert werden und haben teilweise unmittelbaren Einfluss auf die resultierenden Ergebnisse. Aber auch an dieser Stelle kann der Aufwand für die Steuerung einzelner Bereiche wesentliche Einschränkungen während der Versuchsdurchführung mit sich bringen.

4 PRÜFSTANDSERPROBUNG (TESTBENCH-TESTING)

4.1 Einordnung in den Entwicklungsprozess

Wie in den Kapiteln zuvor erläutert durchläuft die Fahrzeugentwicklung mehrere Phasen, auf Basis deren Prozessschritte und -ziele auch verschiedene Erprobungs- und Absicherungsumfänge relevant sind. Aus diesem Grund kommen in diesen unterschiedlichen Entwicklungsschritten auch verschiedene Prüfstandstypen und -varianten in Kombination mit Simulationen in iterativen Prozessen zum Einsatz (Abbildung 4.1).

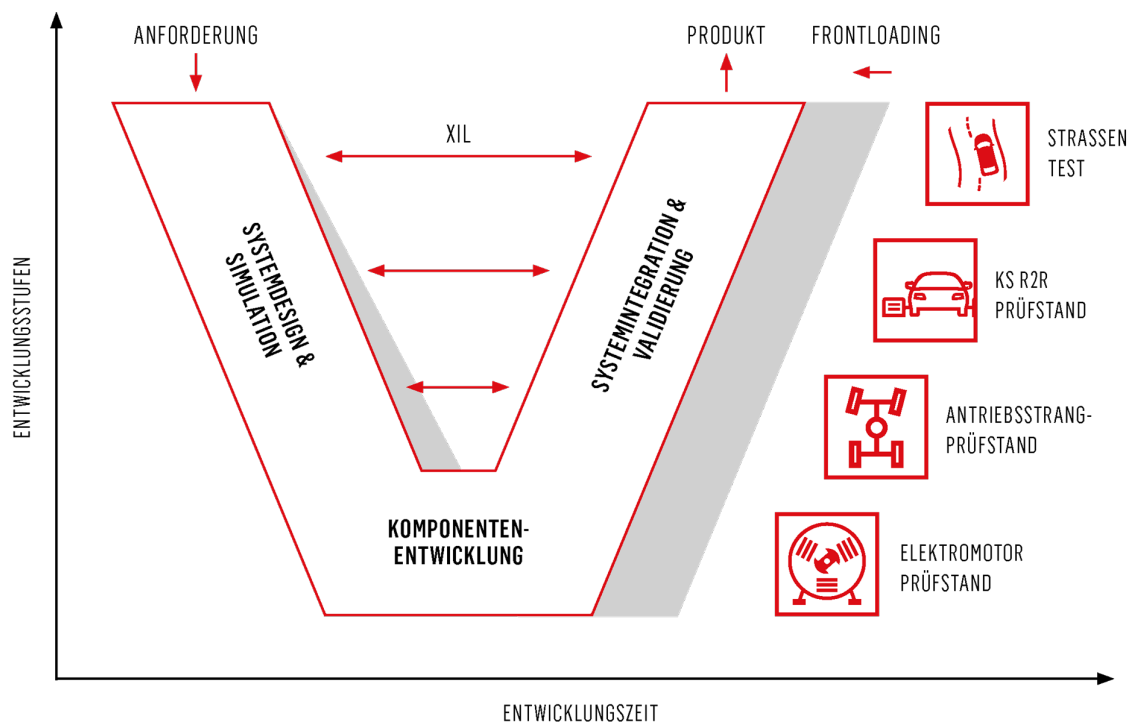


Abb. 4.1: Eingliederung verschiedener Prüfstandssysteme in einen modellgestützten Entwicklungsprozess, Quelle: KS Engineers (2020), Online-Quelle [16.10.2023].

Gerade die kontinuierliche Erweiterung von hoch-automatisierten Fahrfunktionen und Fahrerassistenzsystemen und der damit stetig wachsende Versuchs- und Absicherungsaufwand erfordern eine Vielzahl an Versuchsfahrzeugen mit entsprechend guten Komponenten- und Funktionsreifegraden für die Straßenerprobung. Während Versuche auf Komponentenprüfständen seit Jahrzehnten auf die funktionale Leistungsfähigkeit, die Haltbarkeit und Lebensdauer, die Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit abzielen, erfordert das softwaredefinierte Fahrzeug mit vielen vernetzten Funktionen eine gesamtheitliche Versuchsdurchführung, -bewertung und -absicherung. Eine Verlagerung dieser Funktionserprobung auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfstände eröffnet dabei große Einsparungspotentiale im Hinblick auf die anfallenden Kosten sowie die Entwicklungs- und Erprobungszeiträume. Möglicherweise können Straßenerprobungen aus unterschiedlichen Gründen (z. B. ge-

setzliche Aspekte) nicht vollständig ersetzt werden, eine Steigerung der Funktionsreifegrade zum Zeitpunkt der Straßenerprobung wäre aber ebenso mit Einsparungen verbunden.

4.2 Systembeschreibung von Testplattformen / Prüfstandstypen

Prinzipiell ist jede Prüfstandsvariante ein komplexes mechatronisches System bestehend aus einer Vielzahl an Sensoren, Aktoren und Steuerungseinrichtungen (z. B. Belastungseinheit, Messtechnik und Automatisierungssystem).⁷¹ Je nach Prüfstandstyp stehen dabei unterschiedliche Untersuchungsgegenstände und -ziele im Vordergrund. Aufgrund des riesigen Einflussbereichs verschiedener Fahrzeug- oder Fahrfunktionen bis auf Komponentenebene startet deren Entwicklung üblicherweise simultan zur Komponentenentwicklung. Aus diesem Grund ist es auch vorteilhaft, wenn die Erprobung dieser gesamtheitlichen Systeme parallel zu klassischen Komponentenversuchen mit Fokus auf zuvor angemerkten Aspekten wie der funktionalen Leistungsfähigkeit, Robustheit und Qualität durchgeführt werden.⁷² Um diese verschiedenen Gesamtsystemfunktionen auf unterschiedlichen Prüfstandssystemen wie Batterie-Prüfständen, Inverter-Prüfständen oder Elektromotorenprüfständen erproben zu können, müssen (noch) nicht real verfügbare Komponenten durch Simulationen (Digital Twin) ersetzt werden (Abbildung 4.2).













 SIL/MIL	 HiL	 BATTERIE PRÜFSTAND	 INVERTER PRÜFSTAND	 ELEKTROMOTOR PRÜFSTAND	 MOTOR PRÜFSTAND	 GETRIEBE PRÜFSTAND	 ANTRIEBSSTRANG PRÜFSTAND	 SYSTEM PRÜFSTAND	 ROLLEN PRÜFSTAND	 KS R2R PRÜFSTAND	 STRASSEN TEST
xCU	xCU	BMS	xCU	xCU	ECU	TCU	xCU	xCU	xCU	xCU	xCU
Batterie	Batterie	Batterie	Batterie	Batterie	Batterie	Batterie	Batterie	Batterie	Batterie	Batterie	Batterie
BSZ	BSZ	BSZ	BSZ	BSZ	BSZ	BSZ	BSZ	BSZ	BSZ	BSZ	BSZ
Inverter	Inverter	Inverter	Inverter	Inverter	Inverter	Inverter	Inverter	Inverter	Inverter	Inverter	Inverter
E-Motor	E-Motor	E-Motor	E-Motor	E-Motor	E-Motor	E-Motor	E-Motor	E-Motor	E-Motor	E-Motor	E-Motor
VKM	VKM	VKM	VKM	VKM	VKM	VKM	VKM	VKM	VKM	VKM	VKM
Getriebe	Getriebe	Getriebe	Getriebe	Getriebe	Getriebe	Getriebe	Getriebe	Getriebe	Getriebe	Getriebe	Getriebe
Triebstrang	Triebstrang	Triebstrang	Triebstrang	Triebstrang	Triebstrang	Triebstrang	Triebstrang	Triebstrang	Triebstrang	Triebstrang	Triebstrang
Rad/Reifen	Rad/Reifen	Rad/Reifen	Rad/Reifen	Rad/Reifen	Rad/Reifen	Rad/Reifen	Rad/Reifen	Rad/Reifen	Rad/Reifen	Rad/Reifen	Rad/Reifen
Karosserie	Karosserie	Karosserie	Karosserie	Karosserie	Karosserie	Karosserie	Karosserie	Karosserie	Karosserie	Karosserie	Karosserie
Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer
Straße	Straße	Straße	Straße	Straße	Straße	Straße	Straße	Straße	Straße	Straße	Straße

Abb. 4.2: Modellbasierte Erprobung auf Prüfstandssystemen aus dem Gesamtfahrzeugkontext durch einen hybriden Einsatz von realen und virtuellen Komponenten, Quelle: KS Engineers (2020), Online-Quelle [15.10.2023].

Diese Teilmodelle beschreiben in unterschiedlichen Abstraktionsgraden physikalische Zusammenhänge realer Komponenten des Fahrzeugverbunds und können auch Fahrer:innen und Umgebung beinhalten.⁷³ Abhängig

⁷¹Vgl. Liebl/Beidl (2018), S. 2.

⁷²Vgl. Liebl/Beidl (2018), S. 5.

⁷³Vgl. Liebl/Beidl (2018), S. 2.

der Prüfstandsvariante können verschiedene Teilmodelle durch reale Komponenten oder durch eine Kombination aus realen und virtuellen Komponenten zum Einsatz kommen. Für den Einsatz am Prüfstand eignen sich überwiegend echtzeitfähige Modelle der physikalischen Komponenten mit minimalem Rechenaufwand und ausreichender Modelltiefe. Derzeitige Versuche zur Verbesserung und Optimierung des Thermomanagements bei modernen Elektrofahrzeugen verlagern diese Echtzeitforderung zusehends. In iterativen Prozessen, beispielsweise während der einfachen Komponentenerprobung können virtuelle Modellteile auf Basis realer Messergebnisse validiert und damit weiterentwickelt und verfeinert werden.⁷⁴

Bei Antriebsstrangprüfständen ist die Unit Under Test (UUT) der komplette Antriebsstrang in verschiedenen Ausbaustufen (z. B. nur eine Antriebsachse oder der gesamte Allradverbund inkl. Steuergerätearchitektur) und Reifegraden. Im Vergleich dazu sind bei Gesamtfahrzeugprüfständen (F-ATS) der Antriebsstrang und dessen kompletter Steuergeräteverbund des Fahrzeugs zwar grundlegend die UUT, diese kommen aber im Kontext des Gesamtfahrzeugs in beispielsweise einem Prototypen in einem deutlich höheren Vernetzungszustand mit seriennahen Komponentenreifegraden zum Einsatz.

4.2.1 Komponentenprüfstände

Durch den parallel zu den Kernaktivitäten und -entwicklungsaufgaben laufenden Modellierungs- und Simulationsprozess können Komponenten simultan zur konstruktiven Entwicklung virtuell in Simulationen erprobt und bewertet werden (z. B. FEM⁷⁵-Simulationen, CFD⁷⁶-Simulationen). Mit voranschreitender Komponentenentwicklung bekommt neben der simulativen Versuche die reale Erprobung auch mehr Gewicht zugeordnet. Wie zuvor aufgezählt ist das Ziel der Komponentenuntersuchung die Überprüfung definierter Anforderungen an die Bauteile und -gruppen sowie die frühzeitige Erkennung möglicher Fehler und Fehlerquellen um diese frühzeitig beheben zu können. Diese Verifikation und Validierung erfolgt zumeist in Form von Dauerlaufversuchen, Leistungs- bzw. Wirkungsgraduntersuchungen, Schädigungs- oder Miss-Use-Versuchen auf verschiedenen Ausprägungen von Komponentenprüfständen. Spezielles Augenmerk bei solchen Untersuchungen liegt dabei unter anderem auf den Eigenschaften hinsichtlich der Performance, der Zuverlässigkeit bzw. des Ausfallverhaltens, des Wirkungsgrads, des Schwingverhaltens oder der Laufruhe, der Vibrations- und EMV-Beständigkeit der Bauteile und Baugruppen. Höchstwahrscheinlich liegt der Fokus bei komplexen Prüfstandssystemen für unterschiedliche Versuchskomponenten immer auf verschiedenen Schwerpunkten. Aufgrund dieser Variabilität lassen sich sämtliche Prüfstandskomponenten nicht eindeutig einzelnen Prüfstandsformen zuordnen, weshalb am Beispiel eines Elektromotorprüfstand einige Komponenten aufgezählt und dargestellt werden können (Abbildung 4.3). Bei der Untersuchung von Komponenten des Antriebsstrangs kommen diese Anlagenteile wiederkehrend in verschiedenen Ausprägungen zum Einsatz.

Die UUT für diese Prüfstandsvariante ist ein Elektromotor mit Inverter (PWR⁷⁷). Für den Betrieb des Prüflings braucht es grundlegend eine Simulation der Batterie durch eine Hochvolt (HV) DC-Spannungsversorgung (KS

⁷⁴Vgl. KS Engineers (2020), Online-Quelle [16.10.2023].

⁷⁵Finite Element Method (FEM)

⁷⁶Computational Fluid Dynamics (CFD)

⁷⁷Pulswechselrichter (PWR)

BattSim), da die reale Batterie des Gesamtfahrzeugs in den meisten Fällen noch nicht zur Verfügung steht und auch aus Sicherheitsaspekten in solchen Szenarien nicht eingesetzt werden soll. Belastet wird der zu prüfende Elektromotor üblicherweise mit einer elektrischen Prüfstandsmaschine (meist eine hochdrehende Synchronmaschine), welche über einen Frequenzumrichter (KS FU) betrieben wird. Während der Prüfling oftmals nur in Drehmomentregelung mit entsprechender Vorgabe (Drehmoment- oder drehmomentproportionale Vorgabe als Fahrpedal) betrieben wird, muss die Prüfstandsmaschine neben einer Drehmomentregelung auch eine Drehzahlregelung bzw. Winkelregelung (z. B. Einlernen der Rotorposition des Prüflings) beherrschen. Zusätzlich braucht es am Prüfstand für die UUT eine Kühlmittelkonditionierung (Wasser, Wasser/Glykol, Öl) für die geregelte Simulation von Umweltbedingungen über Temperatur, -durchfluss oder -druck.⁷⁸

Die Steuerung sämtlicher Komponenten auf dem Prüfstand inkl. der Prüflingsanbindung sowie die eigentliche Szenarien- bzw. Versuchsvorgabe, -definition und Parametrierung erfolgt durch ein übergeordnetes Automatisierungssystem (Tornado) bzw. Echtzeitsystem (ADAC).

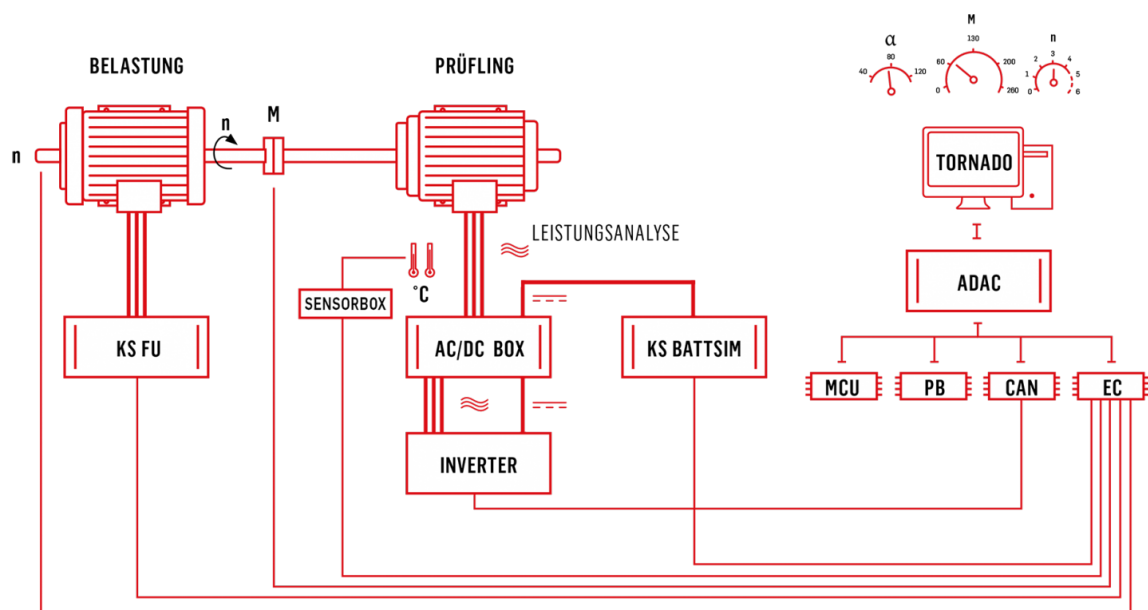


Abb. 4.3: Topologie eines Elektromotorenprüfstandes (EMP), Quelle: KS Engineers (2023a), Online-Quelle [15.10.2023].

Bei der klassischen Versuchsdurchführung auf solchen Prüfstandssystemen wird die Lebensdauer der Prüflinge in geraffter Form durch abfahren von aus realen Messungen stammenden oder synthetischen Belastungsprofilen (Drehzahl/Drehmomentprofile, Strom/Spannungsprofile) bei unterschiedlichen Rahmen- und Umgebungsbedingungen durchgeführt werden. Eine isolierte Entwicklung einzelner Elemente ohne Wechselwirkung mit und zu anderen Bestandteilen des Gesamtsystems ist zwar notwendig, reicht jedoch beim softwaredefinierten Fahrzeug nicht mehr aus. Es wird immer wichtiger die Korrelation der Komponenten im gesamten Fahrzeug und vor allem ihr Zusammenspiel im System zu untersuchen. Erst damit kann das tatsächliche Betriebsverhalten

⁷⁸Vgl. Paulweber/Lebert (2014), S. 43 ff.

von vielen Systemeigenschaften und -funktionen belastbar bewertet werden.⁷⁹ Dafür kommen auf eben solchen Prüfstandssystemen verschiedene virtuelle Komponenten des Modellbaukastens anstelle der Realen zum Einsatz um trotzdem das Gesamtsystemverhalten unter realitätsnahen Bedingungen in unterschiedlichen Szenarien untersuchen zu können.

4.2.2 Gesamtfahrzeugprüfstände

Gesamtfahrzeugprüfstände können grundlegend als Integrationsprüfstände in Forschung und Entwicklung, aber auch als COP-Prüfstände flexibel eingesetzt werden. Zusätzlich kommen Gesamtfahrzeugprüfstände überwiegend für Abgasemissions- und Homologationsmessungen zum Einsatz, da Fahrzeuge vor der Erteilung der Betriebserlaubnis hinsichtlich vieler Aspekte regionenspezifisch zertifiziert werden müssen.⁸⁰

Prinzipiell können Gesamtfahrzeugprüfstände in zwei große Gruppen bestehend aus Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfständen (F-ATS) und Rollenprüfständen (RPS) eingeteilt werden, wobei die Sparte der Rollenprüfstände für die genannten Anwendungsfelder kostengünstiger eingesetzt werden können und daher historisch bedingt den wohl größeren Anteil in vielen Prüffeldern einnehmen werden.

Durch die mechanische Konstruktion und ihres verhältnismäßig einfachen Regelungskonzeptes sind aber besonders bei komplexeren Versuchen und Erprobungsszenarien hinsichtlich der Längs- und Querdynamik des Fahrzeugs Grenzen gesetzt. Eine typische und unüberwindbare Systemgrenze bei Rollenprüfständen ist die Tatsache, dass niemals kontrolliert ein Radschlupf abgebildet bzw. eingeregelt werden kann. Besonders Fahrwerksuntersuchungen bzw. -abstimmungen oder ähnliche Versuche können daher nicht vollständig auf Rollenprüfständen durchgeführt werden. Für diese Versuche eignen sich überwiegend Antriebsstrangprüfstände bzw. Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstände.

4.2.2.1 Rollenprüfstände

Der Hauptanwendungsbereich von Rollenprüfständen erstreckt sich von der Fahrzeugintegration in Forschung und Entwicklung bis hin zur Abgasemissionszertifizierung und Homologation im Kontext der Produktionsabsicherung (COP) von Gesamtfahrzeugen. Diese Prozeduren unterliegen zumeist einer Vielzahl gesetzlicher Rahmenbedingungen und Vorschriften, welche die Anforderungen an entsprechende Konstruktionsvarianten von Rollenprüfständen detaillieren und definieren. In vielen Regulativen gibt es zusätzlich zum Rollendurchmesser aber noch weitere Anforderungen im Hinblick auf die Mess- und Regelgenauigkeiten, Genauigkeit der Zeit-, Geschwindigkeits- und Zugkraftmessung, Genauigkeit der Straßenlastsimulation (Vergleich von theoretischen Sollwerten mit den simulierten Istwerten), Steifigkeit der Fahrzeugfesselung (Kriterium ist die Bewegung des Fahrzeuges bei entsprechend starken Beschleunigungen) und viele weitere Aspekte.⁸¹

Ein großer Vorteil von Rollenprüfständen im Vergleich zu Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfständen sind die kurzen Rüst- und Inbetriebnahmezeiten der Erprobungsfahrzeuge für den Betrieb auf dem Prüfstand. In den

⁷⁹Vgl. Mahle (2023), Online-Quelle [06.09.2023].

⁸⁰Vgl. Paulweber/Lebert (2014), S. 74.

⁸¹Vgl. Paulweber/Lebert (2014), S. 77.

meisten Szenarien kann und wird das Fahrzeug nahezu unverändert zum realen Straßenbetrieb auf dem Prüfstand betrieben werden.⁸² Zudem können Rollenprüfstände für ein sehr großes Spektrum von Motorrädern bzw. Kleinstfahrzeugen über PKW und leichte Nutzfahrzeuge bis hin zu schweren Nutzfahrzeugen und mobilen Baumaschinen eingesetzt werden.⁸³

Nicht zuletzt durch die Vielzahl an übergreifenden Systemen bzw. Funktionen (z. B. ESC, ASR) muss das Fahrzeug am Prüfstand aber meist in einem speziellen Rollenmodus betrieben werden, da für diese Systeme einige Signale aus Fahrzeugsensoren nicht realistisch zur Verfügung stehen und somit zu Fehlern im Fahrzeugverbund führen würden. Ein Beispiel hierfür wären Beschleunigungssignale in Längs-, Quer- und Hochrichtung im Fahrzeug, welche für verschiedene Fahrfunktionen (z. B. ESP, ASR) essentiell sind aber trotz rotierender Räder am Prüfstand maximal um den Nullpunkt rauschen, da die Fahrzeugkarosserie am Prüfstand durch Fahrzeugfesselungen keine reale Bewegung erfährt.

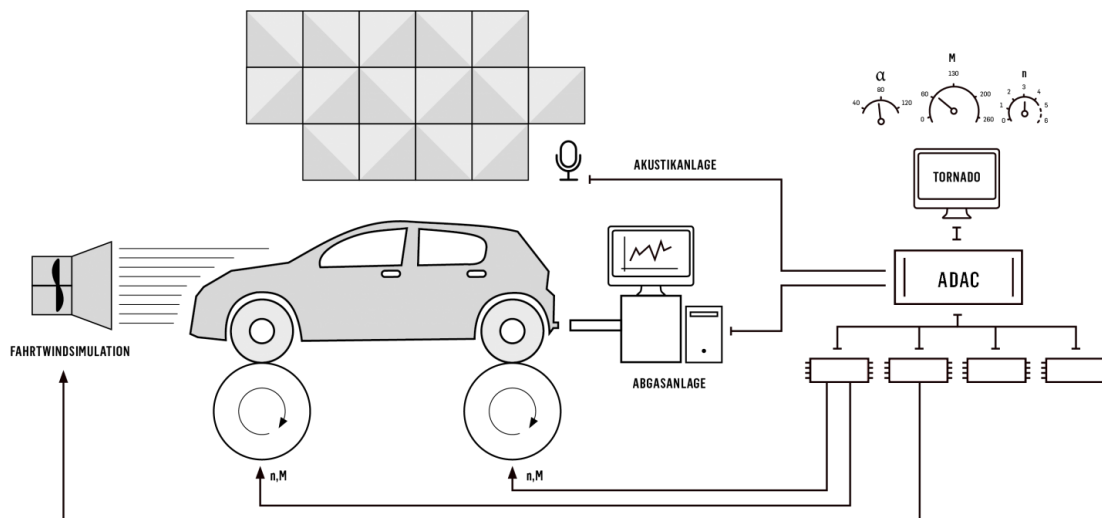


Abb. 4.4: Topologie eines Rollenprüfstandes, Quelle: KS Engineers (2023c), Online-Quelle [15.10.2023].

Das grundlegende Regelungsprinzip zur Abbildung realitätsnaher Straßenbedingungen (Straßenlast) bei Rollenprüfständen basiert auf dem Impulssatz zur Beschreibung der Fahrzeugdynamik in Längsrichtung und lässt sich durch folgende Gleichung mit F_{tractive} in N als realer Fahrwiderstandskraft beschreiben:⁸⁴

$$F_{\text{tractive}} = R_0 + R_1 v + R_2 v^2 + m_{\text{fzg}} \frac{dv}{dt} + m_{\text{fzg}} g \sin \alpha. \quad (4.1)$$

Dabei definieren die charakteristischen Fahrwiderstandskoeffizienten R_0 in N, R_1 in N s m^{-1} und R_2 in $\text{N s}^2 \text{m}^{-2}$ unter anderem den Rollwiderstand der Reifen sowie den Luftwiderstand des Fahrzeugs auf der Straße, m_{fzg} in

⁸²Vgl. Martyr/Plint (2007), S. 372.

⁸³Vgl. Paulweber/Lebert (2014), S. 74 f.

⁸⁴Vgl. Bauer (2011), S. 104 ff., Online-Quelle [06.10.2022].

kg die Fahrzeugmasse (Testmasse) sowie g in m s^{-2} die Erdbeschleunigung in Kombination mit der Straßensteigung α in rad. Die tatsächliche Abbildung der realen Straßenlast unter Berücksichtigung der Fahrwiderstände und der Fahrzeugmasse auf dem Prüfstand erfolgt unter Berücksichtigung einiger Korrekturfaktoren (z. B. Lagerreibung des Rollenstrangs) üblicherweise aus der Kombination der realen verbauten, äquivalenten Masse (Trägheit) der Rollenkörper und zusätzlicher elektrischer Antriebsmaschinen (Abbildung 4.5).⁸⁵

Allerdings lassen Rollenprüfständen einerseits keine dynamischen Versuche (z. B. starke Bremsungen mit ABS-Eingriff, Kurvenfahrt, etc.) aufgrund des großen Trägheitsmoments der Rollen bzw. des Rollenstrangs zu und andererseits würde die rudimentäre Abbildung der Fahrzeugdynamik keine realistische Qualität für zuvor erwähnte zu ersetzende Fahrzeugsensorsignale liefern.⁸⁶ Zusätzlich besteht aufgrund der konstruktiven Gestaltung vieler Rollenstränge mit starrer Verbindung zwischen dem linken und rechten Rollenkörper nicht die Möglichkeit der Regelung auf Differenzdrehzahlen bzw. -drehmomente, wie sie beispielsweise bei Kurvenfahrten auftreten.

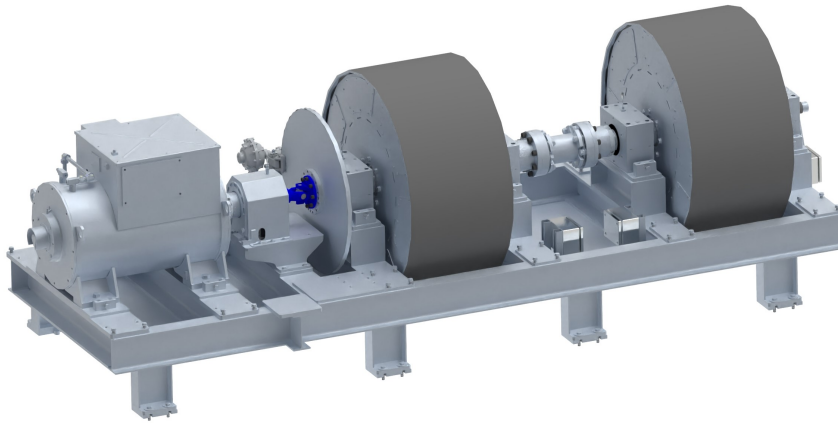


Abb. 4.5: Konstruktionsvariante eines Rollenstrangs für mehrspurige Kraftfahrzeuge, Quelle: Heese (2023), S. 10.

Erweiterte Versuche im Hinblick auf die Fahrwerksabstimmung, Fahrerassistenzsysteme und automatisierte Fahrfunktionen können somit entweder auf der Straße oder auf Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfständen durchgeführt werden. Für Erprobungsumfänge im Kontext von Abgasemissionen, Homologationen oder Reichweitenbestimmungen genügen die Merkmale von Rollenprüfständen aber vollständig, weshalb diese Prüfstandsvariante für diesen Bereich etabliert ist.

Vergleichbar zu anderen Prüfstandstypen (z. B. Komponentenprüfstände, Elektromotorenprüfstände) kommen auch bei diesen Prüfstandssystemen diverse Messinstrumente zum Einsatz. Neben den bereits angesprochenen Messeinrichtungen für verschiedene regionenspezifische Abgasemissions- und Homologationsprüfungen werden auch Fahrtwindsimulationen zur Kühlung des Fahrzeugs und der Reifen auf dem Prüfstand eingesetzt. Optional können auch noch Ladesysteme (AC- oder DC-Laden), spezielle Messtechnik zur Leistungsanalyse oder Akustikmessanlagen in das Gesamtsystem integriert sein. Nicht zuletzt können Rollenprüfstände auch in konditionierfähigen Kabinen untergebracht werden, in welchen unterschiedliche Umweltbedingungen hinsichtlich

⁸⁵Vgl. Bettes/Hancock (2008), S. 12 f.

⁸⁶Vgl. Bauer (2011), S. 104., Online-Quelle [06.10.2022].

Lufttemperatur, Luftfeuchte (relative und absolute Feuchte) sowie Umgebungsluftdruck simuliert werden können. Neben den klassischen Varianten von Rollenprüfständen gibt es auch weiterentwickelte Varianten mit Stahlrollenbändern, die die bewegte Fahrbahn simulieren, wodurch überlagerte quer-, längs- und vertikaldynamische Betriebszustände am Prüfstand dargestellt werden können. Diese Prüfstandsvariante eignet sich besonders für die Untersuchung von fahrdynamischen Standardmanövern bzw. zur Untersuchung der Achsen und Lenkanlage von Fahrzeugen.⁸⁷ Trotz der Möglichkeit, dass das Fahrzeug am Prüfstand charakteristische Hub-, Nick- und Wankbewegungen erfolgen können, sind hochdynamische Fahrmanöver (beispielsweise mit ABS oder ESP-Eingriffen des Fahrzeugs) nicht darstellbar. Darüber hinaus ist neben dem enormen Konstruktions- und Inbetriebnahmeaufwand des Prüfstandes selbst auch der Aufwand für das Rüsten und Ausrichten des Fahrzeugs auf dem Prüfstand besonders aufwendig.

4.2.2.2 Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstände

Im Gegensatz zu Rollenprüfständen, bei denen das Fahrzeug mit normalen Reifen auf den Rollen des Prüfstandes betrieben wird, werden bei Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfständen die Seitenwellen des Fahrzeugs direkt mit den elektrischen Maschinen des Prüfstandes verbunden. Damit am Fahrzeug, im Speziellen am Antriebsstrang und dessen Komponenten bis zu den realen Bremsen, aber keine Adaptionen für den Prüfstandsbetrieb notwendig sind sowie dass charakteristische Bewegungen der Fahrzeugkarosserie bei dynamischen Manövern auf dem Prüfstand (z. B. Beschleunigungs- oder Bremsvorgänge mit realen Fahrzeugbremsen) in gewissem Maße trotzdem zugelassen werden, wird das Fahrzeug mit speziellen Prüfrädern am Prüfstand betrieben.



Abb. 4.6: Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstand (KS-R2R), Quelle: Wirtschaftswelt (2021), Online-Quelle [15.10.2023].

⁸⁷Vgl. FKFS (2023), Online-Quelle [27.12.2023].

Dabei sind die Prüfräder vergleichbar zu straßenzugelassenen Rädern am Fahrzeug montiert, in der Felge der Prüfräder ist aber eine Lagerstelle integriert, sodass ein Durchtrieb von der Prüfstandsmaschine durch die Prüffelge auf die Seitenwelle bzw. Bremsscheibe des Fahrzeugs zugelassen wird (Abbildung 4.6). Mit eigens konstruierten Sperrvorrichtungen kann das rotierende Lager auch mit der Prüffelge fixiert werden, um einen Rangierbetrieb beispielsweise beim Rüsten des Fahrzeugs auf dem Prüfstand zu ermöglichen.

Nachdem mit diesem Ansatz ein Fahrzeug oder Prototyp zwar auf eigenen Rädern/Reifen auf dem Prüfstand steht, diese durch den Durchtrieb durch die Prüffelgen im Betrieb aber nicht rotieren, müssen die Räder/Reifen durch virtuelle Komponenten ersetzt bzw. über die Prüfstandsmaschinen abgebildet werden. Dazu können unterschiedliche Varianten von Reifenmodellen zum Einsatz kommen. Durch spezielle Regelungskonzepte lassen sich somit nicht nur unterschiedliche Reifenvarianten und -abstimmungen am Prüfstand durch Veränderung der entsprechenden Simulationsmodelle realisieren, es können auch verschiedene Untergrundszenerarien (Asphalt, Kopfsteinpflaster, etc.) und -beschaffenheiten (trocken, Eis, Schnee, etc.) straßenrealistisch abgebildet werden.⁸⁸ Die zuvor beim Rollenprüfstand thematisierten strukturellen Einschränkungen bei Versuchen im Hinblick auf die Längs- und Querdynamik können bei dieser Prüfstandstopologie mit 4 Prüfstandsmaschinen (Radmaschinen) vollständig eliminiert werden (Abbildung 4.7).

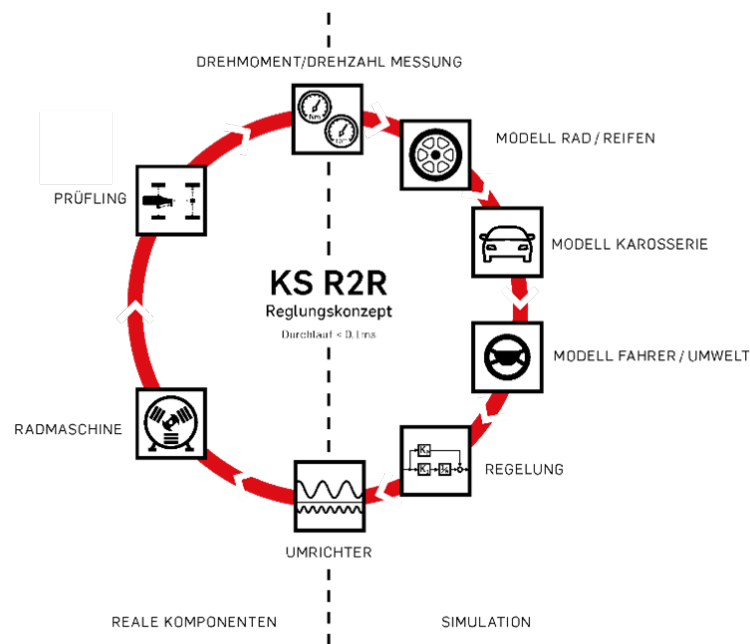


Abb. 4.7: Regelungsschema eines (Gesamtfahrzeug-)Antriebsstrangprüfstandes, Quelle: KS Engineers (2023b), Online-Quelle [15.10.2023].

Durch die Möglichkeit der Regelung auf Differenzdrehzahlen bzw. -drehmomente auf den jeweiligen Achsen bzw. zwischen der Vorder- und Hinterachse lassen sich neben einfachen Kurvenfahrten auch halbseitig (linke oder rechte Räder) oder radselektiv unterschiedliche Fahrbahnbedingungen darstellen bzw. in Echtzeit wechseln (μ -Split- bzw. μ -Sprung-Versuche). Zudem wird keine aufwendige Rollenmechanik sowie der dafür notwendigen baulichen Voraussetzungen benötigt. Neben den Rädern/Reifen muss auch die Karosserie durch ein entspre-

⁸⁸Vgl. Bauer (2011), S. 104 ff., Online-Quelle [06.10.2022].

chendes Modell abgebildet werden, wobei es zwischen dem Rad/Reifen-Modell und dem Karosseriemodell große Abhängigkeiten gibt (Abbildung 4.7). Für beide Modellteile (Rad/Reifen, Karosserie) gibt es grundsätzlich eine Vielzahl an Modellierungsvarianten (z. B. Magic Formula Tyre nach H. B. Pacejka⁸⁹, Tire Model TMeasy nach W. Hirschberg, G. Rill und H. Weinfurter⁹⁰, Einspurmodell von Riekert und Schunck⁹¹, etc.) mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen. Für den Einsatz auf dem Prüfstand ist die Echtzeitanforderung an diese simulierten Komponenten aber von maßgebender Relevanz. Zusätzlich bedarf es in einigen Modellen bzw. Modellteilen gewisse Adaptionen für den sinnvollen Einsatz auf dem Prüfstand (beispielsweise müsste bei einer relativ einfachen Beschreibung der Fahrzeugdynamik mit Gleichung 4.1 auch im Stillstand eine Zugkraft simuliert werden, welche in der Realität in dieser Form aber nicht existiert).

Durch die realitätsnahe Abbildung der Fahrdynamik über Fahrzeugkarosserie- und Rad/Reifenmodelle besteht auf diesen Prüfständen auch die Möglichkeit, die für verschiedene Funktionen (z. B. ABS, ESC) im Steuergeräteverbund notwendigen Fahrzeugsensoren (z. B. Beschleunigungssensor) in Kombination mit Restbussimulationen mit entsprechenden Signalen aus den Simulationsmodellen zu ersetzen.⁹² In Verbindung mit weiteren Teilmodellen (z. B. Sensormodelle) oder Prüfeinrichtungen (z. B. GNSS-Spoofing, Radar-Target-Stimulatoren) zur Simulation bzw. Stimulation von Fahrzeugsensoren lässt sich die Bandbreite an abbildbaren Versuchsszenarien im Hinblick auf die Längs- und Querdynamik sowie automatisierte oder autonome Fahrfunktionen bzw. Fahrerassistenzsysteme enorm steigern.

Neben der Simulation oder Stimulation einiger Fahrzeugkomponenten werden Fahrmanöver auf Prüfständen selten manuell durch menschliche Fahrer bzw. Fahrerinnen durchgeführt. Üblicherweise kommen hierzu automatisierte Fahrerumgebungen unterschiedlicher Komplexitätsgrade in Kombination mit entsprechenden Fahrerrobotern zum Einsatz. Dabei bestehen diese Funktionsmodule häufig aus Längs- und/oder Querregelungen in Kombination mit vorgelagerten Trajektorienplanungen, um aus karten- bzw. sensorbasierten Daten Sollgrößen der Regelungen (z. B. Sollgeschwindigkeit, Kurvenkrümmung) generieren zu können (Abbildung 4.8).

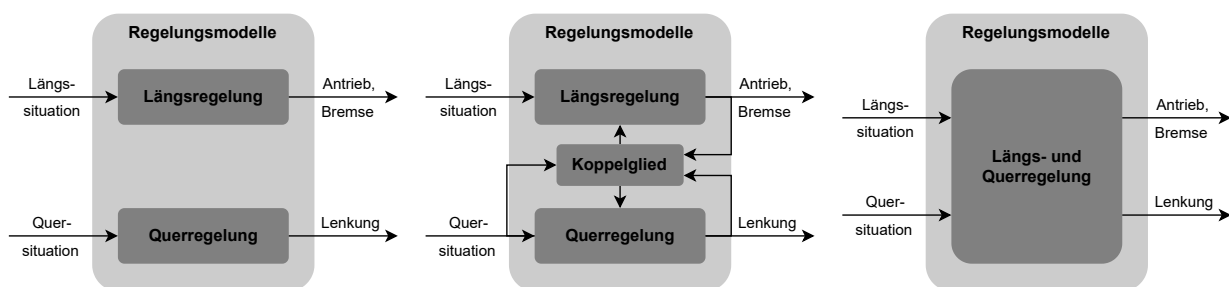


Abb. 4.8: beispielhafte Darstellung von Regelungsstrukturen für fahrzeugexterne Fahrer-Modelle zur automatisierten Versuchsdurchführung von Fahrmanövern auf Prüfständen, Quelle: angelehnt an Eigel (2009), S. 32., Online-Quelle [28.12.2023].

Während der Einsatz solcher Systeme auf realen Testgeländen aus rechtlichen oder versicherungstechnischen Gründen deutlich aufwändiger ist, hat sicher der Einsatz auf Prüfständen bewährt. Einerseits können Manöver

⁸⁹Vgl. Pacejka (2012).

⁹⁰Vgl. Hirschberg/Rill/Weinfurter (2007), S. 101-119.

⁹¹Vgl. Pacejka (1940), S. 210-224., Online-Quelle [16.10.2023].

⁹²Vgl. Bauer/Rossegger et al. (2017), S. 4 f., Online-Quelle [27.12.2023].

präzise und reproduzierbar ausgeführt werden, andererseits können diese vollautomatisiert auch bei Dauerlaufversuchen über sehr lange Zeiträume zum Einsatz kommen und damit unzählige Kilometer bei gleichbleibender Versuchsqualität abspulen.

Ähnlich zum Rollenprüfstand werden auch bei diesen Prüfstandssystemen diverse zusätzliche Messinstrumente abhängig der Versuchsanforderung eingesetzt. Dazu zählen wieder Messeinrichtungen bzw. Anlagen für verschiedene regionenspezifische Abgasemissions- und Homologationsprüfungen, Fahrtwindsimulationen zur Kühlung des Fahrzeugs oder Ladesysteme für unterschiedliche Ladestandards (z. B. CCS⁹³ Typ 1, CCS Typ 2, CHAdeMO). Zusätzlich ist auch die Unterbringung in isolierten Prüfkammern für die Simulation von Umweltbedingungen während des regulären Prüfbetriebs durch die variable Einstellung der Lufttemperatur (z. B. im Betriebsbereich von -30 °C bis 50 °C), Luftfeuchte (relativ oder absolute Feuchte) sowie Umgebungsdruck (z. B. Höhensimulation) realisierbar.

4.3 Prüfmethoden und -szenarien

Nachdem Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstände deutlich flexibler und im Vergleich zu Rollenprüfständen in einem breiteren Versuchspektrum eingesetzt werden können gilt der Fokus bei den nachfolgenden Vergleichen und Bewertungen dieser Prüfstandsvariante, wenngleich auch einige Versuche aus dem riesigen Erprobungs- und Absicherungsumfang von Gesamtfahrzeugen auch auf kostengünstigeren Rollenprüfständen durchgeführt werden könnten. Generell gilt es in den nachfolgenden Kapiteln ein Vorgehensmodell auf Basis von Kriterien und Indikatoren zu erarbeiten bzw. aus verschiedenen Versuchsszenarien abzuleiten, um gewisse Erprobungsumfänge im Gesamtfahrzeugkontext auf Prüfstände verlagern zu können, sodass einzelne Funktionen und Systeme zu deutlich früheren Zeitpunkten im Produktentstehungsprozess einen höheren Produktreifegrad erreichen können. Besonders die Entwicklung von Fahrwerksregelungen und damit einhergehende Abstimmungen, Fahrerassistenzsystemen und weiterreichende automatisierte oder autonome Fahrfunktionen erfordern in erster Linie unzählige Testkilometer bei unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen.⁹⁴ Eine naheliegende Verlagerung verschiedenster Erprobungsszenarien auf den Prüfstand würde grundsätzlich viele Vorteile bieten, aber auch einige Aufwände mit sich bringen.

Wie in Kapitel 3.2 bereits erwähnt, werden sich einige Parameter bei der Versuchsvorbereitung und -durchführung sowie die Anzahl und Varianz von Versuchsszenarien zwischen verschiedenen OEMs höchstwahrscheinlich von einander unterscheiden, nichtsdestotrotz stellen gesetzliche Rahmenbedingungen und Anforderungen prinzipiell eine allgemeine Ausgangssituation an die Versuchsvorbereitung, -durchführung und Leistungsbewertung dar. Daher werden für die nachfolgenden Betrachtungen die zuvor erklärten Versuche herangezogen und weitergedacht. Eine vorwegzunehmende und versuchsunabhängige Tatsache bei Versuchen auf Prüfständen ist, dass neben dem Versuchsszenario für den Prüfling selbst auch die Prüfmethodik für den Prüfstand bzw. sämtliche dabei zur Anwendung kommende Systeme (reale Prüfeinrichtungen und virtuelle Simulationsmodelle) validiert

⁹³Combined Charging System (CCS)

⁹⁴Vgl. Kalra/Paddock (2016), S. 1-11., Online-Quelle [29.10.2023].

und abgesichert werden müssen. Im konkreten Anwendungsfall für Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstände bedeutet das, dass mindestens alle virtuellen Systemelemente (z. B. Rad/Reifenmodell, Karosseriemodell, Umweltsimulation, etc.) entsprechend der Anforderungen an diese verifiziert und validiert werden müssen. Prinzipiell lassen sich beispielsweise Systemgrenzen aus den Versuchen selbst ableiten. Eine große Schwierigkeit bei der Absicherung diverser Prüfmethode ist aber trotzdem, die zwischen der Realität und der Simulation auftretende Lücke zu schließen bzw. die Bewertung der Modellgenauigkeit für diverse Versuche. Besonders Versuche im Kontext von automatisierten oder autonomen Fahrfunktionen bringen hier enorme Komplexität und damit Unsicherheiten in viele Bereiche der Methodenabsicherung auf Prüfständen, da für diese Fahrfunktionen eine Vielzahl realer und virtueller Prüfstandskomponenten aufeinander abgestimmt werden müssen.

Idealerweise lassen sich aber entwickelte, verifizierte und validierte Methoden (Modelle, Verbundsysteme, etc.) im Rahmen ihrer bereits validierten Systemgrenzen für eine Vielzahl weiterer bzw. modifizierter Versuche einsetzen. Unter anderem entsteht dadurch eine gewisse Skalierbarkeit der Erprobungsmethodik auf Gesamtfahrzeugprüfständen. Dazu braucht es aber z. B. physikalische Modelle durch eine mathematische Beschreibung, bei der empirischen Modellbildung werden hierbei Probleme erwartet.

4.3.1 Erprobung von Fahrwerksregelungen

Ausgehend von konkreten und definierten Leistungsanforderungen entsprechender Versuchsszenarien an die Fahrwerksregelung können die Systemgrenzen auch für die modellbasierte Prüfstandserprobung mit ausreichendem Detaillierungsgrad festgelegt werden. Wie zuvor erklärt, wird der Fahrzeugantriebsstrang durch den Durchtrieb in den Prüffelgen auf einem Gesamtfahrzeugprüfstand direkt mit Belastungsmaschinen des Prüfstandes verbunden. Die Karosserie sowie die Reifen können am Prüfstand in unterschiedlichen Reifegraden vorhanden sein, erfahren aber keine reale Bewegung (weder translatorisch für die Karosserie noch rotatorisch an Stelle der Reifen bzw. Räder). In Folge dessen, müssen die Fahrzeugkarosserie sowie die Reifen des realen Gesamtfahrzeugs durch Simulationsmodelle ersetzt werden. Entsprechend der Anforderungen der Versuchsszenarien für die Erprobung von Fahrdynamikregelungen wird durch diese konstruktive Maßnahme eine radselektive Belastung des Antriebsstrangs ermöglicht, setzt aber auch eine entsprechende Modellierung für die Abbildung der Straßenlast voraus. Die klassische Beschreibung des Fahrwiderstandes, wie sie bei Rollenprüfständen branchenüblich ist (siehe dazu Kapitel 4.2.2.1), reicht für diesen Fall somit nicht aus.

Mit dem Einsatz von mathematischen Modellen zur Beschreibung der Karosserie und der Reifen werden an Stelle der realen Räder des Fahrzeugs Drehmomente durch die Belastungsmaschinen in den Antriebsstrang des Fahrzeugs eingeleitet. Durch die an jeder Seitenwelle gemessene Raddrehzahl, welche als Eingangsgröße für ein die schlupfabhängige Reibung nachbildendes Reifenmodell dient, kann eine realitätsnähere Belastung des Antriebsstrangs im Vergleich zur relativ einfachen Beschreibung der Straßenlast bei Rollenprüfständen erreicht werden. Ein signifikanter Nachteil dieser Regelungsmethodik ist, dass für realitätsnahe Belastungen die realen Trägheiten der Prüfstandsmaschine(n) mit jenen der Räder exakt übereinstimmen müssen.⁹⁵ Besonders in hoch-

⁹⁵Vgl. Bauer (2011), S. 108 f., Online-Quelle [27.12.2023].

dynamischen Fahrsituationen würden unrealistische Belastungen auf den Antriebsstrang wirken. Eine Idee zur Lösung dieser Unzulänglichkeit ist es, wieder ein Karosseriemodell am Prüfstand in Echtzeit zu verwenden, aber anstelle der Reifenmodelle werden Radmodelle eingesetzt, welche die Reifenmodelle beinhalten. Durch weitere regelungstechnische Überlegungen wie beispielsweise einer Trägheitskompensation (oder Trägheitssimulation) mit einer Drehzahlregelung der Belastungsmaschine(n) kann eine variable Vorgabe der Radträgheit als Parameter realisiert werden (Abbildung 4.9).⁹⁶

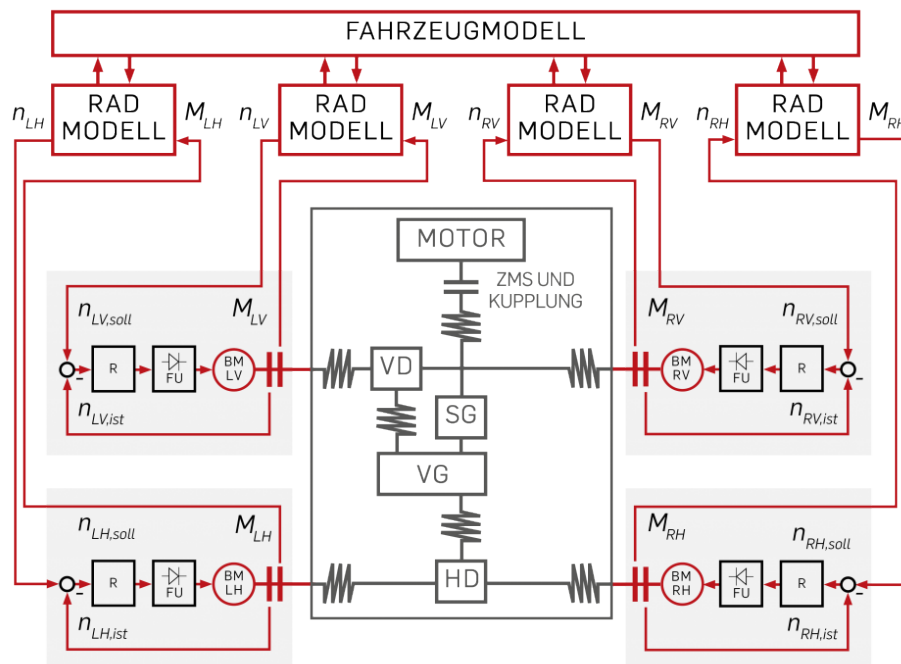


Abb. 4.9: Regelungsschema eines (Gesamtfahrzeug-)Antriebsstrangprüfstandes, Quelle: KS Engineers (2023b), Online-Quelle [15.10.2023].

Mit diesen regelungstechnischen Lösungen in Kombination mit der mathematischen Modellierung physikalischer Gegebenheiten des Fahrzeugs in Form von bereits erwähnten Karosserie-, Dämpfer- oder Rad/Reifenmodellen lassen sich die bei der realen Straßenerprobung durchgeführten Fahrmanöver auch am Prüfstand durchführen.

Besonders die Modellierung einzelner Komponenten in Form von allgemeinen und branchenüblichen mathematischen Modellen (z. B. Reifenmodell von Pacejka) bietet den Vorteil, dass höchstwahrscheinlich Parametersätze für viele verschiedene reale Varianten (z. B. unterschiedliche Reifen) vorliegen. Nichtsdestotrotz braucht es für den Einsatz einzelner Modellteile eine Adaption für den Einsatz auf dem Prüfstand.⁹⁷ Darüber hinaus ist neben der Entwicklung der Prüfmethodik auf Prüfständen auch die Absicherung dieser auf Basis von realen Straßenmessungen notwendig. Vor allem für die hochdynamische Erprobung von Fahrzeugfunktionen (z. B.

⁹⁶Vgl. Bauer (2011), S. 108 f., Online-Quelle [27.12.2023].

⁹⁷Vgl. Bauer/Weber et al. (2019), S. 85 f., Online-Quelle [27.12.2023].

Hochschlupfphasen während einer Vollastbeschleunigung, ABS-Bremmung, etc.) ist der Abgleich zur Straße un-
abdingbar, um aussagekräftige und belastbare Ergebnisse am Prüfstand zu erhalten.⁹⁸

Oftmals müssen neben der straßenrealistischen Belastung des Antriebsstrangs bzw. Fahrwerks zusätzlich am
Prüfstand Signale von real vorhandenen Sensoren (z. B. Beschleunigungssensoren) durch Signale von Simulati-
onsmodellen in Form von Restbussimulationen (RBS) ersetzt werden. Darüber hinaus können qualitativ unzurei-
chende real verbaute Fahrzeugsensoren (z. B. Raddrehzahlsensoren) für neue zu erprobende Fahrwerksrege-
lungen und -konzepte auch durch Prüfstands- oder Modellsignale während der Entwicklung relativ einfach über
Restbussimulationen ersetzt werden.⁹⁹

Die eigentliche Versuchsdurchführung von Prüfscenarien auf Gesamtfahrzeugprüfständen unterscheidet sich
bei idealen Bedingungen nur unwesentlich von jener auf der Straße bzw. auf dem Erprobungsgelände (Abbil-
dung 4.10). Ein Merkmal der Prüfstandserprobung ist die Vorbereitung des Prüfscenarios sowie die Parametrie-
rung der Modellteile für die Simulation virtueller Fahrzeugkomponenten auf Basis vordefinierter Kriterien. Diese
Herangehensweise beschränkt sich aber nicht nur auf Simulationsmodelle des Gesamtfahrzeugs, auch die vir-
tuelle Versuchsstrecke sowie spezifische Umweltbedingungen sofern am Prüfstand abbildbar oder für das Ver-
suchsscenario relevant müssen auf Basis definierter Kriterien parametrisiert bzw. konfiguriert werden. Ein weiterer
Vorteil ist die Parametrisierung und automatisierte Durchführung von Fahrmanövern auf einstellbaren Strecken-
profilen und -eigenschaften (z. B. trocken, nass, schneebedeckt, eisig).

Sofern keine Systemgrenzen von Simulationsmodellen oder physikalischen Prüfstandskomponenten überschrit-
ten werden, kann die Versuchsschleife von der Szenariendefinition über die Konfiguration bzw. Parametrisierung
des Prüfstandsequipment bis zur schlussendlichen Versuchsdurchführung in sehr kurzen Intervallen durchge-
führt werden. Zum Einen können bei gleicher Funktions- bzw. Systemkonfiguration des Gesamtfahrzeugs und
seiner Komponenten verschiedene Varianten von Szenarien bzw. Manövern unter reproduzierbaren Bedingun-
gen durchgeführt werden. Zum Anderen lässt dieser Ansatz auch eine leichtgewichtige Variation in Bezug auf das
Fahrzeugsetup zu. Beispielsweise können Änderungen von Fahrzeugparametern (z. B. Fahrzeugmasse, Betrieb
mit Anhänger, verschiedene Reifenparametrisierungen etc.) durch Parameteränderungen in Echtzeit durchgeführt
werden, unterschiedliche Softwarestände von Fahrwerksregelungen bis hin zu unterschiedlichen Funktionsdesi-
gns und Regelungskonzepten unter sicheren Bedingungen erprobt werden.

Neben den essentiellen Bereichen der Versuchsdurchführung bezogen auf die Belastungen des Antriebsstrangs
müssen auch entsprechende Umgebungsbedingungen (z. B. Lufttemperatur, Luftfeuchte, etc.) für die Versuchs-
durchführung auf dem Prüfstand geschaffen werden. Auch hierfür gibt es unterschiedliche Herangehensweisen
für die Realisierung von der Konditionierung versuchsrelevanter Komponenten im Einzelnen bis hin zur Kondi-
tionierung des gesamten Versuchsprototypen auf dem Prüfstand. Durch die Korrespondenz vieler Komponenten
im Gesamtfahrzeugkontext ist aber die Konditionierung des Versuchsfahrzeugs als Gesamtes auf dem Prüfstand
der unkompliziertere Lösungsansatz. Damit können auch thermische Quereinflüsse zwischen unterschiedlichen

⁹⁸Vgl. Weber et al. (2017), Online-Quelle [27.12.2023].

⁹⁹Vgl. Bauer/Rossegger et al. (2017), S. 4 f., Online-Quelle [27.12.2023].

Fahrzeugteilen bei realen Beanspruchungen während verschiedener Fahrmanöver beobachtet werden.

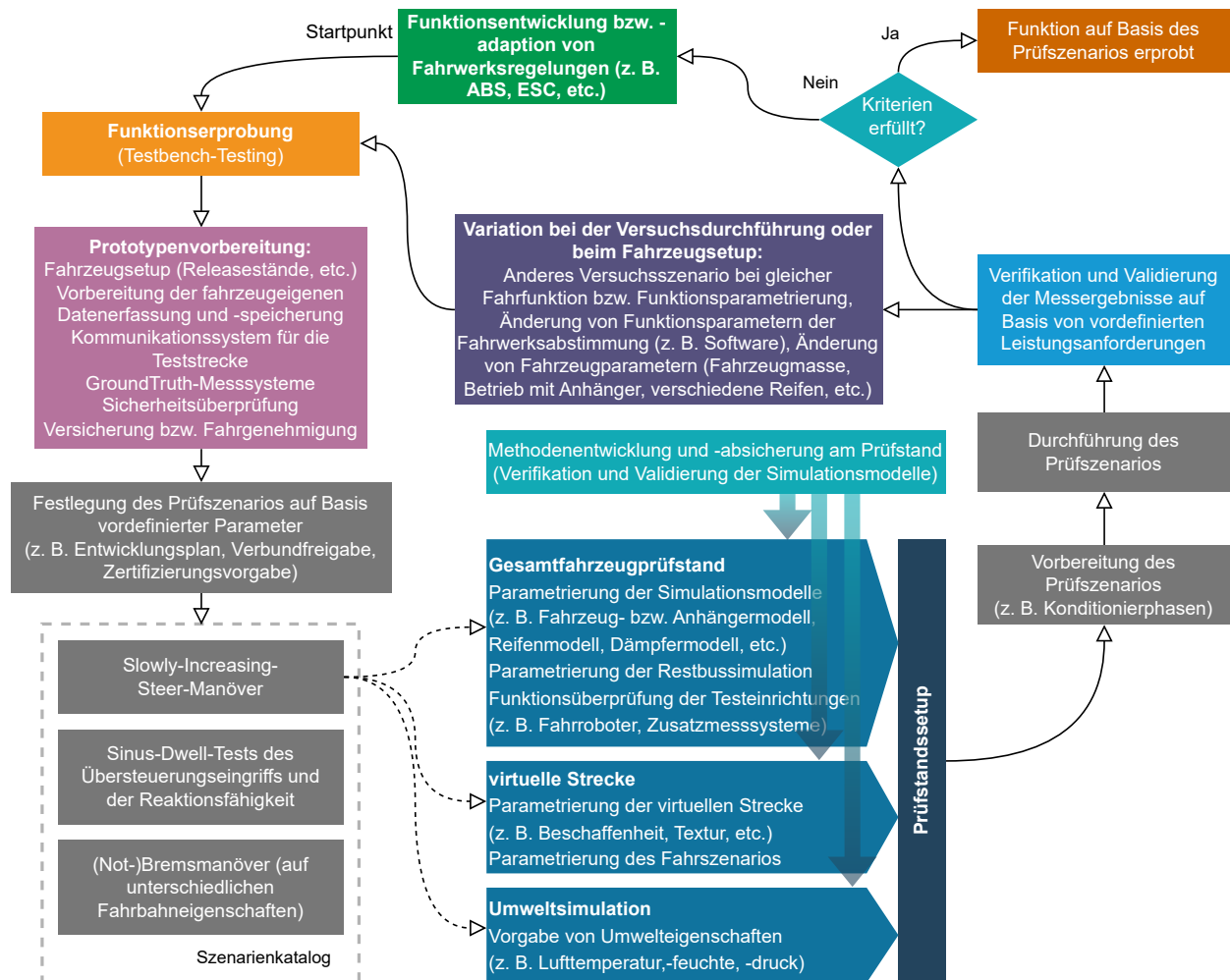


Abb. 4.10: Variante der Versuchsdurchführung der Funktionserprobung/-absicherung von Fahrwerksregelungen (z. B. ABS, ESC, etc.) auf einem Gesamtfahrzeugprüfstand, Quelle: Eigene Darstellung.

Ein wichtiger Aspekt der Versuchsdurchführung auf Prüfständen im Gesamtfahrzeugkontext ist die Absicherung der Prüfmethode. Dabei gilt besonderes Augenmerk der Entwicklung, Test und Absicherung virtueller Fahrzeugkomponenten in Form von Simulationsmodellen. Hierbei sind die zuvor angesprochenen Systemgrenzen, welche aus den Fahrmanövern abgeleitet werden können, für die gesamte Versuchskette von maßgeblicher Relevanz. Ein Beispiel hierfür wären Parameter bzw. Dynamikgrenzen für die Abbildung der Räder/Reifen (Abbildung der Radträgheiten, maximaler Radschlupf, Parameter für die Vorgabe von Fahrbahneigenschaften, etc.) durch Simulationsmodelle in Wechselwirkung mit den realen Prüfstandsmaschinen.

Diese Methodenentwicklung und -absicherung erfordert grundsätzlich unabhängig des Versuchsszenarios aufgrund der fachlichen Komplexität auf der einen Seite und aufgrund ihrer Relevanz im Hinblick auf aussagekräftige, realitätsnahe und reproduzierbare Versuchsergebnisse auf der anderen Seite eine strukturierte Vorgehensweise. Aus den jeweiligen Versuchsszenarios bzw. -umfängen können die jeweiligen Prüfmethode in Kombination

notwendiger Prüfstandskomponenten bzw. Simulationsmodelle abgeleitet werden. Dabei bestehen besonders für das Design, die Auslegung und Modellierung von Regelungen und Simulationsmodellen (virtuelle Fahrzeugkomponenten) eine Vielzahl an Möglichkeiten. In den meisten Fällen empfiehlt es sich, sofern möglich, einen physikalischen Ansatz der empirischen Modellierung vorzuziehen, um in weiterer Folge eine sinnvolle Parametrierung der Modellteile auf Basis von unterschiedlichen Kriterien machen zu können. Idealerweise können die erarbeiteten Prüfstandsmethoden für andere Szenarien und Versuche mit anderen Parametern wiederverwendet werden.

4.3.2 Erprobung von Fahrerassistenzsystemen bzw. automatisierten Fahrfunktionen

Im Gegensatz zur Emulation von längs- und querdynamischen Fahrmanövern auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen durch den Einsatz entsprechender virtueller Komponenten (Simulationsmodelle für Karosserie, Räder und Reifen, etc.) bei Fahrwerksuntersuchungen und -abstimmungen kommen für die Erprobung von automatisierten Fahrfunktionen, Fahrerassistenzsystemen abhängig der Fahrzeugfunktion und dessen Realisierung höchstwahrscheinlich komplexere Prüfmethode zum Einsatz. Oftmals werden viele Assistenzsysteme aus einer Fusion vieler Sensoren gespeist. Nichtsdestotrotz sind die zuvor erwähnten echtzeitfähigen Simulationsmodelle für Karosserie bzw. Räder/Reifen auch hierbei von maßgeblicher Relevanz. Besonders für an die Systemgrenzen heranreichende Prüfzenarien wie bei ABS-Bremsungen, ESC-Eingriffen oder Notbremsungen durch Notbremsassistenten müssen die Systemgrenzen der Modellierung ausreichen.

Abhängig der zu erprobenden Systeme und Funktionen bzw. dessen Berücksichtigung unterschiedlicher Sensorsignale braucht es zur Darstellung realitätsnaher Bedingungen für das Fahrzeug auf dem Prüfstand den Einsatz von Simulationen oder Emulationen. Dahingehend ist die Vorgehensweise zur Entwicklung und Absicherung dieser Methoden vergleichbar zu jener der Abbildung realitätsnaher Bedingungen am Gesamtfahrzeugprüfstand durch den Einsatz von hochdynamischen Prüfstandsmaschinen für sämtliche Antriebsstrang- und/oder Fahrwerkselemente (hängt von der Ausbaustufe des Prüfstandes ab).

Um die Umgebung für die Sensoren wie Radar, Kamera oder Lidar zu simulieren, müssen in einem ersten Schritt die relevanten Fahrzenarien einschließlich der Objekte in der Simulation mit ihrer Geometrie und ihren Materialeigenschaften definiert werden (Szenarien- oder Manöverkatalog). Grundsätzlich wird bei der Definition der simulierten Umgebungsdaten zwischen der Sensorsimulation und der Sensorstimulation unterschieden (Abbildung 4.11). Beide Disziplinen verfolgen das selbe Ziel, die dem Prüfzenario entsprechende Umgebung zu simulieren, die Herangehensweise beider Methoden ist aber grundsätzlich verschieden. Während bei der Sensorsimulation der eigentliche Sensor durch ein Simulationsmodell ersetzt bzw. überbrückt (*bypassing*) wird, wird bei der Sensorstimulation der originale Sensor meist in der originalen Einbaulage durch gezielte Manipulation mit zusätzlichem Prüfstandsequipment entsprechend des Prüfzenarios und der physikalischen Wirkungsweise angeregt.¹⁰⁰

Der Vorteil der Sensorstimulation (z. B. für Kamera oder Radar) ist, dass die Wirkkette im Fahrzeug unverändert

¹⁰⁰Vgl. Wipfler/Pressl/Piecha (2022), S. 4 f., Online-Quelle [21.12.2023].

bleibt. Nachteilig ist jedoch der hohe Aufwand, der aufgrund des physikalischen Prinzips oft erforderlich ist. Bei der Sensorsimulation werden die Sensoren mit Hilfe von Modellen simuliert und die entsprechenden Ergebnisse, wie z.B. Objektlisten hinter dem Sensor, dem Fahrzeugbus zugeführt. Für die Darstellung komplexer Funktionen inklusive Sensorfusionen sind auch hybride Formen (z.B.: die Kamera wird durch ein Kamera-HIL angeregt und der LiDAR-Sensor wird simuliert) möglich.¹⁰¹

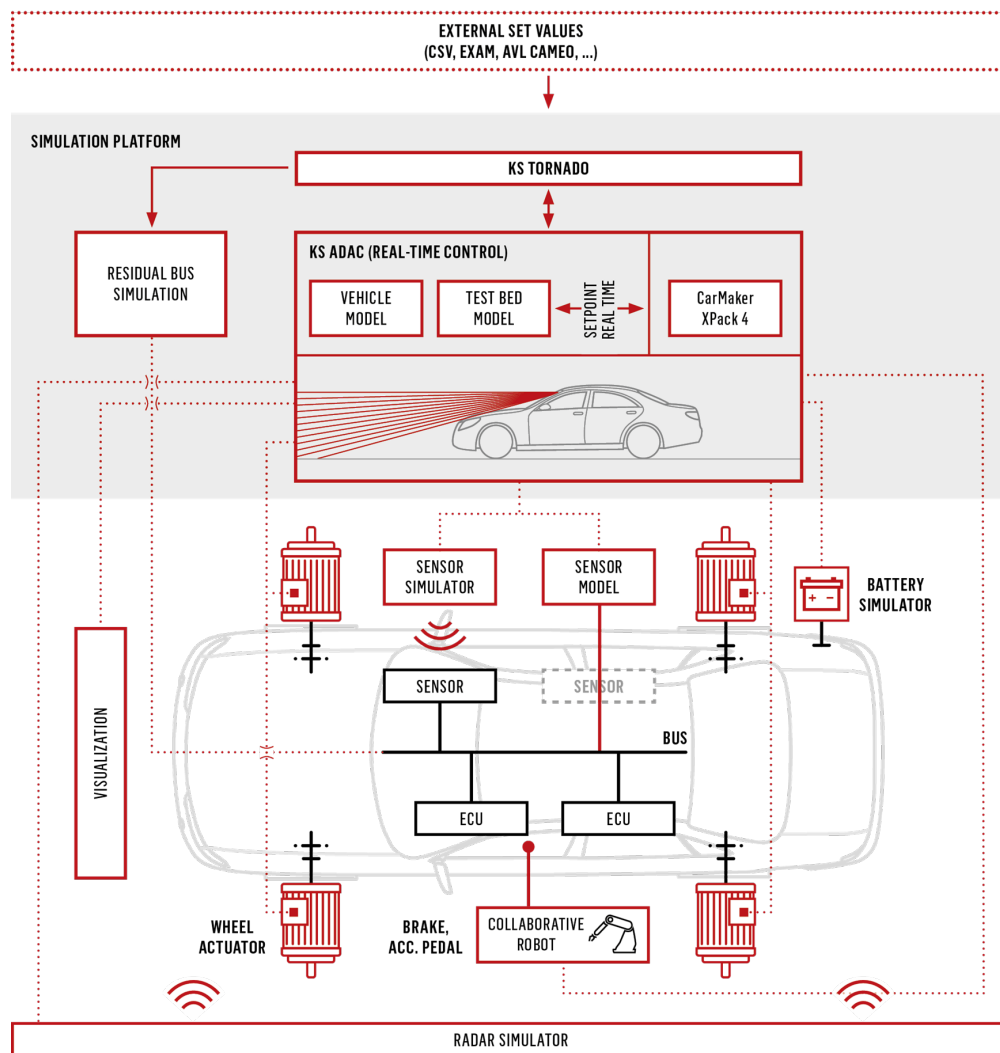


Abb. 4.11: Prüfaufbau auf Basis des Erprobungsszenarios, Quelle: Wipfler/Pressl/Piecha (2022), S. 5., Online-Quelle [21.12.2023].

In jedem Fall benötigen die hinzukommenden Sensorsysteme bei automatisierten Fahrfunktionen und Fahrerassistenzsystemen geeignete Gegenstücke in Form von Simulationsmodellen oder zusätzlicher Hardware für die Stimulation für die sinnvolle Erprobung, nachdem das Fahrzeug bzw. die Fahrzeugsensorsysteme am Prüfstand nur dessen Umwelt und nicht die des Versuchsszenarios wahrnehmen würden. Das betrifft je nach Fahrfunktion bzw. Fahrerassistenzsystem von den Ultraschallparksensoren über Kamerasysteme (vorne und hinten im Fahrzeug, Stereokamers) bis hin zu LiDAR- und Radar-Sensoren (Abbildung 4.12).

¹⁰¹ Vgl. Wipfler/Pressl/Piecha (2022), S. 4 f., Online-Quelle [21.12.2023].

Prüfstandserprobung (Testbench-Testing)

Die Methodenentwicklung und -absicherung für diese Art von Versuchsszenarien ist ungemein aufwändiger und komplexer aufgrund der Sensorvielfalt und der damit unterschiedlichen Technologien. Darüber hinaus können auch mechanische Adaptionen der Prüfstandskonstruktion notwendig sein, gerade im Hinblick auf die stetige Weiterentwicklung von Fahrfunktionen mit aktiver, automatisierter Lenkbewegung (z. B. LKA, Einparkhilfen).

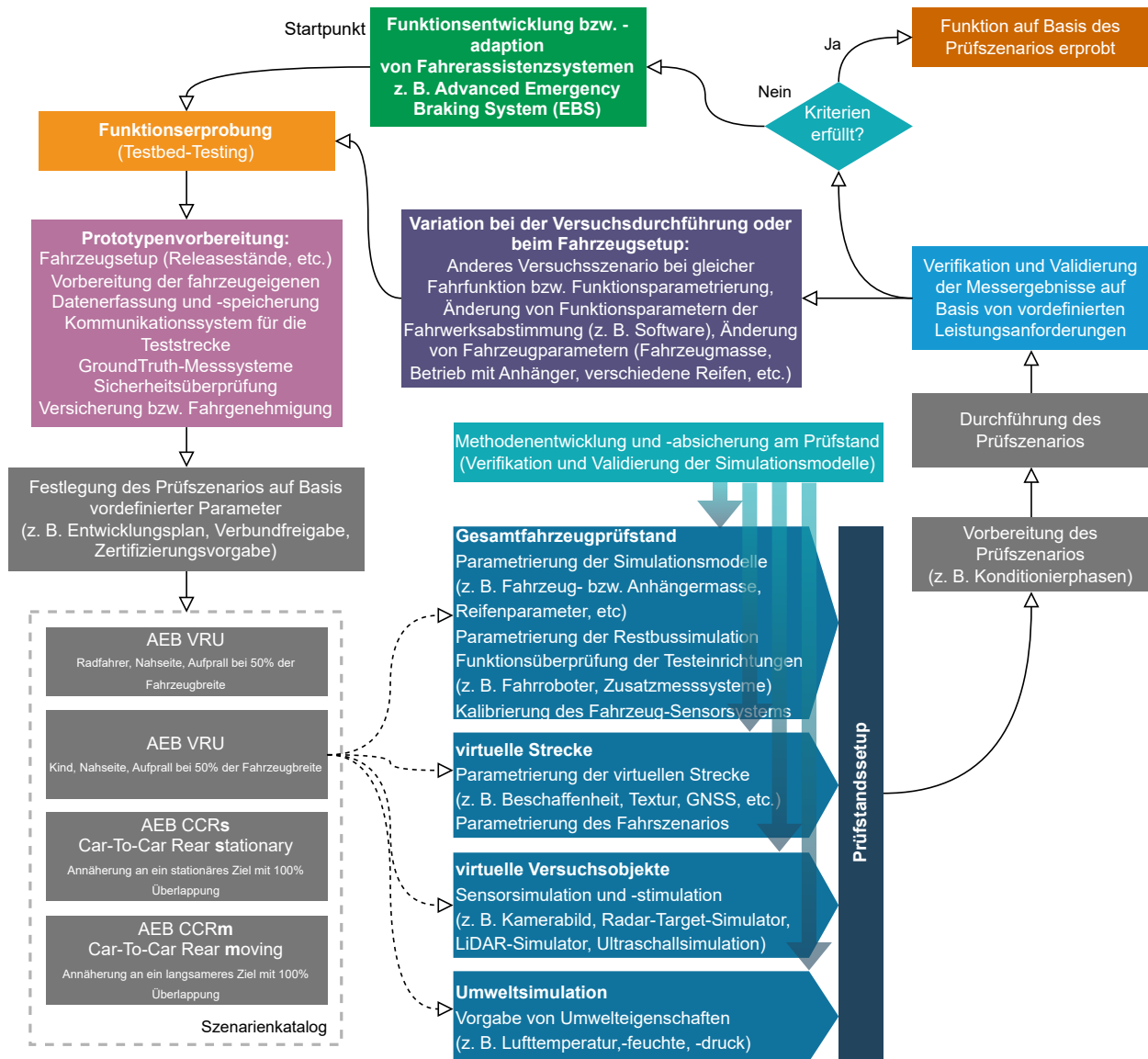


Abb. 4.12: Variante der Versuchsdurchführung der Funktionserprobung/-absicherung von Fahrerassistenzsystemen (z. B. AEBS) auf Gesamtfahrzeugprüfstand, Quelle: Eigene Darstellung.

Im klassischen Ansatz werden querdynamische Beanspruchungen des Fahrzeugs auf Gesamtfahrzeugantriebsstrangprüfständen über Differenzdrehzahlen und -drehmomente zwischen linken und rechten Rädern realisiert, wobei reale Lenkeinschläge aufgrund der mechanischen Konstruktion und der eingeschränkten Beugewinkel der Wellenverbindungen von den Prüfrädern zu den Prüfstandsmaschinen nicht möglich sind. Darüber hinaus wären auch bei realisierbarer Lenkbewegung durch den eigentlich stillstehenden Reifen am Prüfstand keine

realistischen Lenkkräfte zu erwarten und damit würden unzureichende Zustände am Prüfstand im Vergleich zur Realität auftreten. Es bedarf somit für diese Art von Versuchen eine deutlich aufwändigere Methodenentwicklung und -absicherung.

4.3.3 Reichweitenversuche und Leistungsmessungen

Prinzipiell kommen Gesamtfahrzeugprüfstände, im speziellen Rollenprüfstände üblicherweise für die Abgasemissionsmessung, Homologation und Überprüfung der Konformität der Produktion (COP) zum Einsatz.¹⁰² Nicht unüblich sind Rollenprüfstände auch im Hinblick auf Systemleistungsmessungen, wobei diese für diese Art der Versuche eigentlich nicht geeignet sind. Der Grund hierfür ist der unerwünscht auftretende Schlupf zwischen den realen Reifen des Fahrzeugs und den Rollenkörpern. Dieser kann bei hohen Zugkräften bzw. Drehmomenten, wie sie bei der Versuchsdurchführung von Leistungsmessungen auftreten, resultieren und würde aufgrund der dadurch entstehenden Verluste die Leistungsmessung verfälschen. Durch die direkte Verbindung der Seitenwellen des Fahrzeugs (über die Lagerung der Prüffelgen) mit den Belastungsmaschinen des Prüfstandes kann diese Unzulänglichkeit bei Gesamtfahrzeugantriebsstrangprüfständen überwunden werden. Schlupf-Situationen wie sie bei Vollastbeschleunigungen auf realen Erprobungsgeländen auftreten werden, können je nach Betriebsart des Prüfstandes vollständig verhindert werden. Dadurch können Systemleistungsmessungen akkurat, reproduzierbar und gefahrlos am Prüfstand durchgeführt werden.¹⁰³ Besonders die Leistungsermittlung von Elektro- oder Hybridfahrzeugen gestaltet sich aufwendiger im Vergleich zum Verbrenner betriebenen Fahrzeug, da diese in der Regel mehrere Antriebsquellen mit unterschiedlichen Betriebskonzepten kombinieren. Dadurch hängt die tatsächlich erreichbare Systemleistung des Fahrzeugs von überlagerten Betriebs- und Regelungskonzepten sowie von verschiedenen Fahrsituationen und Systemzuständen (z. B. SOC) ab.¹⁰⁴

Für die Validierung von Algorithmen zur Reichweitenprädiktion und Routenplanung des Fahrzeugs muss üblicherweise der gesamte Zyklus von der Zielauswahl im Navigationssystem über die Fahrt der geplanten Route bis einschließlich des Ladestopps an verschiedenen Ladestationen (mit unterschiedlicher Ladeleistung) unter verschiedenen Verkehrs-, Last- und Umweltbedingungen erprobt werden. Die Versuchsdurchführung im realen Umfeld der Straßenerprobung gestaltet sich aus vielen Gesichtspunkten kompliziert bzw. aufwendig.¹⁰⁵ Darunter fallen vor allem folgende Kriterien:

1. Einstellung von unterschiedlichen Fahrzeugzuständen (z. B. Fahrzeug mit und ohne Anhänger)
2. Aufladung der Traktionsbatterie des Fahrzeugs zum Anfangsladezustand (SOC)
3. Konditionierung des Fahrzeugs auf die Umgebungsbedingungen zu Testbeginn (z. B. Lufttemperatur, Luftfeuchte)
4. Nicht beeinflussbare Verkehrssituationen

¹⁰²Vgl. Paulweber/Lebert (2014), S. 79 f.

¹⁰³Vgl. SAE - Society of Automotive Engineers (2023), Online-Quelle [10.01.2024].

¹⁰⁴Vgl. Wirtschaftswelt (2023), Online-Quelle [31.12.2023].

¹⁰⁵Vgl. Wipfler/Pressl/Piecha (2022), Online-Quelle [27.12.2023].

Durch unterschiedliche Beladungszustände des Fahrzeugs in Kombination mit z. B. einem zusätzlichen Anhänger werden unterschiedliche Belastungen des Fahrzeugs dargestellt. Diese zusätzlichen Anforderungen müssen in den entsprechenden Simulationsmodellen für den Prüfstand erweitert werden. Diese Erweiterungen hinsichtlich des Anhängers betreffen aber ausschließlich die Simulation, ein realer Anhänger wird am Prüfstand nicht gebraucht.

Neben den ausführlich im vorangegangenen Kapitel behandelten Themenbereichen zur Simulation der Straßenbelastungen auf Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfständen oder der Umweltsimulation zur Konditionierung des Fahrzeugs und seiner Komponenten braucht es aber für die konkrete Funktionserprobung von Algorithmen zur Reichweitenprädiktion und Routenplanung eine voll umfassende Simulation der Umgebung. In vielen Fällen greifen diese Algorithmen nicht nur auf vor der Versuchsdurchführung definierbare Kartendaten zu. Je nach Reifegrad der Navigation und Algorithmen werden abhängig des Fahrzeugzustandes auch auf unterschiedliche Fahrzeugsensoren (z. B. Kamera) bzw. Sensorfusionen (z. B. Kamera und GPS) für die Algorithmen berücksichtigt. In Folge dessen braucht es auch hier wieder eine Simulation bzw. Stimulation der Sensoren auf Basis der aktuellen Fahrsituation (Abbildung 4.13).

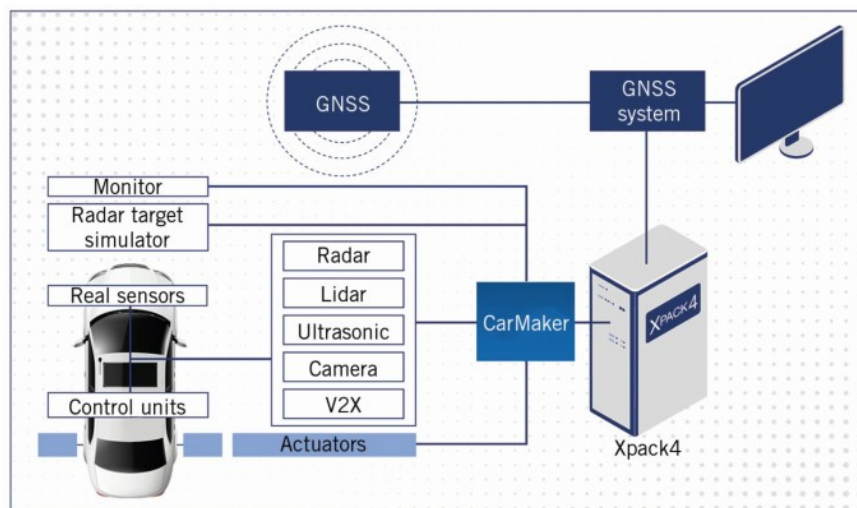


Abb. 4.13: Übersicht zur rechnerunterstützten Sensorsimulation bzw. -stimulation zur Erprobung von Algorithmen für die Reichweitenprädiktion und Routenplanung in modernen Elektrofahrzeugen, Quelle: Piecha/Wipfler (2022), Online-Quelle [31.12.2023].

Üblicherweise erfolgt die Einstellung eines Prüf szenarios auf dem Prüfstand auf Basis vordefinierter Kriterien. Beispielsweise werden bei Streckenfahrten die Parameter für die Simulation aus den Streckendaten extrahiert und am Prüfstand vordefiniert, sodass das Szenario durchgeführt bzw. abgefahren werden kann. Eine Schwierigkeit zur Erprobung von Algorithmen zur Reichweitenbestimmung ist, dass die Navigation und Ladestoppplanung auf aktuelle Zustände des Fahrzeugs (z. B. SOC) oder der Umgebung (z. B. Verkehr) reagiert bzw. in der Realität auch reagieren soll, was bedeutet, dass das Fahrszenario dynamisch in Abhängigkeit der Streckenauswahl des Fahrzeugs wechselt. Es braucht somit für diese Testfälle am Prüfstand wieder einen Methodeneinsatz, um eine dynamische Routenplanung des Fahrzeugs zu erlauben.

4.4 Einflussfaktoren

Ausgehend von zuvor beschriebenen bzw. realisierbaren Versuchsszenarien auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen lässt sich eine positive Strömung von Faktoren im Hinblick auf die Beeinflussung von Versuchsergebnissen erkennen. Ursprünglich, während der Versuchsvorbereitung und -durchführung nicht beeinflussbare Faktoren, können durch einen adäquaten Methodeneinsatz auf dem Prüfstand variabel einstellbar gemacht werden womit verschiedene Eigenschaften (z. B. Umweltbedingungen innerhalb der Systemgrenzen, Straßenbedingungen, etc.) parametrierbar sind (Abbildung 4.14).

		Versuchsvorbereitung / -durchführung	
		beeinflussbar	nicht beeinflussbar
Versuchsergebnisse	nicht beeinflussend	<ol style="list-style-type: none"> 1. Personalaufwand (Versuchsplanung, -vorbereitung, -durchführung) 2. Equipementaufwand (fahrzeugspezifische DAQ, Fahrroboter, etc.) 3. Zeitaufwand für die Einstellung / Kalibrierung von Prüfstandsequipment 4. Methodenabsicherung von Versuchsszenarien auf Prüfständen 5. Beschreibung / Modellierung von Fahrzeugkomponenten als echtzeitfähige Modelle auf Basis von physikalischen Zusammenhängen (z. B. Karrosserie, Reifen, etc.) 6. Modellierung der Fahrzeugumgebung (z. B. Straßenbedingungen, Visualisierung, etc.) 7. Entwicklung / Integration von zusätzlicher Prüfstandshardware (z. B. Ladesäule, GNSS-Spoofing, Radar-Target-Stimulator, etc.) 8. Verfügbarkeit von Prüfständen 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sicherheitsauflagen / -vorkehrungen 2. rechtliche Auflagen an den Betrieb von Prüfständen
	beeinflussend	<ol style="list-style-type: none"> 1. Parametrierung von versuchsspezifischen Fahrbahneigenschaften (Asphalt, Kopfsteinplaster, Steigungen, etc.) 2. Vorgabe von versuchsspezifischen Umweltbedingungen (Lufttemperatur, -feuchte, -druck, Höhenlage) 3. Möglichkeit für größere Setupänderungen (z. B. Verwendung von Sensoren mit größerer Genauigkeit im Gesamtfahrzeug) 4. geringer Aufwand für die Einstellung verschiedener Fahrzeugeigenschaften durch Parametrierung von Simulationsmodellen (Fahrzeugmasse, Anhänger, etc.) 5. Möglichkeit für größere Setupänderungen (z. B. spezielle Messtechnik) 6. Prototypen in erprobungsreifen Zuständen 7. Reifegrade von Funktionen od. Modulen bei der Ersterprobung / Applizierung 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern 2. Erfassung von zufälligen Ereignissen 3. Versuchsszenarien über den Systemgrenzen

Abb. 4.14: Verlagerung von Einflussfaktoren relevante Einflussfaktoren bei der Prüfstandserprobung, Quelle: Eigene Darstellung.

Darüber hinaus ist eine Große Stärke der Prüfstandserprobung, dass die Versuchsgeschwindigkeit im Vergleich zur Erprobung auf der Straße sehr stark verkürzt werden können. Das betrifft vor allem den Wechsel von Se-

tups für die Simulation. Beispielsweise können Versuche für unterschiedliche Fahrzeug- oder Reifentypen durch Änderungen der Parametrierung der Simulationsmodelle ohne zusätzlichen Aufwand realisiert werden. Darüber hinaus sind auch rasche Wechsel der Umweltbedingungen (Kalterprobung bei -30 °C auf 50 °C ohne gravierende Einschränkungen möglich).

Neben den vielen Vorteilen bestehen aber auch zusätzliche Aufwände. Diese fokussieren sich überwiegend auf die Methodenentwicklung und -absicherung für die relevanten Prüfscenarien. Besonders die dabei eingesetzten Simulationen oder Co-Simulationen (Sensorstimulation) bestehen oftmals aus einer Vielzahl an zusammenhängenden Systemen und Komponenten. Dahingehend müssen für eine realitätsnahe Abbildung vieler Fahrscenarien und -manövern viele Einzelsysteme in einem Gesamtsystem für die Prüfmethode zusammenspielen. Zusätzlich braucht es eine strukturierte Absicherung und Validierung der Simulationen und Co-Simulationen, um belastbare Ergebnisse bei Fahrzeugerprobungen auf Gesamtfahrzeugprüfständen erhalten zu können.

Im Kontext der Verlagerung der Erprobung von der Straße stehen häufig die Kosten und Nutzen beider Erprobungsplattformen gegenüber. Eine konkrete Bewertung dieser beiden Faktoren für beide Erprobungsplattformen (Prüfstand vs. Straße) können realistischweise aber nur aus vergangenen Versuchsszenarien sinnvoll abgeleitet werden. Für zukünftig relevante Erprobungsszenarien gerade im Hinblick auf automatisierte Fahrfunktionen oder Fahrerassistenzsysteme lassen sich etwaige Aufwände und damit Kosten nur schwer aus vorangegangenen Entwicklungen ableiten. Wie einleitend erwähnt, braucht es besonders für hoch vernetzte Fahrfunktionen (z. B. ACC, AEBS, etc.) zur Erprobung deren Zuverlässigkeit und Sicherheit häufig Hunderte Millionen Testkilometer. Durch die beschleunigte Versuchsdurchführung auf Prüfständen, im Speziellen auf Gesamtfahrzeugprüfständen, sowie dessen 24/7-Betrieb unter reproduzierbaren Laborbedingungen eröffnet gerade in diesem Feld ein großes Potential, welches sich aber aus heutiger Sicht nicht wirklich abschätzen lässt. Das liegt unter anderem daran, dass der technologische Fortschritt (z. B. KI-basierte Fahrerregelungen) in Kombination mit rechtlichen und sicherheitstechnischen Rahmenbedingungen für dessen Einsatz in solchen Systemen schwierig vorauszusagen sind.

5 VORGEHENSMODELL BEI DER VERLAGERUNG DER VERSUCHSDURCHFÜHRUNG AUF DEN PRÜFSTAND

Für die Verlagerung der Versuchsdurchführung von der Straßenerprobung hin zur Erprobung auf Gesamtfahrzeugprüfständen braucht es eine strukturierte Vorgehensweise. Vor allem durch die Vielzahl der unterschiedlichen Systeme, Sensoren und Aktoren im Gesamtfahrzeug, die während eines Prüf szenarios miteinander im Fahrzeug und mit der Umgebung bzw. Umwelt interagieren, lässt sich auch der Aufwand für die Simulation bzw. Stimulation dieser Elemente am Prüfstand ableiten. Zusammengefasst werden sämtliche Aufwände am Prüfstand in der entsprechenden Prüfmethodik, dessen Entwicklung und Absicherung ein Kernelement ist.

Grundlegend bedeutet das aber, dass ausgehend von der primären Funktionsweise der zu erprobenden Systeme, dessen Anforderungen und Einflussfaktoren sowie aus den Einflussfaktoren der szenarien- bzw. manöverbasierten Erprobung im Gesamtfahrzeugkontext auf der Straße die relevanten Anforderungen für die Erprobung auf Prüfständen abgeleitet werden können. Einige dieser Kriterien sind bereits bei der Analyse der Prüfmethoden und -szenarien für den Prüfstand erarbeitet bzw. aufgezeigt worden. Dies stellt grundlegend die Basis für die Methodenentwicklung auf Prüfständen dar.

5.1 Ebenen im Entwicklungsprozess

Der modellbasierte Ansatz sieht vor, dass definierte Prüf szenarien aus dem Gesamtsystem unter Berücksichtigung der genannten Faktoren hinsichtlich der Funktionsweise der Systeme, Einflussfaktoren durch die Umgebung, Umwelt und der Erprobungsmethoden, etc. von der Gesamtfahrzeug (4) und der Systemebene (3), über die Modulebene (2) bis zur Domäneebene (1) im Rahmen der Entwicklung und Systemintegration angewendet werden können. Dazu können einige der zuvor erklärten Testplattformen von Hardware- bzw. Software-in-the-Loop-Systemen, über Komponentenprüfstände, Antriebsstrangs- und Gesamtfahrzeugprüfstände bis hin zu realen Erprobung auf Versuchsgeländen oder Teststrecken zum Einsatz kommen.

Durch den höchstwahrscheinlich zunehmenden Aufwand für die Erprobung, Verifizierung und Validierung von Anforderungen im Rahmen der Systemintegration ist der modellbasierte Ansatz, dass über alle Ebenen und Entwicklungsplattformen des Entstehungsprozesses hinweg Szenarien für die Konzeptentwicklung und Absicherung durchgeführt werden können. Hierdurch würde sich der Vorteil ergeben, dass unabhängig der Integrationsebene immer die gleichen Prüfanforderungen vorherrschen. Durch den Simulationseinsatz erfolgt ein Frontloading der Versuchsszenarien auf unterschiedliche Ebenen des Entstehungsprozesses (Abbildung 5.1).

Während auf elementaren Ebenen (Domain- oder Modulebene) nicht nur die Kosten für diverse Änderungen am Konzept unterschiedlicher Bereiche von der Software (SWE), Hardware (HWE), Machine-Learning (MLE) bis hin zur Modellierung von Regelungssystemen (MSC) relativ gering sind, ist auch die iterative Erprobung in relativ kleinen Versuchsschleifen mit hoher Durchführungs- und Adaptierungsrate möglich. Dazu eignen sich überwiegend

Vorgehensmodell bei der Verlagerung der Versuchsdurchführung auf den Prüfstand

Simulationsumgebungen in Kombination mit Prototypenkomponenten im Versuchsstadium auf entsprechenden Prüfstandssystemen (SiL, MiL, HiL). Im Rahmen der stetigen Entwicklung und voranschreitenden Systemintegration zu einem Gesamtsystem werden nicht nur konzeptionelle Änderung aufwendiger und kostenintensiver, auch Tests werden komplexer und umfangreicher. Damit wird auch die Versuchsdurchführung aufwendiger, komplexer, kostenintensiver und beansprucht je nach Versuchsumfang auch mehr Zeit und Ressourcen. Zudem werden Iterationsschleifen bei Änderungen oder Adaptierungen von einzelnen Komponenten, Modulen oder Systemen unweigerlich länger. Aus diesen Gründen wird mit Fortdauer der Fahrzeugintegration die real durchgeführte Testanzahl höchstwahrscheinlich abnehmen, obwohl die eigentliche Anzahl der Testfälle aufgrund der Komplexität und des Umfangs von vielen Systemen steigen müsste.¹⁰⁶

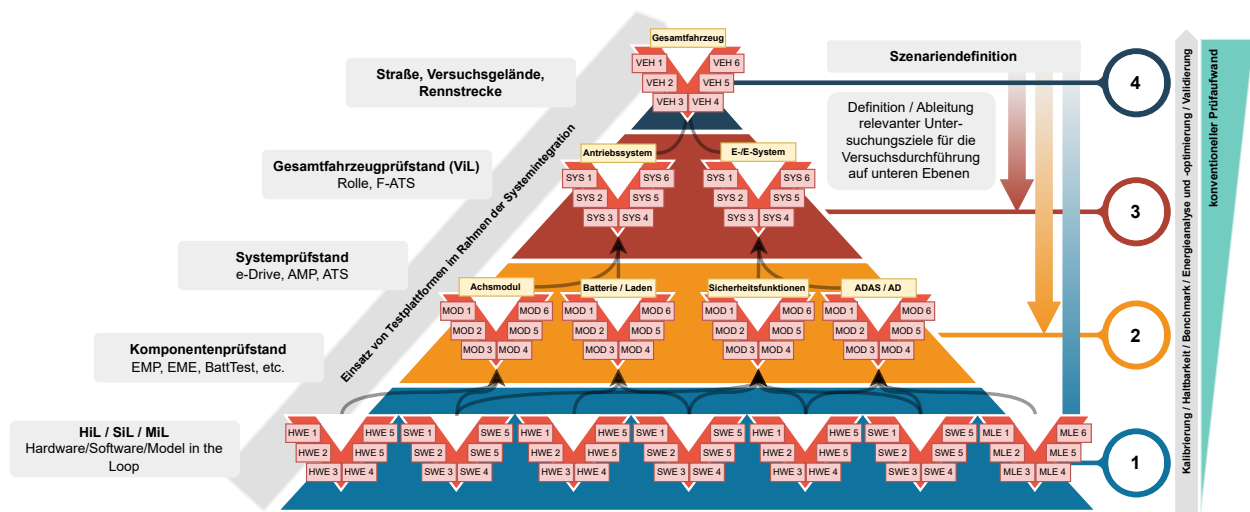


Abb. 5.1: Einsatz von Testplattformen im Rahmen der Systemintegration von einzelnen Komponenten zum Gesamtfahrzeug, Quelle: angelehnt an Karthaus et al. (2023), S. 228., Online-Quelle [07.11.2023].

Die ideale aber schwierigste Disziplin ist mit Sicherheit das Frontloading von szenarienbasierten Prüfdefinitionen auf die unterste Ebene der Systemintegration. Nachteilig hierbei ist, dass der Simulationsaufwand und die Komplexität der Versuchsdurchführung auf Komponenten- bzw. Modulebene enorm ansteigen wird. Darüber hinaus können Simulationsmodelle in frühen Zeitpunkten des Entstehungsprozesses nicht wirklich abgesichert werden, da das reale Gesamtsystem zur Validierung bekanntlich noch nicht zur Verfügung steht. Nichtsdestotrotz lässt sich erkennen, dass durch die Simulation einzelner Teilbereiche (z. B. Fahrzeugeigenschaften, Straßeneigenschaften, Umwelteigenschaften) ein großes Potential im Hinblick auf die Reproduzierbarkeit, Durchführungsgeschwindigkeit und Variantenvielfalt auf Prüfständen, im Speziellen auf Gesamtfahrzeugprüfständen, resultiert.

Besonders für den reibungslosen Übergang zwischen einzelnen Entwicklungsebenen bedarf es neben der offensichtlichen Definition der Anforderungen an Komponenten, Module, Systeme und Schnittstellen auch für die Versuchsdurchführung und Festlegung von Erprobungsszenarien und -zielen die Sicht aus dem Gesamtkon-

¹⁰⁶Vgl. AVL (2024), Online-Quelle [14.12.2023].

text.¹⁰⁷ Im Hinblick auf die Transformation zum softwaredefinierten Fahrzeug, bei dem sehr viele Funktionen erst auf Systemebene ins Gesamtfahrzeug integriert werden können, ist das Thema Schnittstellen ein Kernelement. Viele Funktionen in modernen Fahrzeugen interagieren in einer komplexen Struktur mit vielen Elementen, Bauteilen und Modulen innerhalb des Fahrzeugverbundes miteinander. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl an Sensorik und Aktorik, die unterdessen auch mit der Umgebung unter Einwirkung verschiedener Umweltfaktoren interagieren, sodass dieser Schritt der Produktentstehung ein aufwendiger ist, vor allem im Hinblick auf den Aufwand der Erprobung im Rahmen der Inbetriebnahme, Applikation, Verifizierung und Validierung von Anforderungen im Gesamtkontext.

Wie in den Kapiteln zuvor erwähnt, ist dieser Schritt der Systemintegration häufig mit der Verlagerung der Versuchsdurchführung auf reale Erprobungsgelände mit realen Prototypen verbunden. Gerade aber in frühen Phasen des Gesamtsystems, in welcher die Bandbreite der Testverfahren noch von Schnittstellentests, Funktionstests oder Robustheitstests reicht, kann dieser Schritt durch den Einsatz von Gesamtfahrzeugprüfständen erleichtert werden. Dabei spielt besonders die modellbasierte Erprobung in der Form von Prüfscenarien aus dem gewohnten Umfeld der realen Straßenerprobung eine gewichtige Rolle, da hierbei die Versuchsdurchführung realitätsnah unter Laborbedingungen durchgeführt werden können. Je nach Prüfmethodik sind sämtliche Parameter der Simulationen vor und während der Versuchsdurchführung veränderbar.

5.2 Aufbau des Vorgehensmodells

Wie in der Einleitung dieses Kapitels erwähnt, leiten sich die Kriterien für die Methodenentwicklung primär aus den Anforderungen der erprobungsrelevanten Funktionen und Systeme ab. In vielen Fällen ist dieser Schritt durch die Definition von Prüfscenarien bereits erfolgt, beispielsweise für gesetzlich vorgeschriebene Versuche (siehe Kapitel 3.2 bzw. Kapitel 4.3), sodass die Anforderungen an die Prüfmethoden eigentlich klar definiert werden können. Durch das komplexe Zusammenspiel vieler Elemente innerhalb des Fahrzeugverbundes mit dessen Umgebung unter Einfluss vieler Umweltfaktoren ist erkennbar, dass es auch im Prüfstandsverbund ein Zusammenspiel vieler Elemente und Systeme braucht. Darunter fallen vor allem Elemente aus der Modell- und Simulationsentwicklung. Ohne das Zusammenwirken mit entsprechenden elektrischen oder mechanischen Komponenten am Prüfstand sind diverse Simulationsmodelle im Hinblick auf die Erprobung von Fahrzeugfunktionen nicht unmittelbar nutzbar. Dahingehend braucht es ein strukturiertes Vorgehensmodell um die Entwicklung diverser Prüfmethoden auf dem Prüfstand umsetzen zu können (Abbildung 5.2).

Der Aufbau des Vorgehensmodells für die Entwicklung, Validierung und Verifikation von Methoden für die szenarien- bzw. manöverbasierte Erprobung auf Prüfstandssystemen für den Fahrzeugantriebsstrang bzw. das Gesamtfahrzeug ist angelehnt an das ASPICE-Modell des Produktentstehungsprozesses im Rahmen der Fahrzeugentwicklung. Eine ähnliche Schwierigkeit bezogen auf die Systemintegration zu einer gesamtheitlichen Prüfmethodik ergibt sich auch hier, weshalb auch hier der Cross-Enterprise-Engineering Ansatz gewählt wird. Dahingehend gliedert sich die Methodenentwicklung grundlegend in die vier Ebenen, wobei auf einzelnen Ebenen Prozesse

¹⁰⁷Vgl. Herrmann et al. (2023), Online-Quelle [14.12.2023].

Vorgehensmodell bei der Verlagerung der Versuchsdurchführung auf den Prüfstand

für unterschiedliche organisatorische Bereiche (z. B. Softwareentwicklung, Modellentwicklung, Hardwareengineering aber auch zukunftsorientierte Bereiche wie Machine Learning, etc.) angestoßen werden müssen.

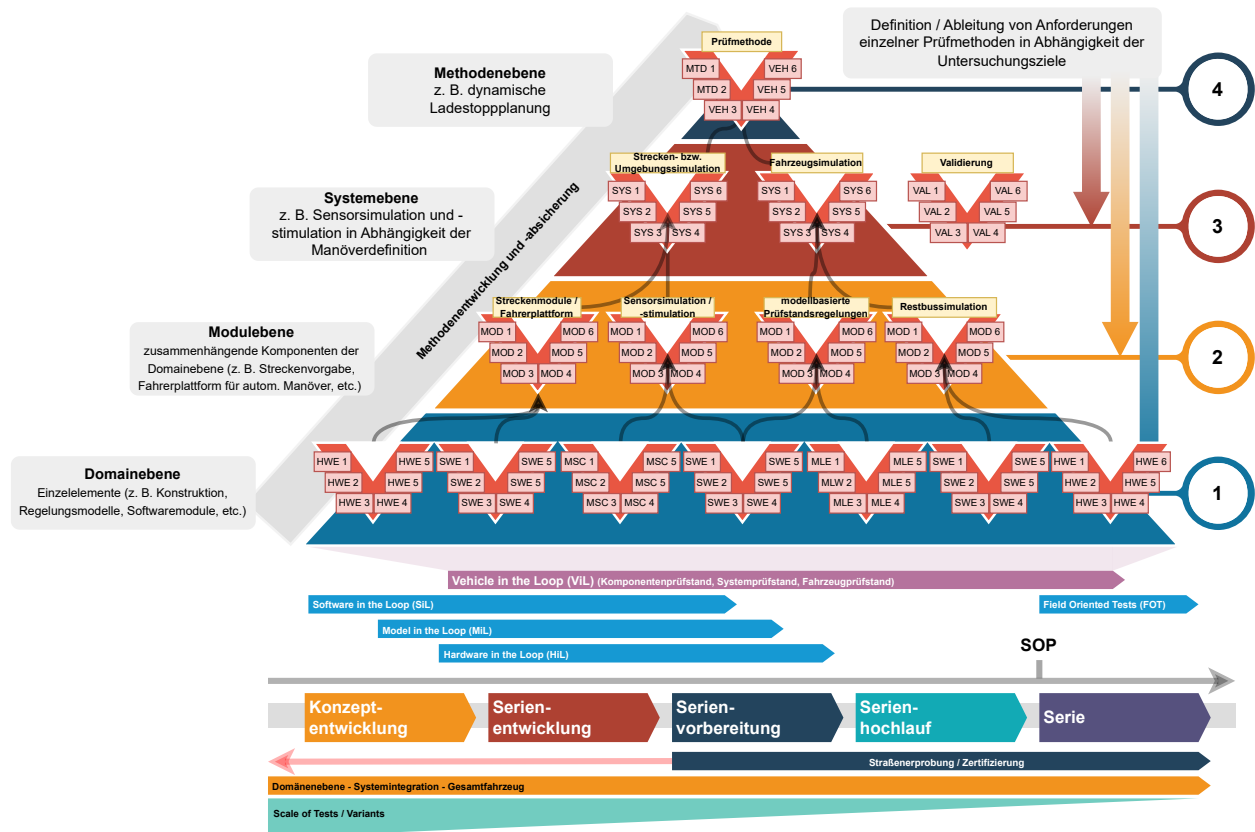


Abb. 5.2: Struktur des Vorgehensmodell für die Entwicklung, Validierung und Verifikation von Methoden für die Versuchsdurchführung auf Gesamtfahrzeugprüfständen angelehnt an ASPICE, Quelle: Eigene Darstellung.

Für die Ebenen im Rahmen der Methodenentwicklung bestehen wieder die Domänebene (1), die Modulebene (2), die Systemebene (3) und die Methodenebene (4). Nachfolgend sollen die einzelnen Bestandteile der Methodenentwicklung auf Basis des Erprobungsszenarios für die Leistungs- bzw. Reichweitenuntersuchung vereinfacht erklärt werden.

Methodenebene:

Die oberste Ebene der Methodenentwicklung definiert praktisch das Prüfzenario, auf Basis dessen die Anforderungen an unterlagerte Systeme und Funktionen festgelegt werden. Grundlegend braucht es auf dieser Ebene die Möglichkeit, sämtliche Freiheitsgrade für die Erprobung der Fahrzeugfunktion in Form von Eingabedaten (z. B. Parameter, Umgebungsbedingungen, Streckendaten, etc.) definieren zu können. Im Kontext der Leistungs- bzw. Reichweitenuntersuchung auf Gesamtfahrzeugprüfständen betrifft das überwiegend die für diesen Fall notwendigen vier großen Bereiche der Systemebene. Dazu zählen die Simulation der nicht am Prüfstand real vorhandenen Komponenten des Gesamtfahrzeugs, die Simulation der Strecke, die Simulation der Umwelt sowie die Simulation

der Umgebung.

Systemebene:

Für die Darstellung straßenrealistischer Belastungen des Antriebsstrangs auf dem Gesamtfahrzeugprüfstand bedarf es des Einsatzes von verschiedenen Simulationsumgebungen. Zum Umfang auf Gesamtfahrzeugprüfständen zählen, wie bereits vorangegangen erklärt, mindestens die Simulation der Karosserie des Fahrzeugs sowie dessen Räder/Reifen. Im Rahmen der Systemebene geht es vordergründig aber nicht direkt um die Modell- bzw. Simulationsentwicklung, sondern um die Interaktion einzelner Modellierungen mit dem Prüfstandsequip- ment (z. B. modellbasierte Abbildung der Fahrsituationen durch die Belastungsmaschinen auf dem Prüfstand).

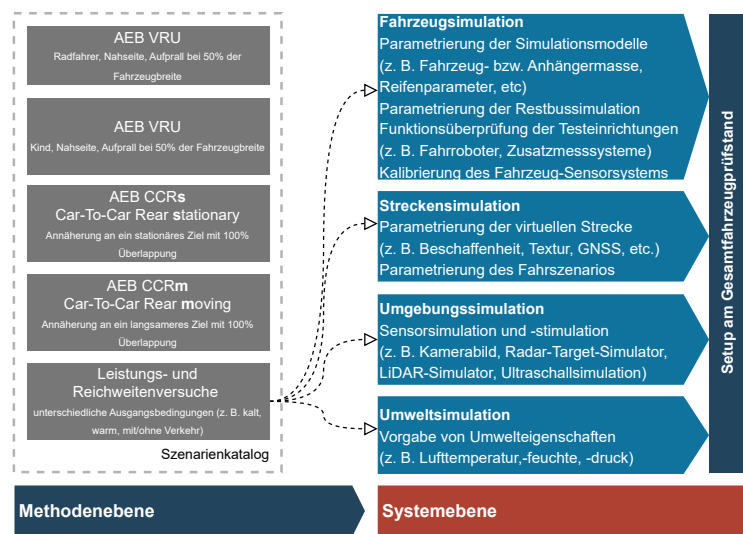


Abb. 5.3: Struktur der Systemebene im Rahmen des Vorgehensmodells für die Versuchsdurchführung auf Gesamtfahrzeugprüfständen, Quelle: Eigene Darstellung.

Für die Erprobung verschiedener Prüfaufgaben werden auch Abhängigkeiten vom Prüfstand zum Fahrzeug (Prüfling) auftreten. Das betrifft neben den bereits angesprochenen Bereichen für die Fahrzeug- bzw. Streckensimulation auch etwaige Umgebungs- bzw. Umweltsimulationen (z. B. modellbasierte Abbildung der Umgebung durch Sensorsimulationen bzw. -stimulationen für das Bespielen der Fahrzeugsensoren, Konditionierung auf unterschiedliche Temperaturniveaus).

Durch die vielfältigen Anforderungen dieser häufig unter dem Begriff der Restbussimulation zusammengefassten Möglichkeiten auf dem Prüfstand verbergen sich unterschiedliche Disziplinen, die auf Modul bzw. Komponentenebene entwickelt, verifiziert und validiert werden müssen. Am Beispiel der Verkehrszeichenerkennung bei der Reichweiten- bzw. Ladestopplanung lässt sich ableiten, dass beispielsweise die virtuelle Strecke neben den reinen Straßendaten (z. B. Kurvenkrümmung, Straßensteigung, Straßeneigenschaften und Reibwerte, etc.) auch aus einer tatsächlichen 3D-Modellierung für die Stimulation der Fahrzeugkamera auf dem Prüfstand in Abhängigkeit der Fahrsituation bestehen muss.

Hierbei wird deutlich, dass unterlagert zur Systemebene viele Entwicklungsschritte aus einigen Bereichen not-

wendig sind. In den meisten Fällen bestehen viele dieser Simulationssysteme aus einem Hybrid aus Hardware-, Software-, Modellierungs- und Simulationselementen.

Modul- bzw. Domänebene:

Diese Ebene betrifft die elementare Entwicklung, Verifizierung und Validierung von Software- und/oder Hardwareelementen. Durch den enormen technologischen Fortschritt im Bereich des Machine-Learning bzw. der künstlichen Intelligenz in den letzten Jahren werden auch diese Elemente im Rahmen der Methodenentwicklung berücksichtigt werden müssen. In diese Ebene fallen auch elementare Faktoren wie die Entwicklung- bzw. Beschaffung und Schulung von Personal auf beispielsweise unterschiedliche Softwaretools.

Neben der Entwicklung der Prüfmethodik für die Integrationsebene der Gesamtsysteme spielt auch die Absicherung bzw. die Verifizierung der Simulationsumgebungen eine maßgebliche Rolle um realitätsnahe und akkurate Ergebnisse im Rahmen einer Versuchsreihe auf Gesamtfahrzeugprüfständen zu erhalten. Hierfür gibt es auch grundlegend zwei unterschiedliche Herangehensweisen. Höchstwahrscheinlich der häufigere Anwendungsfall sind empirische Vergleiche zwischen realer Straßenmessungen und Prüfstandsversuchen mit iterativen Anpassungen von Parametern der einzelnen Simulationsumgebungen. Die zweite Variante kann mitunter deutlich früher im Entstehungsprozess zur Anwendung kommen und baut auf den physikalischen bzw. mathematischen Grundsätzen der Modellierung der realen Komponenten und Systeme des Gesamtfahrzeugs auf.

Im Rahmen der Experteninterviews liegt der Fokus besonders auf dem Einsatz unterschiedlicher Erprobungsplattformen von der Straßenerprobung im Gesamtsystem bis zur Komponentenerprobung im Einzelsystem im Rahmen der Fahrzeugentwicklung. Dazu braucht es ein grundlegendes Verständnis über die Erprobungsmethodiken bei unterschiedlichen Stakeholdern der Fahrzeugentwicklung in Kombination mit dem Einsatz von verschiedenen Erprobungsplattformen. Darunter fallen beispielsweise die Straßenerprobung, die im Feld durch Kunden durchgeführte Erprobung oder die Erprobung auf Prüfständen mit bzw. ohne Simulationseinsatz. Darüber hinaus sollen die Hürden der szenarien- bzw. modellbasierten Prüfstandserprobung, vor allem im Kontext von Gesamtfahrzeugprüfständen, herausgearbeitet werden, sodass es zu einem Frontloading verschiedener Erprobungsumfänge auf Gesamtfahrzeugprüfstände kommen kann.

6 EXPERTENINTERVIEWS

Nachfolgend soll im Rahmen von Befragungen bzw. Interviews mit Expertinnen und Experten aus der Branche analysiert werden, welchen Stellenwert der szenarien- bzw. manöverbasierte Versuchszugang auf modernen Prüfstandssystemen, im Speziellen auf Gesamtfahrzeugprüfständen, einnimmt. Vor allem durch den breiten Einsatz von unterschiedlichen Erprobungsplattformen sollen unterschiedliche Sichtweisen und Anforderungen im Rahmen der Versuchsdefinition, -vorbereitung und -durchführung aufgenommen und analysiert werden. Darüber hinaus sollen Hürden bezogen auf die Erprobung, Verifikation und Validierung entsprechender Kriterien an hoch vernetzte Funktionen über den Prozess der Systemintegration zu einem Gesamtfahrzeug beleuchtet werden. Aus der Analyse der Befragungen sollen Erkenntnisse zum Methodeneinsatz und dessen Absicherung auf Gesamtfahrzeugprüfständen abgeleitet werden. Daher liegt der Fokus der Befragungen der Expertinnen und Experten aus verschiedenen Bereichen der Automobilbranche überwiegend auf inhaltlichen Schwerpunkten.

6.1 Qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring

6.1.1 Vorgehensweise

Die qualitative Analyse beinhaltet zum einen die Aufdeckung der für den Gegenstand der Erprobung auf Prüfständen relevanten Einzelfaktoren, zum anderen die Konstruktion von möglichen Zusammenhängen. Dadurch, dass sich qualitative Analysen eher an Einzelfällen orientieren in Kombination mit ihrer eher offenen, deskriptiven bzw. interpretativen Methodik eignet sich diese Form der Analyse besonders für den vorliegenden Sachverhalt.¹⁰⁸

Ein großer Vorteil dieser Analyse ist die sehr strukturierte Vorgehensweise, sodass in weiterer Folge aus dem Grundmaterial der Interviews Rückschlüsse auf mehrere Schwerpunkte, unter anderem auf dem Methodeneinsatz auf Prüfständen, gezogen werden können. Ziel der Analyse ist es, die konstruktiven Meinungen verschiedener Experten und Expertinnen aus unterschiedlichen Bereichen im Rahmen der Entwicklung von Fahrzeugen in der Automobilbranche systematisch in Form von Kategorien (deduktive Kategorienbildung) auszuwerten, um in erster Linie Rückschlüsse auf die eingesetzten Testmethoden im Rahmen der Systemintegration zum Gesamtfahrzeug zu erhalten.¹⁰⁹ Grundsätzlich wird zwischen mehreren Grundformen von Interpretationstechniken im Rahmen der Aufbereitung der Experteninterviews für die Inhaltsanalyse unterschieden:¹¹⁰

- Zusammenfassung
- Explikation
- Strukturierung

¹⁰⁸Vgl. Mayring (2015), S. 22 f.

¹⁰⁹Vgl. Mayring (2015), S. 49.

¹¹⁰Vgl. Mayring (2015), S. 67.

Bei der Strukturierung ist das Ziel, dass bestimmte Aspekte aus den Antworten der Fragen des Interviewleitfadens herausgefiltert werden können. Dazu werden vor der Analyse des Datenmaterials, das textuell in Form von transkribierten, inhaltlich geglätteten aber unveränderten Antworten der Expertinnen und Experten vorliegt, bestimmte Kategorien festgelegt (deduktive Kategorienbildung). Im Rahmen der Auswertung werden dann bestimmte Textbestandteile den einzelnen Kategorien zugeordnet.¹¹¹ Diese Vorgehensweise bietet sich besonders für den vorliegenden Sachverhalt an, da durch die fundierte Analyse des Themas im Vorfeld der Befragung ein strukturierter Interviewleitfaden für die Gespräche mit den Experten und Expertinnen erstellt worden ist. Darüber hinaus zielt der Fragebogen auf ein konkretes Untersuchungsinteresse ab, nämlich auf Merkmale im Kontext der modellbasierten Erprobung im Gesamtkontext, im speziellen auf Gesamtfahrzeugprüfständen, weshalb die Analyse im Rahmen der Auswertung auch dahingehend strukturiert werden kann.

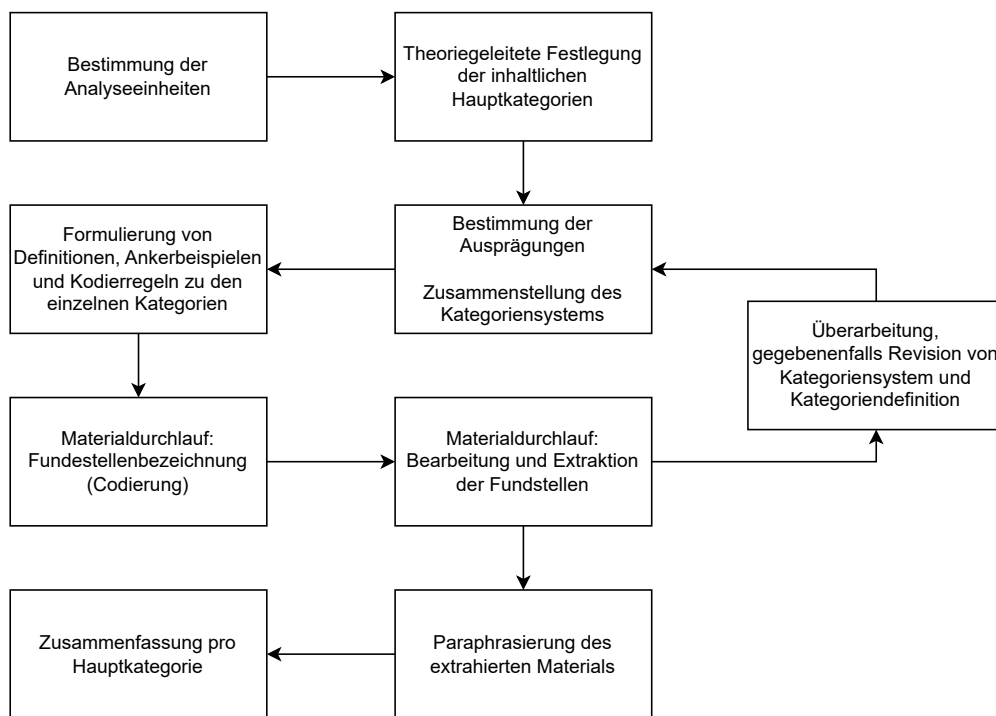


Abb. 6.1: Ablaufmodell der inhaltlichen Strukturierung für die Inhaltsanalyse, Quelle: angelehnt an Mayring (2015), S. 103.

Ziel der inhaltlichen Strukturierungen ist es, bestimmte Themen, Inhalte, Aspekte aus dem Material herauszufiltern und zusammenzufassen (Abbildung 6.1).¹¹² Dafür werden theoriegeleitet inhaltliche Hauptkategorien vorab festgelegt. Im nächsten Schritt werden in Abhängigkeit der definierten Hauptkategorien unterlagerte Kategorien entwickelt, auf Basis in weiterer Folge die Analyse des Textmaterials der Befragung erfolgt. Die schlussendliche Auswertung erfolgt dann in Form von Paraphrasen, die inhaltlich pro Hauptkategorie zusammengefasst werden.

¹¹¹Vgl. Mayring (2015), S. 67.

¹¹²Vgl. Mayring (2015), S. 103 f.

6.1.2 Aufbau des Fragebogens

Die Definition der Hauptkategorien für die nachfolgende Analyse spielt im Rahmen der Erstellung des Fragebogens eine maßgebende Rolle. Wie einleitend bereits erwähnt liegen die Untersuchungsschwerpunkte auf dem Einsatz von unterschiedlichen Plattformen hinsichtlich der Erprobung von Gesamtfahrzeugen im Rahmen des Entwicklungsprozesses ab. Dahingehend zielt auch der Fragebogen in seiner Ausrichtung ab. Grundlegend braucht es über die unterschiedlichen Positionen der Stakeholder im Entwicklungsprozess (u. a. OEMs, Zulieferer, Forschungsinstitute bzw. Technologieförderer, Prüfstandshersteller und -dienstleister) eine Analyse zur Sichtweise auf unterschiedliche Erprobungsmethodiken. Dabei sind vor allem die beiden Ansätze der Gesamtsystemerprobung und jener im Einzelsystem im Fokus sowie dessen Stellenwert im Rahmen der Systemintegration zum Gesamtsystem.

Bezogen auf die Gesamtsystemerprobung steht vor allem die Versuchsdurchführung auf der Straße, am Erprobungsgelände bzw. auf der Teststrecke im Vordergrund. Neben der dafür notwendigen Definition von Kriterien und Anforderungen zur Versuchsvorbereitung und -durchführung spielen hierbei auch Faktoren wie Umgebungs- bzw. Umweltbedingungen, äußere Einflussfaktoren gerade durch die Jahreszeitenabhängigkeit oder weitere erprobungsrelevante Herausforderungen wie die Fahrzeugvernetzung oder die Inbetriebnahme und Applikation einzelner Funktionen im Fahrzeugverbund eine große Rolle.

Zudem kommen unzählige unterschiedlichen Prüfstandsplattformen von der Komponentenerprobung bis zur Zertifizierung und Homologation von Gesamtfahrzeugen zum Einsatz. Interessant und relevant hierbei ist, wie verschiedene Anforderungen an die Versuchsdurchführung definiert werden und wie die Erprobungsmethodik in diesem Zusammenhang aussieht. Hierbei haben sich erfahrungsgemäß zwei die beiden Herangehensweisen mit und ohne Modell- bzw. Simulationseinsatz etabliert.

Durch die historische Entwicklung, dass viele Prüfstandssysteme (z. B. Antriebsstrangprüfstände, Motorprüfstände) eher in den organisatorischen Bereich der Motoren-, Antriebs- bzw. Fahrwerksentwicklung fallen, sollen auch Abhängigkeiten zur Erprobung von ADAS-Funktionen im Gesamtsystem beleuchtet werden. Ein zentrales Element hierbei ist, ob neben der technischen Hürden, die es auf Prüfstandssystemen für die Erprobung dieser Funktionen zu lösen gibt, noch weitere, eventuell zentralere Hindernisse gibt. Der vollständige Fragebogen kann im Anhang A eingesehen werden.

6.1.3 Definition der Kategorien

Wie im vorangegangenen Kapitel erklärt, zielt eine der Hauptfragestellungen für die Analyse der Befragungen auf den Einsatzbereich unterschiedlicher Erprobungsplattformen im Rahmen der Fahrzeugentwicklung über unterschiedliche Stakeholder ab. Dazu zählen auch verschiedene Schwerpunkte von der Prüfaufgabendefinition, auch unter Berücksichtigung äußerer Einflussfaktoren wie die Jahreszeitenabhängigkeit, über die Erprobungsmethodik (Gesamtsystem vs. Einzelsystem) bis zu den Herausforderungen bezüglich des Fahrzeugs oder Prüfstands bei der tatsächlichen Versuchsdurchführung. Durch die intensive theoretische Bearbeitung der Themenstellung können unter Berücksichtigung des Fragebogens für die Interviews mit den Experten und Expertinnen in Abhän-

gigkeit zu den zuvor erklärten zentralen Schwerpunkten deduktiv folgende Kategorien für die spätere Kodierung im Rahmen der Auswertung des Datenmaterials definiert werden:

- Systemintegration zum Gesamtfahrzeug
 - Meilensteine, Freigabe- und Entscheidungsgrundlagen
 - Abhängigkeiten
 - Prüfstandsvarianten
- Erprobungsplattformen
 - Prüfstand mit Methoden-, Simulations- bzw. Modelleinsatz
 - Prüfstand ohne Methoden-, Simulations- bzw. Modelleinsatz
 - Straße, Erprobungsgelände oder Teststrecke
 - Field Oriented Tests
- Erprobungsmethodik
 - Gesamtsystemerprobung
 - Einzelsystemerprobung
- Erprobungsvorbereitung und -durchführung
 - Jahreszeitenabhängigkeit
 - Prüfaufgabendefinition
 - Herausforderungen Fahrzeug
 - * Fahrzeugvernetzung
 - * Funktionsinbetriebnahme / -applikation
 - * automatisierte/autonome Fahrfunktionen (ADAS/AD)
 - Herausforderungen Prüfstand
 - * Methoden-, Simulations- bzw. Modellentwicklung und -absicherung
- Erprobungsergebnisse

Im Rahmen der Analyse werden einige der festgelegten Kategorien in einen Kontext miteinander gesetzt.

6.1.4 Auswahl der Expertinnen und Experten

Der Verkauf von Prüfstandssystemen konzentriert sich nicht ausschließlich auf Gesamtfahrzeugproduzenten (OEMs). Aus diesem Grund ist für die Auswahl der Expertinnen und Experten grundsätzlich eine Stichprobe

mit relativ großer Bandbreite aus vielen Bereichen der Fahrzeugentwicklung gewählt worden. Zusätzlich zu Vertretern von großen Fahrzeugherstellern sind auch Gespräche mit Experten und Expertinnen aus der Zulieferkette bzw. aus dem Segment der Prüfstandshersteller / -dienstleister geführt worden. Nachdem der Fokus dieser Arbeit auch auf dem Methodeneinsatz bei der Erprobung von Fahrzeugen auf Prüfständen, überwiegend im Hinblick auf den technologischen Wandel zum automatisierten bzw. autonomen Fahren, gerichtet ist, finden sich auch Gespräche mit Fachleuten aus der Forschung wieder. Die Verteilung der Zugehörigkeit der Expertengespräche zur Herkunft ist in Abbildung 6.2 dargestellt.

Die Teilnehmer:innen zu den Gesprächen aus dem Segment der Gesamtfahrzeughersteller sind von den OEMs aus dem mitteleuropäischen Raum (BMW, Mercedes Benz, Porsche, Audi). Für diese Teilnehmer:innen kann definiert werden, dass diese im Bereich der Gesamtfahrzeugerprobung und -applikation tätig sind. Die Schwerpunkte der einzelnen Teilnehmer:innen liegen auf der Erprobung von Gesamtfahrzeugen auf Erprobungsgeländen, Teststrecken oder realen Straßenabschnitten bzw. auf der Erprobung auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugantriebsstrangprüfständen.

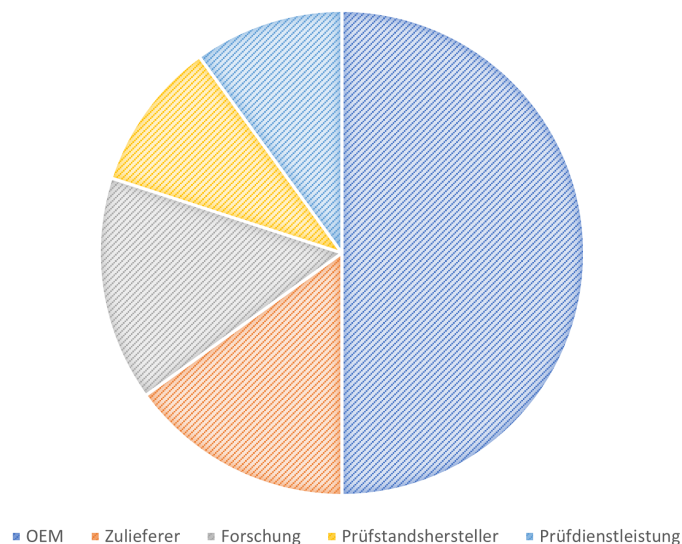


Abb. 6.2: Auswahl der Experten und Expertinnen für die Interviews, Quelle: Eigene Darstellung.

Neben Experten und Expertinnen von OEMs sind auch Interviewpartner und Interviewpartnerinnen von Forschungseinrichtungen befragt worden. Zu den Forschungseinrichtungen zählen die TU Graz sowie die Otto von Guericke Universität in Magdeburg bzw. dessen neues Prüfzentrum zur Methodenentwicklung (Center of Method Development (CMD)). Der Schwerpunkt am Institute of Automotive Engineering auf der TU Graz liegt ganz klar auf der Entwicklung von automatisierten bzw. autonomen Fahrfunktionen sowie dessen Erprobung in virtuellen Umgebungen. Im Rahmen von unterschiedlichen Forschungsprojekten liegt der Fokus besonders auf der Methodenentwicklung und -validierung für die Funktionserprobung von ADAS-Funktionen auf Gesamtfahrzeugprüfständen (ViL). Durch die Zuordnung des Teilnehmers der Otto von Guericke Universität von Magdeburg erfolgt je zur Hälfte zur Gruppe der Forschungseinrichtungen sowie zur Gruppe der Prüfdienstleistungen, da das

Center of Methoddevelopment neben der Methodenentwicklung auch Prüfdienstleistungen für Forschungs- und Entwicklungsprojekte anbietet.

Einen Gegenpol zu den Forschungseinrichtungen im Rahmen der Interviews stellt der Bereich der Automobilzulieferer dar. Bei den Befragten handelt es sich um Personen aus den beiden Unternehmen Magna Powertrain bzw. Engineering Center Steyr. Beide Unternehmen gehören in unterschiedlichen Konstellationen zu Magna International.¹¹³ Durch die nahe Zugehörigkeit einer befragten Person hinsichtlich der Prüfstands- bzw. Methodenentwicklung erfolgt auch hier eine halbseitige Zuordnung zum Bereich der Prüfstandshersteller.

Die letzte befragte Person, aus dem Unternehmen KS Engineers, kommt ursprünglich aus dem Bereich der modellbasierten Regelungsmethoden auf Prüfstandssystemen, ist mittlerweile aber im Bereich der Prüfdienstleistung tätig. Aus diesem Grund erfolgt auch hier eine halbseitige Aufteilung der Zuordnung zu den Bereichen. Im Rahmen der Auswertung sind die Interviews zur besseren Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse zu den jeweiligen Herkunftsbereichen der befragten Personen zugeordnet. Eine detaillierte Beschreibung der Personen, Zuordnung der einzelnen Interviews zu den Person bzw. zum Unternehmen ist aus Gründen der Daten- bzw. Informationssicherheit (TISAX¹¹⁴) nicht möglich. Für die Analyse ist die Zuordnung des Interviews zu den definierten Bereichen von OEM, Automobilzulieferer bzw. Komponentenentwickler, Forschungseinrichtungen bis hin zu Prüfdienstleistern bzw. Prüfstandsherstellern aber vollkommen ausreichend, da besonders inhaltliche Themenstellungen im Kontext der Erprobung von Fahrzeugen im realen Straßenversuch und auch auf Prüfständen beleuchtet werden sollen.

6.1.5 Transkription

Die Transkription der Interviews mit den Expertinnen und Experten ist auf Basis einer inhaltsanalytischen Transkription als zusammenfassendes Protokoll durchgeführt worden. Dabei sind inhaltlich eng zusammenhängende Textpassagen in gebündelter Form wiedergegeben, sodass eine kompakte, aber inhaltlich nicht veränderte Form für die Analyse zur Verfügung steht.¹¹⁵ Diese Vorgehensweise resultiert unter anderem aus der Tatsache, dass einige Interviews aus Gründen der Daten- und Informationssicherheit (TISAX) nicht aufgezeichnet werden konnten und die Gesprächsinhalte auf Basis einer Mitschrift des Gesprächs formuliert worden sind.

Darüber hinaus sind auch im Hinblick auf die Datensicherheit von allen Interviewteilnehmern und -teilnehmerinnen bzw. den dahinterstehenden Unternehmen verschiedene Begrifflichkeiten vereinheitlicht bzw. verallgemeinert worden. Darunter fallen beispielsweise spezifische Bezeichnungen für Antriebsstrang- bzw. Gesamtfahrzeugprüfstände (z. B. KS R2R, ViL, etc.) oder spezifische Begriffe von Testmethoden. Im Rahmen der inhaltlichen Auswertung und Kategorienzuordnung ist diese sprachliche Angleichung der Interviews aneinander aber nicht relevant.

Wie zuvor erwähnt, ist eine direkte Zuordnung der Antworten des Fragebogens zu den Sparten für die inhaltliche Analyse vollkommen ausreichend. Dabei sind die Fragestellungen immer **fett** geschrieben, die dazugehörigen

¹¹³Vgl. Firmen ABC (2023), Online-Quelle [07.01.2024].

¹¹⁴Trusted Information Security Assessment Exchange, Dabei handelt es sich um ein Prüf- und Austauschverfahren für Informationssicherheit in der Automobilindustrie

¹¹⁵Vgl. Höld (2007), S. 662.

Antworten in normaler Schrift direkt unter der jeweiligen Fragestellung dargestellt (siehe Anhang B). Die Antworten der Interviewpartnerinnen und -partner sind in den nachfolgenden Analysen immer mit Bxx gekennzeichnet. Folgende Tabelle schlüsselt die Interviews zur befragten Sparte auf (Tabelle 6.1):

Interviewbezeichnung	Sparte / Stakeholder
B01-B05	OEM, Gesamtfahrzeughersteller
B06	Zulieferer, Komponentenentwickler, Prüfstandshersteller
B07	Zulieferer, Komponentenentwickler
B08	Forschung, Prüfdienstleistung
B09	Forschung
B10	Prüfstandshersteller, Prüfdienstleistung

Tab. 6.1: Aufschlüsselung der Interviewbezeichnungen zur Sparte der Interviewpartnerinnen bzw. -partner, Quelle: Eigene Darstellung.

6.2 Auswertung

Wie bereits bei der Entwicklung des Fragebogens für die Interviews mit Expertinnen und Experten der Branche erklärt, zielt die Analyse im Kontext von Einsatzmöglichkeiten von Gesamtfahrzeugprüfständen besonders auf folgende Hauptkategorien ab:

- Verständnis von Erprobungsmethodiken
- Einsatz von Erprobungsplattformen über Stakeholderbereiche
- Erprobungsmethodiken auf unterschiedlichen Plattformen
- Erprobungsherausforderungen bei der modellbasierten Prüfstandserprobung

6.2.1 Kodierleitfaden

Die Zuordnung einzelner Textpassagen der Interviews mit den Expertinnen und Experten erfolgt auf Basis der zuvor definierten Kategorien. Da die Kodierung eines Textabschnittes mit mehreren Kategorien zulässig ist, kommt für diesen Prozessschritt die Analyse-Software MAXQDA zur Anwendung. Damit können unterschiedliche Textabschnitte der Antworten auf die Fragestellungen des Interviewleitfadens bestimmten Codes zugeordnet werden. Neben der Definition der einzelnen Kategorien braucht es für die Auswertung klare Regeln, da bei einigen Textstellen Abgrenzungsprobleme zwischen einzelnen Kategorien auftreten können.¹¹⁶ Dazu wird folgender Kodierleitfaden angewendet (Tabelle 6.2). Zur Nachvollziehbarkeit dieser Zuordnung sind die transkribierten und ausgewerteten Interviews auch in den Anhang B eingefügt.

¹¹⁶Vgl. Mayring (2015), S. 111 f.

Kategorie	Definition	Ankerbeispiel	Kodierregeln
Systemintegration zum Gesamtfahrzeug	Alle Textstellen, die im Kontext zur Systemintegration stehen.	B03: „Ein enorm wichtiger Bereich ist die Systemintegration zum Gesamtsystem. Hier haben wir in der Vergangenheit bereits gesehen, dass an dieser Stelle des Entstehungsprozesses ein enormes Potential vorherrscht.“ (12)	Nur inhaltliche Zuordnung zum Prozess der Systemintegration
Systemintegration zum Gesamtfahrzeug > Meilensteine / Freigabe- und Entscheidungsgrundlagen	Alle Textstellen mit Relevanz zu Meilensteinen, Freigabe- und Entscheidungsprozesse	B01: „Konzernintern gibt es normalerweise die Meilensteine 1 bis 8. Dabei erfolgt die Entwicklung etwaiger Systeme für Software und Hardware üblicherweise [...]“ (3)	Nur inhaltliche Zuordnung
Systemintegration zum Gesamtfahrzeug > Abhängigkeiten	Schnittmenge oder Differenzen zwischen verschiedenen Bereichen (z. B. Antrieb/Fahrwerk zu ADAS/AD-Fahrfunktionen)	B09: „Eine Schwierigkeit ist aber, die relevanten Informationen für die Modellierung von einzelnen Bereichen zu bekommen. [...]“ (78)	inhaltliche Abhängigkeiten zwischen verschiedenen thematischen/organisatorischen Bereichen
Systemintegration zum Gesamtfahrzeug > Prüfstandsvarianten	Einsatz von unterschiedlichen Prüfstandsvarianten	B03: „Simulationen, HiL, SiL, Komponentenprüfstände (Motorprüfstand, Batterietest, Inverterprüfstände), Antriebsstrangprüfstände, Gesamtfahrzeugprüfstände, Rollenprüfstände“ (76)	Zuordnung eingesetzter oder vorhandener Prüfstandsvarianten im Rahmen des Entwicklungsprozesses

Kategorie	Definition	Ankerbeispiel	Kodierregeln
Erprobungsplattform	Dient nur zur Strukturierung.		keine Zuordnung zu dieser Kategorie
Erprobungsplattform > Prüfstand mit Methoden-, Simulations- und Modelleinsatz	Alle Inhalte bezüglich des Methoden-/Simulations- bzw. Modelleinsatzes im Rahmen der Prüfstandserprobung	B04: „Am Prüfstand, vor allem am Antriebsstrangprüfstand hat man natürlich die Möglichkeit gewisse Komponenten zu simulieren und damit auszuklammern.“ (23)	Inhaltliche Zuordnung der szenarien- bzw. manöverbasierten Erprobung auf Prüfständen
Erprobungsplattform > Prüfstand ohne Methoden-, Simulations- und Modelleinsatz	Alle Inhalte im Rahmen der Prüfstandserprobung ohne Methoden-/Simulations- bzw. Modelleinsatz	B06: „Nichtsdestotrotz resultieren diese aber für mein Sichtfeld nicht unmittelbar aus einem Manöver, sondern nur aus den definierten Prüfaufgaben des Testkatalogs für eine spezielle Komponente oder Modul.“ (73)	Inhaltliche Zuordnung der einfachen Erprobung (z. B. Komponenten) ohne Simulationsaufwand
Erprobungsplattform > Straße, Erprobungsgelände oder Teststrecke	Aussagen oder Faktoren, die der Erprobung auf der Straße zugeordnet werden können.	B01: „Im Rahmen der Entwicklung von Fahrwerkregelsystemen ist die Jahreszeitabhängigkeit sehr groß. Insbesondere die Erprobungswinter stellen hierbei wichtige Zeiträume dar.“ (18)	Inhaltliche Zuordnung zur Erprobung auf der Straße oder am Testgelände
Erprobungsplattform > Field Oriented Tests	Die Erprobung erfolgt im Rahmen von Messungen von Fahrsituationen in Serien-/Kundenfahrzeugen.	B04: „FoT werden auch genutzt, um markante Fehlerfälle aus der Realität zu extrahieren und auf den Prüfstand zu bringen.“ (35)	Inhaltliche Zuordnung zur Erprobung im Serienfahrzeug durch Kunden o. ä.

Kategorie	Definition	Ankerbeispiel	Kodierregeln
Erprobungsmethodik	Dient nur zur Strukturierung.		keine Zuordnung zu dieser Kategorie
Erprobungsmethodik > Gesamtsystemerprobung	Erprobung im Gesamtsystem oder Gesamtsystemkontext (kann auch mit Simulationsunterstützung sein).	B03: „Es wird überwiegend versucht, so früh wie möglich ins Gesamtsystem zu wechseln.“ (25)	Alle Textstellen, bei denen eine inhaltliche Zuordnung zur Gesamtsystemerprobung verstanden werden kann.
Erprobungsmethodik > Einzelsystemerprobung	Erprobung im Einzelsystem ohne reale oder virtuelle Querwirkungen zu anderen Elementen.	B06: „Wie zuvor bereits gesagt werden einzelne Komponenten auf Basis der definierten Anforderungen an diese mit synthetischen Drehzahl- bzw. Drehmomentprofilen, [...]“ (43)	Inhaltliche Zuordnung zur Erprobung im Einzelsystem (z. B. Komponente, Modul)
Erprobungsvorbereitung und -durchführung	Kriterien im Rahmen der Erprobungsvorbereitung und -durchführung	B03: „Besonders für die Reichweitenerprobung sind diese Faktoren ausschlaggebend.“ (63)	Inhaltliche Zuordnung von Faktoren / Eigenschaften
Erprobungsvorbereitung und -durchführung > Jahreszeitenabhängigkeit	Erprobungsabhängigkeit zu bestimmten Konditionen	B03: „Wie zuvor schon gesagt ist dieser Einfluss mitunter einer der größten für die Antriebsentwicklung – speziell für konzeptionelle Entscheidungen was die Antriebstopologien und Betriebsstrategien betrifft.“ (19)	Inhaltliche Zugehörigkeit zu speziellen äußeren Bedingungen.

Kategorie	Definition	Ankerbeispiel	Kodierregeln
Erprobungsvorbereitung und -durchführung > Prüfaufgabendefinition	Wie werden Prüfaufgaben definiert / festgelegt?	B07: „Dazu gibt es einen Prüfkatalog, hierbei geht es aber eben um die Themen Haltbarkeit, Beständigkeit, Energieeffizienz, Qualität, etc.“ (26)	Inhaltliche Zuordnung zur Definition von Erprobungen
Erprobungsvorbereitung und -durchführung > Herausforderungen Fahrzeug	Allgemeine Herausforderungen bei der Versuchsdurchführung bezogen auf den Prüfling / das Fahrzeug	B02: „Die Sicherheitsauflagen sind relativ streng. Es dürfen keine Versuche mit ungesicherten bzw. nicht am Prüfstand gelaufenen Datenständen auf der Straße durchgeführt werden.“ (59)	Inhaltliche Zuordnung von allgemeinen Herausforderungen oder Problemen bei der Erprobung hinsichtlich des Fahrzeugs
Erprobungsvorbereitung und -durchführung > Herausforderungen Fahrzeug > Fahrzeugvernetzung	Erprobungsherausforderungen in Zusammenhang mit der Vernetzung im Fahrzeugverbund	B10: „Durch die Elektrifizierung wird zwar die Hardware des Fahrzeugs (Vergleich VKM zu E-Achse) deutlich einfacher und wartungsärmer, es ergeben sich aber viele neue Möglichkeiten [...]“ (11)	Genauere Spezifikation zur übergeordneten Kodierregel

Kategorie	Definition	Ankerbeispiel	Kodierregeln
Erprobungsvorbereitung und -durchführung > Herausforderungen Fahrzeug > Fahrzeug-inbetriebnahme bzw. -applikation	Erprobungsherausforderungen in Zusammenhang mit der eigentlichen Inbetriebnahme und Applikation von Funktionen oder Systemen	B06: „Dabei ist auch die Fehleranalyse und -ortung das größte Problem. Vor allem wenn die Ergebnisse aus den Unit-Tests einzelner Komponenten vielversprechend und positiv aussehen oder ausgesehen haben.“ (12)	Genauere Spezifikation zur übergeordneten Kodierregel
Erprobungsvorbereitung und -durchführung > Herausforderungen Fahrzeug > ADAS/AD	Erprobungsherausforderungen in Zusammenhang mit ADAS-Funktionen	B03 „Die Erprobung im Rahmen der Entwicklung solcher Funktionen ist natürlich deutlich aufwendiger [...]“ (31)	Inhalte im Kontext der Erprobung von automatisierten Fahrfunktionen (ADAS/AD)
Erprobungsvorbereitung und -durchführung > Herausforderungen Prüfstand	Allgemeine Herausforderungen bezogen auf die Prüfstandserprobung	B06: „Darüber hinaus bringt auf Prüfständen auch der Prüfstand eine gewisse Unsicherheit in die Inbetriebnahme solcher Prüflingssystem mit. [...]“ (13)	Inhaltliche Zuordnung von allgemeinen Herausforderungen oder Problemen bei der Prüfstandserprobung
Erprobungsvorbereitung und -durchführung > Herausforderungen Prüfstand > Methoden-, Simulations- und Modellabsicherung	Entwicklung von modellbasierten Prüfmethode auf Prüfständen	B04: „Grundsätzlich gilt natürlich je genauer jede Einzelkomponente in diesem virtuellen Umfeld ist, desto genauer sind natürlich auch das Ergebnis im Gesamtverbund bzw. in Wechselwirkung mit den realen Komponenten am Prüfstand.“ (81)	Inhaltliche Zuordnung zur Methoden-, Modell- bzw. Simulationsentwicklung und -absicherung

Kategorie	Definition	Ankerbeispiel	Kodierregeln
Erprobungsergebnisse	Ergebnisse bzw. dessen Beeinflussung	B07: „Die Reproduzierbarkeit dieses Demo-Fahrzeugs ist dementsprechend schwierig,“ (21)	Inhaltliche Relevanz im Kontext von Prüfergebnissen bzw. dessen Beeinflussung

Tab. 6.2: Kodierleitfaden

Im Kontext des Kodierleitfadens ist zu jeder Kategorie immer eine Definition angeführt, ein Ankerbeispiel sowie die entsprechenden Kodierregeln. Das Ankerbeispiel für jede Definition resultiert bereits aus der Auswertung der Befragungen. Dabei ist vorangestellt des eigentlichen Textbeispiels die Herkunft der Passage aus dem jeweiligen Interview (z. B. B01). Damit ist definiert, um welches Interview aus welcher Sparte es sich handelt. Danach folgt immer ein Ausschnitt der Textstelle. Nachgestellt dem Ankerbeispiel in runden Klammern ist immer der Absatznummer der originalen Textpassage, wodurch eine Zugehörigkeit zum Material im Anhang gegeben ist.

6.2.2 Zusammenfassende Auswertung nach den Hauptkategorien

Um das Vorgehensmodell zur Entwicklung von Prüfmethode für den modellbasierten Ansatz auf Prüfständen, im Speziellen auf Gesamtfahrzeugprüfständen, anwenden bzw. umsetzen zu können, braucht es in erster Linie ein grundlegendes Verständnis über die im Rahmen der Fahrzeugentwicklung zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingesetzten Erprobungsmethodiken. Dabei liegt der Fokus der Analyse nicht unmittelbar nur auf den technologischen Faktoren, vielmehr geht es auch um die Analyse von Gründen hinsichtlich der konkreten Definition von Kriterien zur Versuchsvorbereitung und -durchführung und den damit verbundenen Zielen. Darüber hinaus gilt es Hürden im Kontext des Fahrzeugs und des Prüfstandes zu identifizieren, um in weiterer Folge konkrete Handlungsempfehlungen ableiten zu können.

Nachfolgend werden relevante Faktoren unter Verwendung der nach dem Kategoriensystem kodierten Antworten der Expertinnen und Experten des Fragebogens erklärt und analysiert. In einigen Fällen sind auch Schnittmengen aus mehreren Kategorien von besonderem Interesse.

6.2.2.1 Verständnis von Erprobungsmethodiken

Zur Bewertung von Einsatzmöglichkeiten des methoden- bzw. modellbasierten Erprobungsansatzes auf Prüfstandssystemen, im Speziellen auf Gesamtfahrzeugprüfständen, braucht es grundlegend eine Betrachtung der Erprobungsmethodiken im Rahmen des Entwicklungsprozesses, von der Konzepterstellung bis zum Gesamtfahrzeug, im Kontext der verschiedenen Stakeholdern. Elementar kann zwischen der Versuchsdurchführung in einzelnen Elementen, Bauteilen oder Modulen, ohne Einfluss von komplementären Systemen und der Versuchsdurchführung im Kontext eines Gesamtsystems unterschieden werden. Einzelne Systeme oder Module können

aber wohl aus mehreren Bauteilen oder Komponenten bestehen.

Ein Beispiel für die Erprobung im Einzelsystem wäre die Prüfung einer elektrischen Antriebsmaschine (z. B. auf einem Elektromotorenprüfstand) eines Achsmoduls ohne Einflüsse durch etwaige andere Elemente des späteren Achsmoduls, in welches die Antriebsmaschine eingebaut werden soll. Die Definition der Prüfaufgaben besteht dabei häufig aus synthetischen Belastungsanforderungen und können aus Messungen von realen Fahrmanövern extrahiert worden sein oder durch einzelne Leistungspunkte charakterisiert sein. In der Regel bezieht sich die Vorgabe für diesen Fall auf elektrische oder mechanische Größen (z. B. elektrische oder mechanische Leistungsdaten, Strom- bzw. Spannungsprofile, Drehzahl- bzw. Drehmomentvorgaben). Die Absicherung von vordefinierten Anforderungen hinsichtlich der Haltbarkeit, Robustheit, Energieeffizienz, Noise-Vibration and Harshness-Kriterien, steht hierbei im Vordergrund. Auch viele Sicherheitsfunktionen von einzelnen Komponenten werden oftmals durch diese Art der Erprobungsmethodik versucht (z. B. Pyrofuse bei Traktionsbatterien von Fahrzeugen). Dieser Ansatz der Erprobung resultiert überwiegend aus der komponentenorientierten Entwicklung in Kombination mit den weitreichend etablierten Baukastensystemen vieler Fahrzeughersteller. Darüber hinaus erfordert diese Art der Prüfaufgabendefinition kein ausgeprägtes Verständnis über das spätere Gesamtsystem, und ist daher auch aus Sicht vieler Fahrzeughersteller relativ einfach an externe Entwicklungspartner bzw. Prüfdienstleister abzugeben.

Durch den Technologiewandel im Fahrzeug, dessen Komponenten und vielen überlagerten Systemen im Kontext der Elektrifizierung zum softwaredefinierten Fahrzeug stehen ganzheitliche Systeme und Funktionen überwiegend im Vordergrund. Dazu zählen antriebs- und fahrwerksnahe Funktionen wie das ESP oder ABS aber auch automatisierte Fahrfunktionen und aktive Sicherheitssysteme wie das AEBS oder LKA. Die Gesamtsystemerprobung dieser Fahrzeuge ist daher ein komplexer und anspruchsvoller Prozess. Sie umfasst die Erprobung aller Softwarekomponenten und -funktionen des Fahrzeugs in Interaktion mit vielen Hardwarekomponenten und Sensorsystemen in einem realen Umfeld. Ziel ist es, sicherzustellen, dass das Fahrzeug sicher, zuverlässig und funktionsfähig ist. Die Gesamtsystemerprobung von softwaredefinierten Fahrzeugen unterscheidet sich in mehreren Aspekten von der Erprobung von Fahrzeugen mit herkömmlicher Hardware- und Softwarearchitektur. So kennzeichnet diese Fahrzeuge eine hohe Komplexität und Vernetzung einzelner Hardwarekomponenten durch viele Softwareelemente. Dies führt zu einer Vielzahl neuer potenzieller Fehlerquellen, die in der Erprobung berücksichtigt werden müssen. Darüber hinaus sind softwaredefinierte Fahrzeuge durch eine hohe Dynamik der Software gekennzeichnet. Dies bedeutet, dass die Softwarepakete im Laufe des Entwicklungszyklus aktualisiert und verändert werden. Daraus resultieren oftmals kurze Freigabeintervalle von wenigen Wochen, weshalb es auch Forderungen aus vielen Bereichen der Fahrzeugentwicklung, im Speziellen im Rahmen der Systemintegration zur Verkürzung der Iterationsschleifen von Erprobungen gibt.

Besonders auch die Definition von Anforderungen, Ausgangssituationen und Zielen für die Versuchsdurchführung gestaltet sich als hochkomplex und erfordert eine umfassende Kenntnis über das Gesamtsystem. Aus den Befragungen kann in diesem Zusammenhang abgeleitet werden, dass der zunehmende Einsatz von Sensorsystemen im Fahrzeug, auch im Hinblick auf automatisierte oder autonome Fahrdynamikregelung, die klassische Versuchs-

durchführung zusehends erschwert. Dabei wird nicht nur eine umfassende Kenntnis über das Zusammenwirken im Gesamtsystem gefordert, es ist auch eine tiefgreifende Kompetenz auf Komponentenebene notwendig, um eine effiziente Versuchsdurchführung im Gesamtsystem vornehmen zu können.

6.2.2.2 Einsatz von Erprobungsplattformen über Stakeholderbereiche

In der weiteren Analyse sollen zuvor analysierte Erprobungsmethodiken in einen Kontext mit unterschiedlichen Erprobungsplattformen über die Systemintegration gebracht werden. Ziel dabei ist es, den Erprobungsansatz einzelner Stakeholder in der Fahrzeugentwicklung in Kombination mit der Erprobungsplattform zu verstehen. Aus diesem Grund werden im ersten Schritt verschiedene Versuchsplattformen über den Prozess der Fahrzeugentwicklung unabhängig der dabei bevorzugten Erprobungsmethodiken (z. B. im Einzelsystem ohne Simulationseinsatz oder im Gesamtsystem mit Methoden, Modell- bzw. Simulationseinsatz) den Stakeholderkategorien der Interviewpartner zugeordnet. Zu diesen Kategorien zählen neben den Fahrzeugherstellern (OEMs) auch Komponententwickler, Forschungsinstitute und Prüfdienstleister. Die Sparte der Prüfstandshersteller, welche im Rahmen der Interviews auch vorgekommen ist, wird in dieser Bezugnahme bewusst ausgespart, da eine starke Abhängigkeit zu vielen Prüfplattformen durch das Produktportfolio gegeben wäre.

Konkrete Prüfstandsvarianten, wie sie im Rahmen der Interviews erwähnt worden sind, werden für diese Analyse zu Klassen zusammengefasst. Dabei ergeben sich die in Tabelle 6.3 aufgelisteten Klassen sowie dessen Zuordnungen zu Prüfstandstypen.

Klassierung	Prüfstandstypen
SiL bzw. HiL	virtuelle Umgebungen, Simulationen, MiL
Komponentenprüfstände	(Elektro-)Motorenprüfstände, Getriebeprüfstände, Batterietester, Brennstoffzellenprüfstände
Antriebsstrangprüfstände, Systemprüfstände	Prüfstandsverbund mit mind. 2 Belastungsmaschinen
Gesamtfahrzeugprüfstände	Gesamtfahrzeugantriebsstrangprüfstände (F-ATS), Rollenprüfstände

Tab. 6.3: Klassierung der festgelegten Plattformen zu konkreten Prüfstandstypen, Quelle: Eigene Darstellung.

Nachfolgendes Spinnendiagramm zeigt den grundlegenden Einsatz der verschiedenen Erprobungsplattformen in den Kernprozessen der befragten Stakeholdergruppen (Abbildung 6.3). Für diese Darstellung besteht keine Abhängigkeit zu einem quantifizierten Einsatz der Erprobungsplattform während des Entwicklungsprozesses. Vielmehr steht der grundlegende Einsatz der Technologien bzw. Möglichkeiten im Vordergrund. Wie zuvor erwähnt, findet sich die Stakeholdergruppe für Hersteller von Prüfstandssystemen hierbei nicht wieder, da das Produktportfolio für verfügbare Prüfstandsvarianten aus dem Portfolio nicht im Kontext mit dem tatsächlichen Einsatz dieser Plattformen steht.

Im Unterkapitel zur Auswahl der Expertinnen und Experten ist bereits angeführt, dass einige der Interviewpart-

nerinnen und -partner mehrere Aufgabenbereiche und damit Informationen aus parallelen Stakeholderbereichen besitzen. Diese gewichtete Zuordnung der Befragten zu den Stakeholderbereichen ist auch für die Auswertung des Einsatzes von den unterschiedlichen Erprobungsplattformen berücksichtigt. In Kombination dazu braucht es durch die unterschiedliche Anzahl der Interviewteilnehmer:innen aus den verschiedenen Bereichen eine Normierung für einen objektiven Vergleich der Stakeholderbereiche untereinander. Aus diesem Grund sind die inhaltlichen Bezugnahmen oder Erwähnungen im Kontext von Erprobungsplattformen aus den einzelnen Interviews auf die absolute Anzahl der möglichen Vorkommen aus jedem Bereich normiert.

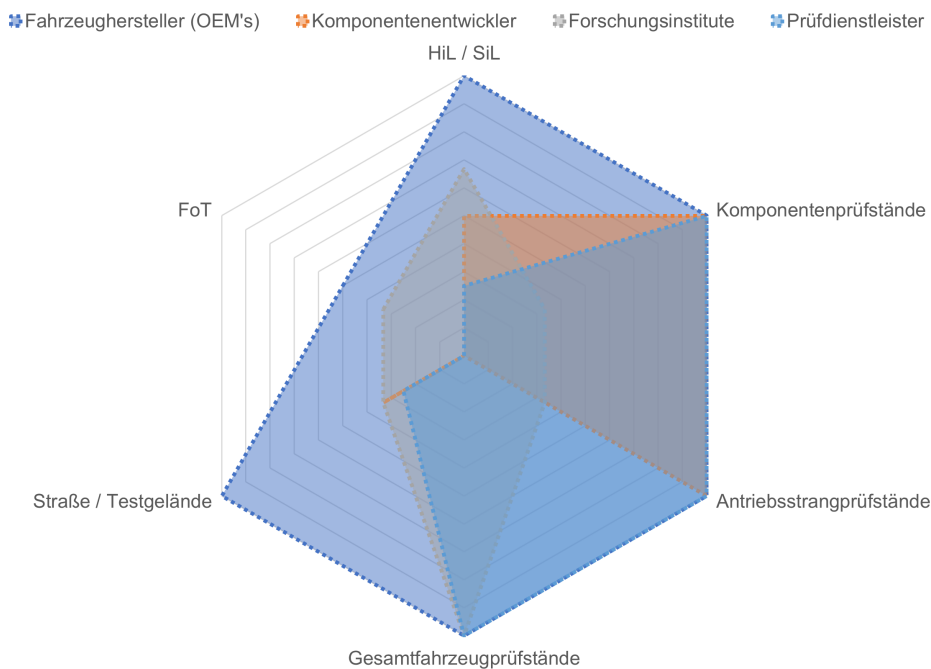


Abb. 6.3: Einsatz von Erprobungsplattformen durch unterschiedliche Stakeholder, Quelle: Eigene Darstellung.

In weiterer Folge lassen sich Erkenntnisse zur Versuchsdurchführung über die Erprobungsplattformen einzelner Stakeholderbereiche ableiten.

HiL / SiL:

Dieser Klasse werden sämtliche Anwendungen auf Hardware- oder Software-in-the-Loop Prüfständen zugeordnet. Darüber hinaus ist besonders bei OEMs der virtuelle Zugang in Form von Simulationen im Rahmen des Entwicklungsprozess von entscheidendem Einfluss, welche überwiegend in frühen Phasen eingesetzt werden. Im Kontext der Erprobungsplattform (HiL, SiL, MiL) steht beispielsweise die Software einer Funktion oder Systems auf einem Simulator oder Emulator zum Test.

Abseits der Simulation von Software, Hardware oder Modellen im Fahrzeugverbund stehen über andere Simulationsplattformen auch Bauteiluntersuchungen (Spannungsuntersuchungen, Belastungsberechnungen, Kühlkonzepte) im Fokus. Diese Simulationsmöglichkeiten werden auch sehr stark vom Stakeholderbereich der Komponententwickler genutzt, dies ist aber für die weiteren Betrachtungen nicht relevant. In einzelnen Fällen gibt es

bei Prüfdienstleistungen einen gewissen Umfang, der auf HiL oder SiL-Emulatoren bzw. Simulatoren untersucht wird, meist aber parallel oder in Abhängigkeit zu Untersuchungszielen auf Erprobungsplattformen.

Im Bereich der Forschungsinstitute kommen HiL-, SiL- oder MiL-Systeme überwiegend im Kontext von automatisierten oder autonomen Fahrersystemen zum Einsatz. Dabei richtet sich der Fokus meist auf die Analyse einzelner Sensor- oder Aktoreigenschaften.

Komponentenprüfstände:

Dieser Klassierung sind sämtliche Erprobungen von Bauteilen, Komponenten oder Modulen auf entsprechenden Prüfständen zugeordnet. Der Fokus hierbei liegt zumeist auf der Absicherung von bauteilspezifischen Kriterien hinsichtlich Leistungsfähigkeit, Energieeffizienz, Robustheit und Haltbarkeit sowie auf der grundlegenden Funktionalität auch unter dem Sicherheitsaspekt. Dabei erfolgen bei OEMs oder Komponentenlieferanten oftmals auch Sicherheitsfreigaben auf diesen Prüfstandssystemen, um die Entwicklung und Erprobung auf überlagerten Systemebenen überhaupt zu ermöglichen. Oftmals werden einige der auf diesen Systemen durchgeführten Prüfanforderungen von OEMs oder Komponentenentwicklern aus unter anderem Kosten- und Kapazitätsgründen (Kosten und Kapazitäten für die Anschaffung, den Betrieb und die Wartung solcher Komponentenprüfstände) an externe Dienstleister ausgelagert. Für Forschungsinstitute und Technologieträger spielt diese Erprobungsplattform meist nur eine untergeordnete Rolle.

Antriebsstrangprüfstände:

Antriebsstrangprüfstände in unterschiedlichen Ausprägungen kommen über einen großen Bereich der Systemintegration zum Einsatz. Besonders durch die historisch eher hardwarelastige Entwicklung bei vielen OEMs im Baukastensystem liegt der Fokus beim Einsatz dieser Plattform überwiegend auf der Erprobung von größeren Verbundsystemen (z. B. vollständiger Antriebsstrang des Gesamtfahrzeugs). Aus ähnlichen Gründen, wie zuvor bei der Erprobung von Komponenten erklärt, ist diese Erprobungsplattform auch bei Prüfdienstleistern im Einsatz.

Durch den Technologiewandel zum softwaredefinierten Fahrzeug unter dem Einfluss vieler Funktionen, Systeme und Sensoren bedarf es für aussagekräftige Ergebnisse auf dieser Erprobungsplattform den Einsatz von umfangreichen Restbussimulationen. Dabei handelt es sich um Methoden zur Simulation von In-Vehicle-Bussystemen, um die Funktionalität des Prüfaufbaus trotz fehlender Steuergeräte (ECUs) testen zu können. Durch diese Entwicklungen wird die Erprobung auf diesen Plattformen zunehmend komplexer und wird daher für externe Dienstleister ohne die notwendigen Informationen durch Fachbereiche der Systementwicklungsabteilungen von OEMs oder Komponentenentwicklern nicht durchführbar.

Gesamtfahrzeugprüfstände / Systemintegrationsprüfstände:

Gesamtfahrzeug- bzw. Systemintegrationsprüfstände kommen häufig spät im Entwicklungszyklus von Fahrzeugen zum Einsatz. Klassische Anwendungen hierbei sind vor allem Abgasemissions-, Homologations- oder Kon-

formitätsprüfungen auf Rollenprüfständen. Diese Erprobungsszenarien werden oftmals von den Fahrzeugherstellern selbst durchgeführt oder an externe Dienstleister abgegeben. Aus diesem Grund lässt sich aus Abbildung 6.3 erkennen, dass der Einsatz von Gesamtfahrzeugprüfständen im Rahmen der Fahrzeugentwicklung überwiegend Stand der Technik ist.

Bei genauerer inhaltlicher Analyse der Antworten aus den Befragungen in Kombination mit einer zusätzlichen Recherche der Verkaufszahlen von Gesamtfahrzeugprüfständen im Unternehmen unter Aufteilung zwischen Rollen- und Gesamtfahrzeugantriebsstrangprüfständen lassen sich deren Stellenwerte anders darstellen (Abbildung 6.4). Eine quantitative Analyse, wie viele solcher Prüfstände im Rahmen der Fahrzeugentwicklung eingesetzt werden, kann im Rahmen dieser Auswertung nicht vorgenommen werden, eine Strömung der Einsatzszenarien auf Basis der Antworten lässt sich aber trotzdem ableiten. In weiterer Folge stehen aber auch einzelne Erprobungsmethodiken auf verschiedenen Plattformen im Vordergrund.

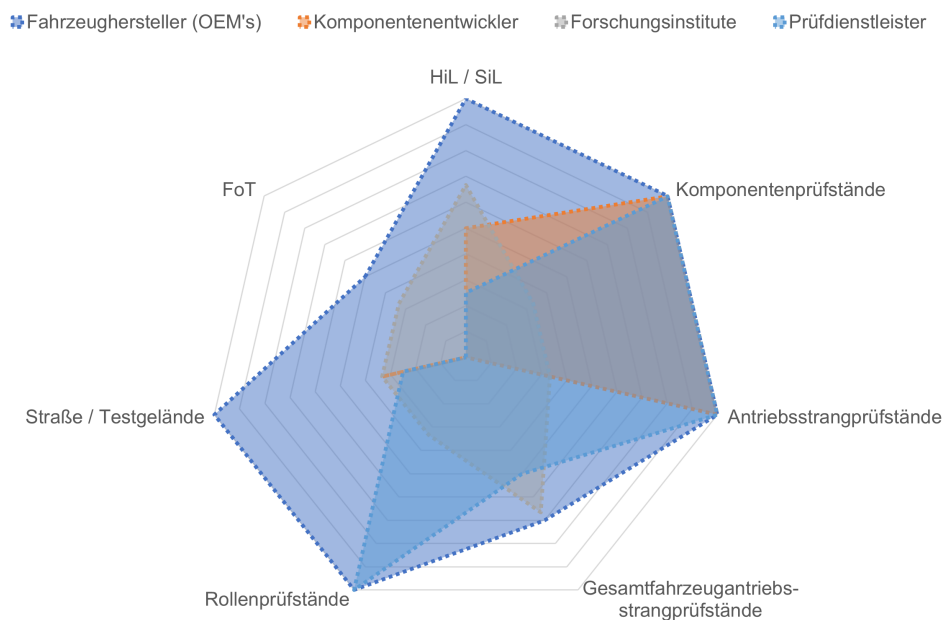


Abb. 6.4: Einsatz von Erprobungsplattformen bei unterschiedlichen Stakeholdern mit zusätzlicher Aufteilung der Gesamtfahrzeugprüfstände in Gesamtfahrzeugantriebsstrang- bzw. Systemintegrations- und Rollenprüfstände, Quelle: Eigene Darstellung.

Durch den Technologiewandel hin zum softwaredefinierten Fahrzeug setzen viele Fahrzeughersteller klassische Antriebsstrangprüfstände und Gesamtfahrzeugantriebsstrangprüfstände zur frühzeitigen Erprobung des Gesamtsystems vor der Straßenerprobung ein. Viele dieser Prüfstände haben in Kombination mit der virtuellen Entwicklung einen hohen Stellenwert, sodass einige Meilensteine auch auf dem Prüfstand erreicht werden können. Ein enormer Vorteil für den Bereich der Prüfstandserprobung ist die große Flexibilität mit zusätzlicher Messtechnik sowie die im Vergleich zur Straßenerprobung relativ kurzen Versuchsiterationen. Nichtsdestotrotz erfolgen viele Erprobungen für Verbundfreigaben (VR-Absicherungen) im Kontext der Straßenerprobung.

Aus den Interviews mit Fahrzeugzulieferern und Komponententwicklern lässt sich aber festhalten, das An-

triebsstrangprüfstände zur Erprobung für viele Bereiche eingesetzt werden, Gesamtfahrzeugprüfstände unabhängig der Topologie des Prüfstandssystems (Rollenprüfstand bzw. Gesamtfahrzeugantriebsstrangprüfstand) aber wenig Anwendung finden. Dies lässt sich durch den Blick auf die operative Ebene dieser Stakeholder im Prozess der Fahrzeugentwicklung dadurch erklären, dass in diesem Bereich oftmals das Gesamtsystem nicht im Fokus steht. Darüber hinaus fällt ein Hauptanwendungsgebiet für Rollenprüfständen in Kombination mit Abgasemissionsmessungen zusehends weg.

Der Ausschlag beim Einsatz von Gesamtfahrzeugprüfständen bei Forschungs- oder Technologieinstituten lässt sich auf den überwiegenden Einsatz im Kontext der Methodenentwicklung für automatisierte oder autonome Fahrfunktionen erklären. Je nach Ausprägung des Untersuchungsinteresses können beide Prüfstandstechnologien eingesetzt werden, wobei Rollenprüfstände eher durch deren bessere Verfügbarkeit punkten, während Gesamtfahrzeugantriebsstrangprüfstände auch hochdynamische Versuche in Kombination mit einem großen Modelleinsatz punkten können. Durch eine zusätzliche Recherche lässt sich zudem festhalten, dass viele Gesamtfahrzeugprüfstände in den letzten Jahren durch Förderungen realisiert worden sind. Dadurch lässt sich ableiten, dass der Fokus dieser Erprobungsplattformen bei diesem Stakeholderbereich nicht auf dem kommerziellen Einsatz liegt.

Straße / Testgelände:

Die Straßenerprobung auf einem Testgelände oder auf der Teststrecke stellt einen wichtigen Schritt im Fahrzeugentwicklungsprozess dar. Dabei liegt der Fokus oftmals auf der Inbetriebnahme, Applikation und Absicherung verschiedener Funktionen und Systeme im Gesamtsystem. In frühen Phasen der Entwicklung werden auch Konzeptvergleiche und -absicherungen im Gesamtsystem angestrebt, um weitreichende Entscheidungen im Entwicklungsprozess fundiert entscheiden zu können. Dazu besteht für sehr viele Fahrzeughersteller an dieser Stelle immer eine Abhängigkeit der Jahreszeiten über den Entwicklungszyklus. Die Tatsache, dass einzelne Funktionen auf unterschiedliche Reibwerte angewiesen sind und diese oft nur in den Wintermonaten darstellbar sind, macht eine Testphase außerhalb der Wintermonate sehr schwierig, bis unmöglich. Gerade im erstem Winter ist eine Bedatung oder Konzeptbestätigung mit sehr hohem Aufwand verbunden. Nachteilig neben dem relativ hohen Aufwand für diese frühzeitige Verlagerung ins Gesamtsystem in Form der Prototypenerprobung ist, dass häufig unzureichende Reifegrade für viele Komponenten, Funktionen und Systeme bestehen. Dadurch ist einerseits die produktive Erprobungszeit deutlich eingeschränkt und andererseits wird die Aussagekraft gewisser Ergebnisse der Versuchsdurchführung geschwächt.

Wie zuvor kurz angeschnitten, beschäftigt sich ein Großteil des Erprobungsumfangs mit der Applikation, Verifikation und Validierung von antriebs- und fahrwerksnahen Funktionen und Systemen, dessen Sicherheit, Funktionalität und Fahrbarkeit. Dabei spielen auch verstärkt Bereiche wie Fahrerassistenzsysteme, Sicherheitsfunktionen, Vernetzungsthemen im und um das Fahrzeug eine große Rolle. Die Kombination dieser Systeme mit vielen Fahrzeugsensoren und -aktoren mit den Umgebungs- und Umweltbedingungen erfordern eine weitreichende Erprobung im realen Umfeld. Viele Verbundfreigaben (VR-Release) werden durch diese Erprobungsplattform nach

erfolgreicher Durchführung vorbestimmter Fahrmanöver und -szenarien erteilt.

Für Prüfdienstleister oder Komponentenentwickler spielt diese Erprobungsplattform nur eine untergeordnete Rolle. Das lässt sich überwiegend dadurch erklären, dass diese Stakeholderbereiche den Fokus auf Einzelsystemen, Modulen oder Komponenten haben und nicht auf der Erprobung im Gesamtsystem unter realen Bedingungen. Straßenversuche auf dem Erprobungsgelände oder der Teststrecke werden von diesem Stakeholderbereich meist nur in Form von Aggregateträgern durchgeführt, in welche entwickelte und hergestellte Komponenten (z. B. Antriebsachse) eingebaut werden. Dadurch sollen diese Kernprodukte, einzelne Komponenten, im Kontext des Gesamtfahrzeugs für aktuelle und potentielle Kunden spürbar gemacht werden. Dies erfolgt häufig im Kontext von Driving-Experience-Days, um die Haptik, das Fahrverhalten und das Fahrgefühl im Gesamtfahrzeug präsentieren zu können.

Diese Herangehensweise stellt einen besonders hohen Aufwand und immer wieder eine großer Herausforderung für viele Prüfdienstleister und Komponentenlieferanten dar. Der Einbau von unterschiedlichen Komponenten bedarf vieler Adaptionen im Aggregateträger. Das betrifft neben den mechanischen oder elektrischen Modalitäten auch verschiedene Schnittstellen zu überlagerten Funktionen, damit die schlussendlich zu präsentierenden Komponenten im übrigen Fahrzeugverbund sinnvoll verwenden zu können. Dazu müssen nicht selten viele Funktionen und Systeme im Gesamtsystem auch deaktiviert werden.

Im Rahmen der Erprobung auf der Straße oder auf dem Erprobungsgelände richtet sich der Fokus bei Forschungseinrichtungen überwiegend auf die Entwicklung, Validierung und Verifikation von Fahrerassistenzsystemen im Kontext des autonomen Fahrens sowie der Entwicklung von dazu notwendigen Prüfmethode für die Simulation oder für die modellbasierte Erprobung auf Prüfständen. Die Schwerpunkte der Untersuchungen sind überwiegend abhängig des Forschungsprojektes. Dabei reicht die Bandbreite im Fahrzeugkontext von der Untersuchung von Fahrerassistenzsystemen (z. B. Müdigkeitssysteme) bis hin zu automatisierten Fahrfunktionen (z. B. Spurhalteassistent, Notbremsassistent).

Durch die Tatsache, dass die Erprobung von diesen Funktionen und Systemen extrem aufwändig ist und eine Vielzahl an Testkilometern im realen Umfeld auf der Straße erfordert, werden im Rahmen von Forschungsprojekten auch Möglichkeiten zur Verlagerung dieser Erprobungsszenarien in die Simulation erarbeitet. Hierbei stehen besonders Umgebungs- und Umweltsimulationen (z. B. Verkehrsflusssimulationen, Fahrverhaltensmodelle, etc.) im Vordergrund. Viele dieser Entwicklungsschritte erfordern wiederum eine iterative Verifizierung und Validierung im Rahmen von realen Versuchsszenarien auf der Straße oder am Erprobungsgelände.

Field Oriented Tests:

Das Ziel bei Feldversuchen (Field Oriented Tests) ist, im Rahmen des realen Fahrbetriebs von Kundinnen und Kunden die Erprobung von Systemen und Funktionen durchzuführen. Der Vorteil dieses eher amerikanischen Erprobungsansatzes liegt dabei auf der Hand, dass eine große Bandbreite von Erprobungsszenarien skaliert über die Anzahl der Serienfahrzeuge durchgeführt werden können. Besonders im Kontext des Design of Experiments für ADAS/AD-Funktionen kann dieser Ansatz durchaus Sinn ergeben, um eine große Varianz von relevanten

Fahrsituationen abbilden zu können.

Bei OEMs aus dem mitteleuropäischen Raum spielen diese Art der Versuche nur eine untergeordnete Rolle. Häufig werden einige identifizierbare Fehlerfälle aus Vorserienfahrzeugen, welche beim normalen Betrieb aufgetreten sind, in die bestehenden Erprobungskataloge mit sämtlichen Versuchsszenarien und -manövern mitaufgenommen, sofern hierzu eine fundierte Notwendigkeit dazu besteht. Das aber die tatsächliche Erprobung einzelner Funktionen auf Kundinnen und Kunden abgegeben wird, entspricht oftmals nicht den Werten und Herangehensweisen vieler europäischer Fahrzeughersteller.

6.2.2.3 Erprobungsmethodiken auf unterschiedlichen Plattformen

Im Folgenden liegt der Fokus besonders auf der Versuchsdefinition und -durchführung auf unterschiedlichen Erprobungsplattformen im Kontext der Erprobungsmethodik. Grundsätzlich kann auf Basis der Meinungen der Expertinnen und Experten festgehalten werden, dass eine strukturierte Vorgehensweise zur Erprobung auf unterschiedlichen Plattformen über alle Stakeholderbereiche existiert. Durch die Bezugnahme der Analysekatoren zur Erprobungsvorbereitung und -durchführung, im Speziellen der Prüfaufgabendefinition, zu den Erprobungsmethodiken und -plattformen lassen sich konkrete Handlungsempfehlungen zu aktuellen und zukünftigen Einsatzmöglichkeiten von Prüfständen ableiten.

Fahrzeughersteller entwickeln sich bzw. ihre Erprobungsmethoden kontinuierlich in die Richtung, dass viele Teilbereiche im Rahmen der Systemintegration unter Methoden bzw. Simulationseinsatz auf dem Prüfstand durchgeführt werden können. Durch diese Vorgehensweise sollen neben der Reduktion der Abhängigkeiten zu äußeren Einflüssen bei der Straßenerprobung (z. B. Jahreszeitenabhängigkeit für Konzeptvalidierungen am Anfang des Entwicklungszyklus) auch die Vergleichbarkeit von Erprobungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Entwicklungsprozess steigen. Ein Grund, weshalb dieser Prozess der Verlagerung hin zur simulationsgestützten Prüfstandserprobung aber relativ langsam voranschreitet, ist, dass die komponentenorientierte Organisationsstruktur vieler Fahrzeughersteller mit ihrer Baukastenentwicklung und dazu abhängigen Erprobungsprozessen (z. B. Erprobungsziele sind vordefinierte Kennzahlen oder Leistungsdaten) im Gegensatz zum szenarien- bzw. manöverbasierten Ansatz aus dem Gesamtsystem steht.

Darüber hinaus ist der Aufwand für die Entwicklung, Validierung und Absicherung von modellbasierten Prüfmethoden durch die, abhängig des Szenarios, unterschiedlich starken Abhängigkeiten zu Simulationsmodellen für verschiedene Hardware- und Softwareplattformen eine große Herausforderung. Zudem bestehen in vielen Fällen auch inhomogene Softwarepakete über verschiedene Prüffelder hinweg durch den Einsatz von Prüfstandsequipment unterschiedlicher Hersteller.

Erprobung im Gesamtsystem (auf Gesamtfahrzeugprüfständen):

Die grundlegende Definition für die Erprobung im Gesamtsystem ist die Festlegung der Untersuchungsschwerpunkte sowie der dafür notwendigen Erprobungsszenarien- bzw. manövern. Dabei resultieren diese Versuchsdefinitionen bei Fahrzeugherstellern oftmals aus individuellen Prüfkatalogen. Viele dieser Prüfkataloge enthal-

ten dabei zumeist Szenarien, welche die Anforderungen an gewisse Funktionen gezielt bei unterschiedlichen Umgebungs- bzw. Umweltbedingungen im Rahmen der Erprobung auf der Straße testen. Zusätzlich werden immer wieder Szenarien als Testobjekte gewisser Fahrzeugfunktionen zu definierten Konditionen in den Katalog aufgenommen, bei denen es in der Vergangenheit gravierende Probleme gegeben hat. Abgerundet werden viele Prüfkataloge oftmals durch den Zusatz aus relevanten Versuchen für die Zertifizierung bzw. Typisierung von Fahrzeugen oder Teilelementen (z. B. EuroNCAP, UN ECE, UN GTR 21 für Systemleistungsmessungen bei Elektrofahrzeugen).

Um die aufwendige, kostenintensive und in vielen Bereichen notwendige Erprobung im Gesamtsystem auf der Straße nicht durch unzureichende Reifegrade einzelner Komponenten oder grundlegenden Inbetriebnahmeproblemen (z. B. Vernetzung einzelner Komponenten und Steuergeräte, Applikation von Basisfunktionen, etc) zu verschwenden wird versucht, viele Versuchsszenarien auf Gesamtfahrzeugprüfstände oder Antriebsstrangprüfstände in Kombination mit Simulationsmodellen vorzulagern. Am Prüfstand besteht oftmals die Möglichkeit einzelne Teilbereiche, welche den erfordernten Produkt- bzw. Komponentenreifegrad nicht erfüllen durch entsprechende Simulationen zu ersetzen. Diese Simulationsmöglichkeiten umfassen neben der Simulation physikalischer Komponenten auch Verhaltensmodelle zur Simulation von Steuergeräten.

Darüber hinaus ist es auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen üblich, dass neben der funktionalen Erprobung von Systemen auch Sicherheitsfunktionen im Fokus stehen. Durch diese Vorgehensweise wird die Sicherheit für reale Erprobungen auf der Straße oder auf dem Testgelände massiv gesteigert. In vielen Fällen ist es aber so, dass eine Freigabe von spezifischen Funktionen oder Systemen am Prüfstand nicht zu einer Verbundfreigabe führen, dafür werden immer auch Ergebnisse von reale Erprobungsszenarien berücksichtigt. Eine Nicht-Freigabe am Prüfstand kann aber durchaus zu einer Nicht-Freigabe des Verbundrelease führen. Daher fungieren Gesamtfahrzeugprüfstände im Rahmen der Fahrzeugentwicklung aktuell primär als Enabler für die Fahrzeugerprobung auf der Straße. Es sei an dieser Stelle aber erwähnt, dass sowohl die modellbasierte Prüfstandserprobung und auch die Erprobung auf der Straße oder am Versuchsgelände sofern möglich parallel durchgeführt werden.

Aus den Interviews mit vielen Fahrzeugherstellern kristallisiert sich besonders das Thema Konzeptanalysen und Entscheidungsfindungen in sehr frühen Entwicklungsphasen des Produktentstehungsprozesses als große Stärke von Gesamtfahrzeugprüfständen (ViL) heraus, denn es werden keine voll umfassenden Prototypen gebraucht (Abbildung 6.5).

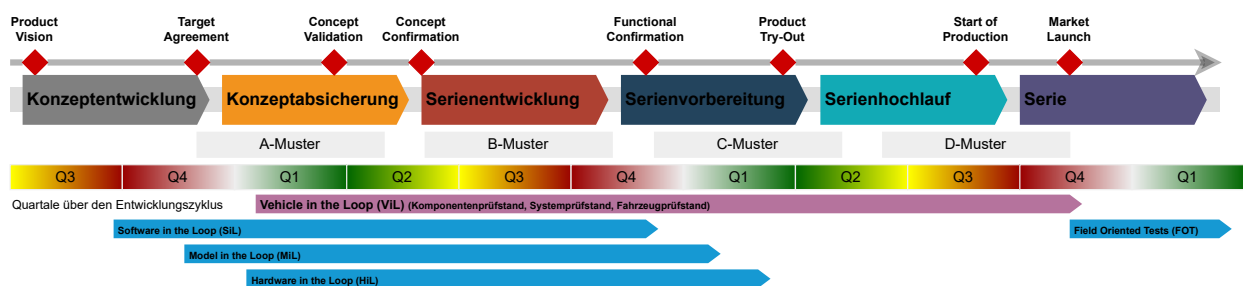


Abb. 6.5: Darstellung eines exemplarischen Produktentstehungsprozess im Kontext des Kalenderjahres, Quelle: Eigene Darstellung.

Nicht notwendige Elemente wie die Karosserie, das Fahrwerk oder notwendige Sensorsignale für bestimmte Funktionen werden durch Simulationen am Prüfstand ersetzt. Dadurch wird eine Versuchsdurchführung azyklisch zum jahreszeitabhängigen Erprobungszyklus von Straßenerprobungen ermöglicht (z. B. Wintererprobung auf unterschiedlichen Fahrbahnbelägen bzw. -beschaffenheiten).

Zurückkommend auf die Erprobung im Gesamtsystemkontext unter Modell- bzw. Simulationseinsatz auf Prüfständen stehen den Vorteilen auch Nachteile bzw. Aufwände gegenüber. Neben dem Aufwand für die Methodentwicklung werden vor allem folgende Faktoren als große Herausforderungen angesehen:

- Steigende Komplexität der Prüfmethoden durch den großflächigen Simulationseinsatz
- Verifizierung und Validierung von Simulationsmodellen
- Bewusstsein von Systemgrenzen der Modellierung
- Abhängigkeit zu internen und externen Know-How-Trägern für die Modellierung und Absicherung

Wie bereits erwähnt, müssen für die realitätsnahe Abbildung von verschiedenen Fahrzeugfunktionen nicht vorhandene oder unzureichend beanspruchte reale Systemelemente (z. B. Fahrzeugkarosserie und dessen Sensorik) durch Simulationen in Kombination mit vielen Prüfeinrichtungen (z. B. Belastungsmaschinen für den Antriebsstrang, Sensorstimulation für Kamera oder Radar, Streckensimulation, etc.) ersetzt werden. In Abhängigkeit der Fahrfunktion, dessen Vernetzung zu anderen Komponenten im Kontext des Fahrmanövers kann der Erprobungsaufwand enorm komplex werden.

Zusätzlich braucht es für belastbare Resultate verifizierte und validierte Prüfmethoden, sowie das Bewusstsein von Systemgrenzen im Rahmen der Modellierung. Unter Umständen lassen sich ohne spezielle Voraussetzungen einige Versuche nicht unmittelbar am Prüfstand durchführen.

Neben dieser Faktoren besteht in vielen Fällen auch eine gewisse Abhängigkeit zwischen den organisatorischen Bereichen der Erprobung zu internen und externen Know-How-Trägern. Dazu zählen neben der Fachbereiche bei vielen Fahrzeugherstellern auch Komponentenlieferanten (z. B. Hersteller von Sensoren und Aktoren), Prüfstandshersteller, Forschungsinstituten und viele weitere.

Erprobung im Einzelsystem:

Wie bereits bei der Analyse zur den Einsatzszenarien von Erprobungsplattformen über verschiedene Stakeholder festgestellt, nehmen Gesamtfahrzeugprüfstände besonders bei Komponentenentwicklern eine eher untergeordnete Rolle ein. Theoretisch ist die Verlagerung der szenarien- oder manöverbasierten Versuchsdurchführung mit diversen modell- und simulationsgestützten Erprobungsmethoden aber auch auf frühere Entwicklungsphasen und damit andere Prüfplattformen möglich. Dahingehend könnten auch reale Einzelsysteme (z. B. Bauteile, Komponenten oder Module) auf Basis von Versuchsszenarien aus dem Gesamtsystem erprobt werden.

Durch die Bezugnahme der Erprobungsvorbereitung und Versuchsdefinition mit dem Einsatz von verschiedenen

Erprobungsplattformen lässt sich für den Stakeholderbereich der Komponentenzulieferer festhalten, dass Prüfstände ein zentrales Element der Erprobung darstellen, die Erprobung aber überwiegend im Einzelsystem ohne Methoden- oder Simulationseinsatz stattfindet.

In vielen Fällen erfolgt die Definition der Prüfanforderungen gleichzeitig mit der Anforderungsdefinition an die zu entwickelnden Komponenten selbst. Auch die Versuchsziele bestehen oftmals nur aus statischen Kennwerten (z. B. Leistungsdaten). Diese Faktoren fokussieren die Versuchsdefinition und -durchführung auf die statische Erprobung in Form von Lastprofilen (z. B. Drehzahl/Drehmoment-Profile, Strom-/Spannungsverläufe).

Eine Versuchsdurchführung aus dem Gesamtsystem, auch wenn der Fokus dabei auf der Komponentenentwicklung und -absicherung liegt bzw. liegen kann, ist auch im Hinblick auf die Ebene dieser Stakeholder im Rahmen der Systemintegration nicht möglich (Abbildung 6.6). Gerade diese Faktoren führen dazu, dass die Erprobung auf Komponentenprüfständen oder klassischem Antriebsstrangprüfständen unter Ausschluss von Modell- oder Simulationseinsatz stattfinden.

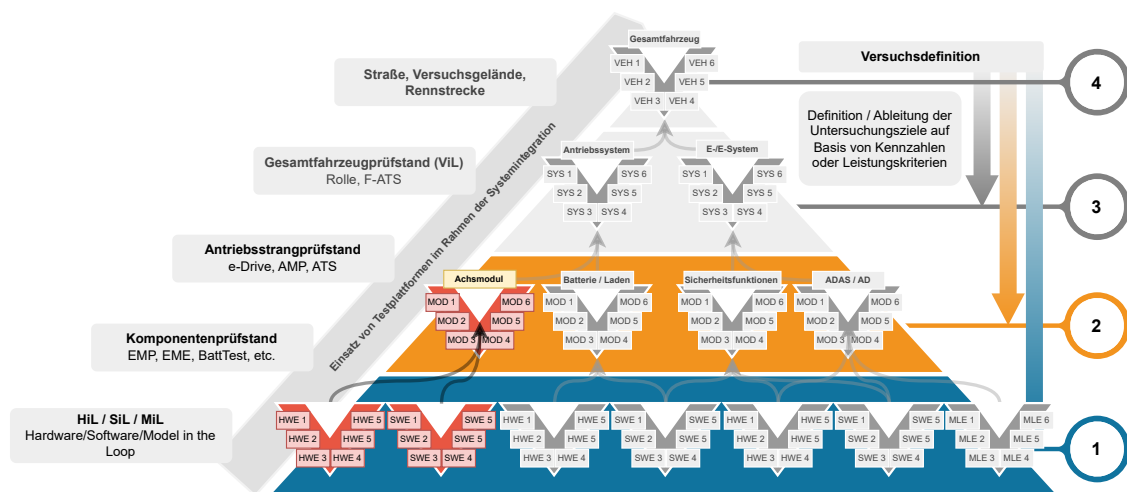


Abb. 6.6: Einsatz von Erprobungsplattformen im Rahmen der Systemintegration aus der Sicht von Zulieferunternehmen von Komponenten oder Modulen, Quelle: Eigene Darstellung.

Darüber hinaus gibt es bei vielen Komponentenentwicklern oder Prüfdienstleistern nicht die Möglichkeit, große Frameworks für die methoden- bzw. simulationsunterstützte Erprobung auf Prüfstandssystemen zu entwickeln und zu verifizieren. Das liegt einerseits an der Abhängigkeit daran, das oftmals das Gesamtsystem nicht sichtbar oder überhaupt noch nicht verfügbar ist, andererseits an der großen Abhängigkeit zu sehr überwiegend externen Know-How-Trägern und der dabei oftmals unzureichenden Informationsweitergabe. In vielen Fällen ist das auch aus Datenschutzgründen einfach nicht möglich.

Wie zuvor festgehalten, geht der Fokus bei Fahrzeugherstellern frühzeitig ins Gesamtsystem, weshalb auch die Erprobung eher aus Gesamtsystemsicht forciert wird. Nichtsdestotrotz erfolgt in vielen Fällen die Erprobung von Komponenten und Modulen auf Basis von statischen Anforderungen. Für diese Fälle resultieren dann oftmals un-

zureichende oder nicht aussagekräftige Ergebnisse auf Prüfständen, da viele dieser synthetischen Belastungen nicht den Belastungen im späteren Gesamtsystem, im Gesamtfahrzeug, entsprechen.

6.2.2.4 Erprobungsherausforderungen bei der modellbasierten Prüfstandserprobung

Eine der größten Herausforderung für die Erprobung aus dem Gesamtsystem am Prüfstand ist auf jeden Fall die Inbetriebnahme der Fahrzeugkomponenten und -verbundsysteme aufgrund der Komplexität auf dieser Systemebene. Darüber hinaus kommen neben den niedrigen Reifegraden von realen Komponenten, wobei darunter nicht nur Hardware- sondern auch Softwarekomponenten fallen (z. B. Antrieb, Fahrfunktionen, Fahrapplikation, etc.), auch relativ oftmals unerprobte Versionsstände und Parametrierungen für unterschiedliche virtuelle Komponenten zum Einsatz (Fahrzeugsimulation, Restbussimulation, Sensorsimulationen oder -stimulationen, etc.).

Neben den Vernetzungsthemen zwischen Prüflings- und Prüfstands- bzw. Simulationskomponenten ist die Konfiguration und Parametrierung der Prüfmethode eine große Herausforderung. Über den gesamten Entwicklungszyklus wird in diesem Kontext besonders bei Fahrzeugherstellern über Schwierigkeiten geklagt. Einerseits ist die Parametrierung und Konfiguration der Simulationsmodelle zu frühen Entwicklungszeitpunkten schwierig, da für viele Parameterwerte oftmals der Vergleich zu Messungen im Kontext der Straßenerprobung (noch) fehlt. Dieser kann und soll bekanntermaßen erst zu späteren Zeitpunkten durchgeführt werden. Andererseits bestehen zu späteren Zeitpunkten zwar Messungen aus dem realen Gesamtsystem auf der Straße oder dem Erprobungsgelände, die objektive Bewertung von relevanten Rahmenbedingungen in Kombination mit dem Aufwand für die Überführung in die Konfiguration und Parametrierung ist extrem aufwendig (z. B. Nässe auf der realen Straße, wie sieht die Veränderung der Reibwerte tatsächlich aus, sodass eine Einstellung auf dem Prüfstand möglich ist?). Dieser Vergleich für die Simulations- bzw. Modellabsicherung muss aber in jedem Fall durchgeführt werden, sodass belastbare Ergebnisse vorliegen.

In vielen Konzernen ist die Erprobung auf Prüfständen über den gesamten Prozess ein zentrales Element der organisatorischen Einheit für die Entwicklung des Antriebs und Fahrwerks. Daraus lässt sich analysieren, dass die Erprobung von überlagerten und hoch vernetzten Funktionen und Systemen (z. B. automatisierte und autonome Fahrfunktionen), für diesen Bereich nicht im Fokus stehen - und damit auch nicht als Schwerpunkte bei der Erprobung auf Prüfständen sind. Nichtsdestotrotz werden viele Potentiale hinsichtlich der Erprobung von vernetzten Fahrfunktionen auf Prüfständen gesehen. Vor allem die unzähligen Testkilometer unter beherrschbaren Bedingungen werden notwendig sein.

In diesem Kontext liegt der Untersuchungsschwerpunkt bei einigen Forschungsunternehmen unter anderem in der Entwicklung von Prüfmethode für die Simulation oder den Prüfstand. Das Ziel im Rahmen vieler Forschungsprojekte ist, die virtuelle Erprobung hinsichtlich des unvorstellbaren Aufwandes für die Erprobung und Absicherung von Fahrerassistenz- oder ähnlichen Systemen dadurch zu beschleunigen. Dazu lassen sich vor allem drei Schwerpunkte herausarbeiten:

- Komplexität des Gesamtsystems im Fahrzeug

- Modellierung einzelner Elemente von den Kernelementen bis zur Umgebung und Umwelt
- Varianz hinsichtlich Umwelt- und Umgebungsbedingungen

ADAS-Systeme bestehen aus einer Vielzahl von Sensoren, Aktoren und Algorithmen, die miteinander in unterschiedlichen Situationen interagieren müssen. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Hersteller verschiedener Komponenten (z. B. Sensorhersteller). Besonders auch durch den Einsatz von künstliche Intelligenz (KI) bei solchen Systemen sind diese zwar deutlich besser – aber auch um einen guten Faktor komplexer geworden. Dazu braucht es einen Einblick in viele Blackbox-Systeme von Fahrzeugherstellern aus Sicht von Forschungsunternehmen, was aus Gründen des Know-How-Schutz und der Datensicherheit oftmals schwierig ist. Wie zuvor bereits erwähnt, bestehen viele Fahrzeugfunktionen aus einer Vielzahl an unterschiedlichen Sensoren, wobei diese teilweise auf grundverschiedenen physikalischen Prinzipien (z. B. Kamera, Lidar, Radar und Ultraschallsensoren) basieren. Alle diese Teilbereiche müssen aber bei einem Fahrmanöver in der Simulation oder am Prüfstand in Echtzeit aufeinander abgestimmt sein. Daher bestehen neben den Schwierigkeiten zur Definition von Anforderungen und Zielen für die Modellierung auch Herausforderungen im Gesamtsystem. Zusätzlich müssen solche Systeme bei einer großen Bandbreite an Umwelt- und Umgebungsbedingungen fehlerfrei funktionieren (z. B. bei Nacht, bei Regen oder auf Schnee, bei Sonneneinfall). Alle diese Faktoren sind im Hinblick auf die modellhafte Abbildung für die Erprobung relevant, aber schwer zu definieren bzw. quantifizieren.

7 Handlungsempfehlung

Die Vorteile der modellbasierten Erprobung im Gesamtsystem auf Prüfständen im Vergleich zur Versuchsdurchführung mit Prototypen im Rahmen der Straßenerprobung überwiegen den Nachteilen bei vielen Fahrzeugherstellern auf Basis der zuvor analysierten Gesichtspunkte. Das macht aber auch eine strukturierte Vorgehensweise der Methodenentwicklung und -absicherung für den Einsatz von Antriebsstrang- bzw. Gesamtfahrzeugprüfständen im Rahmen der Fahrzeugentwicklung über weite Bereiche essentiell. Gerade die Bandbreite in Kombination mit der Komplexität einzelner Teilbereiche ist für die Modell- und Simulationsentwicklung von szenario- bzw. manöverbasierten Tests eine große Herausforderung. Besonders aus der Sicht der Prüfstandsentwicklung, da in vielen Bereichen für die Modellentwicklung der notwendige Know-How-Transfer von Fahrzeugherstellern oder Komponentenlieferanten fehlt.

Um den modellbasierten Erprobungsansatz in der Fahrzeugentwicklung trotzdem forcieren zu können, empfiehlt sich eine Coopetition zwischen verschiedenen Stakeholdern. Darunter fallen für die aktuelle Betrachtung der Stakeholderbereich von Prüfstandsherstellern, Fahrzeugentwicklung bis zur Komponentenentwicklung (Abbildung 7.1).

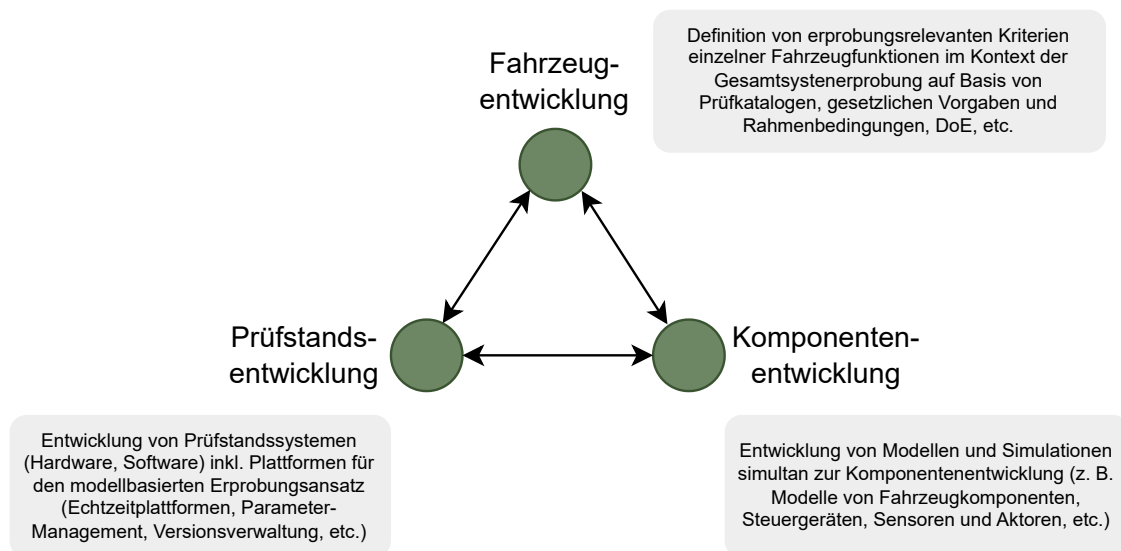


Abb. 7.1: Coopetition zwischen verschiedenen Bereichen der Fahrzeugentwicklung, Quelle: Eigene Darstellung.

Beginnend bei der Stakeholderposition für die Fahrzeugentwicklung braucht es auf der einen Seite zur Bewältigung des größer werdenden Aufwands der Erprobung im Gesamtsystem bei gleichzeitiger Forderung zur Reduktion von Entwicklungszeiten und -kosten eine Verlagerung auf andere Erprobungsplattformen (z. B. Simulationen, Prüfstände). Auch die Definition von erprobungsrelevanten Kriterien und Anforderungen einzelner Funktionen und Systeme aus dem Gesamtsystemkontext kann nur durch diese Stakeholderposition erfolgen. Auf der anderen Seite gibt es eine starke Abhängigkeit von Fahrzeugherstellern zur Komponentenentwicklung, besonders im Kontext der Sensorik, Aktorik oder Algorithmen beispielsweise für den Einsatz bei automatisierten

Fahrfunktionen. Diese Abhängigkeit beschränkt sich aber nicht nur auf quantifizierbare Faktoren wie Kosten oder Stückzahlen, auch der Technologietransfer (Know-How-Transfer) dieser komplexen Einzelemente und Systeme spielt hierbei eine tragende Rolle. Zur vorgezogenen Erprobung im Gesamtsystem in Form von virtuellen Umgebungen oder Co-Simulationen auf Prüfständen in der Fahrzeugentwicklung besteht somit auch eine Notwendigkeit der Technologiedistribution, sodass eine elementare Simulationsentwicklung für den Fahrzeughersteller möglich wird. Dieser Technologietransfer ist für viele Hersteller von unterschiedlichen Bauteilen, Komponenten, Modulen oder Systemen aus strategischen und wirtschaftlichen Hintergründen nicht immer sinnvoll.

Durch eine Virtualisierung realer Komponenten bereits an dieser Stelle des Coopetition-Dreiecks entsteht eine Abhängigkeit in beidseitigem Interesse. Zum einen wird aus Sicht der Fahrzeughersteller ein elementarer Teil der Simulationsentwicklung und -absicherung bereits abgedeckt, sodass der Fokus auf das Gesamtsystem gerichtet werden kann, zum anderen wird der großflächige Einsatz realer Produkte von Komponentenherstellern bevorteilt. Darüber hinaus ist die Kompetenz für die Modellierung von Komponenten an keiner Stelle im Entwicklungszyklus über sämtliche Stakeholderbereiche größer als beim Hersteller selbst - ähnlich die Situation bei Fahrzeugherstellern im Kontext des Gesamtsystems. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist mit Sicherheit die Schnittstellendefinition, die es aber auch bereits für reale Komponenten gibt bzw. geben muss.

Wie einleitend erklärt, braucht es für eine Beschleunigung des Erprobungsprozesses den Einsatz von unterschiedlichen Prüfständen, wobei hierbei Rahmenbedingungen zur zusätzlichen Integration der virtuellen Komponenten (Modelle, Simulationen o. ä.), auch über viele Prüfstandsvarianten (Co-Simulationen) hinweg, bestehen muss. Eine Variante hierzu wäre eine übergreifende Plattform, auf welcher der Austausch von Modellen und Simulationen beispielsweise in Form von Bibliotheken, Functional Mock-up Interfaces (FMI)¹¹⁷ oder Kompilaten (z. B. verschlüsselte Modelle) mit Funktions- und Schnittstellenbeschreibungen stattfindet. Der elementare Technologietransfer kann in weiterer Folge durch den Austausch von Simulationsmodellen in Form von Kompilate auf eine funktionelle Ebene angehoben werden.

Für die Definition einer Plattform zur Modellierung braucht es höchstwahrscheinlich eine Übereinkunft aller Stakeholderbereiche, wobei auch hier möglicherweise unterschiedliche Varianten abhängig des Einsatzszenarios denkbar wären (z. B. Echtzeitsimulationen vs. Officesimulationen). Zusätzlich müssen weitere Aufgaben wie ein Parameter-Management sowie eine Versionsverwaltung von Simulationsmodellen und dessen Parametrierungen abgehandelt werden können, sodass ein durchgängiger Einsatz möglich wird.

Neben der Entwicklung und Integration von modellbasierten Erprobungsmethoden braucht es eine adäquate Absicherung, Verifikation und Validierung der Prüfmethode und dabei sämtlicher eingesetzter Modelle und Simulationen in definierten Verbundsystemen. Dieser softwarelastige Prozess kann grundlegend an den Softwareentwicklungszyklus angelegt werden. Abbildung 7.2 stellt schlussendlich eine Weiterentwicklung des Vorgehensmodells dar, wobei der Einsatz nicht unmittelbar auf eine bestimmte Ebene der Systemintegration im Fahrzeugentwicklungsprozess beschränkt ist. Durch diese Vorgehensweise könnten in weiterer Folge auch andere Stakeholder wie Komponentenlieferanten oder Forschungseinrichtungen eine modellbasierte Erprobung in der

¹¹⁷Vgl. FMI (2024), Online-Quelle [10.01.2024].

Simulation oder Co-Simulation auf Prüfständen etablieren. Klar ist an dieser Stelle, je umfangreicher der Simulationseinsatz desto umfangreicher sind auch notwendige Schnittstellen und Absicherungen um aussagekräftige und belastbare Erprobungsergebnisse zu erhalten.

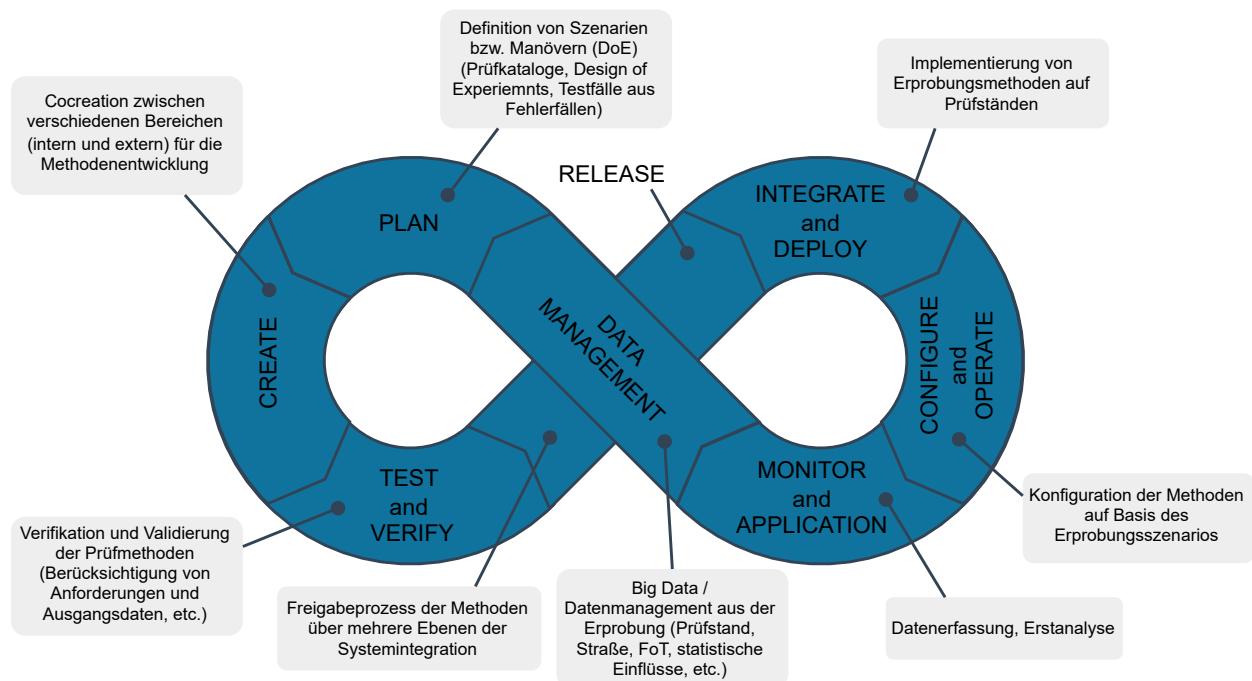


Abb. 7.2: Toolchain für einen modellbasierten Erprobungsansatz unabhängig der Ebenen im Systemintegrationsprozess unter Einbeziehung verschiedener Stakeholderbereiche, Quelle: angelehnt an Microsoft (2023), Online-Quelle [17.01.2024].

Das Vorgehensmodell zur Erprobung in der Simulation oder auf Prüfständen besteht dabei aus 8 Schritten, welche im Rahmen der Fahrzeugentwicklung und -erprobung in iterativen Schleifen wiederholt werden. Der Prozess der Methodenentwicklung startet elementar mit der Planung und Definition (*PLAN*) von Anforderungen und Erprobungszielen in Form von Prüfscenarien bzw. Fahrmanövern. Diese Definitionen resultieren bei OEMs oftmals bereits aus Prüfkatalogen für die Erprobung auf der Straße oder auf dem Testgelände. Weitere Prüfanforderungen werden in Zukunft aus großen Erprobungsdaten (z. B. Big-Data) extrahiert werden müssen (Design of Experiments (DoE)). Für Komponentenlieferanten oder Prüfdienstleister resultiert die Definition von Prüfaufgaben hinsichtlich der Einzelsystemerprobung häufig aus synthetischen Daten (z. B. Leistungskennwerte, Profilvorgaben, etc.). Diese grundlegenden Versuche bezüglich der funktionalen Leistungsfähigkeit, Robustheit, Qualität und Energieeffizienz werden, wie zuvor analysiert, oftmals im Einzelsystem ohne Abhängigkeiten oder Querverwirkungen zu anderen Fahrzeugelementen durchgeführt. Dadurch entstehen oftmals am Prüfstand auch Belastungen und Verhaltensmuster, die nicht wirklich der Realität entsprechen und somit nicht aussagekräftig sind. Durch den durchgängigen Methoden-, Modell- und Simulationseinsatz im Rahmen des Systemintegrationsprozess werden diese rudimentären Anforderungsdefinitionen durch Manöver- oder Szenariendefinitionen auch für die dabei eingesetzten Prüfstandsplattformen abgelöst, wodurch eine realitätsnahe Erprobung von Einzelkomponenten im Gesamtsystemkontext erfolgen kann.

Nachgelagert zur Definition der Erprobungsmethodik braucht es in Abhängigkeit zur Erprobungsplattform eine Entwicklung und Umsetzung (*CREATE*) der notwendigen Simulationsmodelle (z. B. Fahrzeugmodell, Reifenmodell, Sensormodelle, etc.) oder zusätzlichen Prüfstandsequipments (z. B. Radar-Target-Stimulator, virtuelle Streckenprojektion, etc.). Hierbei ist das zuvor vorgestellte Abhängigkeitsdreieck zwischen den Stakeholdern der Fahrzeugentwicklung, Prüfstandsentwicklung und Komponentenentwicklung relevant (Abbildung 7.1). Darüber hinaus muss im nachfolgenden Prozessschritt (*TEST and VERIFY*) eine Verifikation aus gesamtheitlicher Sicht unter Berücksichtigung der definierten Anforderungen an die Prüfmethode erfolgen. Die Validierung findet hingegen auf Basis der Prüfscenarien und -manöver statt.

Für den Einsatz der Prüfmethodik auf Prüfständen braucht es die Freigabe (*RELEASE*) sowie Integration auf den jeweiligen Systemen (*INTEGRATE and DEPLOY*). Eine große Schwierigkeit dabei ist, verschiedene Simulationsmodelle im Kontext der Prüfmethodik universal auf unterschiedlichen Erprobungsplattformen einsetzen zu können. Hierbei eignen sich plattformübergreifende Modellierungsvarianten (z. B. Bibliotheken, FMI), welche aber bereits in der Entwicklung berücksichtigt werden müssen.

Der tatsächliche Einsatz der entwickelten Simulationsmodelle und Co-Simulationen im Kontext der Erprobungsszenarien und Fahrmanöver erfolgt in den nächsten Prozessschritten (*CONFIGURE and OPERATE* bzw. *MONITOR and APPLICATION*). Der letzte Prozessschritt umfasst die Ableitung von Erkenntnissen oder Problemen in Form von Erprobungsdaten (*DATA MANAGEMENT*) aus der Versuchsdurchführung, sodass Modifikationen und Verbesserungen der Prüfmethodik, der dabei notwendigen Simulationen und Co-Simulationen auch im Hinblick auf die Verifikation und Validierung vorgenommen werden können.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse der Befragungen von Branchenexperten im Rahmen der Arbeit zeigen, dass die Verlagerung von Erprobungsaufgaben auf Prüfstände in der Automobilindustrie überwiegend bei Fahrzeugherstellern (OEMs) in Gange ist oder zumindest Bestrebungen dahingehend bestehen.

Die Verlagerung von Erprobungsaufgaben auf den Prüfstand wird in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen. Die zunehmende Komplexität von Fahrzeugsystemen und die steigenden Anforderungen an die Fahrzeugsicherheit und -zuverlässigkeit erfordern eine effiziente und effektive Erprobung. Gerade die modellbasierte Prüfstandserprobung bietet hier ein großes Potenzial zur Erfüllung dieser Anforderungen. Durch die realitätsnahe Abbildung von Straßenzuständen unter Modell- und Simulationseinsatz können reproduzierbare Testbedingungen und eine beschleunigte Versuchsdurchführung im Vergleich zur Erprobung auf der Straße oder am Testgelände ermöglicht werden, wobei auch Sicherheitsaspekte verbessert werden.

Um die Verschiebung von Erprobungsaufgaben von der Straße auf den Prüfstand zielgerichtet umsetzen zu können, ist eine strukturierte Vorgehensweise zur Entwicklung von modellbasierten Prüfmethode für Prüfstände essentiell. Dazu braucht es ein fundamentales Verständnis der Anforderungen des zu erprobenden Gesamtsystems sowie dessen Einzelelemente. Darauf aufbauend lassen sich aus einer gesamtheitlichen Erprobungsanforderungen und -definition Einzelelemente hinsichtlich der Prüfmethodik ableiten, entwickeln und validieren.

Darüber hinaus ist es wichtig, die Herausforderungen bei der modellbasierten Prüfstandserprobung zu adressieren. Die modellbasierte Prüfstandserprobung bietet zwar das Potenzial zur Effizienzsteigerung und Kosteneinsparung, birgt aber auch Risiken, wie z. B. die Unsicherheit der Modellgüte. Das entwickelte Vorgehensmodell kann hier als ein hilfreiches Werkzeug dienen. Darüber hinaus ist ein zentraler Punkt die Einbeziehung verschiedener Stakeholder der Fahrzeugentwicklung bereits in die Entwicklung von Prüfstandskonzepten und -methoden im Rahmen der Erprobung des Gesamtsystems.

Die Experteninterviews mit Komponentenherstellern oder Prüfdienstleistern hat jedoch auch gezeigt, dass die Erprobung auf Gesamtfahrzeugebene nicht zwingend relevant ist, da diese Ebene im Prozess der Systemintegration für diese Stakeholder nicht wirklich sichtbar ist. Dahingehend ergibt sich für den methodenorientierten Ansatz von Prüfmethode über den Prozess der Systemintegration das Potential, durch den Einsatz von zusätzlichen Modellen und Simulationen auch weitere Prüfstandsvarianten als Gesamtfahrzeugprüfstände für die Gesamtsystemerprobung zu ertüchtigen.

Literaturverzeichnis

Online-Quellen

ADAC (2023): *Die 10 steilsten Straßen der Welt*. URL: <https://www.adac.de/reise-freizeit/reiseplanung/inspirationen/international/steilsten-strassen-der-welt/> (besucht am 05. 12. 2023).

Audi (2023a): *Mild-Hybrid 48 Volt-Antriebsstrang*. URL: <https://www.audi-mediacyber.com/de/fotos/detail/mild-hybrid-48-volt-antriebsstrang-48003> (besucht am 09. 09. 2023).

— (2023b): *Selbstsperrendes Mittendifferenzial*. URL: <https://www.audi-technology-portal.de/de/antrieb/quattro/selbstsperrendes-mittendifferenzial> (besucht am 04. 09. 2023).

AVL (2023): *Virtuelle Fahrzeugentwicklung*. URL: <https://www.avl.com/de-at/engineering/fahrzeug-engineering/fahrzeugentwicklung/virtuelle-fahrzeugentwicklung> (besucht am 25. 08. 2023).

— (2024): *AVL DrivingCube*. URL: <https://www.avl.com/de-at/messtechnik-pruefsysteme/testen-automatisierter-vernetzter-mobilitaet/avl-drivingcube> (besucht am 10. 01. 2024).

Bauer, Robert (2011): *Neues Regelkonzept für die dynamische Antriebsstrangprüfung*. URL: https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Institute/IRT/Retzhof/tagungsband_2011_01.pdf (besucht am 06. 10. 2022).

Bauer, Robert; Wilfried Rossegger et al. (2017): „Agility Simulation for Driveability Calibration on Powertrain Test Beds“. In: *International Symposium on Development Methodology*. URL: <https://www.mmp.rwth-aachen.de/cms/Mechatronics/Das-Lehr-und-Forschungsgebiet/Aktuelle-Veranstaltungen/~mqpx/7-Internationales-Symposium-fuer-Entwic/?lidx=1> (besucht am 14. 12. 2023).

Bauer, Robert; Sebastian Weber et al. (2019): „Modification of Pacejka’s Tyre Model in the High Slip Range for Model-Based Driveability Calibration“. In: *International Conference on Calibration Methods and Automotive Data Analytics*. URL: https://elibrary.narr.digital/narrelibrary/xibrary/start.xav?start=%2F%2F%2A%5B%40node_id%3D%2730545%27%5D (besucht am 27. 12. 2023).

Carhs (2022): *ADAS / ADS Companion 2022/23*. URL: <https://www.carhs.de/en/adas-ads-companion.html> (besucht am 07. 09. 2023).

Cooper, Robert G. (1990): *Stage-Gate Systems: A New Tool for Managing New Products*. URL: https://www.researchgate.net/publication/4883499_Stage-Gate_Systems_A_New_Tool_for_Managing_New_Products (besucht am 31. 08. 2023).

Dewesoft (2023): *Wie werden ADAS-Systeme und autonome Fahrzeuge getestet?* URL: <https://dewesoft.com/de/blog/testen-von-adas-systemen-und-autonomen-fahrzeugen> (besucht am 09. 09. 2023).

Eigel, Thomas (2009): „Integrierte Längs- und Querführung von Personenkraftwagen mittels Sliding-Mode-Regelung“. In: *Dissertation*. URL: https://leopard.tu-braunschweig.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbbs_derivate_00011267/Dissertation_Thomas_eigel.pdf (besucht am 27. 12. 2023).

Europäisches Parlament (2023): *EU-Verkaufsverbot für neue Benzin- und Dieselfahrzeuge ab 2035 – Was bedeutet das?* URL: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20221019STO44572/verkaufsverbot-fur-neue-benzin-und-dieselfahrzeuge-ab-2035-was-bedeutet-das> (besucht am 22. 08. 2023).

Feilhauer (2022): *Simulationsgestützte Absicherung von Fahrerassistenzsystemen*. URL: <https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/10283/1/Dissertation%20-%20online.pdf> (besucht am 07. 09. 2023).

Firmen ABC (2023): *Engineering Center Steyr GmbH & Co KG*. URL: https://www.firmenabc.at/engineering-center-steyr-gmbh-co-kg_KXH (besucht am 07. 01. 2024).

FKFS (2023): *Fahrzeugdynamikprüfstand*. URL: <https://www.fkfs.de/pruefeinrichtungen/fahrzeugpruefstaende/fahrdynamikpruefstand> (besucht am 27. 12. 2023).

FMI (2024): *The leading standard to exchange dynamic simulation models*. URL: <https://fmi-standard.org/> (besucht am 10. 01. 2024).

Graessler, Iris; Julian Hentze (2020): *The new V-Model of VDI 2206 and its validation*. URL: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/auto-2020-0015/html> (besucht am 03. 09. 2023).

Herrmann, Martin et al. (2023): „Durchgängige Entwicklungsmethoden für Software-definierte Fahrzeuge“. In: *Hanser Automotive*. URL: <https://www.hanser-automotive.de/a/article-5110477> (besucht am 14. 12. 2023).

Kalra, Nidhi; Susan M. Paddock (2016): *Driving to safety: How many miles of driving would it take to demonstrate autonomous vehicle reliability?* URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856416302129> (besucht am 05. 01. 2024).

Karthaus, Carsten (2020): *Methode zur Rückführung von Erprobungswissen in die Produktentwicklung am Beispiel Fahrzeugtriebstrang*. URL: https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/11262/1/Dissertation_Carsten-Karthaus.pdf (besucht am 16. 10. 2023).

Karthaus, Carsten et al. (2023): *Drivetrain System Integration on Test Benches at Mercedes-Benz AG*. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-42048-2_16 (besucht am 06. 11. 2023).

KS Engineers (2020): *Road to Rig – Modellbasiertes Testen für E-Mobilität*. URL: https://www.researchgate.net/publication/348091031_Road_to_Rig_-_Modellbasiertes_Testen_fur_E-MobilitatR2R_-_Model_Based_Testing_for_E-Mobility_Applications (besucht am 16. 10. 2023).

- KS Engineers (2023a): *Elektromotorenprüfstände*. URL: <https://www.ksengineers.com/Automotive-Testing/Prueftechnik/Elektromotorenpruefstaende> (besucht am 15. 10. 2023).
- (2023b): *Road-to-Rig - Applizieren Inhouse*. URL: <https://www.ksengineers.com/Automotive-Testing/Prueftechnik/R2R-Road-to-Rig> (besucht am 15. 10. 2023).
- (2023c): *Rollenprüfstände*. URL: <https://www.ksengineers.com/Automotive-Testing/Prueftechnik/Rollenpruefstaende> (besucht am 15. 10. 2023).
- Mahle (2023): *Prüf- und Forschungseinrichtungen weltweit*. URL: <https://www.mahle.com/de/products-and-services/services/komponentenerprobung/> (besucht am 06. 09. 2023).
- MathWorks (2023): „Einführung in Automotive SPICE“. In: *MathWorks*. URL: <https://de.mathworks.com/discovery/automotive-spice.html> (besucht am 17. 11. 2023).
- Microsoft (2023): *DevOps-Toolkette*. URL: <https://learn.microsoft.com/de-de/azure/cloud-adoption-framework/ready/considerations/devops-toolchain> (besucht am 17. 01. 2024).
- Pacejka, Hans B. (1940): „Zur Fahrmechanik des gummbereiften Kraftfahrzeugs“. In: *Ingenieur-Archiv*. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02086921> (besucht am 16. 10. 2023).
- Piecha, Pascal; Martin Wipfler (2022): „Entwicklung mit Radar Target Simulator und GNSS-Spoofing am Integrationsprüfstand“. In: *ATZelextronik*. URL: <https://doi.org/10.1007/s35658-022-0799-8> (besucht am 31. 12. 2023).
- Porsche (2019): *Der Antrieb: Performance Pur*. URL: <https://newsroom.porsche.com/de/produkte/taycan/antrieb-18543.html> (besucht am 04. 09. 2023).
- Porsche Engineering (2015): *Zu Ende gedacht - Ganzheitliche Fahrzeugentwicklung*. URL: <https://www.porscheengineering.com/filestore/download/peg/de/magazine-2015-01/default/0a43db4c-2ecf-11e5-8c35-0019999cd470/Download-Magazin.pdf> (besucht am 04. 08. 2023).
- SAE - Society of Automotive Engineers (2021): *J3016 - Levels of Driving Automation*. URL: https://www.sae.org/standards/content/j2908_202301/ (besucht am 10. 09. 2023).
- (2023): *J2908 - Vehicle Power and Rated System Power Test for Electrified Powertrains*. URL: https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/ (besucht am 10. 01. 2024).
- Schaeffler Technologies AG & Co. KG (2014): *P2-Hybridmodul Hochvolt*. URL: https://www.schaeffler.de/de/news_medien/mediathek/downloadcenter-detail-page.jsp?id=68274944 (besucht am 06. 11. 2023).
- UN ECE (2015): *Regelung Nr. 13 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE). Einheitliche Vorschriften für die Typgenehmigung von Fahrzeugen der Klassen M, N, und O hinsichtlich der Bremsen*.

URL: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:42016X0218\(01\)&rid=1](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:42016X0218(01)&rid=1) (besucht am 07. 10. 2023).

UN ECE (2021a): *Regelung Nr. 140 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE). Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Personenkraftwagen hinsichtlich der elektronischen Fahrdynamik-Regelsysteme (ESC-Systeme)*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:42018X1592&from=ES> (besucht am 10. 09. 2023).

— (2021b): *Regelung Nr. 152 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE). Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich des Notbremsassistentensystems (AEBS) in Fahrzeugen der Klassen M1 und N1 [2020/1597]*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:42020X1597> (besucht am 10. 09. 2023).

UN GTR (2015): *Regelung Nr. 21 - Determination of Electrified Vehicle Power (DEVP)*. URL: <https://unece.org/transport/standards/transport/vehicle-regulations-wp29/global-technical-regulations-gtrs> (besucht am 07. 01. 2024).

VDA (2023a): *Automotive SPICE. Ein weltweit etablierter Standard*. URL: <https://vda-qmc.de/automotive-spice/> (besucht am 17. 11. 2023).

— (2023b): *Automotive SPICE. Process Reference Model, Process Assessment Model*. Version 3.991. URL: <https://vda-qmc.de/wp-content/uploads/2023/06/Automotive-SPICE-PAM-40-Gelbbandrelease.pdf> (besucht am 17. 11. 2023).

VDI-Fachbereich Mess- und Automatisierungstechnik (2021): *Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme*. URL: <https://www.vdi.de/richtlinien/programme-zu-vdi-richtlinien/vdi-2206> (besucht am 31. 08. 2023).

VDI-Fachbereich Produktentwicklung (1993): *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. URL: <https://www.beuth.de/de/technische-regel/vdi-2221/973992> (besucht am 24. 08. 2023).

VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Projektmanagement (2019): *Entwicklung technischer Produkte und Systeme - Modell der Produktentwicklung*. URL: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2221-blatt-1-entwicklung-technischer-produkte-und-systeme-modell-der-produktentwicklung> (besucht am 14. 08. 2023).

Weber, Sebastian et al. (2017): „Investigations of the process of road matching on powertrain test rigs“. In: *17. internationales Stuttgarter Symposium*. URL: https://www.researchgate.net/publication/315859697_Investigations_of_the_process_of_road_matching_on_powertrain_test_rigs (besucht am 27. 12. 2023).

Wipfler, Martin; Bernd Pressl; Pascal Piecha (2022): „Range Prediction with the Support of an Integration Test Bench“. In: *43rd International Vienna Motor Symposium*. URL: <https://www.hanser-automotive.de/a/article-5110477> (besucht am 14. 12. 2023).

Wirtschaftswelt (2021): „Die Zukunft der Autoindustrie ist in Graz am Prüfstand“. In: *Wirtschaftswelt*. URL: <https://www.wirtschaftswelt.at/die-zukunft-der-autoindustrie-ist-in-graz-am-prufstand/> (besucht am 16. 10. 2023).

— (2023): „Automotive-Pionier KS Engineers revolutioniert Leistungsmessung“. In: *Wirtschaftswelt*. URL: <https://www.wirtschaftswelt.at/automotive-pionier-ks-engineers-revolutioniert-leistungsmessung/> (besucht am 31. 12. 2023).

Gedruckte Werke

Bettes, Harold; Bill Hancock (2008): *Dyno Testing and Tuning*. 1. Edition. Brooklands Books Ltd. ISBN: 9781284145250.

Eigner, Martin; Ralph Stelzer (2009): *Product Lifecycle Management. Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management*. VDI-Buch. 2., neu bearbeitete Auflage. Springer Berlin, Heidelberg. ISBN: 978-3-540-44373-5.

Fujimoto, T. (1999): *The Evaluation of a Manufacturing Process at Toyota*. Oxford University Press. ISBN: 0-19-512320-4.

Heese (2023): *Optimierung einer Rollenprüfstandsregelung*.

Hirschberg, Wolfgang; Georg Rill; Heinz Weinfurter (2007): *Tyre Model Performance Test (TMPT)*. Vehicle System Dynamics. Taylor & Francis Group. ISBN: 978-0-415-47376-7.

Höld, Regina (2007): *Zur Transkription von Audiodaten*. Gabler, S. 655–668. ISBN: 978-3-8349-9258-1.

Liebl, Johannes; Christian Beidl (2018): *VPC - Simulation und Test 2015. Methoden der Antriebsentwicklung im Dialog - 17. MTZ-Fachtagung*. Springer Vieweg. ISBN: 978-3-658-20736-6.

Martyr, A.J; M.A. Plint (2007): *Engine Testing. Theory and Practice*. 3. Edition. Butterworth-Heinemann. ISBN: 978-0-7506-8439-2.

Mayring, Philipp (2015): *Qualitative Inhaltsanalyse*. 12., überarbeitete Auflage. Beltz Verlag. ISBN: 978-3-407-29393-0.

Naefe, Paul; Jörg Luderich (2005): *Konstruktionsmethodik für die Praxis. Aktuelle Verfahren in der Produktentwicklung*. 2. überarbeitete Auflage. Springer Vieweg. ISBN: 978-3-658-31186-5.

Pacejka, Hans B. (2012): *Tire and Vehicle Dynamics*. 3. Edition. Butterworth-Heinemann. ISBN: 9780080970165.

Paulweber, Michael; Klaus Lebert (2014): *Mess- und Prüfstandstechnik*. Herausgegeben von H. List. Springer Vieweg. ISBN: 978-3-658-04452-7.

Pischinger, Stefan; Ulrich Seiffert (2016): *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. 8., aktualisierte und erweiterte Ausgabe. Springer Vieweg. ISBN: 978-3-658-09527-7.

Raubold, Ulrich (2011): *Lebenszyklusmanagement in der Automobilindustrie. Ein Optimierungsansatz auf Basis der auf den Lebenszyklus wirkenden Einflussfaktoren*. Gabler Verlag. ISBN: 978-3-834966131.

Schömann, Sebastian O. (2012): *Produktentwicklung in der Automobilindustrie. Managementkonzepte vor dem Hintergrund gewandelter Herausforderungen*. Dissertation, 1. Auflage. Gabler Verlag, Springer Fachmedien. ISBN: 978-3-8349-2874-0.

Tschöke, Helmut (2015): *Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs*. Wiesbaden, Deutschland: Springer Vieweg. ISBN: 978-3-658-04643-9.

Tschöke, Helmut; Peter Gutzmer (2019): *Elektrifizierung des Antriebsstrangs. Grundlagen - vom Mikro-Hybrid zum vollelektrischen Antrieb*. Heidelberger Platz 3, D-14197 Berlin: Springer Vieweg. ISBN: 978-3-662-60355-0.

Ulrich, K.T.; S.D. Eppinger (2016): *Product Design and Development*. 6. Auflage. McGraw-Hill Education. ISBN: 9780078029066.

Vahs, Dietmar; Alexander Brem (2015): *Innovationsmanagement. Von der Idee zur erfolgreichen Vermarktung*. 5., überarbeitete Auflage. Schäffer-Poeschel. ISBN: 978-3-7992-6959-9.

Wildemann, Horst (2023): *Quality Gate Konzept. Leitfaden zur Ausgestaltung eines Qualitätscontrollings*. 18. Auflage. TCW Transfer-Centrum für Produktions-Logistik und Technologie-Management GmbH & Co. KG. ISBN: 978-3-937236-52-0.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1:	Forschungsdesign, Quelle: Eigene Darstellung	2
Abb. 2.1:	Wordcloud mit Stakeholdern in der Automobilindustrie, Quelle: Eigene Darstellung	4
Abb. 2.2:	Vereinfachte Darstellung des Produktentstehungsprozesses, Quelle: Pischinger; Seiffert (2016), S. 1258.	5
Abb. 2.3:	Vergleich von verschiedenen Modellen zur Beschreibung des Produktentwicklungsprozesses, Quelle: Eigene Darstellung angelehnt an Schömann (2012), S. 81.	6
Abb. 2.4:	Variante eines Produktentwicklungsprozess, Quelle: Porsche Engineering (2015), Online-Quelle [07.08.2022].	7
Abb. 2.5:	Einordnung der virtuellen bzw. realen Fahrzeugerprobung in den Produktentstehungsprozess, Quelle: angelehnt an Pischinger; Seiffert (2016), S. 1284.	11
Abb. 2.6:	Darstellung des V-Modells nach VDI/VDE 2206:2021, Quelle: VDI-Fachbereich Mess- und Automatisierungstechnik (2021), Online-Quelle [31.08.2023].	12
Abb. 2.7:	Antriebsstrangkomponenten eines Allradfahrzeugs mit P2-Hybridantrieb, Quelle: Audi (2023a), Online-Quelle [09.09.2023] und Schaeffler Technologies AG & Co. KG (2014), Online-Quelle [06.11.2023].	14
Abb. 2.8:	Antriebsstrangkomponenten eines Elektrofahrzeugs, Quelle: Porsche (2019), Online-Quelle [05.09.2023].	15
Abb. 2.9:	Übersicht über aktive, semi-aktive Fahrdynamik- und Assistenzsysteme, Quelle: Eigene Darstellung	16
Abb. 2.10:	Zweidimensionales Framework für die Prozessbewertung durch ASPICE: Prozesse werden aus einem Prozessreferenzmodell (erste Dimension) ausgewählt, ihr Reifegrad wird auf Basis von Versuchen bestimmt (zweite Dimension), Quelle: MathWorks (2023), Online-Quelle [07.11.2023].	17
Abb. 2.11:	Prozessreferenzmodell im Rahmen von ASPICE, Quelle: VDA (2023b), S. 13., Online-Quelle [17.11.2023].	18
Abb. 2.12:	Exemplarische Darstellung von Entwicklungsebenen während der Systemintegration von der Einzeldomäne bei der Systemintegration zum Gesamtfahrzeug, Quelle: angelehnt an Karthaus et al. (2023), S. 228., Online-Quelle [07.11.2023].	20
Abb. 2.13:	Testmethodeneinsatz, Quelle: angelehnt an Carhs (2022), S. 106., Online-Quelle [07.09.2023].	22
Abb. 2.14:	Szenarienbasierte Erprobungs- und Absicherungsstrategie, Quelle: angelehnt an Feilhauer (2022), Online-Quelle [07.09.2023] und Carhs (2022), S. 107., Online-Quelle [07.09.2023].	23
Abb. 3.1:	Entwicklung der Validierungskosten bzw. Änderungskosten des Fahrzeugkonzepts während des Produktentstehungsprozesses, Quelle: angelehnt an KS Engineers (2020), Online-Quelle [16.10.2023].	25

Abb. 3.2:	Variante der Versuchsdurchführung der Funktionserprobung von ABS/ESC, Quelle: abgeleitet bzw. angelehnt an UN ECE (2021a), Online-Quelle [07.09.2023].	28
Abb. 3.3:	Variante der Versuchsdurchführung der Funktionserprobung von AEBS, Quelle: abgeleitet bzw. angelehnt an UN ECE (2021b), Online-Quelle [07.09.2023].	30
Abb. 3.4:	Versuchsszenarien für die Erprobung eines Advanced Emergency Braking Systems, Quelle: Carhs (2022), Online-Quelle [07.09.2023].	31
Abb. 3.5:	Variante der Versuchsdurchführung für Reichweiten- oder Leistungsmessungen, Quelle: Eigene Darstellung.	33
Abb. 3.6:	Gliederung von relevanten Einflussfaktoren bei der realen Straßenerprobungsvorbereitung und -durchführung im Hinblick auf zu erzielenden Versuchsergebnisse, Quelle: Eigene Darstellung.	35
Abb. 4.1:	Eingliederung verschiedener Prüfstandssysteme in einen modellgestützten Entwicklungsprozess, Quelle: KS Engineers (2020), Online-Quelle [16.10.2023].	37
Abb. 4.2:	Modellbasierte Erprobung auf Prüfstandssystemen aus dem Gesamtfahrzeugkontext durch einen hybriden Einsatz von realen und virtuellen Komponenten, Quelle: KS Engineers (2020), Online-Quelle [15.10.2023].	38
Abb. 4.3:	Topologie eines Elektromotorenprüfstandes (EMP), Quelle: KS Engineers (2023a), Online-Quelle [15.10.2023].	40
Abb. 4.4:	Topologie eines Rollenprüfstandes, Quelle: KS Engineers (2023c), Online-Quelle [15.10.2023].	42
Abb. 4.5:	Konstruktionsvariante eines Rollenstrangs für mehrspurige Kraftfahrzeuge, Quelle: Heese (2023), S. 10.	43
Abb. 4.6:	Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstand (KS-R2R), Quelle: Wirtschaftswelt (2021), Online-Quelle [15.10.2023].	44
Abb. 4.7:	Regelungsschema eines (Gesamtfahrzeug-)Antriebsstrangprüfstandes, Quelle: KS Engineers (2023b), Online-Quelle [15.10.2023].	45
Abb. 4.8:	beispielhafte Darstellung von Regelungsstrukturen für fahrzeugexterne Fahrer-Modelle zur automatisierten Versuchsdurchführung von Fahrmanövern auf Prüfständen, Quelle: angelehnt an Eigel (2009), S. 32., Online-Quelle [28.12.2023].	46
Abb. 4.9:	Regelungsschema eines (Gesamtfahrzeug-)Antriebsstrangprüfstandes, Quelle: KS Engineers (2023b), Online-Quelle [15.10.2023].	49
Abb. 4.10:	Variante der Versuchsdurchführung der Funktionserprobung/-absicherung von Fahrwerksregelungen (z. B. ABS, ESC, etc.) auf einem Gesamtfahrzeugprüfstand, Quelle: Eigene Darstellung.	51
Abb. 4.11:	Prüfaufbau auf Basis des Erprobungsszenarios, Quelle: Wipfler; Pressl; Piecha (2022), S. 5., Online-Quelle [21.12.2023].	53
Abb. 4.12:	Variante der Versuchsdurchführung der Funktionserprobung/-absicherung von Fahrerassistenzsystemen (z. B. AEBS) auf Gesamtfahrzeugprüfstand, Quelle: Eigene Darstellung.	54

Abb. 4.13: Übersicht zur rechnerunterstützten Sensorsimulation bzw. -stimulation zur Erprobung von Algorithmen für die Reichweitenprädiktion und Routenplanung in modernen Elektrofahrzeugen, Quelle: Piecha; Wipfler (2022), Online-Quelle [31.12.2023].	56
Abb. 4.14: Verlagerung von Einflussfaktoren relevante Einflussfaktoren bei der Prüfstandserprobung, Quelle: Eigene Darstellung.	57
Abb. 5.1: Einsatz von Testplattformen im Rahmen der Systemintegration von einzelnen Komponenten zum Gesamtfahrzeug, Quelle: angelehnt an Karthaus et al. (2023), S. 228., Online-Quelle [07.11.2023].	60
Abb. 5.2: Struktur des Vorgehensmodell für die Entwicklung, Validierung und Verifikation von Methoden für die Versuchsdurchführung auf Gesamtfahrzeugprüfständen angelehnt an ASPICE, Quelle: Eigene Darstellung.	62
Abb. 5.3: Struktur der Systemebene im Rahmen des Vorgehensmodells für die Versuchsdurchführung auf Gesamtfahrzeugprüfständen, Quelle: Eigene Darstellung.	63
Abb. 6.1: Ablaufmodell der inhaltlichen Strukturierung für die Inhaltsanalyse, Quelle: angelehnt an Mayring (2015), S. 103.	66
Abb. 6.2: Auswahl der Experten und Expertinnen für die Interviews, Quelle: Eigene Darstellung.	69
Abb. 6.3: Einsatz von Erprobungsplattformen durch unterschiedliche Stakeholder, Quelle: Eigene Darstellung.	80
Abb. 6.4: Einsatz von Erprobungsplattformen bei unterschiedlichen Stakeholdern mit zusätzlicher Aufteilung der Gesamtfahrzeugprüfstände in Gesamtfahrzeugantriebsstrang- bzw. Systemintegrations- und Rollenprüfstände, Quelle: Eigene Darstellung.	82
Abb. 6.5: Darstellung eines exemplarischen Produktentstehungsprozess im Kontext des Kalenderjahres, Quelle: Eigene Darstellung.	86
Abb. 6.6: Einsatz von Erprobungsplattformen im Rahmen der Systemintegration aus der Sicht von Zulieferunternehmen von Komponenten oder Modulen, Quelle: Eigene Darstellung.	88
Abb. 7.1: Coopetition zwischen verschiedenen Bereichen der Fahrzeugentwicklung, Quelle: Eigene Darstellung.	91
Abb. 7.2: Toolchain für einen modellbasierten Erprobungsansatz unabhängig der Ebenen im Systemintegrationsprozess unter Einbeziehung verschiedener Stakeholderbereiche, Quelle: angelehnt an Microsoft (2023), Online-Quelle [17.01.2024].	93

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Reifegraddimensionen bei der Prozessbewertung im Rahmen von Automotive SPICE, Quelle: angelehnt an VDA (2023a), Online-Quelle [17.11.2023].	19
Tab. 3.1: Klassifizierung von automatisierten Fahrfunktionen auf Basis des Automatisierungsgrads, Quelle: angelehnt an SAE - Society of Automotive Engineers (2021), Online-Quelle [08.10.2023].	29
Tab. 6.1: Aufschlüsselung der Interviewbezeichnungen zur Sparte der Interviewpartnerinnen bzw. -partner, Quelle: Eigene Darstellung.	71
Tab. 6.2: Kodierleitfaden	77
Tab. 6.3: Klassierung der festgelegten Plattformen zu konkreten Prüfstandstypen, Quelle: Eigene Darstellung.	79

Abkürzungsverzeichnis

2WD	2-Wheel-Drive (Front- oder Heckantrieb)	8
4WD	4-Wheel-Drive (Allradantrieb)	8
ABS	Antiblockiersystem	1
ACC	Adaptive Cruise Control	1
AD	Automated Driving	10
ADS	Automated Driving Systems	29
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems	10
AEB	Automatic Emergency Braking	30
AEBS	Advanced Emergency Braking System	14
ASR	Antischlupfregelung	1
CCS	Combined Charging System	47
CFD	Computational Fluid Dynamics	39
DDT	Dynamic Driving Task	29
DoE	Design of Experiments	93
ECU	Electronic Control Unit	16
EOP	End of Production	6
ESC	Electronic Stability Control	1
ESP	Elektronisches Stabilitätsprogramm	13
EuroNCAP	European New Car Assessment Programm	32
EWAS	elektromechanische aktive Wankstabilisierung	20
FAS	Fahrerassistenzsysteme	1
FEM	Finite Element Method	39
F-ATS	Fahrzeug-Antriebsstrang-Prüfstand	
FOT	Field Oriented Tests	23
FTP	Federal Test Procedure	32
GNSS	Global Navigation Satellite System	32
GTS	Guided Soft Targets	31
HAF	Hochautomatisiertes Fahren	1

Abkürzungsverzeichnis

HiL	Hardware in the Loop	21
IMU	Inertiale Messeinheiten	32
KI	künstliche Intelligenz	90
KS	Kristl, Seibt und Co GmbH	2
LKA	Lane Keeping Assistance	1
MiL	Model in the Loop	22
OEM	Original Equipment Manufacturer	5
PEP	Produktentstehungsprozess	5
PKW	Personenkraftwagen	8
PMSM	permanentmagneterregte Synchronmaschine	15
PWR	Pulswechselrichter	39
RPS	Rollenprüfstand	
SiL	Software in the Loop	21
SPICE	Software Process Improvement and Capability Determination	17
SOC	State of Charge	33
SOP	Start of Production	5
TCO	Total cost of ownership	9
UUT	Unit Under Test	39
VKM	Verbrennungskraftmaschine	
ViL	Vehicle in the Loop	21
VR	Verbund-Release	13
VRU	Vulnerable Road Users	31
xCU	x Control Unit	22
WBA	Warnen, Bremsen und Ausweichen	20
WLTP	Worldwide Harmonised Light-Duty Vehicles Test Procedure	32

Anhang A: Interviewleitfaden der Experteninterviews

Erprobung von Gesamtfahrzeugen im Rahmen des Entwicklungsprozesses:

1. Während der Fahrzeugentwicklung müssen viele Meilensteine erreicht werden – welchen Stellenwert haben dabei virtuelle (Digital-Twin) und auch reale Versuche im Rahmen des Entstehungsprozesses?
2. Welche relevanten Meilensteine / Freigaben werden bei der Erprobung / Absicherung durchlaufen (Komponentenrelease, Verbundrelease, etc.) bzw. in welchen Abständen finden diese statt (z. B. Softwarerelease alle 8 Wochen)?
3. Was sind die größten Herausforderungen während der Erprobung?
 - a. Im Kontext des softwaredefinierten Fahrzeugs bei der Integration in ein Gesamtsystem? (Aspekte der zunehmenden Vernetzung im Fahrzeug)
 - b. Im Kontext der Elektrifizierung von Antriebsstrangkomponenten bzw. des gesamten Antriebsstrangs (z. B. größeres Potential von komponentenübergreifenden Funktionen)?
 - c. Im Kontext der zunehmenden Automatisierung von Fahrfunktionen (z. B. Einparkassistent, Notbremsassistent, Spurhalteassistent, etc.)?
4. Wie groß ist die Jahreszeitenabhängigkeit im Entwicklungsprozess bzw. in weiterer Folge bei der Erprobung von Fahrzeugen – wie wirken sich nachfolgende Entwicklungsschritte aus?

Erprobung: Von der Komponentenerprobung bis zum Gesamtsystem

1. Wie sieht die grundsätzliche Erprobung / Absicherung / Freigabe eines Fahrzeugs bzw. einer Modellvariante aus (Zyklus von Einzelkomponenten bis zum Gesamtsystem)?
 - a. Bauteil- bzw. Komponentenerprobung vs. funktionsorientierter (softwaredefiniertes Fahrzeug) Ansatz?
 - b. Bevorzugter Test von Einzelsystemen (ohne Querwirkungen durch andere Komponenten / Systeme) oder eher frühzeitige Erprobung im Gesamtsystem (die Komponentenerprobung im Gesamtsystem wäre prinzipiell durch den Ersatz von realen durch virtuelle Komponenten auf entsprechenden Prüfstandsystemen möglich)?
2. Wie werden Prüfscenarien für die Funktionserprobung im Rahmen der Antriebsintegration definiert (überwiegend von Versuchen, die aktuell nur durch Straßenversuche erprobt werden (können) [z. B. ESC, ABS, ASR, etc.]?) (Informationen / Erkenntnisse aus klassischer Komponentenerprobung, aus Datenbanken, Betrachtung im Rahmen der funktionalen Sicherheit, aus gesetzlichen Anforderungen (z. B. UN ECE, etc.), Szenarien und Situationen aus FoT)?

3. Wie sieht die (zukünftige) Erprobung von automatisierten/autonomen Fahrfunktionen (z. B. ACC, Einparkassistent, Verkehrszeichenerkennung, etc.) aus, wenn verschiedene Prüfzenarien aufgrund der Vielzahl an variablen Parametern nicht oder nur unzureichend definiert werden können (sind statistische Tests eine Option?)?

Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext auf der Straße und am Prüfstand:

1. Gibt es eine Definition bzw. Kriterien, welche Erprobungsumfänge bei realen Straßenversuchen – welche bei Versuchen auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt werden (vor allem im Rahmen der Antriebsintegration / Fahrwerk)?
 - a. Ab welchem Meilenstein wird vom Prüfstand auf die Straße gewechselt? [höchstwahrscheinlich werden immer Rückkopplungen zur Komponenten- bzw. System- oder Funktionsentwicklung stattfinden – gibt es aber einen konkreten Zeitpunkt oder finden beide Prozesse immer parallel statt?]
 - b. Welche Funktionen / Systeme werden bei einer klassischen Versuchsreihe erprobt bzw. abgesichert [z. B. bei Wintertests, auf der Rennstrecke, etc.]?
 - c. Wie hoch sind die Reifegrade dieser Funktionen / Systeme während den ersten Versuchsreihen?
 - d. Welche Probleme treten bei den ersten Versuchsreihen auf?
 - e. Wie sieht die Aufteilung zwischen sinnvoller Erprobungszeit / Fehleranalyse bzw. Standzeit aufgrund von Problemen aus (z. B. 50:50)?
2. Wie sieht die Verfügbarkeit von Teststrecken bzw. Versuchsarealen oder Prüfstandssystemen aus?
3. Wie lange dauert üblicherweise eine Versuchsreihe [Zeitraumklassen: 2 Wochen, 4 Wochen, >6 Wochen]?
4. Wie hoch ist der Prototypeneinsatz (evtl. auch Personalaufwand) während einer realen Erprobung? (2 Fahrzeuge, 6 Fahrzeuge, >10 Fahrzeuge) (5 Personen, 10 Personen, >20 Personen)?
5. Werden unterschiedliche Varianten von verschiedenen Funktionssetups / Fahrzeugsetups / Reifegraden oder Technologien bei einer realen Versuchsreihe erprobt [z. B. Softwareänderungen] oder liegt der Fokus auf dem gleichen Setup bei unterschiedlichen Bedingungen?
6. Ist der Aufwand für zusätzliches Equipment für eine Versuchsdurchführung hoch [Einsatz von Fahrroboter, Ground-Truth-Messtechnik, etc.]?
7. Wie wird mit dem Thema Reproduzierbarkeit umgegangen (Straße / Prüfstand)?
 - a. Werden Fahrmanöver mit Robotereinsatz gefahren oder immer manuell?
 - b. Vordefinierte Anforderungen an die Ausgangsbedingungen (z. B. Temperaturbereich, etc.)?
 - c. Vordefinierte Anforderungen an die Teststrecke (z. B. Variation von unterschiedlichen Fahrbahnzuständen (trocken, nass, schneebedeckt, etc.), sofern diese Variabilität auf Teststrecken existiert bzw. kontrolliert eingestellt (z. B. nasse Fahrbahn) werden kann)

- d. Welche Kriterien gibt es für die Auswertung? (kann das pauschalisiert werden?)
8. Wie sieht es mit den Sicherheitsvorgaben / Genehmigungen / Versicherungen von Prototypen aus?
9. Link zurück zu Frage 7: Werden funktionale Entwicklungen / Versuche / Absicherungen / Freigaben auch auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen im Gesamtsystem durchgeführt [wobei nicht real verfügbare oder vorhandene Komponenten durch Simulationsmodelle ersetzt werden (z. B. Karosseriemodell, Reifenmodell, Anhänger, etc.)]?
 - a. Wenn JA:
 - i. Welche Versuche werden durchgeführt bzw. auf welchen Versuchen liegt der Fokus?
 - ii. Welche Prüfstandsvarianten werden konkret eingesetzt (Rollenprüfstände bzw. Rollenbandprüfstände, Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstände wie der KS R2R)?
 - iii. Wie wird mit dem Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung umgegangen (wie werden diese Methoden verifiziert und validiert)?
 - iv. Gibt es Datenbanken für unterschiedliche Simulationsmodellvarianten oder dessen Parametrierungsstände?
 - b. Wenn NEIN:
 - i. Warum werden funktionale Versuche / Absicherungen nicht auf Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt?
 - ii. Ist es das Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung ein entscheidendes Kriterium?
 - iii. Werden Einschränkungen am Prüfstand im Vergleich zur Straße gesehen / befürchtet?
 - iv. Gibt es andere Einschränkungen (Verfügbarkeit bzw. Anschaffungskosten von Gesamtfahrzeugprüfständen, Komplexität solcher Systeme im Hinblick auf Bedienung / Wartung, Auslastungsbedenken)?
10. Werden Modelle und Simulationen (physikalische Echtzeit-Modelle von einzelnen Komponenten) im Entwicklungsprozess und in weiterer Folge auf Prüfständen eingesetzt (z. B. für die frühzeitige Energie- bzw. Reichweitenerprobung, Funktionserprobung, etc.)?
 - a. Wenn JA:
 - i. In welchem Umfang kommen diese Modelle und Simulationen zum Einsatz?
 - ii. Werden Ergebnisse von Simulationen/Modellen als Entscheidungsgrundlage herangezogen?
 - iii. Um welche Modelle handelt es sich (CFD, etc.) oder auch physikalische Modelle (z. B. für den Einsatz auf Prüfständen)?
 - b. Wenn NEIN:
 - i. Aus welchem Grund nicht?

11. Wie sehen Sie die Veränderungen vor allem im Bereich des Fahrzeugversuchs in Bezug auf aufkommende ADAS/AD-Funktionalität im Fahrzeug?
12. Gibt es besonders bei der Versuchsplanung und -durchführung eine Innovationstrategie im Hinblick auf Veränderungen beim Gesamtfahrzeug?
13. Würden Sie das V-Modell im Rahmen der Fahrzeugentwicklung / Erprobung (besonders bei der Verifikation / Validierung) noch als zeitgemäß betrachten? Gibt es, besonders für das softwaredefinierte Fahrzeug mit vielen vernetzten Funktionen andere, bessere Ansätze?
14. Würden Sie noch irgendwelche Ergänzungen anfügen?

Anhang B: Transkripte der Experteninterviews

Nachfolgend sind die einzelnen transkribierten Interviews mit den Expertinnen und Experten aufgeschlüsselt. Dabei sind die Fragestellungen immer **fett** geschrieben, die dazugehörigen Antworten in normaler Schrift direkt unter der jeweiligen Fragestellung dargestellt. Darüber hinaus ist auch die Zuordnung der Codes auf Basis des Kodierleitfadens zu den einzelnen Textpassagen vollständig. Folgende Tabelle schlüsselt die Transkripte zu den Interviewpartnerinnen und -partnern noch einmal auf:

Interviewbezeichnung	Sparte / Stakeholder
B01-B05	OEM, Gesamtfahrzeughersteller
B06	Zulieferer, Komponentenentwickler, Prüfstandshersteller
B07	Zulieferer, Komponentenentwickler
B08	Forschung, Prüfdienstleistung
B09	Forschung
B10	Prüfstandshersteller, Prüfdienstleistung

Aufschlüsselung der Interviewbezeichnungen zur Sparte der Interviewpartnerinnen bzw. -partner, Quelle: Eigene Darstellung.

Experteninterview B01 - OEM:

	1	Erprobung von Gesamtfahrzeugen im Rahmen des Entwicklungsprozesses:
	2	Während der Fahrzeugentwicklung müssen viele Meilensteine erreicht werden – welchen Stellenwert haben dabei virtuelle (Digital-Twin) und auch reale Versuche im Rahmen des Entstehungsprozesses?
..Meilensteine, Freigabe- und En	3	Konzernintern gibt es normalerweise die Meilensteine 1 bis 8. Dabei erfolgt die Entwicklung etwaiger Systeme für Software und Hardware üblicherweise bis zum Meilenstein 6. Danach geht der Prozess eigentlich nur noch in die Typisierung über – die grundlegende Entwicklung von Fahrzeugkomponenten und -funktionen sollte bis dahin eigentlich abgeschlossen sein.
	4	Welche relevanten Meilensteine / Freigaben werden bei der Erprobung / Absicherung durchlaufen (Komponentenrelease, Verbundrelease, etc.) bzw. in welchen Abständen finden diese statt (z. B. Softwarerelease alle 8 Wochen)?
..Meilensteine, Freigabe- und En	5	Übliche Zeitabstände sind:
	6	• Softwarerelease: alle 8 Wochen
	7	• Komponentenrelease: alle 12 Wochen
	8	• Verbundrelease: alle 16 Wochen
	9	• Systemrelease: alle 24 Wochen
	10	Was sind die größten Herausforderungen während der Erprobung?
	11	Im Kontext des softwaredefinierten Fahrzeugs bei der Integration in ein Gesamtsystem? (Aspekte der zunehmenden Vernetzung im Fahrzeug)
..Fahrzeugvernetzung	12	Nach meinem Verständnis die Bereitstellung eines funktionierenden Gesamtsystems, da die Hardware, der Softwareverbund, etc. alles zusammenpassen muss, alle Teilsysteme für sich funktionsfähig sein müssen (z.B. Anlernroutinen durchlaufen sein, etc.)
	13	Im Kontext der Elektrifizierung von Antriebsstrangkomponenten bzw. des gesamten Antriebsstrang (z. B. größeres Potential von komponentenübergreifenden Funktionen)?
..Funktionsapplikation / -inbetrieb	14	Die Applikation von Fahrfunktionen ist einfacher, da die Anzahl der Antriebsstrangelemente deutlich gesunken ist.
	15	Im Kontext der zunehmenden Automatisierung von Fahrfunktionen (z. B. Einparkassistent, Notbremsassistent, Spurhalteassistent, etc.)?
	16	Ist mir im Detail nicht bekannt.
	17	Wie groß ist die Jahreszeitenabhängigkeit im Entwicklungsprozess bzw. in



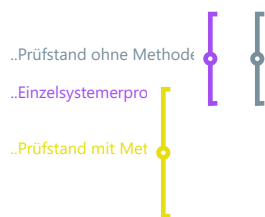
weiterer Folge bei der Erprobung von Fahrzeugen – wie wirken sich nachfolgende Entwicklungsschritte aus?

18 Im Rahmen der Entwicklung von Fahrwerkregelsystemen ist die Jahreszeitabhängigkeit sehr groß. Insbesondere die Erprobungswinter stellen hierbei wichtige Zeiträume dar. Diese Abhängigkeit stellt einen Wesentlichen Grund für die Nutzung des R2R-Prüfstands unsererseits dar, da uns dieser die Möglichkeit bietet, entsprechende Winterfahrmanöver im Vorfeld zu simulieren und in deren Rahmen unsere Fahrwerkregelfunktionen zu analysieren bzw. weiterzuentwickeln. Auf diese Art und Weise ist eine möglichst gute Vorbereitung der Wintererprobungssaison möglich.

19 Erprobung: Von der Komponentenerprobung bis zum Gesamtsystem

20 Wie sieht die grundsätzliche Erprobung / Absicherung / Freigabe eines Fahrzeugs bzw. einer Modellvariante aus (Zyklus von Einzelkomponenten bis zum Gesamtsystem)?

21 Bauteil- bzw. Komponentenerprobung vs. funktionsorientierter (softwaredefiniertes Fahrzeug) Ansatz?

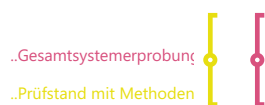


22 Abhängig des Entwicklungsschrittes erfolgt die Erprobung von Antriebsstrangkomponenten zuerst als klassische Komponentenerprobung zur Absicherung bauteilspezifischer Eigenschaften. In weiterer Folge werden auf Antriebsstrangprüfständen zunehmend Funktionen durch den Einsatz von Simulationsmodelle getestet. Das würde dann diesem funktionsorientieren Ansatz entsprechen.

23 Bevorzugter Test von Einzelsystemen (ohne Querwirkungen durch andere Komponenten / Systeme) oder eher frühzeitige Erprobung im Gesamtsystem (die Komponentenerprobung im Gesamtsystem wäre prinzipiell durch den Ersatz von realen durch virtuelle Komponenten auf entsprechenden Prüfstandssystemen möglich)?

24 Wie zuvor gesagt ist dies massiv vom Entwicklungsstadium abhängig. Der Trend geht aber aktuell eher zur Erprobung im Gesamtsystem über, da Fahrzeugfunktionen in sehr viele Komponenten des Antriebsstrangs eingreifen.

25 Wie werden Prüfscenarien für die Funktionserprobung im Rahmen der Antriebsintegration definiert (überwiegend von Versuchen, die aktuell nur durch Straßenversuche erprobt werden (können) [z. B. ESC, ABS, ASR, etc.]? (Informationen / Erkenntnisse aus klassischer Komponentenerprobung, aus Datenbanken, Betrachtung im Rahmen der funktionalen Sicherheit, aus gesetzlichen Anforderungen (z. B. UN ECE, etc.), Szenarien und Situationen aus FoT)?



26 Ist mir im Detail nicht bekannt. Für unsere Prüfstandserprobungen am R2R-Prüfstand überlegen wir – basierend auf der eigenen Erfahrung – was für Fahrmanöver für die zu testende bzw. entwickelnde Funktion am relevantesten



..Prüfstand mit Methoden-/Simulationen

sind, d.h. in welchen Use Cases soll die Funktion wirken, in welchen nicht, etc.

27 **Wie sieht die (zukünftige) Erprobung von automatisierten/ autonomen Fahrfunktionen (z. B. ACC, Einparkassistent, Verkehrszeichenerkennung, etc.) aus, wenn verschiedene Prüfscenarien aufgrund der Vielzahl an variablen Parametern nicht oder nur unzureichend definiert werden können (sind statistische Tests eine Option)?**

28 Ist mir im Detail nicht bekannt.

29 **Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext auf der Straße und am Prüfstand:**

30 **Gibt es eine Definition bzw. Kriterien, welche Erprobungsumfänge bei realen Straßenversuchen – welche bei Versuchen auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt werden (vor allem im Rahmen der Antriebsintegration / Fahrwerk)?**

31 **Ab welchem Meilenstein wird vom Prüfstand auf die Straße gewechselt? [höchstwahrscheinlich werden immer Rückkopplungen zur Komponenten- bzw. System- oder Funktionsentwicklung stattfinden – gibt es aber einen konkreten Zeitpunkt oder finden beide Prozesse immer parallel statt?]**

..Meilensteine, Freigabe- und En

32 Es gibt im Grunde keinen konkreten Meilenstein, da die Entwicklung und Erprobung meist parallel ablaufen.

33 **Welche Funktionen / Systeme werden bei einer klassischen Versuchsreihe erprobt bzw. abgesichert [z. B. bei Wintertests, auf der Rennstrecke, etc.]?**

..Gesamtsystemerprobung
..Straße, Erprobungsgelände

34 Sämtliche Funktionen des Antriebsstrangs und des Fahrwerks. Auf unterschiedlichen Fahrbahnbeschaffenheiten und zu unterschiedlichen Umgebungsbedingungen.

35 **Wie hoch sind die Reifegrade dieser Funktionen / Systeme während den ersten Versuchsreihen?**

36 Abhängig des Entwicklungsfortschrittes.

37 **Welche Probleme treten bei den ersten Versuchsreihen auf?**

..Funktionsapplikation / -inbetrieb

38 Öfters funktionelle Probleme hinsichtlich der Regelungskonzepte, der eingesetzten Hardware (Antriebsachsen, Radsensoren, etc.) und Software.

..Meilensteine, Freigabe- t
..Prüfstand mit Methoden

39 Die Erprobung am Prüfstand bei euch hat aber gezeigt, dass auch strukturelle Analysen von Fahrwerksfunktionen durchgeführt werden können.

40 **Wie sieht die Aufteilung zwischen sinnvoller Erprobungszeit / Fehleranalyse bzw. Standzeit aufgrund von Problemen aus (z. B. 50:50)?**

41 Lässt sich nicht konkret auf eine Verteilung festlegen – hängt vom

..Straße, Erprobungsgelän
Erprobungsvorbereitung,
..Prüfstand mit Methoden-/Simulations

..Straße, Erprobungsgelän
Erprobungsvorbereitung / -durchführu

..Straße, Erprobungsgelän
Erprobungsvorbereitung,

..Gesamtsystemerprobun
..Meilensteine, Freigabe-

..Straße, Erprobungsgelän
..Herausforderungen Fahr

..Straße, Erprobungsgelän
Erprobungsergebn
..Prüfstand mit Met

Erprobungsszenario ab.

42 **Wie sieht die Verfügbarkeit von Teststrecken bzw. Versuchsarealen oder Prüfstandssystemen aus?**

43 Kurzfristig häufig schlecht, mit etwas Vorlauf in der Regel aber problemlos – gleiches gilt für die Verfügbarkeit der Prüfstände (auch für euren R2R).

44 **Wie lange dauert üblicherweise eine Versuchsreihe [Zeitraumklassen: 2 Wochen, 4 Wochen, >6 Wochen]?**

45 In etwa 2-3 Wochen für Antriebs- und Fahrwerksfunktionen

46 **Wie hoch ist der Prototypeneinsatz (evtl. auch Personalaufwand) während einer realen Erprobung? (2 Fahrzeuge, 6 Fahrzeuge, >10 Fahrzeuge) (5 Personen, 10 Personen, >20 Personen)?**

47 Vermutlich Abhängig von der Abteilung, die die Erprobung durchführt, da es hierbei oftmals unterschiedliche Erprobungsziele gibt, die mal mehr oder mal weniger aufwendig sind. Bei uns im Bereich von ca. 5 Fahrzeugen und 10 bis 15 Personen.

48 **Werden unterschiedliche Varianten von verschiedenen Funktionssetups / Fahrzeugsetups / Reifegraden oder Technologien bei einer realen Versuchsreihe erprobt [z. B. Softwareänderungen] oder liegt der Fokus auf dem gleichen Setup bei unterschiedlichen Bedingungen?**

49 Sowohl als auch. Ist ein bisschen abhängig vom Entwicklungsfortschritt. Zu frühen Zeitpunkten werden unterschiedliche Fahrzeugsetups in unterschiedlichen Reifegraden erprobt. Dabei kann der Fokus unter Umständen auch auf Konzept-Vergleichen liegen. Zu späteren Entwicklungszeitpunkten werden die Setupänderungen geringer.

50 **Ist der Aufwand für zusätzliches Equipment für eine Versuchsdurchführung hoch [Einsatz von Fahrroboter, Ground-Truth-Messtechnik, etc.]?**

51 Beschränkt sich in der Steuergerätemesstechnik (ETK) und vereinzelt auf Zusatzmesstechnik wie GPS, ADMA, externe Raddrehzahlfühler, etc.

52 **Wie wird mit dem Thema Reproduzierbarkeit umgegangen (Straße / Prüfstand)?**

53 **Werden Fahrmanöver mit Robotereinsatz gefahren oder immer manuell?**

54 Fahrmanöver auf Erprobungen werden in der Regel manuell gefahren. Bei sehr geübten Fahrern ist die Reproduzierbarkeit vergleichsweise gut, wenn die Randbedingungen (Untergrund, Temperatur, etc.) vergleichbar bleiben; die Reproduzierbarkeit am R2R ist natürlich wesentlich besser und auch langlebiger (d.h. z.B. auch bei Durchführung von Fahrmanövern mit einem Abstand von mehreren Wochen noch gegeben).

Erprobungsvorbereitung ,
..Straße, Erprobungsgelän

55 **Vordefinierte Anforderungen an die Ausgangsbedingungen (z. B. Temperaturbereich, etc.)?**

56 Ist auf Erprobungen nur bedingt möglich, da man auf Temperatur, Untergrund in der Regel keinen unmittelbaren Einfluss hat.

57 **Vordefinierte Anforderungen an die Teststrecke (z. B. Variation von unterschiedlichen Fahrbahnzuständen (trocken, nass, schneebedeckt, etc.), sofern diese Variabilität auf Teststrecken existiert bzw. kontrolliert eingestellt (z. B. nasse Fahrbahn) werden kann**

Erprobungsvorbereitung ,
..Straße, Erprobungsgelän

58 Teststrecken stellen typischerweise Versuchsabschnitte mit unterschiedlichen Fahrbahnzuständen bereit.

59 **Welche Kriterien gibt es für die Auswertung? (kann das pauschalisiert werden?) quantifizierbare Kriterien oder Vergleich zu anderen Modellen?**

Erprobungsergebnisse

60 Ist mir im Allgemeinen nicht bekannt. Im Rahmen der Funktionsentwicklung ist ein wesentliches Kriterium, dass die spezifizierten Anforderungen an die Funktion erfüllt werden.

61 **Wie sieht es mit den Sicherheitsvorgaben / Genehmigungen / Versicherungen von Prototypen aus?**

62 Prototypen sind nicht versichert. Es gibt nur eine normale Haftpflichtversicherung, die für Schäden an Dritten aufkommt. Wenn Sie also bei einem Unfall verletzt werden, sind Sie über Ihre eigene Unfallversicherung abgesichert. Die Fahrzeuge selbst sind jedoch nicht versichert.

63 **Werden funktionale Entwicklungen / Versuche / Absicherungen / Freigaben auch auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen im Gesamtsystem durchgeführt [wobei nicht real verfügbare oder vorhandene Komponenten durch Simulationsmodelle ersetzt werden (z. B. Karosseriemodell, Reifenmodell, Anhänger, etc.)]?**

64 **Wenn JA:**

65 **Welche Versuche werden durchgeführt bzw. auf welchen Versuchen liegt der Fokus?**

..Prüfstand mit Methoden-/Simu

66 Versuche im Hinblick auf Funktionen des Antriebsstrangs bzw. des Fahrwerks. Die Palette reicht von ABS-Bremungen über μ -Split-Anfahrten, μ -Sprung-Überfahrten, Donuts etc. bis hin zu Reichweitenversuche über längere Streckenabschnitte.

67 **Welche Prüfstandsvarianten werden konkret eingesetzt (Rollenprüfstände bzw. Rollenbandprüfstände, Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstände wie der KS R2R)?**

..Prüfstandsvarianten

68 Simulationen, HiL, SiL, Antriebsstrangprüfstände, Gesamtfahrzeugprüfstand bei

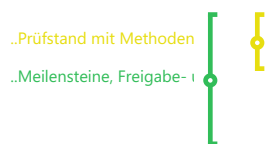
	euch
	69 Wie wird mit dem Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung umgegangen (wie werden diese Methoden verifiziert und validiert)?
..Methoden-/Simulations- bzw. I	70 Durch den Vergleich von Prüfstandsversuchen mit realen Straßenversuchen. Dieser Prozess ist oftmals recht aufwendig – ist aber notwendig für aussagekräftige Ergebnisse.
	71 Gibt es Datenbanken für unterschiedliche Simulationsmodellvarianten oder dessen Parametrierungsstände?
	72 Nicht explizit über eigene Tool-Chains.
	73 Wenn NEIN:
	74 Warum werden funktionale Versuche / Absicherungen nicht auf Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt?
	75 Ist es das Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung ein entscheidendes Kriterium?
	76 Werden Einschränkungen am Prüfstand im Vergleich zur Straße gesehen / befürchtet?
	77 Gibt es andere Einschränkungen (Verfügbarkeit bzw. Anschaffungskosten von Gesamtfahrzeugprüfständen, Komplexität solcher Systeme im Hinblick auf Bedienung / Wartung, Auslastungsbedenken)?
	78 Werden Modelle und Simulationen (physikalische Echtzeit-Modelle von einzelnen Komponenten) im Entwicklungsprozess und in weiterer Folge auf Prüfständen eingesetzt (z. B. für die frühzeitige Energie- bzw. Reichweitenerprobung, Funktionserprobung, etc.)?
	79 Wenn JA:
	80 In welchem Umfang kommen diese Modelle und Simulationen zum Einsatz?
..Prüfstand mit Methoden-/Simu	81 Ist mir im Allgemeinen nicht bekannt. Innerhalb unserer Abteilung kommt die Simulation mit Modellen in 2 Ausgestaltungen zum Einsatz:
	82 <ul style="list-style-type: none">• modellbasierte Funktion-/Softwareentwicklung: Test, ob die z.B. mit Target Link modellierte Funktion sich so verhält wie gewünscht, d.h. Fokus darauf, ob die Funktion korrekt modelliert (im Sinne von implementiert) wurde
	83 <ul style="list-style-type: none">• modellbasierte Systemanalyse und Reglerentwicklung: Aufbau von Systemverständnis und grundsätzlicher Entwurf von Steuer-, Regler- und Überwachungsalgorithmen mis Fokus auf

<p>..Prüfstand mit Methoden-/Simu </p>	84	<p>deren Funktion und nicht auf die spätere, ebenso modellbasierte, Implementierung</p>
<p>..Meilensteine, Freigabe- t  ..Prüfstand mit Methoden </p>	85	<p>Teilweise, z.B. für die Bewertung, ob Konzepte weiter verfolgt werden oder auch nicht.</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden-/Simu </p>	86	<p>Um welche Modelle handelt es sich (CFD, etc.) oder auch physikalische Modelle (z. B. für den Einsatz auf Prüfständen)?</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden-/Simu </p>	87	<p>Im Rahmen der modellbasierten Systemanalyse und Reglerentwicklung insbesondere physikalische Modelle</p>
<p>..Herausforderungen Prüf.  ..Prüfstand mit Methoden </p>	88	<p>Wenn NEIN:</p>
<p>..Herausforderungen Prüf.  ..Prüfstand mit Methoden </p>	89	<p>Aus welchem Grund nicht?</p>
<p>..Herausforderungen Prüf.  ..Prüfstand mit Methoden </p>	90	<p>In Summe hat die Simulation nach persönlicher Einschätzung nicht den Stellenwert, welche sie – bezogen auf das damit verbundene Potenzial – haben sollte. Grund ist mir unbekannt.</p>
<p>..Abhängigkeiten  ..autom. Fahrfunktionen (</p>	91	<p>Wie sehen Sie die Veränderungen vor allem im Bereich des Fahrzeugversuchs in Bezug auf aufkommende ADAS/AD-Funktionalität im Fahrzeug?</p>
<p>..Abhängigkeiten  ..autom. Fahrfunktionen (</p>	92	<p>Bei der Erprobung von Antriebsfunktionen sind diese Bereiche nicht relevant. Meiner Einschätzung nach ist die Erprobung solcher Systeme um ein Vielfaches Komplexer als es bei der Erprobung der Fahrbarkeit oder ähnlichem der Fall ist.</p>
<p>..Prüfaufgabendefinition </p>	93	<p>Gibt es besonders bei der Versuchsplanung und -durchführung eine Innovationstrategie im Hinblick auf Veränderungen beim Gesamtfahrzeug?</p>
<p>..Prüfaufgabendefinition </p>	94	<p>Die Versuchsplanung und -durchführung richtet sich grundlegend nach den Entwicklungszielen des Fahrzeugs.</p>
<p>..Prüfaufgabendefinition </p>	95	<p>Würden Sie das V-Modell im Rahmen der Fahrzeugentwicklung / Erprobung (besonders bei der Verifikation / Validierung) noch als zeitgemäß betrachten? Gibt es, besonders für das softwaredefinierte Fahrzeug mit vielen vernetzten Funktionen andere, bessere Ansätze?</p>
<p>..Prüfaufgabendefinition </p>	96	<p>Für den Bereich der Antriebsstrangentwicklung mit Hardware- und Softwareaspekten würde ich das als Vorgehensmodell heranziehen.</p>
<p>..Prüfaufgabendefinition </p>	97	<p>Würden Sie noch irgendwelche Ergänzungen anfügen?</p>

Experteninterview B02 - OEM:



- 1 **Erprobung von Gesamtfahrzeugen im Rahmen des Entwicklungsprozesses:**
- 2 **Während der Fahrzeugentwicklung müssen viele Meilensteine erreicht werden – welchen Stellenwert haben dabei virtuelle (Digital-Twin) und auch reale Versuche im Rahmen des Entstehungsprozesses?**
- 3 Ich denke sie (Anmerkung: virtuelle Versuche) könnte in einer sehr frühen Fahrzeugphase eingesetzt werden um erste Konzepte reproduzierbar und ohne Risiko ausprobieren zu können.
- 4 **Welche relevanten Meilensteine / Freigaben werden bei der Erprobung / Absicherung durchlaufen (Komponentenrelease, Verbundrelease, etc.) bzw. in welchen Abständen finden diese statt (z. B. Softwarerelease alle 8 Wochen)?**
- 5 Die Freigaben und Erprobungen sind je nach Entwicklungsphase im Monatsturnus bis Monate Abständen.
- 6 **Was sind die größten Herausforderungen während der Erprobung?**
- 7 **Im Kontext des softwaredefinierten Fahrzeugs bei der Integration in ein Gesamtsystem? (Aspekte der zunehmenden Vernetzung im Fahrzeug)**
- 8 Für meine Begriffe das funktionsfähige Gesamtsystem mit allen Teilhabenden Steuergeräten inkl. einer Mindestreihe der Teilfunktionalitäten.
- 9 **Im Kontext der Elektrifizierung von Antriebsstrangkomponenten bzw. des gesamten Antriebsstrang (z. B. größeres Potential von komponentenübergreifenden Funktionen)?**
- 10 Die Funktionsanteile, welche Teil der hochvernetzten Funktionen sind (Der Antriebstrang und deren Stellenwert in Fahrzeug wird immer wichtiger).
- 11 **Im Kontext der zunehmenden Automatisierung von Fahrfunktionen (z. B. Einparkassistent, Notbremsassistent, Spurhalteassistent, etc.)?**
- 12 Kann ich nicht beurteilen.
- 13 **Wie groß ist die Jahreszeitenabhängigkeit im Entwicklungsprozess bzw. in weiterer Folge bei der Erprobung von Fahrzeugen – wie wirken sich nachfolgende Entwicklungsschritte aus?**
- 14 Die Tatsache, das einzelne Funktionen auf unterschiedliche Reibwerte angewiesen sind und diese oft nur in den Wintermonaten darstellbar sind, macht eine Testphase außerhalb der Wintermonate sehr schwierig, bis unmöglich. Gerade in dem erstem Winter ist eine Bedatung oder Konzeptbestätigung mit sehr hohem Aufwand verbunden.
- 15 **Erprobung: Von der Komponentenerprobung bis zum Gesamtsystem**



16 **Wie sieht die grundsätzliche Erprobung / Absicherung / Freigabe eines Fahrzeugs bzw. einer Modellvariante aus (Zyklus von Einzelkomponenten bis zum Gesamtsystem)?**

17 **Bauteil- bzw. Komponentenerprobung vs. funktionsorientierter (softwaredefiniertes Fahrzeug) Ansatz?**

18 Ist mir nicht im Detail bekannt.

19 **Bevorzugter Test von Einzelsystemen (ohne Querwirkungen durch andere Komponenten / Systeme) oder eher frühzeitige Erprobung im Gesamtsystem (die Komponentenerprobung im Gesamtsystem wäre prinzipiell durch den Ersatz von realen durch virtuelle Komponenten auf entsprechenden Prüfstandssystemen möglich)?**

20 Ein Einsatz von virtuellen Systemen in einer Frühen Phase ist immer erstrebenswert und wird auch in vielen Teilgebieten gemacht. Gerade die Auslegung von Bauteilen die mit unter hohen Belastungen ausgesetzt sind ist eine frühe Maximallast für das Bauteil entscheidend.

21 **Wie werden Prüfscenarien für die Funktionserprobung im Rahmen der Antriebsintegration definiert (überwiegend von Versuchen, die aktuell nur durch Straßenversuche erprobt werden (können) [z. B. ESC, ABS, ASR, etc.]?) (Informationen / Erkenntnisse aus klassischer Komponentenerprobung, aus Datenbanken, Betrachtung im Rahmen der funktionalen Sicherheit, aus gesetzlichen Anforderungen (z. B. UN ECE, etc.), Szenarien und Situationen aus FoT)?**

22 Es gibt fest definierte Testkataloge welche flexibel erweitert werden können. Besteht die Möglichkeit diese Tests virtuell oder an einen Prüfstand zu verlagern wird das gemacht. Freigaben werden sowohl virtuell als real abgesichert.

23 **Wie sieht die (zukünftige) Erprobung von automatisierten/autonomen Fahrfunktionen (z. B. ACC, Einparkassistent, Verkehrszeichenerkennung, etc.) aus, wenn verschiedene Prüfscenarien aufgrund der Vielzahl an variablen Parametern nicht oder nur unzureichend definiert werden können (sind statistische Tests eine Option)?**

24 Keine Ahnung – das fällt nicht in unseren Bereich des Antriebs/Fahrwerks. Das macht bei uns eine andere Abteilung. Ich nehme an, dass die auch Versuche auf der Teststrecke machen – wie das abläuft und so kann ich nicht sagen.

25 **Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext auf der Straße und am Prüfstand:**

26 **Gibt es eine Definition bzw. Kriterien, welche Erprobungsumfänge bei realen Straßenversuchen – welche bei Versuchen auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt werden (vor allem im Rahmen der Antriebsintegration / Fahrwerk)?**

27 **Ab welchem Meilenstein wird vom Prüfstand auf die Straße gewechselt? [höchstwahrscheinlich werden immer**

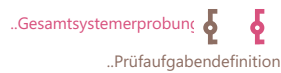


Rückkopplungen zur Komponenten- bzw. System- oder Funktionsentwicklung stattfinden – gibt es aber einen konkreten Zeitpunkt oder finden beide Prozesse immer parallel statt?]

28 In der Regel sind die Prüfsandsversuche vorgelagert damit der erste Fahrzeugaufbau erreicht werden kann. Diese Versuche finden aber auch schon überwiegend auf Basis von Manövern in Kombination mit vielen Simulationsmodellen und Restbussimulationen statt. Die neuere Hardware/ Software wird nach erreichter Reife entweder in ein bestehendes Fahrzeug integriert oder in die nächste Integrationsstufe eingeplant.

Welche Funktionen / Systeme werden bei einer klassischen Versuchsreihe erprobt bzw. abgesichert [z. B. bei Wintertests, auf der Rennstrecke, etc.]?

29 Im Grunde alle antriebsstrangnahen Funktionen.



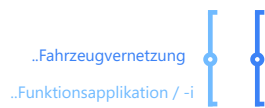
Wie hoch sind die Reifegrade dieser Funktionen / Systeme während den ersten Versuchsreihen?

30 Pauschal nicht zu beantworten, hängt von der investierten Zeit vor der ersten Integrationsstufe ab. Kann auch zum Teil als neues Konzept in eine bestehende Integrationsstufe einfließen.



Welche Probleme treten bei den ersten Versuchsreihen auf?

31 Von ersten Laufversuchen bis zur letzten Optimierungsschleife treten viele unterschiedliche Probleme auf. Kann von Vernetzungsproblemen hin bis zu nicht erreichen der Funktionsgüte ohne das Funktionserweiterung notwendig sind.



Wie sieht die Aufteilung zwischen sinnvoller Erprobungszeit / Fehleranalyse bzw. Standzeit aufgrund von Problemen aus (z. B. 50:50)?

32 Pauschal keine Aussage möglich.

Wie sieht die Verfügbarkeit von Teststrecken bzw. Versuchsarealen oder Prüfstandssystemen aus?

33 Wenn frühzeitig eingeplant ist alles möglich, Kurzfristig nur mit viel Aufwand möglich. Gleiches gilt grundsätzlich für die Prüfstände (auch für eure beiden Gesamtfahrzeugprüfstände).

























Wie lange dauert üblicherweise eine Versuchsreihe [Zeitraumklassen: 2 Wochen, 4 Wochen, >6 Wochen]?

34 2-4 Wochen








Wie hoch ist der Prototypeneinsatz (evtl. auch Personalaufwand) während einer realen Erprobung? (2 Fahrzeuge, 6 Fahrzeuge, >10 Fahrzeuge) (5 Personen, 10 Personen, >20 Personen)?

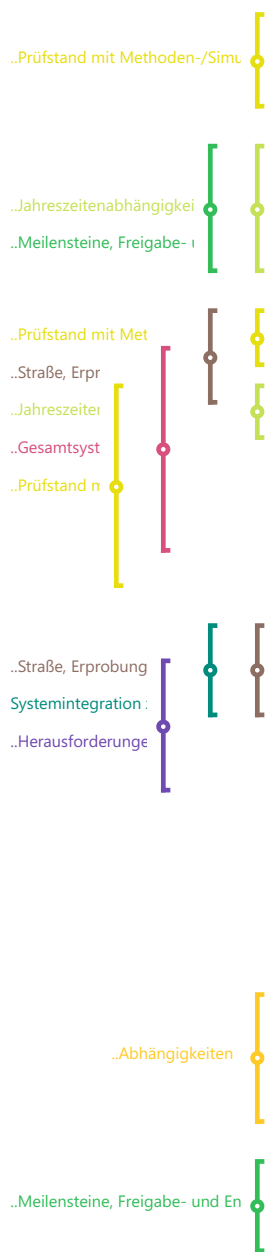
<p>..Straße, Erprobungsgelände oder</p> 	<p>42</p>	<p>Variabel je nach Verantwortlichkeiten. 1F zu 1P bis 1F zu 10P. In unserem Umfeld eher 1 zu 3</p>
<p>..Gesamtsystemerprobung</p> 	<p>43</p>	<p>Werden unterschiedliche Varianten von verschiedenen Funktionssetups / Fahrzeugsetups / Reifegraden oder Technologien bei einer realen Versuchsreihe erprobt [z. B. Softwareänderungen] oder liegt der Fokus auf dem gleichen Setup bei unterschiedlichen Bedingungen?</p>
<p>..Gesamtsystemerprobung</p> 	<p>44</p>	<p>Beides. In frühen Entwicklungsphasen kann es auch sein, dass unterschiedliche Konzepte noch miteinander verglichen werden. Damit ist natürlich die Setupänderung relativ groß.</p>
<p>..Gesamtsystemerprobung</p>  <p>..Prüfstand mit Methoden</p> 	<p>45</p>	<p>Einen Vorteil, den euer Prüfstand beispielsweise bietet ist, dass die Setups relativ gut gewechselt werden können bzw. auch Prüfstandssignale (Anmerkung: Signale aus Modellen, Signale von Prüfstandskomponenten) über die Restbussimulation verwendet werden können.</p>
<p>..Herausforderungen Fahr</p>  <p>..Straße, Erprobungsgelände</p> 	<p>46</p>	<p>Ist der Aufwand für zusätzliches Equipment für eine Versuchsdurchführung hoch [Einsatz von Fahrerroboter, Ground-Truth-Messtechnik, etc.]?</p>
<p>..Herausforderungen Fahr</p>  <p>..Straße, Erprobungsgelände</p> 	<p>47</p>	<p>In der Regel sind die Fahrzeuge mit ETK -Steuergereätetesstechnik ausgestattet. Oder Temperaturfühler, externe Drehmomenterfassung oder Drehzahlerfassung, etc.</p>
<p>..Straße, Erprobung</p> 	<p>48</p>	<p>Wie wird mit dem Thema Reproduzierbarkeit umgegangen (Straße / Prüfstand)?</p>
<p>..Straße, Erprobung</p> 	<p>49</p>	<p>Werden Fahrmanöver mit Robotereinsatz gefahren oder immer manuell?</p>
<p>..Straße, Erprobung</p>  <p>..Gesamtsystemerprobung</p>  <p>Erprobungsergebnis</p> 	<p>50</p>	<p>In der Regel werden die Fahrmanöver entweder durch geübte Fahrer bei ähnlichen bis gleichen Bedingungen nachgefahren oder durch Messreihen um eine gewisse statistische Aussagen treffen zu können.</p>
<p>..Straße, Erprobung</p> 	<p>51</p>	<p>Auf dem R2R ist das für gewisse Situationen deutlich besser zu reproduzieren, da die Randbedingungen nahezu 100% gleich sind.</p>
<p>Erprobungsvorbere</p> 	<p>52</p>	<p>Vordefinierte Anforderungen an die Ausgangsbedingungen (z. B. Temperaturbereich, etc.)?</p>
<p>..Straße, Erprobung</p>  <p>..Gesamtsystemerprobung</p>  <p>..Prüfstand mit Met</p> 	<p>53</p>	<p>Für Temperatur Modellierung ist eine konstante Temperatur bei unterschiedlichen Niveaus sehr wichtig und gerade Pendelfahrten mit viel Last sind auf normaler Rolle nicht darstellbar. R2R mit Klimatisierung kann alle Fahrmanöver abbilden inkl. dynamischen Pendelfahrten.</p>
<p>Erprobungsvorbere</p> 	<p>54</p>	<p>Vordefinierte Anforderungen an die Teststrecke (z. B. Variation von unterschiedlichen Fahrbahnzuständen (trocken, nass, schneebedeckt, etc.), sofern diese Variabilität auf Teststrecken existiert bzw. kontrolliert eingestellt (z. B. nasse Fahrbahn) werden kann</p>

<p>Erprobungsvorbereitung , ..Straße, Erprobungsgelän</p> 	<p>55</p>	<p>Die Teststrecken haben unterschiedliche Eigenschaften und sind speziell dafür erstellt. Z.B. Welliger Beton, sinuswellen, Schotter, schlechtweg, Nass handlich usw..</p>
<p></p>	<p>56</p>	<p>Welche Kriterien gibt es für die Auswertung? (kann das pauschalisiert werden?) quantifizierbare Kriterien oder Vergleich zu anderen Modellen?</p>
<p>Erprobungsergebnisse</p> 	<p>57</p>	<p>Es gibt konkrete Anforderungen, die es zu erfüllen gibt, für die Anforderungen gibt es wiederum Tests, um gegen die Anforderung testen zu können. Aber es gibt natürlich auch ein objektives und subjektives Empfinden, das einen Einfluss hat.</p>
<p></p>	<p>58</p>	<p>Wie sieht es mit den Sicherheitsvorgaben / Genehmigungen / Versicherungen von Prototypen aus?</p>
<p>..Herausforderungen Fahrzeug</p> 	<p>59</p>	<p>Die Sicherheitsauflagen sind relativ streng. Es dürfen keine Versuche mit ungesicherten bzw. nicht am Prüfstand gelaufenen Datenständen auf der Straße durchgeführt werden.</p>
<p></p>	<p>60</p>	<p>Die Prototypen selbst sind ganz normal Haftpflichtversichert – wenn das Fahrzeug kaputt wird oder einen Unfall hat ist das eben so.</p>
<p></p>	<p>61</p>	<p>Werden funktionale Entwicklungen / Versuche / Absicherungen / Freigaben auch auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen im Gesamtsystem durchgeführt [wobei nicht real verfügbare oder vorhandene Komponenten durch Simulationsmodelle ersetzt werden (z. B. Karosseriemodell, Reifenmodell, Anhänger, etc.)]?</p>
<p></p>	<p>62</p>	<p>Wenn JA:</p>
<p></p>	<p>63</p>	<p>Welche Versuche werden durchgeführt bzw. auf welchen Versuchen liegt der Fokus?</p>
<p>..Meilensteine, Freigabe- i ..Prüfstand mit Methoden</p> 	<p>64</p>	<p>Prinzipiell wird versucht, besonders in frühen Entwicklungsphasen für die Konzeptabsicherung, Versuche auf dem Prüfstand durchzuführen. Das erfolgt eigentlich je nach Funktion oder System, das getestet werden soll in unterschiedlichen Ausbaustufen von der Simulation bis zum Antriebsstrangprüfstand.</p>
<p>..Straße, Erprobung ..Prüfstand mit Met ..Gesamtsystemerp</p> 	<p>65</p>	<p>Je weiter fortgeschritten die Entwicklung ist, desto mehr wird aber auf der Straße durchgeführt. Hier ist wieder der Vorteil eures R2R, da eine Grundbedatung vieler Funktionen des Fahrzeugs bereits am Prüfstand erfolgen kann – damit ist die Versuchsdurchführung auf der Straße deutlich effizienter.</p>
<p></p>	<p>66</p>	<p>Welche Prüfstandsvarianten werden konkret eingesetzt (Rollenprüfstände bzw. Rollenbandprüfstände, Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstände wie der KS R2R)?</p>
<p>..Prüfstandsvarianten</p> 	<p>67</p>	<p>Antriebsstrangprüfstände, Motorenprüfstände, Inverter- und Batterieprüfstände, HiL, SiL</p>

	68	Wie wird mit dem Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung umgegangen (wie werden diese Methoden verifiziert und validiert)?
..Methoden-/Simulations- bzw. I	69	Die Modellabsicherung ist mitunter das größte Thema. Oftmals erfolgt das auf Basis von realen Fahrmanövern. Eine Schwierigkeit dabei ist, die Grenzen der Modellierung für die entsprechenden Versuche zu kennen. Für das Fahrzeug (Anmerkung: Karosserie, Reifen, Dämpfer, etc.) ist die Modellierung deutlich einfacher abzusichern als das beispielsweise für die Umgebungsbedingungen (Anmerkung: Straßeneigenschaften) ist.
	70	Gibt es Datenbanken für unterschiedliche Simulationsmodellvarianten oder dessen Parametrierungsstände?
	71	Wenn NEIN:
	72	Warum werden funktionale Versuche / Absicherungen nicht auf Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt?
	73	Ist es das Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung ein entscheidendes Kriterium?
	74	Werden Einschränkungen am Prüfstand im Vergleich zur Straße gesehen / befürchtet?
	75	Gibt es andere Einschränkungen (Verfügbarkeit bzw. Anschaffungskosten von Gesamtfahrzeugprüfständen, Komplexität solcher Systeme im Hinblick auf Bedienung / Wartung, Auslastungsbedenken)?
	76	Werden Modelle und Simulationen (physikalische Echtzeit-Modelle von einzelnen Komponenten) im Entwicklungsprozess und in weiterer Folge auf Prüfständen eingesetzt (z. B. für die frühzeitige Energie- bzw. Reichweitenerprobung, Funktionserprobung, etc.)?
	77	Wenn JA:
	78	In welchem Umfang kommen diese Modelle und Simulationen zum Einsatz?
..Prüfstand mit Methoden-/Simu	79	Bei uns wird der Teil der Software, welcher im Fahrzeug eine Eigenschaft mitbeeinflusst, nachgebildet und in einer Gesamtfahrzeugsimulation bereitgestellt. In dieser Simulation werden alle anderen relevanten Steuergeräte mitsimuliert in Form von virtuellen-ECU.
	80	Werden Ergebnisse von Simulationen/Modellen als Entscheidungsgrundlage herangezogen?
..Meilensteine, Freigabe- i ..Prüfstand mit Methoden	81	Für konzeptionelle Entscheidungen werden Simulationsmodelle häufig eingesetzt. Zusätzlich spielen diese Modelle in einigen Regelungssystemen des

		Fahrzeugs in abgewandelten Varianten eine Rolle.
82		Um welche Modelle handelt es sich (CFD, etc.) oder auch physikalische Modelle (z. B. für den Einsatz auf Prüfständen)?
83	..Prüfstand mit Methoden-/Simu 	Überwiegend physikalische Modell in unserem Bereich – im Bereich zur Analyse und Optimierung von Werkstoffeigenschaften kommen aber auch die angeführten CFD-Simulationen zum Einsatz. Auch der Bereich der Aerodynamik ist stark von Simulationen getrieben, da die Zeit im Windkanal extrem begrenzt und teuer ist.
84		Wenn NEIN:
85		Aus welchem Grund nicht?
86		Wie sehen Sie die Veränderungen vor allem im Bereich des Fahrzeugversuchs in Bezug auf aufkommende ADAS/AD-Funktionalität im Fahrzeug?
87	..autom. Fahrfunktionen ( ..Abhängigkeiten 	In jedem Fall wird der Testaufwand für ADAS/AD-Funktionen und Systeme höchstwahrscheinlich enorm steigen. Dieser Bereich ist aber eigentlich losgelöst von der Antriebs- und Fahrwerksentwicklung / -erprobung.
88		Gibt es besonders bei der Versuchsplanung und -durchführung eine Innovationstrategie im Hinblick auf Veränderungen beim Gesamtfahrzeug?
89	..Prüfaufgabendefinition 	Eigentlich erfolgt die Versuchsdurchführung angelehnt an die Entwicklungsziele und dessen Anforderungen.
90		Würden Sie das V-Modell im Rahmen der Fahrzeugentwicklung / Erprobung (besonders bei der Verifikation / Validierung) noch als zeitgemäß betrachten? Gibt es, besonders für das softwaredefinierte Fahrzeug mit vielen vernetzten Funktionen andere, bessere Ansätze?
91		In einigen Bereichen wird bei uns so gearbeitet – besonders aber für die Softwareentwicklung sämtlicher Systeme ist der eigentliche Ansatz deutlich komplexer. Auf unterster Implementierungsebene kann man das vielleicht wieder finden – für Funktionen oder das gesamte Fahrzeug braucht es die Beschreibung mit sehr vielen V-Modellen innerhalb des V-Modells.
92		Würden Sie noch irgendwelche Ergänzungen anfügen?
93		Nein – Vielen Dank!

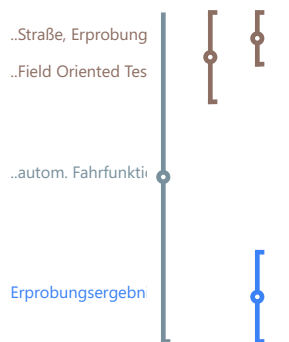
Experteninterview B03 - OEM:



- 1 **Erprobung von Gesamtfahrzeugen im Rahmen des Entwicklungsprozesses:**
- 2 **Während der Fahrzeugentwicklung müssen viele Meilensteine erreicht werden – welchen Stellenwert haben dabei virtuelle (Digital-Twin) und auch reale Versuche im Rahmen des Entstehungsprozesses?**
- 3 Aus meiner Sicht nimmt die virtuelle Fahrzeugentwicklung in der Zukunft einen noch größeren Stellenwert ein, als das bisher bereits der Fall ist. Bei uns ist die modellbasierte Entwicklung besonders auf Prüfständen ein zentrales Element.
- 4 Besonders für die Konzeptentwicklung des Fahrzeugs selbst, in der ja auch meistens der erste Winter für Erprobungen entscheidend ist, da hier schon entscheidende Weichen gestellt werden, die in weiterer Folge nur schwer umkehrbar sind, spielt die virtuelle Komponente eine wichtige Rolle.
- 5 Es braucht aber neben der reinen virtuellen Betrachtung für viele Entscheidungen aber trotzdem die Erprobung mit realen Bauteilen im Gesamtfahrzeug. Um die Abhängigkeit zu den äußeren Bedingungen über die Jahreszeiten hinweg ein bisschen schmälern zu können, nutzen wir auch dafür unsere Gesamtfahrzeugprüfstände, auf welchen wir Versuchsszenarien hinsichtlich der Längs- und Querdynamik des Fahrzeugs mit unterschiedlichen Komponenten und Setups erproben. Dazu ist auch die Modellentwicklung speziell für die Prüfstandserprobung ein zentrales Element.
- 6 Ein oftmals schwieriges Thema dieses Prozessschrittes im Rahmen von realen Fahrversuchen ist es, dass die Applikation speziell im frühen Entwicklungsstadium nicht sinnvoll möglich ist. Die Gründe sind vielschichtig und reichen von, dass die Fahrzeuge keine Straßenfreigabe besitzen bis hin zu fehlenden Komponenten mit geringer Reife.
- 7 **Welche relevanten Meilensteine / Freigaben werden bei der Erprobung / Absicherung durchlaufen (Komponentenrelease, Verbundrelease, etc.) bzw. in welchen Abständen finden diese statt (z. B. Softwarerelease alle 8 Wochen)?**
- 8 Das lässt sich nicht pauschal sagen, da die Fahrzeugentwicklung auch ein Zusammenspiel sehr vieler unterschiedlicher organisatorischer Bereich ist, die aufgrund ihrer Disziplin höchstwahrscheinlich auch unterschiedliche Etappenziele verfolgen.
- 9 Die Flexibilität in der Softwareentwicklung erlaubt beispielsweise ein viel kürzeres Release-Intervall als es die Hardwareentwicklung jemals zulassen könnte. Hier geht es grundsätzlich auch um Sicherheiten, Optimierungen, etc.
- 10 **Was sind die größten Herausforderungen während der Erprobung?**
- 11 **Im Kontext des softwaredefinierten Fahrzeugs bei der Integration in ein Gesamtsystem? (Aspekte der zunehmenden Vernetzung im Fahrzeug)**

<p>Systemintegration zum Gesamtsystem</p> 	<p>12</p>	<p>Ein nicht enorm wichtiger Bereich ist die Systemintegration zum Gesamtsystem. Hier haben wir in der Vergangenheit bereits gesehen, dass an dieser Stelle des Entstehungsprozesses ein enormes Potential vorherrscht.</p>
	<p>13</p>	<p>Im Kontext der Elektrifizierung von Antriebsstrangkomponenten bzw. des gesamten Antriebsstrang (z. B. größeres Potential von komponentenübergreifenden Funktionen)?</p>
<p>..Funktionsapplikation / -i</p> <p>..Fahrzeugvernetzung</p> <p>..Herausforderungen Fahr</p> 	<p>14</p>	<p>Hochvernetzte Systeme im Fahrzeug mit vielen Querverbindungen und auch Querverwirkungen sind sicherlich enorm aufwendig im Hinblick auf die Inbetriebnahme / Applikation – dieser Trend ist besonders bei Elektrofahrzeugen erkennbar. Klar, es hat Multimedia-Themen mit fortschreitender Computerisierung gegeben – aber die Möglichkeiten durch die zunehmende Elektrifizierung besonders auch bezogen auf den Antrieb und das Fahrwerk sind in den letzten 20 Jahren würde ich sagen noch einmal gestiegen. Gerade diese Flexibilität bringt auch einen enormen Versuchsaufwand mit.</p>
	<p>15</p>	<p>Im Kontext der zunehmenden Automatisierung von Fahrfunktionen (z. B. Einparkassistent, Notbremsassistent, Spurhalteassistent, etc.)?</p>
<p>..autom. Fahrfunktionen (</p> <p>..Abhängigkeiten</p> <p>..Prüfstand mit Methoden</p> 	<p>16</p>	<p>Hier sehe ich den nächsten großen Meilenstein der Automobilentwicklung. Dieser Bereich ist nicht unmittelbar verknüpft mit der Antriebsentwicklung, das resultiert aus der Organisationsstruktur. Ist aber für mich ein sehr spannendes Thema.</p>
	<p>17</p>	<p>Was wir aber schon beobachten ist, dass mit zunehmender Fahrzeugentstehung sämtliche vernetzte Funktionen aus diesem Bereich auch Einflüsse auf die Antriebsentwicklung / -abstimmung hat. Besonders am Prüfstand sehe ich hier Herausforderungen bezüglich der Restbussimulation – sodass das Fahrzeug trotzdem realitätsnah betrieben werden kann.</p>
	<p>18</p>	<p>Wie groß ist die Jahreszeitenabhängigkeit im Entwicklungsprozess bzw. in weiterer Folge bei der Erprobung von Fahrzeugen – wie wirken sich nachfolgende Entwicklungsschritte aus?</p>
<p>..Straße, Erprobungsgelände</p> <p>..Jahreszeitenabhängig</p> <p>..Meilensteine, Freigabe</p> 	<p>19</p>	<p>Wie zuvor schon gesagt ist dieser Einfluss (Anmerkung: Jahreszeitenabhängigkeit) mitunter einer der größten für die Antriebsentwicklung – speziell für konzeptionelle Entscheidungen was die Antriebstopologien und Betriebsstrategien betrifft.</p>
	<p>20</p>	<p>Erprobung: Von der Komponentenerprobung bis zum Gesamtsystem</p>
	<p>21</p>	<p>Wie sieht die grundsätzliche Erprobung / Absicherung / Freigabe eines Fahrzeugs bzw. einer Modellvariante aus (Zyklus von Einzelkomponenten bis zum Gesamtsystem)?</p>
	<p>22</p>	<p>Bauteil- bzw. Komponentenerprobung vs. funktionsorientierter (softwaredefiniertes Fahrzeug) Ansatz?</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden-/Simu</p> 	<p>23</p>	<p>Klar braucht es bei der Entwicklung von einzelnen Komponenten, das betrifft</p>

<p>..Prüfstand mit Methoden-/Simu</p> <p>..Gesamtsystemerprobung</p> <p>..Meilensteine, Freigabe- i</p>		<p>vor allem sämtliche Hardwarekomponenten vom elektrischen Antrieb bis hin zur Traktionsbatterie, den HV-Kabelstrang, etc. die Erprobung auf Durability, Calibration, Benchmarking, Energy Analysis, Validation, etc. Dabei kommen auch über die gesamte Entwicklung unterschiedliche Simulations- und Testplattformen zum Einsatz. Das Ziel ist aber, bereits in frühen Phasen realitätsnahe Ergebnisse für viele Bereiche, sei es die Batterie oder der Inverter, zu erhalten, sodass konzeptionelle Aussagen bzw. Entscheidungen möglich sind bzw. sollten Änderungen notwendig sein – dass diese möglichst frühzeitig erkannt werden können.</p>
	24	<p>Bevorzugter Test von Einzelsystemen (ohne Querwirkungen durch andere Komponenten / Systeme) oder eher frühzeitige Erprobung im Gesamtsystem (die Komponentenerprobung im Gesamtsystem wäre prinzipiell durch den Ersatz von realen durch virtuelle Komponenten auf entsprechenden Prüfstandssystemen möglich)?</p>
<p>..Gesamtsystemerprobung</p> <p>..Meilensteine, Freigabe- i</p>	25	<p>Es wird überwiegend versucht, so früh wie möglich ins Gesamtsystem zu wechseln. Die zuvor erwähnte Absicherung auf verschiedene Bereiche im Komponentenstadium erfolgt dazu ohnehin noch parallel.</p>
	26	<p>Wie werden Prüfscenarien für die Funktionserprobung im Rahmen der Antriebsintegration definiert (überwiegend von Versuchen, die aktuell nur durch Straßenversuche erprobt werden (können) [z. B. ESC, ABS, ASR, etc.])? (Informationen / Erkenntnisse aus klassischer Komponentenerprobung, aus Datenbanken, Betrachtung im Rahmen der funktionalen Sicherheit, aus gesetzlichen Anforderungen (z. B. UN ECE, etc.), Szenarien und Situationen aus FoT)?</p>
<p>..Prüfaufgabendefinition</p>	27	<p>Die Definition der Versuche erfolgt grundsätzlich anhand der Anforderungen an die Funktion oder das System selbst. Dazu gibt es aber auch verschiedene Backlogs und Prüfkataloge mit Versuchen, die durchgeführt werden müssen. Damit bekommt die Erprobung auch eine gewisse Struktur.</p>
<p>Systemintegration zum G</p> <p>..Gesamtsystemerprobung</p>	28	<p>Sämtliche Fehler im Gesamtsystem werden analysiert. Je nach Tiefe des Problems werden dann entsprechende Schritte gesetzt, sodass auf unteren Ebenen der Entwicklung diese Fehlerfälle auch berücksichtigt sind.</p>
	29	<p>Wie sieht die (zukünftige) Erprobung von automatisierten/autonomen Fahrfunktionen (z. B. ACC, Einparkassistent, Verkehrszeichenerkennung, etc.) aus, wenn verschiedene Prüfscenarien aufgrund der Vielzahl an variablen Parametern nicht oder nur unzureichend definiert werden können (sind statistische Tests eine Option)?</p>
<p>..autom. Fahrfunktionen (ADAS/</p>	30	<p>Sehe ich wie zuvor schon gesagt extrem aufwendig – aber notwendig. Nachdem aber auch gesetzliche Rahmenbedingungen geschaffen sind bzw. für viele Bereiche noch geschaffen werden müssen, werden viele Versuchsszenarien darauf ausgelegt sein.</p>
<p>..autom. Fahrfunktionen (ADAS/</p>	31	<p>Die Erprobung im Rahmen der Entwicklung solcher Funktionen ist natürlich</p>



deutlich aufwendiger – hierzu braucht es auf eine riesige Menge an Daten, die nur durch Straßenfahrten bzw. reale Fahrmanöver generiert werden können. Hier bietet sich beispielsweise die Aufzeichnung in Form von FoT an. Die Schwierigkeit dabei ist, die Daten überhaupt aufzeichnen zu können und in weiterer Folge von den jeweiligen Fahrzeugen in eine zentrale Cloud zu bringen.

32 Darüber hinaus braucht es sicherlich auch eine Aufbereitung der Daten z. B. in Abhängigkeit der Fahrsituation. So ähnlich läuft der Prozess auch bei der Antriebsentwicklung für Antriebs- und Fahrwerksfunktionen ab.

33 **Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext auf der Straße und am Prüfstand:**

34 **Gibt es eine Definition bzw. Kriterien, welche Erprobungsumfänge bei realen Straßenversuchen – welche bei Versuchen auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt werden (vor allem im Rahmen der Antriebsintegration / Fahrwerk)?**

35 **Ab welchem Meilenstein wird vom Prüfstand auf die Straße gewechselt? [höchstwahrscheinlich werden immer Rückkopplungen zur Komponenten- bzw. System- oder Funktionsentwicklung stattfinden – gibt es aber einen konkreten Zeitpunkt oder finden beide Prozesse immer parallel statt?]**



36 Einen konkreten Übergang gibt es eigentlich nicht. Die Versuche, egal ob Komponenten, im Gesamtsystem am Prüfstand oder auf der Straße werden eigentlich immer parallel durchgeführt.

37 **Welche Funktionen / Systeme werden bei einer klassischen Versuchsreihe erprobt bzw. abgesichert [z. B. bei Wintertests, auf der Rennstrecke, etc.]?**



38 Im Gesamtfahrzeug stehen vor allem Themen wie die Fahrbarkeit, die Funktionsweise von Fahrfunktionen zu unterschiedlichen Bedingungen, der Komfort, der Energieverbrauch bzw. die Reichweitenoptimierung (vor allem bei Elektrofahrzeugen) im Vordergrund.

39 Dazu gibt es Versuchsvorschriften, die im Rahmen einer Erprobung z. B. in Schweden im Winter durchgeführt werden.



40 **Wie hoch sind die Reifegrade dieser Funktionen / Systeme während den ersten Versuchsreihen?**



41 Das ist abhängig, welcher Zeitpunkt im Entstehungsprozess gerade angeschaut wird. Besonders das zu Beginn angesprochene Thema zur Konzeptentscheidung findet oftmals mit geringen Reifegraden des Gesamtsystem statt. Daraus lässt sich schon erkennen, dass die Erprobung natürlich gespickt mit Fehleranalysen etc. ist, obwohl ein Großteil von Funktionen nicht vorhanden oder deaktiviert ist.

42 **Welche Probleme treten bei den ersten Versuchsreihen auf?**

	43	Wie sieht die Aufteilung zwischen sinnvoller Erprobungszeit / Fehleranalyse bzw. Standzeit aufgrund von Problemen aus (z. B. 50:50)?
	44	Wie sieht die Verfügbarkeit von Teststrecken bzw. Versuchsarealen und Prüfstandssystemen aus?
..Straße, Erprobungsgelän	45	Die kurzfristige Verfügbarkeit ist eher schwierig – in der Regel aber werden die Slots frühzeitig reserviert oder gebucht.
Erprobungsvorbereitung ,	46	Für die Prüfstände bzw. genauer die Gesamtfahrzeugprüfstände sieht das sehr ähnlich aus – die Belegung ist aufgrund der Wirtschaftlichkeit schon recht gut – muss sie auch sein.
..Prüfstand mit Methoden	47	Wie lange dauert üblicherweise eine Versuchsreihe [Zeitraumklassen: 2 Wochen, 4 Wochen, >6 Wochen]?
..Straße, Erprobungsgelän	48	In etwa 2-4 Wochen für Antriebsfunktionen und sämtlicher zusammenhängender Systeme.
Erprobungsvorbereitung ,	49	Wie hoch ist der Prototypeneinsatz (evtl. auch Personalaufwand) während einer realen Erprobung? (2 Fahrzeuge, 6 Fahrzeuge, >10 Fahrzeuge) (5 Personen, 10 Personen, >20 Personen)?
..Straße, Erprobungsgelän	50	Hängt von den Erprobungszielen ab – kann aber von 5-10 Fahrzeugen mit bis zu 20 Personen sein.
Erprobungsvorbereitung ,	51	Werden unterschiedliche Varianten von verschiedenen Funktionssetups / Fahrzeugsetups / Reifegraden oder Technologien bei einer realen Versuchsreihe erprobt [z. B. Softwareänderungen] oder liegt der Fokus auf dem gleichen Setup bei unterschiedlichen Bedingungen?
..Straße, Erprobung	52	Wie zu Beginn erwähnt ist die Varianz bei den ersten Erprobungsfahrten deutlich größer, da hier teilweise auch konzeptionelle Entscheidungen mit getroffen werden sollen.
..Gesamtsystemerp	53	Ist der Aufwand für zusätzliches Equipment für eine Versuchsdurchführung hoch [Einsatz von Fahrroboter, Ground-Truth-Messtechnik, etc.]?
..Meilensteine, Freit	54	Beschränkt sich in der Regel auf die Steuergerätemesstechnik. Kann in einigen Fällen auch sein, dass Zusatzmesstechnik wie externe Raddrehzahlfühler, Messfelgen für die Messung von Raddrehmomenten oder GPS verbaut sind.
..Straße, Erprobungsgelän	55	Wie wird mit dem Thema Reproduzierbarkeit umgegangen (Straße / Prüfstand)?
Erprobungsvorbereitung ,	56	Die Reproduzierbarkeit am Prüfstand ist bei richtiger Parametrierung deutlich besser. Vor allem unterschiedliche Bedingungen wie Straßenbeschaffenheiten, Umweltbedingungen sind in vielen Fällen, vor allem beim Vergleich von mehreren unterschiedlichen Erprobungszyklen nicht immer hundertprozentig gleich. In einigen Fällen ist das aber auch nicht unbedingt notwendig.
..Prüfstand mit Methoden		
Erprobungsergebnisse		

<p>Erprobungsergebnisse ..Straße, Erprobungsgelände</p> 	<p>57</p>	<p>Für hochdynamische Versuche sind die äußeren Eigenschaften im Kontext der Reproduzierbarkeit auf Teststrecken aber oftmals schwierig.</p>
<p></p>	<p>58</p>	<p>Werden Fahrmanöver mit Robotereinsatz gefahren oder immer manuell?</p>
<p></p>	<p>59</p>	<p>Auf unseren Gesamtfahrzeugprüfständen werden ausschließlich alle Fahrmanöver automatisiert durch den Einsatz von Fahrrobotern, Schaltaktuatoren etc. durchgeführt. Das hat unter anderem zwei Hauptgründe:</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden Erprobungsergebnisse</p> 	<p>60</p>	<p>1. Dadurch ist auch ein 24/7-Betrieb möglich – es können also die Fahrmanöver in viel kürzeren Zeiträumen durchgeführt werden</p>
<p></p>	<p>61</p>	<p>2. Die Durchführungsgeschwindigkeit und -genauigkeit steigt damit noch einmal um ein paar Prozent an</p>
<p></p>	<p>62</p>	<p>Vordefinierte Anforderungen an die Ausgangsbedingungen (z. B. Temperaturbereich, etc.)?</p>
<p>Erprobungsvorbereitung / -durch</p> 	<p>63</p>	<p>Besonders für die Reichweitenerprobung sind diese Faktoren ausschlaggebend.</p>
<p></p>	<p>64</p>	<p>Vordefinierte Anforderungen an die Teststrecke (z. B. Variation von unterschiedlichen Fahrbahnzuständen (trocken, nass, schneebedeckt, etc.), sofern diese Variabilität auf Teststrecken existiert bzw. kontrolliert eingestellt (z. B. nasse Fahrbahn) werden kann</p>
<p>Erprobungsergebnisse ..Straße, Erprobung Erprobungsvorbere ..Prüfstand mit Met</p> 	<p>65</p>	<p>Für Fahrfunktionen, Sicherheits- und Assistenzsysteme ist dieser Faktor (Anmerkung: der Fahrbahnzustände) deutlich wichtiger. Auf Teststrecken kann durchaus eine gewisse Bandbreite verschiedener Zustände abgebildet werden – durch die simulationsgestützte Streckenvorgabe am Prüfstand kann aber ein noch größeres Spektrum mit geringerem Aufwand abgedeckt werden.</p>
<p></p>	<p>66</p>	<p>Welche Kriterien gibt es für die Auswertung? (kann das pauschalisiert werden?) quantifizierbare Kriterien oder Vergleich zu anderen Modellen?</p>
<p>Erprobungsergebnisse ..Methoden-/Simulations-</p> 	<p>67</p>	<p>Dieses Thema ist im allgemeinen schwierig – oftmals erfolgen Vergleiche für unterschiedliche Betriebsfälle durch den Vergleich von Ausrollkurven. Diese Herangehensweise ist eigentlich historisch bedingt und kommt von vielen Abgasemissions- und Homologationsversuchen auf Rollenprüfständen. Für hochdynamische Situationen (z. B. Schlupfsituationen) spielen aber sehr viele weitere Faktoren (z. B. Simulation von realen bzw. unterschiedlichen Radträgkeiten) eine entscheidende Rolle – die mit diesem rudimentären Vergleich nicht bewertet werden können.</p>
<p></p>	<p>68</p>	<p>Wie sieht es mit den Sicherheitsvorgaben / Genehmigungen / Versicherungen von Prototypen aus?</p>
<p>..Straße, Erprobungsgelände oder</p> 	<p>69</p>	<p>Dieses Thema betrifft grundlegend beide Disziplinen – die Straßenerprobung</p>

		und die Prüfstandserprobung.
..Herausforderungen Prüfstand	70	Vor allem durch die Elektrifizierung der Fahrzeuge / Prototypen ist auch auf den Gesamtfahrzeugprüfstände eine gewisses Gefahrenpotential für schwerwiegende Unfälle gewandert (Stichwort: Brandgefahr bzw. Löschmöglichkeiten von Fahrzeugbatterien)
	71	Werden funktionale Entwicklungen / Versuche / Absicherungen / Freigaben auch auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen im Gesamtsystem durchgeführt [wobei nicht real verfügbare oder vorhandene Komponenten durch Simulationsmodelle ersetzt werden (z. B. Karosseriemodell, Reifenmodell, Anhänger, etc.)]?
	72	Wenn JA:
	73	Welche Versuche werden durchgeführt bzw. auf welchen Versuchen liegt der Fokus?
	74	Ich denke, das Thema haben wir zuvor schon diskutiert.
	75	Welche Prüfstandsvarianten werden konkret eingesetzt (Rollenprüfstände bzw. Rollenbandprüfstände, Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstände wie der KS R2R)?
..Prüfstandsvarianten	76	Simulationen, HiL, SiL, Komponentenprüfstände (Motorprüfstand, Batterietest, Inverterprüfstände), Antriebsstrangprüfstände, Gesamtfahrzeugprüfstände, Rollenprüfstände
	77	Wie wird mit dem Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung umgegangen (wie werden diese Methoden verifiziert und validiert)?
..Methoden-/Simulations-	78	Durch den Vergleich von Prüfstandsversuchen mit realen Straßenversuchen. Dieser Prozess ist oftmals recht aufwendig – ist aber notwendig für aussagekräftige Ergebnisse.
..Herausforderungen Prüf.	79	Vor allem an dieser Stelle wird oft auch erkannt, dass viele Modellierungen gewisse Systemgrenzen am Prüfstand besitzen. Dahingehend braucht es auch Prozesse zur Adaptierung einzelner Bestandteile von Simulationsmodellen, sodass ein guter Einsatz möglich ist.
	80	Gibt es Datenbanken für unterschiedliche Simulationsmodellvarianten oder dessen Parametrierungsstände?
..Prüfstand mit Methoden	81	Hierfür haben wir mehrere Entwicklungsplattformen. Ein großes Thema dabei ist die Versionierung der Modelle und Parametrierungen.
..Methoden-/Simulations-	82	Wenn NEIN:
	83	Warum werden funktionale Versuche / Absicherungen nicht auf Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt?

84	Ist es das Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung ein entscheidendes Kriterium?	
85	Werden Einschränkungen am Prüfstand im Vergleich zur Straße gesehen / befürchtet?	
86	Gibt es andere Einschränkungen (Verfügbarkeit bzw. Anschaffungskosten von Gesamtfahrzeugprüfständen, Komplexität solcher Systeme im Hinblick auf Bedienung / Wartung, Auslastungsbedenken)?	
87	Werden Modelle und Simulationen (physikalische Echtzeit-Modelle von einzelnen Komponenten) im Entwicklungsprozess und in weiterer Folge auf Prüfständen eingesetzt (z. B. für die frühzeitige Energie- bzw. Reichweitenerprobung, Funktionserprobung, etc.)?	
88	Wenn JA:	
89	In welchem Umfang kommen diese Modelle und Simulationen zum Einsatz?	
90	Für das Fahrzeug betrifft das überwiegend die Funktion- und Softwareentwicklung bzw. modellbasierte Regelungsstrategien.	
91	Ähnlich sieht es beim Prüfstand aus. Hier sind aber neben der Simulation von Elementen des Fahrzeugs auch die Simulation der Straße bzw. des Untergrundes notwendig. Darüber hinaus braucht es am Prüfstand für das Fahrzeug eine gut funktionierende Restbussimulation. Das Portfolio erstreckt sich hier von der Simulation bzw. Emulation von Fahrzeugsensoren bis hin zur Checksummen- und Zertifikaten (Anmerkung: Netzwerk-Sicherheit im Fahrzeug) im vernetzten Fahrzeug.	<p>..Prüfstand mit Methoden ..Herausforderungen Fahr</p>
92	Werden Ergebnisse von Simulationen/Modellen als Entscheidungsgrundlage herangezogen?	
93	Ja, da verschiedene Konzepte in vielen Bereichen auf Prüfständen getestet werden – damit ist diese Plattform oftmals die Basis für Entscheidungen. In vielen Fällen auch die Vorbereitung für die Erprobung auf der Straße, wodurch dann schlussendlich eine Entscheidung getroffen wird.	<p>..Meilensteine, Freigabe- t ..Prüfstand mit Methoden</p>
94	Um welche Modelle handelt es sich (CFD, etc.) oder auch physikalische Modelle (z. B. für den Einsatz auf Prüfständen)?	
95	Auf unseren Prüfständen überwiegend physikalische bzw. mathematische Modelle – das resultiert überwiegend aus der Echtzeitanforderung. Es kommen aktuell aber auch mehrere Modelle im Hinblick auf die Erprobung des Thermomanagement des Fahrzeugs auf – diese laufen in der Regel azyklisch.	<p>..Prüfstand mit Methoden-/Simu</p>
96	Für Bereiche der Festigkeit, Materialausnutzung, Aerodynamik, etc. werden natürlich auch noch andere Simulationen eingesetzt – das betrifft aber die	

Funktionsentwicklung und -erprobung nicht unmittelbar, da wir darauf aufsetzen.

97 **Wenn NEIN:**

98 **Aus welchem Grund nicht?**

99 **Wie sehen Sie die Veränderungen vor allem im Bereich des Fahrzeugversuchs in Bezug auf aufkommende ADAS/AD-Funktionalität im Fahrzeug?**

100 Ich denke, diese Frage ist schon ausführlich behandelt worden.

101 **Gibt es besonders bei der Versuchsplanung und -durchführung eine Innovationstrategie im Hinblick auf Veränderungen beim Gesamtfahrzeug?**

..Prüfstand mit Methoden-/Simu

102 Die Strategie ist überwiegend, die Versuchsdurchführung auf den Prüfstand zubringen, da hier die Flexibilität in vielen Bereichen, sei es bezüglich Änderungen am oder mit dem Prüfling, als auch die Umgebung bzw. die Simulation von Strecken und Untergründen einfacher durchgeführt werden kann.

103 **Würden Sie das V-Modell im Rahmen der Fahrzeugentwicklung / Erprobung (besonders bei der Verifikation / Validierung) noch als zeitgemäß betrachten? Gibt es, besonders für das softwaredefinierte Fahrzeug mit vielen vernetzten Funktionen andere, bessere Ansätze?**

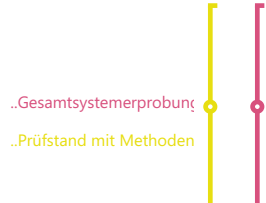
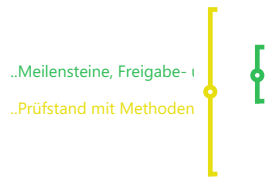
..autom. Fahrfunktionen (ADAS/

104 Nachdem die Fahrzeugentwicklung aus sehr vielen unterschiedlichen Bereichen zusammengesetzt ist, würde ich hier auch das ASPICE-Modell anführen. Es gibt ja neben den Kernentwicklungsschritten und -prozessen auch begleitende Prozesse, die enorm wichtig sind – ein Beispiel hierfür ist die Validierung und Verifikation von Versuchsergebnissen.

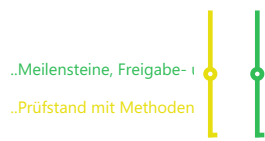
105 **Würden Sie noch irgendwelche Ergänzungen anfügen?**

106 Ich denke, das Gespräch war sehr ausführlich.

Experteninterview B04 - OEM:



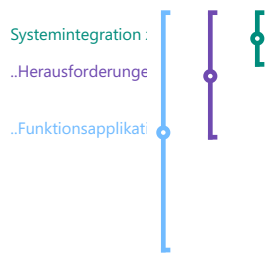
- 1 **Erprobung von Gesamtfahrzeugen im Rahmen des Entwicklungsprozesses:**
- 2 **Während der Fahrzeugentwicklung müssen viele Meilensteine erreicht werden – welchen Stellenwert haben dabei virtuelle (Digital-Twin) und auch reale Versuche im Rahmen des Entstehungsprozesses?**
- 3 Also die Prüfstände in Kombination mit der virtuellen Entwicklung haben aus meiner Sicht einen hohen Stellenwert, weil viele von den Meilensteinen primär auf dem Prüfstand gemacht werden. Vor allem weil man dort aufgrund der Flexibilität mit der Messtechnik viel einfacher und besser einzelne Versuche durchführen kann.
- 4 Also von daher auf jeden Fall einen hohen Stellenwert. Und inzwischen wird auch definitiv versucht, jede Antriebsvariante auch auf einem Prüfstand abzubilden, dass man eben auf beide Möglichkeiten Zugriff hat, auf beide Absicherungsmöglichkeiten, also sowohl Realfahrzeug als auch Prüfstand.
- 5 **Welche relevanten Meilensteine / Freigaben werden bei der Erprobung / Absicherung durchlaufen (Komponentenrelease, Verbundrelease, etc.) bzw. in welchen Abständen finden diese statt (z. B. Softwarerelease alle 8 Wochen)?**
- 6 Also wir haben ein paar wenige, aber ein paar Verbundfreigaben, die auf jeden Fall am Prüfstand passieren. Da geht es halt vor allem um HV-Sicherheitsthemen, aber auch eben einfach Sachen, die für die Straßenfreigabe wichtig sind, weil da hat man ja immer ein bisschen dieses Henne-Ei-Problem, dass Straßenfreigaben gemacht werden müssen, aber, wenn man noch keine Straßenfreigabe hat, dann ist es halt schwieriger, das zu tun, weil man dann halt eben nur Messgelände zur Verfügung hat. Und selbst das ist natürlich manchmal schwieriger, da ist es am Prüfstand einfacher und reproduzierbarer diese Freigaben zu erlangen. Dazu kommt, dass eben auch gewisse Tests eine Sicherheitskomponente prüfen sollen, wo man eben einen Ausfall von einem System simuliert, also sei es jetzt ein Steuergerät fällt aus, dann muss man eben verifizieren, dass der Ausfall entsprechend sicher bewerkstelligt wird und den Ausfall von dem Steuergerät als Beispiel kann man eben am Prüfstand viel besser darstellen wie das im Fahrzeug der Fall wäre.
- 7 Ein weiteres Beispiel aus dem Gesamtfahrzeug wäre die Auslösung einer Pyrofuse (Anmerkung: Pyro-Sicherung vom HV-System der Batterie), dann müssen ja auch gewisse Bedingungen erfüllt sein und das wäre natürlich im Fahrzeug verbunden mit einem Speichertausch (Anmerkung: HV-Batterie) und am Prüfstand ist es ein Komponententausch und damit deutlich einfacher zu handeln.
- 8 Ist es eine Gesamtfreigabe? Zur Gesamtfreigabe fließen beide bei der Ergebnisse mit rein und nicht nur die Prüfstandsergebnisse für sich, die da relevant sind, sondern das ist eher ein Zusatz und aus meiner Sicht wird da auch mehr Gewichtung dann auf die letztendlichen Fahrzeugmessungen gelegt.



9 Also Vorteile liegen ja auf der Hand von einem Prüfstand und die fließen aber auf jeden Fall mit rein in die Bewertung. Also es ist nicht so, dass wir alles freigeben können über den Prüfstand, aber der Prüfstand könnte Fehler aufdecken, die eben zu einer nicht Freigabe führen.

10 **Was sind die größten Herausforderungen während der Erprobung?**

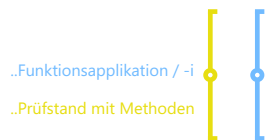
11 **Im Kontext des softwaredefinierten Fahrzeugs bei der Integration in ein Gesamtsystem? (Aspekte der zunehmenden Vernetzung im Fahrzeug)**



12 Genau, also, wenn der Prüfling das erste Mal im Rahmen der Systemintegration zum Gesamtsystem zusammengeführt wird und das erste Mal auf den Prüfstand kommt, dann ist natürlich die Inbetriebnahme ein großes Problem und aber auch die Aufgabe in dem Fall. Weil wenn ich von der Inbetriebnahme spreche, gibt es ja mehrere Inbetriebnahmen von verschiedenen Systemen. Für den aktuellen Fall gilt das für das Fahrzeugsystem (Antriebssystem und Fahrwerk).



13 Die Ursache für etwaige Probleme liegt darin, dass natürlich neue Komponenten, also noch alles neue Komponenten sind, die teilweise eben bei der allerersten Softwareauslieferung auf, die für die Systemebene freigegeben ist. Und da ist es natürlich klar, dass gewisse Fehler in der Software enthalten sind, und da geht es primär ums Debugging, was aber auf Systemebene sehr komplex ist, weil man mit den verschiedensten Fachabteilungen zusammenarbeitet. Im ersten Moment ist oftmals nicht ersichtlich ist, woher das Problem bzw. was die Ursache eines Problems ist.



14 Dazu kommt, dass wir natürlich auch Unausgereifte, beispielsweise HiL-Modelle für die Restbus-Fahrzeugsimulation haben. Das heißt, wir nehmen die Systeme in Betrieb, die wir benötigen für den Betrieb des Antriebs und auch gleichzeitig den Antrieb. Und diese Kombination macht es halt extrem schwer.

15 **Im Kontext der Elektrifizierung von Antriebsstrangkomponenten bzw. des gesamten Antriebsstrang (z. B. größeres Potential von komponentenübergreifenden Funktionen)?**



16 Also größte Herausforderung auf jeden Fall Inbetriebnahme und dabei die Komplexität aufgrund der Systemebene. Eine der größten Herausforderungen dazu ist, dass zu Beginn virtuelle Komponenten für die Simulation (Fahrzeugsimulation, Restbussimulation) oftmals neben der niedrigen Reifegrade der realen Komponenten auch hier niedrige Reifegrade aufweisen.

17 **Im Kontext der zunehmenden Automatisierung von Fahrfunktionen (z. B. Einparkassistent, Notbremsassistent, Spurhalteassistent, etc.)?**



18 Diese Bereiche liegen im Entwicklungsprozess eigentlich ein bis zwei Ebenen über der Systemintegration des Antriebs bzw. Fahrwerks. D. h. solche Systeme und Funktionen setzen prinzipiell auf den funktionierenden und erprobten



Ebenen des Antriebsstrangs und Fahrwerks auf.

19 **Wie groß ist die Jahreszeitenabhängigkeit im Entwicklungsprozess bzw. in weiterer Folge bei der Erprobung von Fahrzeugen – wie wirken sich nachfolgende Entwicklungsschritte aus?**

20 Spielt für den realen Fahrversuch mit Prototypen schon eine große Rolle, weil wenn eine Freigabe aufgrund unterschiedlicher Faktoren nicht funktioniert, z. B. Aufgrund von Entwicklungsverzögerungen, verzögert sich die geplante Erprobung im Sommer oder im Winter (Kalt- oder Heißerprobung). Diese nicht zu den bestimmten Zeiträumen durchführbaren Heiß- oder Kalterprobungen verzögern den Entwicklungsprozess natürlich ungemein oder es muss eben auf andere Kontinente ausgewichen werden, wo das dann schon wieder funktioniert. Dieser Schritt ist natürlich auch deutlich aufwändiger.

21 Es gibt zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht die Möglichkeit die Umfänge, die man nur in verschiedenen Jahreszeiten darstellen kann, auf den Prüfstand komplett ziehen. Aber das ist in der Entwicklung natürlich das Ziel, aber auch ein komplexes Thema.

22 Wir sind auf jeden Fall von diesen Jahreszeitenabhängigkeiten am Prüfstand betroffen. Aber ich sage jetzt mal indirekt, weil die Prämisse oder der Grund, wieso viel auf den Prüfstand verlagert wird, war auch in der vergangenen Zeit, dass wir Antriebe hinstellen mussten, die zur Wintererprobung funktionsfähig waren. Also wir sind quasi der Enabler für jahreszeitabhängige Erprobungen.

23 Genau weil und der Punkt ist natürlich, wenn man jetzt auf eine gewisse Komponente wartet und deshalb nicht mit dem Entwicklungsprozess starten bzw. weitermachen kann, dann rächt sich das hinten raus. Am Prüfstand, vor allem am Antriebsstrangprüfstand hat man natürlich die Möglichkeit gewisse Komponenten zu simulieren und damit auszuklammern.

24 **Erprobung: Von der Komponentenerprobung bis zum Gesamtsystem**

25 **Wie sieht die grundsätzliche Erprobung / Absicherung / Freigabe eines Fahrzeugs bzw. einer Modellvariante aus (Zyklus von Einzelkomponenten bis zum Gesamtsystem)?**

26 **Bauteil-/Modul- bzw. Komponentenerprobung vs. funktionsorientierter (softwaredefiniertes Fahrzeug) Ansatz?**

27 Wir haben auf jeden Fall beide Ansätze, weil wir natürlich eine ganze Kaskade an Absicherungsplattformen haben. Also das geht los von SiL, HiL, Komponentenprüfstand über Antriebsstrangprüfstand bis hin zu Gesamtfahrzeugprüfständen. Und in all diesen Instanzen werden halt eben Tests gemacht. Im Endeffekt ist es aber so, dass auch auf den Komponenten Prüfständen schon diese Systemintegration durchgeführt wird, aber es ist eigentlich nicht so, dass der Detailgrad der Simulation bis hin zu irgendwelchen Verhaltensmodellen von Steuergeräten besteht. Ich würde aber sagen, dass eher der erste Ansatz der Komponentenerprobung dominant ist.



28 **Bevorzugter Test von Einzelsystemen (ohne Querwirkungen durch andere Komponenten / Systeme) oder eher frühzeitige Erprobung im Gesamtsystem (die Komponentenerprobung im Gesamtsystem wäre prinzipiell durch den Ersatz von realen durch virtuelle Komponenten auf entsprechenden Prüfstandssystemen möglich)?**

29 Gibt beide Varianten der Versuchsdurchführung, der Schwerpunkt liegt aber eher auf der Erprobung der Einzelkomponenten durch den Freischnitt aus dem Gesamtsystem. Also, dass man zum Beispiel die Komponente mit eigenen Absicherungskriterien testet was beispielsweise auf Faktoren wie Strom, Spannung, Leistung, Drehzahl oder Drehmoment zurückzuführen sind. Für diese Systemsicht werden dann prinzipiell immer die entsprechenden Antriebsstrangprüfstände verwendet.

30 **Wie werden Prüfscenarien für die Funktionserprobung im Rahmen der Antriebsintegration definiert (überwiegend von Versuchen, die aktuell nur durch Straßenversuche erprobt werden (können) [z. B. ESC, ABS, ASR, etc.]? (Informationen / Erkenntnisse aus klassischer Komponentenerprobung, aus Datenbanken, Betrachtung im Rahmen der funktionalen Sicherheit, aus gesetzlichen Anforderungen (z. B. UN ECE, etc.), Szenarien und Situationen aus FoT)?**



31 Funktionen wären vor allem aus meiner Sicht die Fahrverhaltensfunktionen, die wir am Antriebsstrangprüfstand darstellen oder erproben, weil da natürlich das Gesamtsystem relevant ist. Es kann natürlich auch vorkommen, dass wir Betrachtungen haben, wo wir gewisse Zyklen fahren mit unterschiedlichen Bedatungen, aber auch Einzelmanöver mit unterschiedlichen Bedatungen, weil da natürlich der Prüfstand eine wahnsinnig große Stärke hat. Also spricht man hat ein Manöver im Bereich Fahrverhalten, was man applizieren möchte, und da sind verschiedene verschiedene Parameter möglich. Damit resultiert eine gewisse kontrollierte Variation, wodurch auch das Stichwort DOE (Anmerkung: Design of Experiments) natürlich ein Thema ist. Zusätzlich kann man eine viel größere Variantenvielfalt am Prüfstand durch Simulationsmodelle als bei der realen Straßenerprobung abbilden.

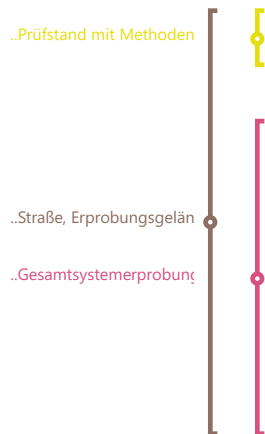


32 Aber wir sehen natürlich auch, dass da der Input von den Know-How Trägern (Anmerkung: Fachbereich) essentiell ist. Also das sind jetzt keine Themen oder selten Themen, die man, wie man das bei einem klassischen Dauerhaltbarkeitserprobung hat, wo man einfach ein Lastprofil schickt und wir am Prüfstand fahren, das ab, sondern das muss natürlich in enger Zusammenarbeit mit dem mit der Applikation.



33 Was beim Elektrofahrzeug ja relativ interessant ist, sind die diese Reichweitenuntersuchungen bei unterschiedlichen Temperaturen aber das wird eher auf Rollenprüfständen durchgeführt, weil schlussendlich die Abnahme auch auf diesen Prüfstandsvarianten durchgeführt werden (Anmerkung: Abnahme bezüglich WLTP-Reichweite, Energieverbrauch etc. werden wie bei Emissionsmessungen und Homologationen auf Rollenprüfständen

			durchgeführt).
..Meilensteine, Freigabe- i		34	Was aber in der Vergangenheit probiert worden ist, sind Themen beispielsweise zu den Einflüssen der Parametrierung aus Sicht der Betriebsstrategie im Hinblick auf Reichweiten oder die Effizienz von Fahrzeugen.
..Prüfstand mit Methoden			
..Field Oriented Tes		35	FoT werden auch genutzt, um markante Fehlerfälle aus der Realität zu extrahieren und auf den Prüfstand zu bringen. Eine Schwierigkeit dabei ist aber, solche Szenarien am Prüfstand dann möglichst schnell abbilden zu können. Sobald der Fehlerfall reproduzierbar durchgeführt werden kann am Prüfstand ist die Fehlerbehebung um ein Vielfaches einfacher als bei der realen Versuchsdurchführung. Diese Versuche werden auch in den Versuchskatalog mit aufgenommen.
..Prüfaufgabendefin			
..Methoden-/Simul			
		36	Wie sieht die (zukünftige) Erprobung von automatisierten/autonomen Fahrfunktionen (z. B. ACC, Einparkassistent, Verkehrszeichenerkennung, etc.) aus, wenn verschiedene Prüfscenarien aufgrund der Vielzahl an variablen Parametern nicht oder nur unzureichend definiert werden können (sind statistische Tests eine Option?)?
..autom. Fahrfunktionen (37	Also noch ist mir da nichts bekannt. Aber die Gedanken gibt es natürlich, dass das in Zukunft auch mehr wird und auch aus der Ecke Themen kommen. Es ist so, dass wir halt noch ziemlich stark den Antriebsfokus, also den Antrieb, im Fokus haben. Also es gibt schon natürlich Verwendungen aus allen verschiedenen Bereichen, aufgrund der großen Flexibilität, die die Prüfstandssysteme haben, aber, primär sind bei uns natürlich Themen, die eine Auswirkung auf den Antrieb haben und.
..Abhängigkeiten			
..autom. Fahrfunktionen (38	Sind sag ich mal so Themen, die aus der autonomen Ecke kommen, sind eben noch nicht direkt am Prüfstand vorhanden. Also ich kann mir auf jeden Fall vorstellen, dass es mehr kommt und wir müssen uns natürlich auch alles, was wir simulieren, halt darauf auslegen, dass wir das auch manipulieren können, dann eben um halt solche Fehlerfälle mit abzudecken, das ist auf jeden Fall was, was wir mitdenken, aber dadurch, dass wir eigentlich ja die Schnittstelle hin zum Antrieb bedienen müssen.
..Prüfstand mit Methoden			
..Abhängigkeiten		39	Zusätzlich ist aber auch das zusammenschmelzen der unterschiedlichen Disziplinen, sag ich jetzt mal oder das in gewissen Situationen dann doch nicht ganz so leicht funktioniert, weil das Eine eben vom Anderen abhängt. Es ist natürlich auch was, was wir langfristig wollen, dass wir da halt mehr Synergien schaffen, auch zwischen den Bereichen, weil wir eben Potenzial sehen bei den Gesamtfahrzeugprüfständen, die wir haben, nicht nur antriebsfunktionen abzubilden, sondern eben auch darüber hinaus.
..autom. Fahrfunktio			
..Prüfstand mit Met			
		40	Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext auf der Straße und am Prüfstand:
		41	Gibt es eine Definition bzw. Kriterien, welche Erprobungsumfänge bei realen Straßenversuchen – welche bei Versuchen auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt werden (vor allem im Rahmen



der Antriebsintegration / Fahrwerk)?

42

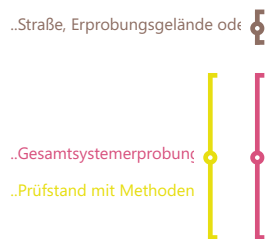
Ab welchem Meilenstein wird vom Prüfstand auf die Straße gewechselt? [höchstwahrscheinlich werden immer Rückkopplungen zur Komponenten- bzw. System- oder Funktionsentwicklung stattfinden – gibt es aber einen konkreten Zeitpunkt oder finden beide Prozesse immer parallel statt?]

43

Das wird wahrscheinlich auch bei euch simultan sozusagen erfolgen, also ein gewisser Teil ein Prüfstand, ein gewisser Teil auf der Straße. Mit unterschiedlicher Gewichtung. Genau das ist, das ist auf jeden Fall ein Prozess, der parallel stattfindet über den gesamten Entwicklungsprozess hinweg. Man merkt aber natürlich ein Shift im Laufe, der also mit Voranschreitender Reife. Wird natürlich die Fahrzeugverfügbarkeit höher und ist auch die die Fahrbarkeit des Fahrzeugs höher und damit verlagern sich natürlich Themen mehr von dem Prüfstand auf die Straße und. Auch weil natürlich dann oft das Fahrzeug auch auf der Straße benötigt wird um einfach gewisse Sachen applizieren zu können. Also muss man es entweder fühlen oder man braucht halt die Umgebung. Da merkt man schon Shift, aber es gibt kein kein Meilenstein wo man sagt da wird der Schalter umgelegt.

44

Welche Funktionen / Systeme werden bei einer klassischen Versuchsreihe erprobt bzw. abgesichert [z. B. bei Wintertests, auf der Rennstrecke, etc.]?



45

Kann ich so direkt nicht beantworten, was die Straßenerprobung betrifft.

46

Auf unseren Antriebsstrangprüfständen schauen wir schon, wie schon gesagt, dass die Softwarestände von den einzelnen Komponenten sowie übergreifende Funktionen in Kombination mit Simulationsumgebungen sinnvoll abgetestet werden, sodass die Versuchsdurchführung auf der Straße zügig durchgeführt werden kann.

47

Wie hoch sind die Reifegrade dieser Funktionen / Systeme während den ersten Versuchsreihen?

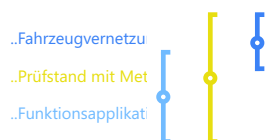


48

Wenn es darum geht, das ganze Fahrzeug einmal grundsätzlich in Betrieb zu nehmen. Das wird eigentlich schon überwiegend auf dem Prüfstand gemacht, sodass die eigentlich schon mit einem relativ guten Stand sozusagen starten sollten. Aber eben das Ziel ist es, auch in der frühen Phase, dass der Prüfstand genau diese Reife herstellt.

49

Welche Probleme treten bei den ersten Versuchsreihen auf?



50

Vernetzungsthemen, die in weiterer Folge am Prüfstand wieder probiert und nachgestellt werden sollen. Als zweites großes Thema sind dann aber auch immer wieder funktionelle Themen – aber die sollen ja im Rahmen der Erprobung auch identifiziert und gelöst werden.

51

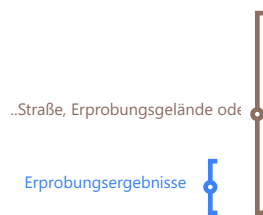
Wie sieht die Aufteilung zwischen sinnvoller Erprobungszeit /

Fehleranalyse bzw. Standzeit aufgrund von Problemen aus (z. B. Laufzeit:Fehleranalyse -> 50:50)?	
<p>52</p>	<p>Wie sieht die Verfügbarkeit von Teststrecken bzw. Versuchsarealen oder Prüfstandssystemen aus?</p>
<p>53</p> <p>..Straße, Erprobungsgelände oder</p>	<p>Also, man hat da seine Strecken wo man das machen kann, die Bedarfe sind gedeckt, aber die Strecken sind nicht im Überfluss verfügbar. Und natürlich auch ein Kostenpunkt, der auch nicht zu vergessen ist. Das ist nicht so, dass da die Finanz- oder Kostenverantwortlichen juhu schreien, wenn noch mehr oder wenn man noch eine weitere Erprobung braucht.</p>
<p>54</p> <p>..Prüfstand mit Methoden Erprobungsvorbereitung,</p>	<p>Die Verfügbarkeit von Prüfständen ist eigentlich schon gegeben – zumal dieser Teil auch stetig ausgebaut und/oder erneuert wird.</p>
<p>55</p>	<p>Wie lange dauert üblicherweise eine Versuchsreihe [Zeitraumklassen: 2 Wochen, 4 Wochen, >6 Wochen]?</p>
<p>56</p> <p>..Straße, Erprobungsgelände Erprobungsvorbereitung,</p>	<p>Unterschiedlich, kommt auf den Erprobungsumfang an. Aber es ist so, die Zeiträume sind ähnlich wie du sie da schon aufgeschrieben hast. Also 2 Wochen, 4 Wochen und manchmal gibt es aber auch richtige Phasen, wo die Kollegen dann von einer Erprobung zur nächsten fahren und dann auch die Überfahrt quasi auch mit Nutzen als Erprobungspfad. Also das können dann auch schon mal schon mal längere Zeiten sein.</p>
<p>57</p>	<p>Wie hoch ist der Prototypeneinsatz (evtl. auch Personalaufwand) während einer realen Erprobung? (2 Fahrzeuge, 6 Fahrzeuge, >10 Fahrzeuge) (5 Personen, 10 Personen, >20 Personen)?</p>
<p>58</p> <p>..Straße, Erprobungsgelände Erprobungsvorbereitung,</p>	<p>Üblicherweise gibt es immer einen Engpass von Prototypen in geeigneten Reifegrade, da das auch vor allem ein Kostentreiber ist. Dazukommt, dass auch Fahrzeuge ausfallen während der Erprobung aufgrund von Hardwarefehlern, etc. Üblicherweise ist bei den real Erprobungen auf irgendwelchen Versuchsgeländen alle verfügbaren Prototypen im Einsatz, sodass es für andere Bereiche und Versuchsfahrten keine Fahrzeuge mehr gibt.</p>
<p>59</p>	<p>Werden unterschiedliche Varianten von verschiedenen Funktionssetups / Fahrzeugsetups / Reifegraden oder Technologien bei einer realen Versuchsreihe erprobt [z. B. Softwareänderungen] oder liegt der Fokus auf dem gleichen Setup bei unterschiedlichen Bedingungen?</p>
<p>60</p> <p>..Prüfstand mit Met Erprobungsvorbereitung ..Straße, Erprobung</p>	<p>Am Prüfstand ist die Varianz vieler Setups von Komponenten, Funktionen und Systemen durchaus gängig. Im realen Versuch werden dann aber nur ausgereifere Varianten der jeweiligen Module und Systeme zum Einsatz gebracht. Aber es ist natürlich schon so, dass die Kollegen, schon auch mit natürlich einer großen Varianz an Fahrzeugen die Versuche durchführen. Gerade wenn einzelne Funktionen in verschiedenen Fahrzeugklassen über ein Baukastensystem verwendet werden.</p>
<p>61</p>	<p>Ist der Aufwand für zusätzliches Equipment für eine</p>



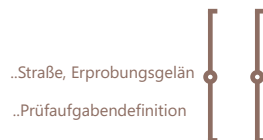
Versuchsdurchführung hoch [Einsatz von Fahrer, Ground-Truth-Messtechnik, etc.]?

62 Nahezu alle Versuche werden mit Fahrer durchgeführt. Zusätzliches Versuchsequipment wird anlassbezogen in die Fahrzeuge (Prototypen) eingebaut. Üblicherweise sind besonders für Antrieb und Fahrwerk die vorhandenen Sensoren ausreichend für die Bewertung einzelner Fahrmanöver sodass keine zusätzliche Messtechnik notwendig ist. Anders sieht das beispielsweise bei ADAS-Themen aus, da hier immer eine Validierung mit der tatsächlichen Realität für aussagekräftige Ergebnisse erfolgen muss.



63 Wie wird mit dem Thema Reproduzierbarkeit umgegangen (Straße / Prüfstand)?

64 Über die Bedatung kann man beispielsweise eingreifen und sich quasi virtuelle Grenzen schaffen, um die Reproduzierbarkeit darzustellen. Man kann genauso wie man das am Prüfstand macht, natürlich auch dem Steuergerät über direkte Applikationszugriffe gewisse Rampen vorgeben, mit denen beispielsweise das Fahrpedal betätigt wird. Also da kann man schon im Rahmen der Möglichkeiten eine Reproduzierbarkeit schaffen und das wird auch manchmal gemacht.



65 Werden Fahrmanöver mit Robotereinsatz gefahren oder immer manuell?



66 Vordefinierte Anforderungen an die Ausgangsbedingungen (z. B. Temperaturbereich, etc.)?



67 Vordefinierte Anforderungen an die Teststrecke (z. B. Variation von unterschiedlichen Fahrbahnzuständen (trocken, nass, schneebedeckt, etc.), sofern diese Variabilität auf Teststrecken existiert bzw. kontrolliert eingestellt (z. B. nasse Fahrbahn) werden kann

68 Welche Kriterien gibt es für die Auswertung? (kann das pauschalisiert werden?) [quantifizierbare Kriterien oder Vergleich zu anderen Modellen?]

69 Oftmals ist aber auch die Schwierigkeit bei der Versuchsdurchführung, die Rahmenbedingungen objektiv richtig bewerten zu können (z. B. Nässe auf der Straße, wie sieht die Veränderung der Reibwerte wirklich aus), sodass eine Einstellung am Prüfstand der gleichen Bedingungen für vergleichbare Ergebnisse oftmals schwierig ist.

70 Wie sieht es mit den Sicherheitsvorgaben / Genehmigungen / Versicherungen von Prototypen aus?

71 Bevor die Versuchsdurchführung in der Realität erfolgt werden sämtliche Sicherheitsszenarien auf dem Prüfstand durchgeführt und erprobt. Dadurch sollen die Sicherheitsvorgaben vorzeitig erprobt werden um die Versuchsdurchführung möglichst sicher gestalten zu können.

72 Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext am Prüfstand:

	73	<p>Werden funktionale Entwicklungen / Versuche / Absicherungen / Freigaben auch auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen im Gesamtsystem durchgeführt [wobei nicht real verfügbare oder vorhandene Komponenten durch Simulationsmodelle ersetzt werden (z. B. Karosseriemodell, Reifenmodell, Anhänger, etc.)]?</p>
	74	<p>WENN JA:</p>
	75	<p>Welche Versuche werden durchgeführt bzw. auf welchen Versuchen liegt der Fokus?</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden</p>	76	<p>Der Fokus bei der Prüfstandserprobung liegt ganz klar auf dem Antrieb und dessen Komponenten in Abhängigkeit der Antriebstopologie (Elektrofahrzeug, klassisches Verbrenner-Fahrzeug). Abhängig des Prüfzenarios wird versucht, nicht real verfügbare Komponenten durch Simulationsmodelle in unterschiedlichen Ausbaustufen und Reifegraden zu ersetzen.</p>
<p>..Gesamtsystemerprobung</p>	77	<p>Prinzipiell hat es viele speziellere Anforderungen im Hinblick auf die modellbasierte Erprobung gegeben: Es ist alles möglich und dadurch kommt irgendwann jemand auf die Idee, das auch zu tun, wenn es einen konkreten Grund hat. Beispielsweise auch Nebenverbraucher im HV-Pfad sind am Prüfstand auch schonmal integriert gewesen, da ein Versuche hinsichtlich der Leistung bzw. der Reichweite diese Realkomponenten erfordert haben (Thema: Loadbalancing bzw. Thermomanagement von Elektrofahrzeugen).</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden</p>	78	<p>Welche Prüfstandsvarianten werden konkret eingesetzt (Rollenprüfstände bzw. Rollenbandprüfstände, Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstände wie der KS R2R)?</p>
<p>..Prüfstandsvarianten</p>	79	<p>Antriebsstrangprüfstände, Rollenprüfstände, Batterieprüfstände, Inverterprüfstände (Elektromotoren-Emulator [EME]), Motorenprüfstände (Elektromotorenprüfstände [EMP])</p>
	80	<p>Wie wird mit dem Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung umgegangen (wie werden diese Methoden verifiziert und validiert)?</p>
<p>..Methoden-/Simulations- ..Prüfstand mit Methoden</p>	81	<p>Grundsätzlich gilt natürlich je genauer jede Einzelkomponente in diesem virtuellen Umfeld ist, desto genauer sind natürlich auch das Ergebnis im Gesamtverbund bzw. in Wechselwirkung mit den realen Komponenten am Prüfstand.</p>
<p>..Abhängigkeiten ..Methoden-/Simulations-</p>	82	<p>Bei den Modellen die im HiL-Umfang laufen (Betrifft also die Steuergeräte, Verhaltensmodelle von Steuergeräten, etc.) läuft die Absicherung nicht bei uns. Wenn am Prüfstand irgendwelche Fehlerfälle von Funktionen festgestellt werden oder einzelne Funktionen sich nicht so verhalten, wie sie sollen, dann werden die Probleme wieder an den Partner (in diesem Fall anderen Fachbereich) zurückgemeldet und entsprechend einem iterativen Prozess behoben. Das wäre quasi über den Rückwärtspfad des V-Modells.</p>

<p>..Prüfstand mit Methoden</p> <p>..Straße, Erprobungsgelän</p> <p>..Straße, Erprobungsgelän</p> <p>..Methoden-/Simulations-</p>	<p>83</p> <p>84</p> <p>85</p>	<p>Bei den Fahrzeugmodellen (Karosserie, Rad/Reifenmodell, Dämpfermodelle, etc.) betrifft das überwiegend alle Modelle, die vom Prüfstandshersteller modelliert sind und entsprechend dem Versuchsszenario parametrieren werden müssen. Da gehen wir so vor, dass wir die schon, also das Verhalten und die physikalischen Eigenschaften der Signale, schon sehr genau vergleichen mit realen Fahrzeugmessungen, wenn es reale Fahrzeugmessungen dazu gibt, die zu dem Antrieb und zu dem Fahrzeug passen, das wir parametrieren haben.</p> <p>Dabei werden verschiedene Manöver angeschaut oder auch auch beispielsweise verschiedene Zyklen. Hängt so ein bisschen davon ab, wo der Fokus der aktuellen Versuchsdurchführung genau drauf ist. Aber da haben wir sag ich mal eine Varianz an Manövern, die wir uns bei so einer Abnahme anschauen, wo wir dann eben bewerten, ob das ein reales Verhalten oder ein unrealistisches Verhalten des Modells ist. Zusätzlich braucht es auch immer ein Bewusstsein der Systemgrenzen der Modellierung beim Vergleich zu realen Straßenversuchen.</p> <p>Gibt es irgendwo Lücken oder Systemgrenzen im Modell, suchen wir natürlich auch etwaige Abhilfen dazu, das ist natürlich wichtig, dass wir die kennen, um entsprechend aussagekräftige Ergebnisse am Prüfstand erhalten zu können. Weil alles, was am Prüfstand nicht passt, an dem aber vertraut, macht man dann spätestens im Fahrzeug nochmal.</p>
<p>..Prüfstand mit Met</p> <p>..Methoden-/Simul</p> <p>..Abhängigkeiten</p>	<p>86</p> <p>87</p> <p>88</p>	<p>Gibt es Datenbanken für unterschiedliche Simulationsmodellvarianten oder dessen Parametrierungsstände?</p> <p>Wir beziehen die Parameter aus offiziellen internen Quellen sage ich jetzt mal. Die wir verwenden als Input. Und wenn es dann funktioniert und abgesichert worden ist, dann ist die Parametrierung in der Datenbank für die Prüfstandsautomatisierung gespeichert und vorhanden.</p> <p>Also dadurch, dass wir recht langlaufende Projekte haben, ist es, sag ich mal relativ komfortabel, weil wir da weniger Änderungen, also eine geringere Dynamik drin haben, wie das wahrscheinlich bei anderen der Fall sein kann.</p>
<p>..Methoden-/Simulations- bzw. I</p>	<p>89</p> <p>90</p> <p>91</p> <p>92</p>	<p>Eigentlich müsste man die Elemente, die als funktionsfähig markiert sind und damit auch eingesetzt werden können, markieren und durch eine Kennzeichnung markieren. Das betrifft unter anderem Bedeutungen für Modelle, die bei mehreren Versuchen eingesetzt werden können (z. B. Reifendaten, Karosseriedaten, etc.) Ansonsten sehen wir diesbezüglich schon auch manchmal Auffälligkeiten, dass zum Beispiel aufgrund der Parametrierung Querkräfte am Prüfstand entstehen.</p> <p>Wenn NEIN:</p> <p>Warum werden funktionale Versuche / Absicherungen nicht auf Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt?</p> <p>Ist es das Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung ein entscheidendes Kriterium?</p>

	93	Werden Einschränkungen am Prüfstand im Vergleich zur Straße gesehen / befürchtet?
	94	Gibt es andere Einschränkungen (Verfügbarkeit bzw. Anschaffungskosten von Gesamtfahrzeugprüfständen, Komplexität solcher Systeme im Hinblick auf Bedienung / Wartung, Auslastungsbedenken)?
	95	Werden Modelle und Simulationen (physikalische Echtzeit-Modelle von einzelnen Komponenten) im Entwicklungsprozess und in weiterer Folge auf Prüfständen eingesetzt (z. B. für die frühzeitige Energie- bzw. Reichweitenerprobung, Funktionserprobung, etc.)?
	96	Wenn JA:
	97	In welchem Umfang kommen diese Modelle und Simulationen zum Einsatz?
..Prüfstand mit Methoden-/Simu	98	Der Einsatz von Modellen finden statt – es kommen verschiedene Modelle von Karosserie, Dämpfermodelle, Rad/Reifenmodelle, Fahrermodelle, Steuergerätemodelle
	99	Werden Ergebnisse von Simulationen/Modellen als Entscheidungsgrundlage herangezogen?
	100	Das Thema haben wir zuvor bereits behandelt.
	101	Um welche Modelle handelt es sich (CFD, etc.) oder auch physikalische Modelle (z. B. für den Einsatz auf Prüfständen)?
..Prüfstand mit Methoden-/Simu	102	Physikalische Modelle im Rahmen der Prüfstandserprobung.
	103	Wenn NEIN:
	104	Aus welchem Grund nicht?
	105	Wie sehen Sie die Veränderungen vor allem im Bereich des Fahrzeugversuchs in Bezug auf aufkommende ADAS/AD-Funktionalität im Fahrzeug?
..Abhängigke ..autom. Fahi ..Gesamtsyst ..Prüfstand n	106	Also es ist nicht in unserem Erprobungsumfang drinnen, von daher betrifft uns das Thema grundsätzlich sehr wenig. Wo wir dann aber doch davon betroffen sind, ist natürlich am Prüfstand, weil als Voraussetzung für uns, dass wir richtig erproben, ist natürlich, dass sich das Fahrzeug korrekterweise verhält wie es in der Realität der Fall wäre. Nachdem viele dieser automatisierten und autonomen Funktionalitäten und Plausibilisierungen hinsichtlich des Fahrens auch den Antrieb bzw. das Fahrwerk beeinflussen, muss auch die Simulation, die Rest Bus Simulation dies entsprechend leisten können. Das Bedeutet eine massive Verbesserung der aktuellen Simulation gerade unter dem Aspekt der Umgebungsbedingungen.

..Prüfstand mit Methoden-/Simu



107 Dadurch müssen am Fahrzeugprüfstand natürlich auch gezielt diese Sensoren bespielt werden können, um unser Erprobungsziel in dem Fall zu erreichen. Also wir sind davon getrieben, das könnte man sagen.

108 **Gibt es besonders bei der Versuchsplanung und -durchführung eine Innovationstrategie im Hinblick auf Veränderungen beim Gesamtfahrzeug?**

..autom. Fahrfunktionen (

..Methoden-/Simulations-



109 Wir wissen ja grundsätzlich, was in der nächsten Generation Fahrzeug sozusagen zum Beispiel Sensoren und Sensortypen, etc. verbaut sein werden, dass wir da proaktiv die Prüfmethode am Prüfstand entsprechend parallel weiterentwickeln können.

110 Aber vieles fällt auch erst im Betrieb auf. Also auch da ist es so, wir haben es eigentlich bei den Themen selten, dass manchmal Versuche, wo eben ganz gezielt etwas simuliert werden muss aus einem anderen Bereich, weil das irgendeine Antriebsfunktion entscheidend beeinflusst

111 **Würden Sie das V-Modell im Rahmen der Fahrzeugentwicklung / Erprobung (besonders bei der Verifikation / Validierung) noch als zeitgemäß betrachten? Gibt es, besonders für das softwaredefinierte Fahrzeug mit vielen vernetzten Funktionen andere, bessere Ansätze?**

112 Ich würd schon sagen, dass es noch zeitgemäß ist. Aber es ist natürlich nicht so, dass das so starr wie in der Theorie gesehen wirklich auch gelebt wird. Aber, so vom Grundsatz her, würde ich es schon zeitgemäß einordnen. Wir wissen auch natürlich, wo wir uns in diesem V-Modell befinden, also ist schon auch manchmal zur groben Einordnung definitiv präsent.

113 Aber auch da gibt es natürlich immer Sonderthemen. Also Themen, die nicht ganz klassisch in dieses Modell reinfallen, aber grundsätzlich würde ich sagen, zeitgemäß ja.

114 **Würden Sie noch irgendwelche Ergänzungen anfügen?**

115 Wir haben glaube ich viel abgedeckt. Ich habe keine Ergänzungen mehr dazu.

Experteninterview B05 - OEM:

..Meilensteine, Freigabe- und En

1 **Erprobung von Gesamtfahrzeugen im Rahmen des Entwicklungsprozesses:**

2 **Während der Fahrzeugentwicklung müssen viele Meilensteine erreicht werden – welchen Stellenwert haben dabei virtuelle (Digital-Twin) und auch reale Versuche im Rahmen des Entstehungsprozesses?**

3 Also bei uns reicht der Entwicklungsprozess normalerweise von Meilenstein 1 bis zum Meilenstein 8, wovon Meilenstein 6 eigentlich einer der wichtigsten ist. Dadurch ist nämlich die Softwareentwicklung gestoppt. Grundlegend erfolgt also nach Meilenstein 6 eigentlich nur noch die Typisierung. Sollte es danach noch Änderungen in irgendwelchen Bereichen geben müssen, ist das ein größerer Prozess anzustoßen und die Typisierung bzw. sämtliche nachfolgende Prozessschritte sind zu wiederholen. Oftmals kann es auch sein, dass für kleine Änderungen nur noch Nachweise zu erbringen sind. D. h. die Vorgehensweise im Rahmen der Fahrzeugentwicklung folgt prinzipiell dem eines Stage-Gate-Prozesses.

4 **Welche relevanten Meilensteine / Freigaben werden bei der Erprobung / Absicherung durchlaufen (Komponentenrelease, Verbundrelease, etc.) bzw. in welchen Abständen finden diese statt (z. B. Softwarerelease alle 8 Wochen)?**

..Meilensteine, Freigabe- i

..Straße, Erprobungsgelän

5 Im Gesamtfahrzeug ist nach Meilenstein 6 eigentlich der Entwicklungsprozess eingefroren. Wenn danach Datenänderungen gemacht werden müssen, musst du entweder wieder neu typisieren oder du musst einfach Nachweismessungen bringen, dass es zum Beispiel in den kritischen Punkten wie der Reichweite von Elektrofahrzeugen oder dem Verbrauch von Verbrenner-Fahrzeugen kein Nachteil zu den ursprünglichen Werten entstanden ist.

..Meilensteine, Freigabe- i

..Prüfstand n

..Gesamtsyst

..Straße, Erpr

6 Von den Stages und Gates bzw. den Abständen her kann festgehalten werden, dass bis Meilenstein 3 Versuche erfolgen, die eigentlich ausschließlich im virtuellen Kontext stattfinden. Danach werden nach und nach reelle Versuche durchgeführt (im Straßenversuch), weil dann erst die Fahrzeuge verfügbar sind. Das heißt der Switch hin zum Gesamtsystem in Form von Prototypen erfolgt sozusagen relativ früh. Parallel dazu braucht es irgendwo auch gewisse Prüfstandsversuche für Themenbereiche wie die Haltbarkeit, Langlebigkeit, Dauerfestigkeit oder ähnliches.

7 **Was sind die größten Herausforderungen während der Erprobung?**

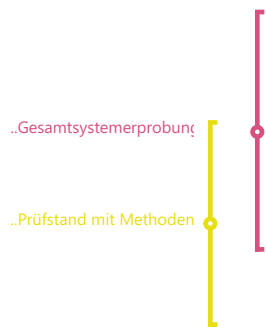
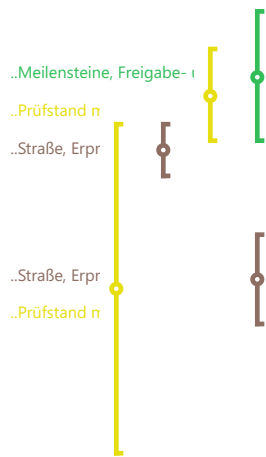
8 **Im Kontext des softwaredefinierten Fahrzeugs bei der Integration in ein Gesamtsystem? (Aspekte der zunehmenden Vernetzung im Fahrzeug)**

..Gesamtsystemerprobung

..Prüfstand mit Methoden

9 Bestimmte Tests finden schon relativ frühzeitig im Gesamtfahrzeugkontext auf Prüfständen oder in der Simulation statt, auch wenn das reale Gesamtfahrzeug mit all seinen realen Komponenten noch nicht zur Verfügung steht. Nicht verfügbare reale Komponenten werden einfach durch Simulationsmodelle

<p>..Prüfstand mit Methoden-/Simu</p>	<p>ersetzt, wobei diese Modelle dann in weiterer Folge auch im Gesamtfahrzeug bei unterschiedlichen Regelungsstrategien in modifizierten Varianten wiederverwendet werden.</p>
	<p>10 Im Kontext der Elektrifizierung von Antriebsstrangkomponenten bzw. des gesamten Antriebsstrang (z. B. größeres Potential von komponentenübergreifenden Funktionen)?</p>
<p>..Gesamtsystemerprobung ..Prüfstand mit Met ..Einzelsystemerpro</p>	<p>11 Hier kann gesagt werden, dass die reine Komponentenerprobung bereits auf Basis von Manövern, wie sie später im Gesamtfahrzeug bei realen Manövern und Szenarien auf der Straße gefahren werden, durchgeführt wird. Auf synthetische Strom-/Spannungs- bzw. Leistungsprofile oder Drehzahl- und Drehmomentverläufe wird nur in seltenen Fällen zurückgegriffen.</p>
	<p>12 Im Kontext der zunehmenden Automatisierung von Fahrfunktionen (z. B. Einparkassistent, Notbremsassistent, Spurhalteassistent, etc.)?</p>
<p>..autom. Fahrfunktionen (..Abhängigkeiten</p>	<p>13 Die sind bei uns in einer komplett anderen Abteilung als ich es bin, da kann ich leider keine Aussage dazu machen. Wir bekommen diese Funktionen oder Systeme irgendwann mal in einem Verbund-Release eingespielt und dann hast du halt mal ein Spurhalteassistent oder Einparkassistent dabei. Grundsätzlich erfolgt die Erprobung dieser Systeme aber in einem anderen Fachbereich und ist nicht direkt Teil des Antriebs bzw. des Fahrwerks.</p>
	<p>14 Wie groß ist die Jahreszeitenabhängigkeit im Entwicklungsprozess bzw. in weiterer Folge bei der Erprobung von Fahrzeugen – wie wirken sich nachfolgende Entwicklungsschritte aus?</p>
<p>..Jahreszeitenabhängigkeit ..Straße, Erprobungsgelände</p>	<p>15 Die Jahreszeitenabhängigkeit ist bei uns sehr hoch, weil wir eigentlich mindestens einen Winter in Schweden zur Kalterprobung haben sollten.</p>
<p>..Gesamtsystemerprobung ..Straße, Erprobung ..Jahreszeitenabhängigkeit</p>	<p>16 Die erste Abstimmung des Fahrzeugs im Hinblick auf Antriebsstrang und Fahrwerk erfolgt üblicherweise auf μ-High (Anmerkung: Asphalt trocken). Danach wird auf μ-Low (Anmerkung: Schnee, Eis) gewechselt und es werden zusätzliche Adaptionen, Anpassungen, Applikationen in den Antriebs- und Fahrwerksfunktionen gemacht. Als Validierung wird dann mit der gleichen Abstimmung (Anmerkung: μ-Low-Setup) wieder auf μ-High gewechselt, um zu kontrollieren, ob die Systeme und Funktionen immer noch funktionieren und die Anforderungen erfüllen. Aus diesem Grund ist mindestens eine Erprobung auf Schnee bzw. Eis im Winter eingeplant. Ein großes Ziel während einer Entwicklung ist es, diesen Schritt bereits relativ früh durchführen zu können, damit verschiedene Konzepte einfach abgesichert sind.</p>
<p>..Straße, Erprobung</p>	<p>17 Was wir auch schon gemacht haben, wenn ein Winter zur Erprobung nicht ausreicht oder aufkommt, dass das eigentliche Erprobungs-Programm nicht fertig geworden ist, dass dann auch eine antizyklische Erprobung durchgeführt wird. Das heißt, wir sind dann wirklich. Im Sommer nach Neuseeland gegangen.</p>
	<p>18 Erprobung: Von der Komponentenerprobung bis zum Gesamtsystem</p>



19 **Wie sieht die grundsätzliche Erprobung / Absicherung / Freigabe eines Fahrzeugs bzw. einer Modellvariante aus (Zyklus von Einzelkomponenten bis zum Gesamtsystem)?**

20 Im Prinzip läuft es so ab wie zuvor kurz beschrieben mit den einzelnen Stages/Gates. Wir gehen zwar auf unsere Prototypen über, betreiben aber normalerweise alle Datenstände für das Gesamtfahrzeug im Vorfeld auch auf Antriebsstrangprüfständen mit entsprechenden Simulationsumgebungen. Wir fahren am Anfang eigentlich relativ lang parallel (Straße und Prüfstand), sodass man immer einen Antriebsstrangprüfstand hat, mit dem Datenstände abgeprüft werden können. Sobald die Datenstände auf den Prüfständen sauber und zuverlässig laufen gehen wir ins Fahrzeug und machen dort die Feinabstimmung bei den besonderen Fahrmanövern.

21 Die Basis-Abstimmung der Datenstände auf den Prüfständen erfolgt aber auch schon durch massiven Simulationseinsatz in Kombination mit realen Fahrmanövern oder Fahrscenarien.

22 **Bauteil-/Modul- bzw. Komponentenerprobung vs. funktionsorientierter (softwaredefiniertes Fahrzeug) Ansatz?**

23 Im Prinzip haben wir dieses Thema schon ganz kurz besprochen. Bei unserer Herangehensweise erproben wir meist alles funktionsorientiert.

24 **Bevorzugter Test von Einzelsystemen (ohne Querwirkungen durch andere Komponenten / Systeme) oder eher frühzeitige Erprobung im Gesamtsystem (die Komponentenerprobung im Gesamtsystem wäre prinzipiell durch den Ersatz von realen durch virtuelle Komponenten auf entsprechenden Prüfstandssystemen möglich)?**

25 Was man auch sagen kann, ist, dass im Vorfeld natürlich schon Komponentenversuche auf dem Prüfstand durchgeführt werden bevor einzelne Module, Funktionen oder Systeme ins Gesamtsystem bzw. ins Gesamtfahrzeug überführt werden. Die Komponentenerprobung erfolgt zwar im Gesamtkontext (Anmerkung: d. h. in Kombination mit Simulationsmodellen), wobei aber teilweise auch nur Einzelkomponenten real als Device Under Test DUT vorhanden sind. Sämtliche weitere, aber notwendige Elemente werden durch virtuelle Simulationsmodelle ersetzt und ggf. über entsprechende Hardware der Prüfstandssysteme simuliert/emuliert.

26 **Wie werden Prüfscenarien für die Funktionserprobung im Rahmen der Antriebsintegration definiert (überwiegend von Versuchen, die aktuell nur durch Straßenversuche erprobt werden (können) [z. B. ESC, ABS, ASR, etc.]?) (Informationen / Erkenntnisse aus klassischer Komponentenerprobung, aus Datenbanken, Betrachtung im Rahmen der funktionalen Sicherheit, aus gesetzlichen Anforderungen (z. B. UN ECE, etc.), Szenarien und Situationen aus FoT)?**

27 Wir selbst haben uns Prüfkataloge aufgebaut, nachdem wir selbst auch die

		Freigaben erteilen. Jeder Fachbereich, ob das jetzt Motormechanik ist, wie es bei uns jetzt heißt, oder auch die Antriebsmechanik, wenn wir jetzt beim Elektrofahrzeug bleiben hat seine eigenen Prüfkataloge mit entsprechenden Anforderungen und Zielen.
..Prüfaufgabendefinition		28 Unser Prüfkatalog ist aus Testfällen über einen sehr langen Zeitraum erarbeitet worden. Er besteht also aus Erfahrungswerten oder Fehlerfällen, die bereits einmal aufgetreten sind, und diese Szenarien werden dann abgefahren. Ob das jetzt eine μ -Split Anfahrt ist mit anschließendem Donut oder ABS-Bremstungen auf der langen Welle sind spielt für die Szenariendefinition aus dem Katalog nicht wirklich eine Rolle. Das sind alles Sachen, bei denen es mal Probleme gegeben hat und die dann in den Prüfkatalog mitaufgenommen worden sind. Grundlegend besteht der Prüfkatalog aus etwa 170 Positionen (Szenarien).
..Gesamtsystemerprobung		29 Beim realen Fahrversuch auf Teststrecken oder Prüfgeländen gibt es unter anderem auch Fahrer, die die einzelnen Programme durchfahren müssen. Das sind mal Vollastanfahrten, das ist auch mal komplett alles was mit Fahrbarkeit zu tun hat. Das heißt, wir rastern wirklich das Fahrpedal Kennfeld bei jedem Kennfeld Punkt durch, ob das auch so ausgeführt wird vom Fahrzeug, wie es gedacht ist. Das kannst du auf der normalen Straße nicht machen, weil wir auch irgendwelche Fehleraufschaltungen machen bzw. machen müssen, die im Straßenverkehr nicht durchgeführt werden können, weil diese zu gefährlich sind.
..Straße, Erprobungsgelände oder		30 Zusätzlich zum internen Prüfkatalog gibt es auch noch die gesetzlichen Anforderungen. Dabei ist prinzipiell egal ob die UNECE für Typisierungsthemen ist oder die GCR 21 ist wie wir jetzt die Systemleistungsmessungen hier machen.
..Prüfaufgabendefinition		31 Und das letzte, was wir jetzt gerade noch versuchen, ist natürlich, diesen Testkatalog auch vollständig auf den Antriebsstrangprüfstand zu bringen. Was man also auch schon im Vorfeld, wenn man vielleicht keine Systemträger hat oder auch noch keine oder wenig Fahrzeuge hat, dass man das einfach fahren kann und die Freigabe erteilen kann.
..Straße, Erprobungsgelände		32 Wie sieht die (zukünftige) Erprobung von automatisierten/autonomen Fahrfunktionen (z. B. ACC, Einparkassistent, Verkehrszeichenerkennung, etc.) aus, wenn verschiedene Prüfscenarien aufgrund der Vielzahl an variablen Parametern nicht oder nur unzureichend definiert werden können (sind statistische Tests eine Option?)?
..Gesamtsystemerprobung		33 Das übernimmt eine andere Abteilung und betrifft nicht unmittelbar den Antrieb bzw. das Fahrwerk. Nichtsdestotrotz sind sämtliche Prototypenfahrzeuge im Infield mit Kameras ausgestattet. Auch wenn nur kurzfristig eine Fehlermeldung des Fahrzeugs an den Displays anliegt, werden diese mit Texterkennungen bereits automatisiert gespeichert. Das heißt es wird versucht das Problem-Szenario aus den Daten wieder rekonstruieren zu können.
..Abhängigkeiten		34 Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext auf der Straße und am Prüfstand:
Erprobungsergebnisse		

..Meilensteine, Freigabe- i
 ..Straße, Erprobungsgelän
 Systemintegration zum Gi

..Straße, Erprobungsgelän
 ..Prüfaufgabendefinition

..Fahrzeugvernetzung
 Systemintegration zum Gi

..Funktionsapplikation / -i
 ..Prüfstand mit Methoden
 ..Funktionsapplikation / -i

..Straße, Erprobungsgelände oder

35 **Gibt es eine Definition bzw. Kriterien, welche Erprobungsumfänge bei realen Straßenversuchen – welche bei Versuchen auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt werden (vor allem im Rahmen der Antriebsintegration / Fahrwerk)?**

36 **Ab welchem Meilenstein wird vom Prüfstand auf die Straße gewechselt? [höchstwahrscheinlich werden immer Rückkopplungen zur Komponenten- bzw. System- oder Funktionsentwicklung stattfinden – gibt es aber einen konkreten Zeitpunkt oder finden beide Prozesse immer parallel statt?]**

37 Einen konkreten Meilenstein gibt es nicht, aber alle verkehrskritischen Versuche werden am Prüfstand oder auf der Teststrecke durchgeführt. Grundsätzlich erfolgt der Großteil der Erprobung aber simultan am Prüfstand und auf der Straße.

38 **Welche Funktionen / Systeme werden bei einer klassischen Versuchsreihe erprobt bzw. abgesichert [z. B. bei Wintertests, auf der Rennstrecke, etc.]?**

39 Wie bereits gesagt, finden dieselben Tests zuerst auf Asphalt (Anmerkung μ -High), und dann auch auf μ -Low (Anmerkung: Fahrbahn schneebedeckt oder eisig) statt.

40 **Wie hoch sind die Reifegrade dieser Funktionen / Systeme während den ersten Versuchsreihen?**

41 Lässt sich nicht aussagekräftig beantworten. Im Rahmen der Systemintegration treten aber einige Probleme durch die vernetzte Beeinflussung vieler Bereiche (Software, Hardware, Regelungen, Steuerungen, etc.) auf.

42 **Welche Probleme treten bei den ersten Versuchsreihen auf?**

43 Siehe Frage zuvor.

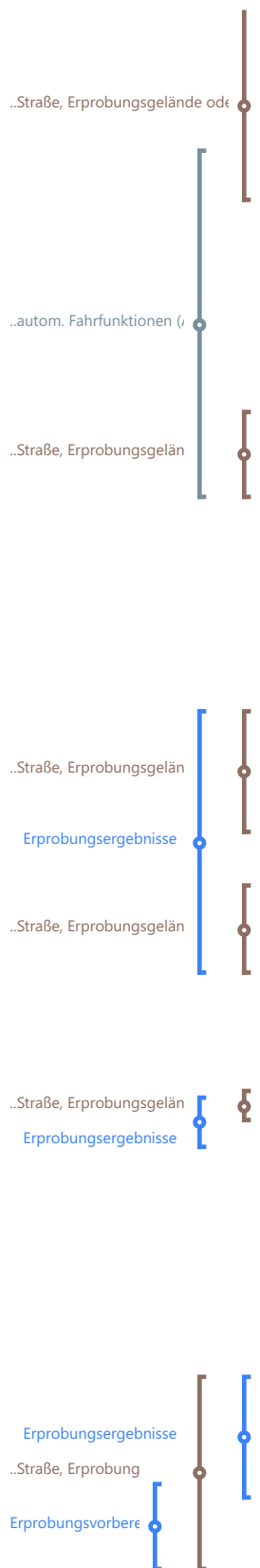
44 **Wie sieht die Aufteilung zwischen sinnvoller Erprobungszeit / Fehleranalyse bzw. Standzeit aufgrund von Problemen aus (z. B. Laufzeit:Fehleranalyse -> 50:50)?**

45 Das Zielbild ist, das bei einer Erprobung wirklich auch nur relevante Bereiche erprobt werden und Fehlerfälle so gut es geht bereits vorab in der Vorbereitung, also der Simulation oder der Co-Simulation in Kombination mit Prüfstandssystemen gelöst werden. Nichtsdestotrotz sind die ersten Erprobungen gespickt mit funktionellen Problemen vieler einzelner Elemente und Funktionen des Gesamtsystems – somit können die ersten Erprobungen auch als Inbetriebnahme-Erprobungen angesehen werden.

46 **Wie sieht die Verfügbarkeit von Teststrecken bzw. Versuchsarealen oder Prüfstandssystemen aus?**

47 Also die Verfügbarkeit von Teststrecken sieht im Wesentlichen recht gut aus,

<p>..Straße, Erprobungsgelände oder</p> 	<p>weil wir ja auf die großen Versuchsgeländen gehen, egal ob das Idiada, Nardo, etc. ist. Wo es jetzt ein bisschen schlimmer wird, ist die Kalterprobung (überwiegend in Schweden). Prinzipiell bekommen wir aber auch hier die Zeiten und auch die Strecken, die wir brauchen/wollen.</p>
<p>..Straße, Erprobungsgelände oder</p> 	<p>48 Wie lange dauert üblicherweise eine Versuchsreihe [Zeitraumklassen: 2 Wochen, 4 Wochen, >6 Wochen]?</p> <p>49 Das ist auch unterschiedlich. Also wir von der Applikation sind eigentlich nach 2 Wochen durch.</p>
<p>..Gesamtsystemerprobung ..Straße, Erprobungsgelände</p> 	<p>50 Was natürlich auch passiert auf so Erprobungen ist, dass man ja die ganzen Manöver, die hier auf dem Prüfstand gefahren worden sind, noch mal in der Realität auf der Teststrecke oder am Versuchsgelände nachfährt und da kann dann schon mal sein, dass das 4 bis 6 Wochen sind.</p>
<p>..Straße, Erprobungsgelände oder</p> 	<p>51 Wie hoch ist der Prototypeneinsatz (evtl. auch Personalaufwand) während einer realen Erprobung? (2 Fahrzeuge, 6 Fahrzeuge, >10 Fahrzeuge) (5 Personen, 10 Personen, >20 Personen)?</p> <p>52 Auch das ist auch unterschiedlich und hängt vom Erprobungsziel ab. Du kannst aber eigentlich sagen, wir nehmen immer pro Derivat mindestens ein Fahrzeug mit. Und von den Personen rechnest du, je nachdem, ob jetzt noch andere Fachbereiche auf dem Auto sind, weil wir die meisten Sachen nicht als Alleinerprobung machen für einen Antriebsstrang zum Beispiel, sondern als Blockerprobung, dann kann ich vielleicht schon mal sagen, dass irgendwo zwischen 3 und 5 Leute auf ein Auto kommen.</p> <p>53 Es gibt dann auch unterschiedliche Arbeitszeitmodelle, dass du sagst, du arbeitest mal im Zweischichtbetrieb.</p>
<p>Erprobungsvorbere Erprobungsergebn ..Straße, Erprobung</p> 	<p>54 Werden unterschiedliche Varianten von verschiedenen Funktionssetups / Fahrzeugsetups / Reifegraden oder Technologien bei einer realen Versuchsreihe erprobt [z. B. Softwareänderungen] oder liegt der Fokus auf dem gleichen Setup bei unterschiedlichen Bedingungen?</p> <p>55 Also wir versuchen eigentlich das Fahrzeug auf einem Stand zu haben und zu behalten, also auf einem Verbund-Release-Stand. Aber im Laufe der Erprobung werden immer wieder Erkenntnisse dazugewonnen, die gleich in die Programmstände miteinfließen. Am Ende der Erprobung kann es dann durchaus sein, dass unterschiedliche Softwarestände auf einem Fahrzeug sind. Die Änderungen belaufen sich aber mehrheitlich auf Parameteränderungen o. ä. und nicht auf grundstrukturellen Softwarearchitektur- oder Regelungsmodelländerungen.</p>
<p>..Straße, Erprobungsgelände ..Straße, Erprobungsgelände</p> 	<p>56 Ist der Aufwand für zusätzliches Equipment für eine Versuchsdurchführung hoch [Einsatz von Fahrroboter, Ground-Truth-Messtechnik, etc.]?</p> <p>57 Ob das Fahrzeug auf dem Prüfstand gefahren wird, oder auf der Teststrecke ist</p>



im Hinblick auf etwaiges zusätzliches Equipment relativ egal. Die Antriebsabteilung nutzt aber eigentlich keine zusätzliche Messtechnik (Anmerkung: alle für die Software und Regelung notwendigen Signale sind ohnehin messtechnisch erfassbar und können damit auch zu jeder Zeit gespeichert werden). Die Abteilung für funktionale Sicherheit (FuSi) nutzt zusätzliche Messtechnik im Hinblick auf GPS, Spurversatz, etc.

58 Zusätzlich braucht es im Hinblick auf automatisierte Fahrfunktionen wie Notbrems-Assistenten, Spurhalteassistenten etc. eine Ground-Truth-Messtechnik, um die vom Fahrzeug erkannten und ausgewerteten Signale mit jenen der Realität vergleichen zu können (z. B. Abstände zu Hindernissen). Dabei ist vor allem die Inbetriebnahme und Kalibrierung dieser Systeme aufwendig, aber absolut notwendig. Darüber hinaus braucht es speziell für diese Versuche auch die Möglichkeiten seitens der Teststrecke – nicht jede Teststrecke kann das in den geforderten Bereichen anbieten.

59 **Wie wird mit dem Thema Reproduzierbarkeit umgegangen (Straße / Prüfstand)?**

60 **Werden Fahrmanöver mit Robotereinsatz gefahren oder immer manuell?**

61 Was die Reproduzierbarkeit betrifft, werden Versuche am realen Versuchsgelände prinzipiell immer mehrfach durchgeführt und nachgestellt. Der Kollege, der eine Fahrfunktion erprobt, versucht diese mit der einen Parametrierung in einem Fahrzeug. Wenn sich diese Parametrierung ändert, dann schaut er sich die gleiche Fahrfunktion mit anderer Parametrierung oder in einem anderen Auto an. Verglichen können dann ohnehin immer die Ergebnisse der Manöver. Sämtliche Sensoren des Fahrzeugs werden bei den jeweiligen Manövern und Szenarien ohnehin immer mitgemessen.

62 **Vordefinierte Anforderungen an die Ausgangsbedingungen (z. B. Temperaturbereich, etc.)?**

63 Auf Teststrecken ist der Einfluss auf diese Faktoren nicht gegeben. Bei euch am Gesamtfahrzeugprüfstand (KS-R2R) würde das aber funktionieren.

64 **Vordefinierte Anforderungen an die Teststrecke (z. B. Variation von unterschiedlichen Fahrbahnzuständen (trocken, nass, schneebedeckt, etc.), sofern diese Variabilität auf Teststrecken existiert bzw. kontrolliert eingestellt (z. B. nasse Fahrbahn) werden kann**

65 Der Temperaturbereich ist bei uns nicht ganz so kritisch (Anmerkung: für Antriebsstrang und Fahrwerk, für Reichweite und Leistung ist dieser Bereich schon relevant). Unterschiedliche Fahrbahnzustände wie trocken, nass, eisig, schneebedeckt etc. sind aber relevant und werden auch erprobt. Oftmals besteht auch die Möglichkeit auf den Teststrecken, dass auch Fahrbahnen eher benetzt werden können, dass sie nass sind.

..Gesamtsystemerprobung		<p>66 Grundlegend erfolgt die Applikation von Fahrfunktionen aber, wie vorher schon besprochen, immer zuerst auf μ-High. D. h. sämtliche Fahrfunktionen und -systeme werden immer auf μ-High abgesichert. Danach erfolgen die gleichen oder zusätzliche Versuche auf μ-Low (Schneefahrbahn). Wenn beide Versuchsreihen erfolgt sind und die Ergebnisse den Anforderungen entsprechen wird wieder auf μ-High zurückgewechselt und das ursprüngliche Programm wiederholt.</p>
..Straße, Erprobungsgelän		<p>67 Die kontrollierte Änderung der Fahrbahnbeschaffenheiten ist auf vielen Teststrecken begrenzt, wobei Teststrecken üblicherweise Bereiche mit unterschiedlichen Untergründen zur Verfügung stellen.</p>
Erprobungsvorbereitung,		<p>68 Welche Kriterien gibt es für die Auswertung? (kann das pauschalisiert werden?) [quantifizierbare Kriterien oder Vergleich zu anderen Modellen?]</p>
..Straße, Erprobungsgelände oder		<p>69 Die Ausgangssituationen (Umgebungsbedingungen, Fahrbahnzustände) werden rein über die Fahrzeugmessungen dokumentiert bzw. es wird in den Messungen vermerkt, ob die Ausgangszustände in Ordnung waren.</p>
..Straße, Erprobungsgelände oder		<p>70 Wie sieht es mit den Sicherheitsvorgaben / Genehmigungen / Versicherungen von Prototypen aus?</p>
..Straße, Erprobungsgelände oder		<p>71 Das ist ein relativ heikles Thema - die Sicherheitsvorgaben sind natürlich relativ streng. Du musst immer ein Sicherheitsdatenblatt rausschreiben mit einer Auflistung an Funktionen und Betriebsbereiche die funktionieren und erreicht werden können.</p>
..Straße, Erprobungsgelände oder		<p>72 Genehmigungen laufen prinzipiell über die Organisationsstruktur und die direkten Vorgesetzten. Versicherungen von Prototypen gibt es eigentlich nicht (außer der normalen Haftpflichtversicherung). Die Testfahrer haben natürlich eine Unfallversicherung, falls irgendetwas passieren sollte. Unsere Fahrzeuge sind aber nicht versichert.</p>
..Straße, Erprobungsgelände oder		<p>73 Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext am Prüfstand:</p>
..Straße, Erprobungsgelände oder		<p>74 Werden funktionale Entwicklungen / Versuche / Absicherungen / Freigaben auch auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen im Gesamtsystem durchgeführt [wobei nicht real verfügbare oder vorhandene Komponenten durch Simulationsmodelle ersetzt werden (z. B. Karosseriemodell, Reifenmodell, Anhänger, etc.)]?</p>
..Straße, Erprobungsgelände oder		<p>75 WENN JA:</p>
..Straße, Erprobungsgelände oder		<p>76 Welche Versuche werden durchgeführt bzw. auf welchen Versuchen liegt der Fokus?</p>
..Straße, Erprobungsgelände oder		<p>77 Wie oben bereits beantwortet, wird versucht, alle Erprobungsszenarien von der realen Straßenerprobung auch auf Antriebsstrang oder Gesamtfahrzeugprüfständen durchzuführen. Dies betrifft überwiegend die Bereiche für den Antriebsstrang und das Fahrwerk.</p>

<p>..Straße, Erprobungsgelände oder</p>	<p>78</p>	<p>Also es gibt Versuche, bei denen mit dem dreieinhalb Tonnen Anhänger der Glockner reell mit unterschiedlichen Räder-, Reifenkombinationen, Karosserie gefahren werden.</p>
<p>..Prüfstandsvarianten</p>	<p>79</p>	<p>Welche Prüfstandsvarianten werden konkret eingesetzt (Rollenprüfstände bzw. Rollenbandprüfstände, Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstände wie der KS R2R)?</p>
<p>..Prüfstandsvarianten</p>	<p>80</p>	<p>Antriebsstrangprüfstände, Rollenprüfstände (für Abgasemissionen, Homologation – Umweltcenter), Motorprüfstände, Batterietestprüfstände, HiL, SiL</p>
<p>..Methoden-/Simulations- bzw. I</p>	<p>81</p>	<p>Wie wird mit dem Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung umgegangen (wie werden diese Methoden verifiziert und validiert)?</p>
<p>..Methoden-/Simulations- bzw. I</p>	<p>82</p>	<p>Die Modellabsicherung erfolgt auf Basis von realen Messungen. Dabei wird der Ansatz verfolgt, dass alle Einzelmodellteile (Karosserie, Dämpfer, Rad/Reifen, etc.) nach den physikalischen Gesetzmäßigkeiten als mathematisches Modell aufgebaut werden (Stichwort: Echtzeitfähigkeit), um diese in weiterer Folge auch für eine Vielzahl unterschiedlicher Prüflinge in Form von verschiedenen Parametrierungen nutzen zu können.</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden ..Methoden-/Simulations-</p>	<p>83</p>	<p>Gibt es Datenbanken für unterschiedliche Simulationsmodellvarianten oder dessen Parametrierungsstände?</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden ..Methoden-/Simulations-</p>	<p>84</p>	<p>Nachdem versucht wird, einige wenige Plattformen für die Modellierung von virtuellen Fahrzeugkomponenten zu nutzen, und diese in weiterer Folge auf unterschiedlichen Systemen (Prüfstandsautomatisierungssystem, Fahrzeugregelungen, etc.) nutzen zu können. Daher gilt der Fokus eher diesem Bereich.</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden ..Methoden-/Simulations-</p>	<p>85</p>	<p>Wenn NEIN:</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden ..Methoden-/Simulations-</p>	<p>86</p>	<p>Warum werden funktionale Versuche / Absicherungen nicht auf Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt?</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden ..Methoden-/Simulations-</p>	<p>87</p>	<p>Ist es das Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung ein entscheidendes Kriterium?</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden ..Methoden-/Simulations-</p>	<p>88</p>	<p>Werden Einschränkungen am Prüfstand im Vergleich zur Straße gesehen / befürchtet?</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden ..Methoden-/Simulations-</p>	<p>89</p>	<p>Gibt es andere Einschränkungen (Verfügbarkeit bzw. Anschaffungskosten von Gesamtfahrzeugprüfständen, Komplexität solcher Systeme im Hinblick auf Bedienung / Wartung, Auslastungsbedenken)?</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden ..Methoden-/Simulations-</p>	<p>90</p>	<p>Werden Modelle und Simulationen (physikalische Echtzeit-Modelle von einzelnen Komponenten) im Entwicklungsprozess und in weiterer Folge</p>

		auf Prüfständen eingesetzt (z. B. für die frühzeitige Energie- bzw. Reichweitenerprobung, Funktionserprobung, etc.)?
	91	Wenn JA:
	92	In welchem Umfang kommen diese Modelle und Simulationen zum Einsatz?
..Prüfstand mit Methoden-/Simu	93	Diese Simulationsmodelle kommen im Rahmen der gesamten Versuchsdurchführung von der Komponentenerprobung bis hin zur Erprobung auf Gesamtfahrzeugprüfständen in unterschiedlichen Varianten und Ausbaustufen zum Einsatz.
..Prüfstand mit Methoden	94	Werden Ergebnisse von Simulationen/Modellen als Entscheidungsgrundlage herangezogen?
..Meilensteine, Freigabe- und Entscheid	95	Nur für die interne Freigabe zum Fahrversuch.
	96	Um welche Modelle handelt es sich (CFD, etc.) oder auch physikalische Modelle (z. B. für den Einsatz auf Prüfständen)?
..Prüfstand mit Methoden-/Simu	97	Physikalische Modelle
	98	Wenn NEIN:
	99	Aus welchem Grund nicht?
	100	Wie sehen Sie die Veränderungen vor allem im Bereich des Fahrzeugversuchs in Bezug auf aufkommende ADAS/AD-Funktionalität im Fahrzeug?
..autom. Fahrfunktionen (/	101	Der Aufwand für die Erprobung wird sicherlich steigen – vor allem in Bezug auf die Sicherheit im Fahrzeug. Es ist aber oftmals auch eine gespielte Sicherheit, da verschiedene Versuchsszenarien sicherlich nicht immer der Realität entsprechen. Ein ähnliches Bild hat es auch langezeit bei den Abgasemissionsversuchen gegeben, im Hinblick auf die Durchführung von synthetischen Profilen mit wenig Relevanz zur Realität.
..Straße, Erprobungsgelän		
	102	Gibt es besonders bei der Versuchsplanung und -durchführung eine Innovationstrategie im Hinblick auf Veränderungen beim Gesamtfahrzeug?
..Herausforderungen Fahrzeug	103	Veränderungen durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs, da die Versuchsdurchführung deutlich einfacher geworden ist (z. B. keine Höhenversuche notwendig). Dafür sind andere Bereiche bei der Versuchsdurchführung wieder relevanter (Anmerkung: Systemleistungsmessung bei Elektrofahrzeugen).
	104	Würden Sie das V-Modell im Rahmen der Fahrzeugentwicklung / Erprobung (besonders bei der Verifikation / Validierung) noch als zeitgemäß betrachten? Gibt es, besonders für das softwaredefinierte

Fahrzeug mit vielen vernetzten Funktionen andere, bessere Ansätze?







105 Die Vorgehensweise in der Entwicklung ähnelt eher der Vorgehensweise nach dem ASPICE und nicht dem V-Modell. Wobei aber das ASPICE an das V-Modell angelehnt ist.

106 **Würden Sie noch irgendwelche Ergänzungen anfügen?**

107 Nein, Vielen Dank!



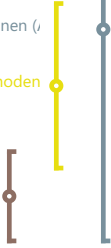


Experteninterview B06 - Zulieferer, Komponententwickler, Prüfstandshersteller:

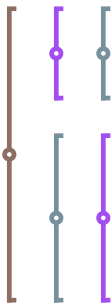
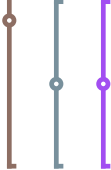




	1	<p>Erprobung von Gesamtfahrzeugen im Rahmen des Entwicklungsprozesses:</p>
<p>..Meilensteine, Freigabe- i ..Prüfstand mit Methoden</p> 	2	<p>Während der Fahrzeugentwicklung müssen viele Meilensteine erreicht werden – welchen Stellenwert haben dabei virtuelle (Digital-Twin) und auch reale Versuche im Rahmen des Entstehungsprozesses?</p>
<p>..Straße, Erprobungsgelän ..Gesamtsystemerp ..Fahrzeugvernetzu</p> 	3	<p>Bei virtuellen Tests in frühen Phasen kann man durchaus Entwicklungszeit ein bisschen reduzieren, zumindest bei uns bei der Getriebeentwicklung. Unter anderem weil das Getriebe oder allgemeiner mechanische Modelle recht gut durch ihre physikalischen Gegebenheiten beschreibbar und damit modellierbar sind. Dazu ist, wie bereits in der Frage formuliert, oftmals eine Art Digital-Twin aufgebaut worden.</p>
<p>..Einzelsystemerprobung</p> 	4	<p>Für Software gibt's HiL-Prüfstände. Dann geht aber doch relativ schnell der Weg auf den Prüfstand oder ins Gesamtsystem, in den Prototyp. In der frühen Entwicklung ist der Fokus eher auf der grundsätzlichen Funktionalität. Hierbei sind viele Funktionen des Gesamtsystems entweder nicht vorhanden oder werden bewusst deaktiviert, damit der Fokus auf den elementaren Bereichen liegt. Vor allem aber die Fehlersuche wäre zu diesem Zeitpunkt enorm schwierig, wenn alle Systeme in niedrigen Reifegraden vorliegen würden.</p>
	5	<p>Nichtsdestotrotz geht der Weg im Rahmen des Entwicklungsprozesses relativ schnell über zu einem Systemtest auf Prüfständen, wo dann doch viele Einzelkomponenten zu Modulen zusammengeführt werden, mit denen in weiterer Folge sämtliche Anforderungen entwickelt und erprobt werden.</p>
	6	<p>Welche relevanten Meilensteine / Freigaben werden bei der Erprobung / Absicherung durchlaufen (Komponentenrelease, Verbundrelease, etc.) bzw. in welchen Abständen finden diese statt (z. B. Softwarerelease alle 8 Wochen)?</p>
<p>..Meilensteine, Freigabe- und En</p> 	7	<p>Problematisch ist als Komponentenlieferant immer der Zeitdruck. Üblicherweise erfolgt die tatsächliche Freigabe einzelner Komponenten und Module oftmals erst nach der ersten Stufe der Systemintegration in einem Gesamtsystem oder Prototypen.</p>
<p>..Meilensteine, Freigabe- und En</p> 	8	<p>Üblicherweise gibt es die Freigaben bei uns nach Stufen (A-Freigabe, B-Freigabe, C-Freigabe, D-Freigabe). Die Zeiträume für diese Freigaben erstrecken sich oft über Monate bis hin zu einigen Jahren. Dies betrifft überwiegend mechanische Bauteile von einzelnen Komponenten und Modulen – für die Software oder Regelungsmodule sind die Freigabezyklen durchaus kürzer. Viele Entwicklungsprozesse einzelner Komponenten (egal ob Hardware oder Software) laufen aber ohnehin parallel.</p>
<p>..Gesamtsystemerprobung</p> 	9	<p>Nichtsdestotrotz sind überlagerte Ebenen im Rahmen der Systemintegration doch auch auf einzelne Entwicklungsmeilensteine von uns als Antriebsstranglieferant abhängig. Also die, die in weiterer Folge die Fahrbarkeit des Prototypen abstimmen müssen, brauchen klarerweise auch funktionierende</p>

<p>..Gesamtsystemerprobung</p> 	<p>10</p>	<p>Antriebs Elemente mit den entsprechenden Möglichkeiten, das zu tun, was sie tun müssen.</p>
	<p>11</p>	<p>Was sind die größten Herausforderungen während der Erprobung?</p> <p>Im Kontext des softwaredefinierten Fahrzeugs bei der Integration in ein Gesamtsystem? (Aspekte der zunehmenden Vernetzung im Fahrzeug)</p>
<p>Systemintegration zum Gesamt</p> 	<p>12</p>	<p>Die Erprobung im Rahmen der Systemintegration kann eigentlich in zwei Bereiche geteilt werden. Üblicherweise erfolgt die Systemintegration auf entsprechenden Prüfstandsystemen (z. B. Achsmodulprüfstand, Antriebsstrangprüfstand). Bezogen auf den Prüfling ist oftmals das Thema der Vernetzung oder wenn gewisse Funktionen nicht funktionieren, wie sie sollen. Dabei ist auch die Fehleranalyse und -ortung das größte Problem. Vor allem wenn die Ergebnisse aus den Unit-Tests einzelner Komponenten vielversprechend und positiv aussehen oder ausgesehen haben.</p>
<p>..Funktionsapplikation / -inbetrieb</p> 	<p>13</p>	<p>Darüber hinaus bringt auf Prüfständen auch der Prüfstand eine gewisse Unsicherheit in die Inbetriebnahme solcher Prüflingssystem mit. Oftmals liegen die Fehlerquellen bei der Systemintegration nicht nur rein auf der Prüflingsseite, sondern auf der Kombination des Prüflings auf dem Prüfstand. Und diese Beweisführung bzw. Problemlösung, welche Unzulänglichkeit zu welchem Fehler bei der Erprobung geführt hat, sowie die nachhaltige Fehlerbehebung stellt oftmals eine große Herausforderung dar.</p>
<p>..Herausforderungen Prüfstand</p> 	<p>14</p>	<p>Im Kontext der Elektrifizierung von Antriebsstrangkomponenten bzw. des gesamten Antriebsstrang (z. B. größeres Potential von komponentenübergreifenden Funktionen)?</p>
<p>..Herausforderungen Fahrzeug</p> 	<p>15</p>	<p>Auch beim Verbrenner hat es immer schon die Probleme mit der Restbussimulation für einzelne Steuergeräte im Antriebsstrangverbund auf dem Prüfstand gegeben. Das einzige Thema hierbei war, dass die Software durchaus ausgereifter war, in vielen Fällen der Quellcode zwischen einzelnen Modulvarianten unverändert geblieben ist und die größte Änderungen eigentlich nur Parameteränderungen waren.</p>
<p>..autom. Fahrfunkti</p> <p>..Abhängigkeiten</p> <p>..Einzelsystemerpro</p> 	<p>16</p>	<p>Im Kontext der zunehmenden Automatisierung von Fahrfunktionen (z. B. Einparkassistent, Notbremsassistent, Spurhalteassistent, etc.)?</p>
<p>..autom. Fahrfunktionen (ADAS/</p> 	<p>17</p>	<p>Die Sachen interessieren jetzt zum Beispiel uns gar nicht. Die Kunden geben uns die Anforderungen an die zu entwickelnden Module und Komponenten (z. B. Antriebsachse), die Schnittstellen dazu sind ganz klar definiert – und auf Basis dieser Requirements erfolgt die Entwicklung / Erprobung.</p>
	<p>18</p>	<p>Viele dieser Themen sehe ich aber durch die unklare Definierbarkeit der Rahmenbedingungen im Kontext der Umwelt und der Umgebung als extrem schwierig. Die Basisfunktion lässt sich damit testen (z. B. Komponentensicherheit, funktionale Sicherheit wie im Antriebsstrang), etwaige</p>

		<p>Szenarien sehe ich aber nicht unmittelbar umsetzbar.</p>
		<p>19 Wie groß ist die Jahreszeitenabhängigkeit im Entwicklungsprozess bzw. in weiterer Folge bei der Erprobung von Fahrzeugen – wie wirken sich nachfolgende Entwicklungsschritte aus?</p>
..Jahreszeitenabhängigkeit		<p>20 Dieser Punkt trifft uns nur indirekt, weil wir natürlich unterschiedliche Komponenten des Gesamtsystems als Lieferant zu bestimmten Zeitpunkten im gesamten Entwicklungsprozess mit den definierten und erfüllten Anforderungen liefern müssen. Ist das nicht der Fall, gibt es einen Verzug. Wie die Auswirkungen im Rahmen der Fahrzeugerprobung im Gesamtsystem sind, kann ich aber an dieser Stelle nicht beurteilen, da wir das Gesamtfahrzeug üblicherweise nicht machen.</p>
..Funktionsapplikation / -i ..Meilensteine, Freigabe- i		<p>21 Was mach aber gesehen hat, bei einem Fahrzeug das wir vollständig aufgebaut haben, ist, dass die Probleme gerade bei einzelnen Funktionen des Gesamtsystems in Kombination mit der Vernetzung einiger Komponenten und Module auftreten, die den Gesamtplan und damit auch die Erprobung verschieben.</p>
		<p>22 Erprobung: Von der Komponentenerprobung bis zum Gesamtsystem</p>
		<p>23 Wie sieht die grundsätzliche Erprobung / Absicherung / Freigabe eines Fahrzeugs bzw. einer Modellvariante aus (Zyklus von Einzelkomponenten bis zum Gesamtsystem)?</p>
		<p>24 Bauteil-/Modul- bzw. Komponentenerprobung vs. funktionsorientierter (softwaredefiniertes Fahrzeug) Ansatz?</p>
..Prüfstand mit Methoden-/Simu		<p>25 Aus meiner Sicht, wenn du Zulieferer bist, ganz klar, dass das nicht funktioniert. Also funktionsorientiert ansetzen. Aus dem Grund, weil du die Funktion nicht definierst bzw. In vielen Fällen auch nicht kennst. Du bekommst quasi die Anforderungen an gewisse Komponenten im Fahrzeug, beispielsweise an ein Aggregat, das soll so und so viel Leistung haben, das soll dieses Drehmoment in der Spitze können und max. diesen Drehzahlbereich abdecken können. Ein paar mehr Anforderungen gibt es dann meistens schon noch – aber grob ist es genau so etwas. Diese ganzen Kennwerte sind durch die Anforderungen aus der Schnittstelle zum Kunden, der das beauftragt, bekannt. Die überlagerten Funktionen und Systeme sind dem Komponentenlieferanten nicht bekannt und werden entweder vom OEM selbst durchgeführt oder auch wieder an irgendwelche Entwicklungsdienstleister ausgelagert. Der kennt dann in der Regel die Anforderungen an diese und jene Funktion, aber nicht die eigentliche Antriebsachse oder den Antriebsstrang und das Fahrwerk.</p>
..Einzelsystemerprobung		<p>26 Das Management dieser Anforderungen von der Gesamtsystemsicht (Gesamtfahrzeug) hin zu den jeweiligen Bereichen der einzelnen Komponenten und Module wird in jedem Fall der OEM übernehmen, denn nur der kennt sämtliche Anforderungen auf Basis seiner Entwicklungsziele.</p>
..Gesamtsystemerprobung		<p>27 Bevorzugter Test von Einzelsystemen (ohne Querwirkungen durch</p>

		<p>andere Komponenten / Systeme) oder eher frühzeitige Erprobung im Gesamtsystem (die Komponentenerprobung im Gesamtsystem wäre prinzipiell durch den Ersatz von realen durch virtuelle Komponenten auf entsprechenden Prüfstandssystemen möglich)?</p>
		<p>28 Wie zuvor schon erwähnt sind die Anforderungen an Einzelsysteme klar definiert und das Gesamtsystem in den meisten Fällen auf unserem Level nicht erkennbar. Aus diesem Grund finden viele Versuche nur im Einzelsystem oder in Modulen statt, wobei beim Modultest die Anforderungen an das Modul definiert sind.</p>
..Einzelsystemerprobung		
		<p>29 Nichtsdestotrotz braucht es für die Modulentwicklung genau diese Sicht auf das Gesamtsystem des Moduls, da ansonsten oftmals Missverständnisse bei der Entwicklung und Erprobung von einzelnen Komponenten des Moduls auftreten können. Dahingehend ist auch der Modelleinsatz in Form von physikalischen Modellen, welche nicht verfügbare Komponenten ersetzen, sollen sehr gering bzw. gar nicht existent.</p>
..Prüfstand ohne Methode		
		<p>30 In Form von Restbussimulationen kommen aber durchaus Simulationsmodelle zum Einsatz.</p>
..Prüfstand mit Methoden-/Simu		
		<p>31 Aus meiner Sicht sichert die funktionale Erprobung nicht genug ab im Vergleich des Aufwands, der betrieben werden muss, dass das überhaupt funktioniert, sodass diese Erprobung mit dieser Komplexität wirklich Sinn macht.</p>
..Methoden-/Simulations- bzw. I		
		<p>32 Wie werden Prüfscenarien für die Funktionserprobung im Rahmen der Antriebsintegration definiert (überwiegend von Versuchen, die aktuell nur durch Straßenversuche erprobt werden (können) [z. B. ESC, ABS, ASR, etc.]? (Informationen / Erkenntnisse aus klassischer Komponentenerprobung, aus Datenbanken, Betrachtung im Rahmen der funktionalen Sicherheit, aus gesetzlichen Anforderungen (z. B. UN ECE, etc.), Szenarien und Situationen aus FoT)?</p>
		<p>33 Ja, grundsätzlich gibt es zusätzlich zu den Anforderungen an die jeweiligen Entwicklungsziele für z. B. eine Antriebsachse auch viele definierte Prüfscenarien in Form von einem Prüfkatalog. Dieser besteht zu Beginn vermutlich aus etwa 100 Tests, die am Prüfstand durchgeführt werden sollen. Abhängig von Change-Request des Auftraggebers kann es dann auch durchaus sein, dass dieser Katalog um zahlreiche Tests mit voranschreitender Entwicklungsdauer anwächst. Unter anderem fließen in diesen Katalog auch Ergebnisse aus Fahrzeugmanövern mit ein, das passiert eigentlich permanent. Der eher amerikanische Ansatz von Field-Oriented-Tests, d. h. die Erprobung im Feld durch quasi den Kunden würde ich so bei uns nicht sehen und war auch nie für irgendeinen Bereich ein Thema.</p>
..Prüfaufgabendefinition		
		<p>34 Ein Beispiel für ein Prüfscenario wäre die Applikation von irgendwelchen Schaltungen zu unterschiedlichen Bedingungen. Dabei wird aber am Prüfstand nicht unmittelbar das Szenario als Manöverbeschreibung wieder rekonstruiert, sondern nur auf Basis der vorherrschenden Bedingungen. D. h. über den</p>
..Field Oriented Tests		
..Prüfstand ohne Methoden-/Sin		

<p>..Prüfstand ohne Methoden-/Situ</p> 	<p>Prüfstand werden dann die stationären Lastzustände und Umgebungsbedingungen wieder synthetisch eingestellt und versucht, den Fehler zu reproduzieren.</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden</p> 	<p>35 Wie sieht die (zukünftige) Erprobung von automatisierten/autonomen Fahrfunktionen (z. B. ACC, Einparkassistent, Verkehrszeichenerkennung, etc.) aus, wenn verschiedene Prüfscenarien aufgrund der Vielzahl an variablen Parametern nicht oder nur unzureichend definiert werden können (sind statistische Tests eine Option?)?</p> <p>36 Hier würde ich eigentlich genau das auch fragen, was bereits in der Fragestellung enthalten ist, nämlich, dass aufgrund der Vielzahl an variablen und unbekanntem Parametern einzelne Testszenarien nicht klar definierbar sind. Damit ist vor allem die Erprobung auf Prüfständen oder für dich interessanter auf Gesamtfahrzeugprüfständen sicherlich sehr komplex und aufwendig. Zusätzlich ist hier auch das Thema, dass die Entwicklung von Prüfstandsequipment oder Prüfmethode sicherlich immer nachteilig zur eigentlichen Entwicklung von Komponenten und Systemen ist. Zusätzlich steht besonders die Komplexität dieser Systeme in Kombination mit der irrsinnigen Varianzen der Umgebungs- und Umweltbedingungen im Widerspruch, weshalb ich die praktische Anwendung auf Gesamtfahrzeugprüfständen im Vergleich zur realen Straßenerprobung noch nicht sehen kann.</p>
<p>..autom. Fahrfunktionen (</p> <p>..Straße, Erprobung</p> 	<p>37 Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext auf der Straße und am Prüfstand:</p> <p>38 Gibt es eine Definition bzw. Kriterien, welche Erprobungsumfänge bei realen Straßenversuchen – welche bei Versuchen auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt werden (vor allem im Rahmen der Antriebsintegration / Fahrwerk)?</p> <p>39 Ab welchem Meilenstein wird vom Prüfstand auf die Straße gewechselt? [höchstwahrscheinlich werden immer Rückkopplungen zur Komponenten- bzw. System- oder Funktionsentwicklung stattfinden – gibt es aber einen konkreten Zeitpunkt oder finden beide Prozesse immer parallel statt?]</p>
<p>..Einzelsystemerprobung</p> 	<p>40 Wie einleitend schon gesagt laufen diese Prozesse immer parallel ab. Die Entwicklung von einzelnen Komponenten erfolgt parallel. Zusätzlich bedarf es immer wieder die Sicht auf das Gesamtsystem des zu entwickelnden Moduls oder der Komponente. Ein konträrer Ansatz dazu hat zuletzt durch Misskommunikation und Missverständnisse einige zusätzliche Aufwände gebracht.</p>
<p>..Straße, Erprobungsgelände</p> <p>..Gesamtsystemerprobung</p> 	<p>41 Nichtsdestotrotz ist es in den meisten Fällen so, dass die Auftraggeber für irgendwelche Komponenten beispielsweise aus dem Antriebsstrang die Bauteile so früh wie möglich in ausreichenden Reifegraden zur Verfügung haben wollen, sodass die Erprobung im Gesamtsystem vorwiegend auf der Straße beginnen kann. Wenn alle relevanten Komponenten verfügbar sind, wird so schnell wie möglich auf die Straße mit dem Prototypen gewechselt.</p>

	42	<p>Welche Funktionen / Systeme werden bei einer klassischen Versuchsreihe erprobt bzw. abgesichert [z. B. bei Wintertests, auf der Rennstrecke, etc.]?</p>
<p>..Prüfstand ohne M ..Einzelsystemerpro</p> 	43	<p>Wie zuvor bereits gesagt werden einzelne Komponenten auf Basis der definierten Anforderungen an diese mit synthetischen Drehzahl- bzw. Drehmomentprofilen, oder Strom- und Spannungsverläufen erprobt.</p>
<p>..Prüfaufgabendefin ..Einzelsystemerpro ..Prüfstand ohne M</p> 	44	<p>Auch mit voranschreitender Systemintegration hin zu einem Modul (z. B. Achsmodul) wird auf Basis erfolgen die Versuche auf Basis der vordefinierten Anforderungen. Durch die Tatsache, dass überlagerte Funktionen und Systeme in vielen Fällen nicht bekannt sind, kann ein funktionsorientierter Ansatz nicht stattfinden bzw. ist in vielen Fällen auch nicht gewünscht.</p>
	45	<p>Wie hoch sind die Reifegrade dieser Funktionen / Systeme während den ersten Versuchsreihen?</p>
<p>..Funktionsapplikation / -inbetrieb</p> 	46	<p>Während der ersten Inbetriebnahme von Bauteilen und Komponenten treten klarerweise immer wieder Probleme auf. Je weiter fortgeschritten die Entwicklung ist, desto unkomplizierter wird auch die Versuchsdurchführung. Ich würde sagen, hier wird ein iterativer Prozess zwischen Versuchsprobung und Entwicklung gelebt.</p>
	47	<p>Darüber hinaus ist es abhängig der Schnittstellendefinition, wie groß die Probleme bei der ersten Zusammenführung einzelner Elemente zu einem größeren Ganzen sind. Dieses Thema haben wir aber eigentlich gut im Griff.</p>
	48	<p>Welche Probleme treten bei den ersten Versuchsreihen auf?</p>
<p>..Funktionsapplikation / -inbetrieb</p> 	49	<p>Eher Probleme zu den jeweiligen Funktionen selbst als das Zusammenspiel bzw. die Interaktion einzelner Komponenten durch die Vernetzung (auch am Prüfstand). Dadurch dass die Abstimmung der Schnittstellen zwischen den Einzelementen eines beispielsweise Antriebsmoduls relativ gut funktioniert, kann auch die Inbetriebnahme eher gering gehalten werden.</p>
<p>..Prüfstand ohne Methode ..Einzelsystemerprobung</p> 	50	<p>Darüber hinaus ist die Versuchsdefinition für den Prüfstand oftmals nicht ideal, sodass auch viele Fehler, die am Prüfstand identifiziert werden, auch nur Fehler auf dem Prüfstand sind und in der Realität im Prototypen eigentlich nicht relevant sind oder gar nicht mehr auftreten.</p>
	51	<p>Wie sieht die Aufteilung zwischen sinnvoller Erprobungszeit / Fehleranalyse bzw. Standzeit aufgrund von Problemen aus (z. B. Laufzeit:Fehleranalyse -> 50:50)?</p>
<p>..Herausforderungen Prüfstand</p> 	52	<p>Das hängt primär vom Zeitpunkt der Bewertung dieser Quote ab. Bei der ersten Inbetriebnahme, wie zuvor kurz erwähnt, überwiegt die Stehzeit höchstwahrscheinlich der tatsächlichen Erprobungszeit aufgrund von grundlegenden funktionellen Fehlern und Problemen einzelner Komponenten oder Module (prüflingsbezogen) oder auch aufgrund von Fehlern des Prüfstandes.</p>

..Straße, Erprobungsgelände oder



53 Besonders bei funktionierenden Dauerlauferprobungen mit kleineren Setupanpassungen oder Updates für einzelne Komponenten und Funktionen verringern sich die Probleme und die tatsächliche Laufzeit am Prüfstand überwiegt klar.

54 **Wie sieht die Verfügbarkeit von Teststrecken bzw. Versuchsarealen oder Prüfstandssystemen aus?**

55 Die Kapazitäten sind in beiden Fällen, würde ich sagen, immer limitiert, aber größtenteils verfügbar.

56 Abhängig der Erprobungsziele sind auch immer wieder Umbau- und Ausbauarbeiten auf den jeweiligen Entwicklungsprüfständen notwendig. Die Bandbreite dieser Upgrades erstreckt sich von Leistungssteigerungen des Equipments des Prüfstandes (Batteriesimulation, Prüfstandsmaschinen + Regelung, etc.) durch etwaige Leistungs- und Performanceverbesserungen der Prüflinge, andererseits auch aufgrund geänderter Anforderung.

57 Das beste Beispiel hierfür aus den letzten 10 bis 20 Jahren ist sicherlich die Elektrifizierung und die damit notwendigen Upgrades vom klassischen Motorprüfstand für Verbrenner (relativ hohe Drehmomente, begrenzte Drehzahlbereiche von klassischen Verbrennermotoren) hin zu hochdynamischen Elektromotoren (geringere Drehmomente auf Motorniveau aber dafür sehr hohe Drehzahlen >25000rpm)

58 **Wie lange dauert üblicherweise eine Versuchsreihe im realen Straßenversuch und am Prüfstand [Zeitraumklassen: 2 Wochen, 4 Wochen, >6 Wochen]?**

..Straße, Erprobungsgelände oder



59 Für die Straßenerprobung kann ich das leider nicht beantworten.

..Prüfstand ohne Methoden-/Sin



60 Klassische Dauerlauferprobungen im Hinblick auf die Haltbarkeit, Schädigung oder Energieeffizienz können schon einige Wochen oder Monate dauern. Durch die voranschreitende Elektrifizierung in Kombination mit dem Thema Energieeffizienz (im Hinblick auf die Reichweite) spielen auch Umweltfaktoren eine immer größere Rolle. Aus diesem Grund finden viele Versuche auch in Klimakammern.

61 **Wie hoch ist der Prototypeneinsatz (evtl. auch Personalaufwand) während einer Erprobung? (2 Fahrzeuge, 6 Fahrzeuge, >10 Fahrzeuge oder Prototypen) (5 Personen, 10 Personen, >20 Personen)?**

62 Die Anzahl der Prototypen ist unter anderem limitiert durch die Prüfstandsverfügbarkeit. Unter diesem Aspekt werden die Kapazitäten auch immer wieder umgebaut bzw. ausgebaut.

63 **Werden unterschiedliche Varianten von verschiedenen Funktionssetups / Fahrzeugsetups / Reifegraden oder Technologien bei einer realen Versuchsreihe erprobt [z. B. Softwareänderungen] oder liegt der Fokus auf dem gleichen Setup bei unterschiedlichen Bedingungen?**

..Prüfstand ohne Methoden-/Sin

..Prüfaufgabendefinition

..Prüfstand ohne Methode

- 64 Mit der voranschreitenden Entwicklung kommen klarerweise immer wieder Updates aus unterschiedlichen Bereichen. Mit fortschreitender Entwicklungsdauer werden die Sprünge aber höchstwahrscheinlich kleiner, damit minimiert sich auch die Varianz der Versuchsergebnisse.
- 65 **Ist der Aufwand für zusätzliches Equipment für eine Versuchsdurchführung hoch [Einsatz von Fahrroboter, Ground-Truth-Messtechnik, etc.]?**
- 66 Oftmals besteht am Prüfstand zusätzliche Messtechnik für die Messung von z. B. Drehmomenten, Drehzahlen, Strömen, Spannungen, Vibrationen, Temperaturen etc. Für die jeweiligen Funktionen des Prüflings werden aber in der Regel bereits zu diesem Entwicklungs- und Erprobungszeitraum originale Prüflingssensoren verwendet.
- 67 Wie groß der Einsatz von zusätzlichem Messequipment im Gesamtfahrzeug ist, kann ich leider nicht beurteilen. Ich gehe aber davon aus, dass gerade zu Beginn der Erprobung der Fokus auch auf der Datenermittlung liegt und eher mehr als zu wenig gemessen wird.
- 68 **Wie wird mit dem Thema Reproduzierbarkeit umgegangen (Straße / Prüfstand)?**
- 69 **Werden Fahrmanöver mit Robotereinsatz gefahren oder immer manuell?**
- 70 Bei Komponenten- oder Modultests gibt es eigentlich keine manuelle Versuchsdurchführung durch Fahrer oder Prüfstandspersonal. Maximal zur ersten Inbetriebnahme, dass gewisse Funktionen manuell einmal getestet werden – das würde ich aber auch in die Inbetriebnahmephase einordnen und nicht in eine wirkliche Erprobung.
- 71 Natürlich erfolgt die Erprobung von Modulen unter Einsatz von Prüfstandsequipment (z. B. Prüfstandsmaschinen, Aktuatoren, Batteriesimulation, etc.) vollautomatisiert.
- 72 **Vordefinierte Anforderungen an die Ausgangsbedingungen (z. B. Temperaturbereich, etc.)?**
- 73 Üblicherweise sind diese Anforderungen klar definiert und damit vorgegeben. Vermutlich werden diese Kennwerte und Betriebsbereiche an übergeordneter Stelle vom Auftraggeber / Kunden aus realen Versuchsszenarien abgeleitet. Nichtsdestotrotz resultieren diese aber für mein Sichtfeld nicht unmittelbar aus einem Manöver, sondern nur aus den definierten Prüfaufgaben des Testkatalogs für eine spezielle Komponente oder Modul.
- 74 **Vordefinierte Anforderungen an die Teststrecke (z. B. Variation von unterschiedlichen Fahrbahnzuständen (trocken, nass, schneebedeckt, etc.), sofern diese Variabilität auf Teststrecken existiert bzw. kontrolliert eingestellt (z. B. nasse Fahrbahn) werden**

..Straße, Erprobungsgelän	}	75	<p>kann</p> <p>Dies betrifft uns eigentlich nicht wirklich, da die Anforderungen durch den Auftraggeber / Kunden klar definiert sind. Darüber hinaus ist in den meisten Fällen das Gesamtsystem, in welches einzelne von uns entwickelte Module und Komponenten integriert werden nicht in der Detailtiefe die es für diese Art der Versuchsdurchführung am Prüfstand bräuchte bekannt.</p>
..Gesamtsystemerprobung	}	76	<p>Welche Kriterien gibt es für die Auswertung? (kann das pauschalisiert werden?) [quantifizierbare Kriterien oder Vergleich zu anderen Modellen?]</p>
..Prüfstand ohne Methoden-/Sin	}	77	<p>Unter anderem gibt es immer wieder Themen die die Abbildungsgenauigkeit der Erprobung am Prüfstand durch den Einsatz von Prüfstands-Equipment (z. B. Batteriesimulator anstelle der realen Traktionsbatterie) schmälern. Beispielsweise bricht die Spannung des Batteriesimulators bei starken Lastwechseln durch den Prüfling niemals ein im Vergleich zur realen Batterie im Fahrzeug.</p>
..Straße, Erprobungsgelände odk	}	78	<p>Wie sieht es mit den Sicherheitsvorgaben / Genehmigungen / Versicherungen von Prototypen aus?</p>
..Meilensteine, Freigabe- und En	}	79	<p>Dieses Thema betrifft vor allem die Freigabe von einzelnen Komponenten für den Einsatz im Gesamtsystem zur Erprobung in Form von Prototypen unter anderem auf Prüfgeländen.</p>
		80	<p>Diese Freigaben einzelner Komponenten hinsichtlich ihrer grundlegenden Sicherheitsvorgaben erfolgt üblicherweise auf Prüfständen. Es gibt aber auch Fälle, dass vor der eigentlichen Freigabe einzelner Komponenten diese bereits im Gesamtsystem im Einsatz sind/waren. Dabei natürlich nur bei Prototypenfahrzeugen – das Ziel in den meisten Fällen ist aber, so früh wie möglich ins Fahrzeug auf die Teststrecke zu wechseln.</p>
		81	<p>Wie das Thema beim Gesamtfahrzeug und dessen Erprobung auf Testgeländen aussieht, kann ich leider nicht beantworten.</p>
		82	<p>Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext am Prüfstand:</p>
		83	<p>Werden funktionale Entwicklungen / Versuche / Absicherungen / Freigaben auch auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen im Gesamtsystem durchgeführt [wobei nicht real verfügbare oder vorhandene Komponenten durch Simulationsmodelle ersetzt werden (z. B. Karosseriemodell, Reifenmodell, Anhänger, etc.)?]</p>
		84	<p>WENN JA:</p>
		85	<p>Welche Versuche werden durchgeführt bzw. auf welchen Versuchen liegt der Fokus?</p>
..Prüfstand ohne Methoden-/Sin	}	86	<p>Durch die vordefinierten Entwicklungsziele ist auch die Versuchsdurchführung definiert. Diese Erprobung erfolgt auf Prüfständen meist auf Basis von</p>







<p>..Prüfstand ohne Methode ..Prüfaufgabendefinition</p>		<p>synthetischen Drehzahl- oder Drehmoment bzw. Strom-/Spannungs- oder Leistungsprofilen. Diese können zwar von realen Versuchsfahrten für einzelne Subsysteme abgeleitet sein, erfolgen aber eigentlich ohne Wechselwirkung zwischen Versuchsprüfling und Prüfaufgabe.</p>
<p>..Gesamtsystemerprobung</p>		<p>87 Freigaben für Sicherheitsbauteile elementarer Komponenten erfolgen relativ häufig auf Prüfständen. Im Hinblick auf Fahrzeug- oder Fahrfunktionen wie ABS/ESP oder ADAS-Themen habe ich keinen Einblick, da diese Form der Erprobung nicht auf unseren Prüfständen durchgeführt wird.</p>
<p>..Prüfstandsvarianten</p>		<p>88 Welche Prüfstandsvarianten werden konkret eingesetzt (Rollenprüfstände bzw. Rollenbandprüfstände, Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstände wie der KS R2R)?</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden ..Gesamtsystemerprobung</p>		<p>89 Elektromotorenprüfstände, Antriebsstrangprüfstände</p>
		<p>90 Wie wird mit dem Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung umgegangen (wie werden diese Methoden verifiziert und validiert)?</p>
		<p>91 Szenarien od. manöverbasierte Versuche werden nicht gemacht.</p>
		<p>92 Gibt es Datenbanken für unterschiedliche Simulationsmodellvarianten oder dessen Parametrierungsstände?</p>
		<p>93 Nein.</p>
		<p>94 Wenn NEIN:</p>
		<p>95 Warum werden funktionale Versuche / Absicherungen nicht auf Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt?</p>
<p>..Gesamtsystemerprobung</p>		<p>96 Da die Anforderungen an die jeweiligen Bauteile und Module meist klar definiert sind. Darüber hinaus ist das Gesamtsystem für uns als Komponentenlieferant von Antriebsstrang und Fahrwerkskomponenten mitunter nicht sichtbar.</p>
		<p>97 Ist es das Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung ein entscheidendes Kriterium?</p>
<p>..Methoden-/Simulations- bzw. I</p>		<p>98 Zusätzlich würde ich an dieser Stelle behaupten, dass der Aufwand der Modellabsicherung ein sehr großer ist. Gepaart mit der Tatsache, dass zusätzlich zum Prüfling und Prüfstand über die vielfältige Welt der Modelle am Prüfstand ein zusätzlicher und eigentlich nicht notwendiger Komplexitätsgrad mitgebracht wird.</p>
		<p>99 Werden Einschränkungen am Prüfstand im Vergleich zur Straße gesehen / befürchtet?</p>
<p>..Methoden-/Simulations- bzw. I</p>		<p>100 Einschränkungen sind sicherlich die Systemgrenzen der Modellierung. Jedes Manöver oder Szenario auf dem Prüfstand muss in Wahrheit auf dem Prüfstand auch wieder versucht und bewertet werden, ob das wirklich der Realität</p>

		entspricht. Dieser Aufwand ist einfach zu groß.
	101	Gibt es andere Einschränkungen (Verfügbarkeit bzw. Anschaffungskosten von Gesamtfahrzeugprüfständen, Komplexität solcher Systeme im Hinblick auf Bedienung / Wartung, Auslastungsbedenken)?
	102	Werden Modelle und Simulationen (physikalische Echtzeit-Modelle von einzelnen Komponenten) im Entwicklungsprozess und in weiterer Folge auf Prüfständen eingesetzt (z. B. für die frühzeitige Energie- bzw. Reichweitenerprobung, Funktionserprobung, etc.)?
	103	Wenn JA:
	104	In welchem Umfang kommen diese Modelle und Simulationen zum Einsatz?
	105	Werden Ergebnisse von Simulationen/Modellen als Entscheidungsgrundlage herangezogen?
	106	Um welche Modelle handelt es sich (CFD, etc.) oder auch physikalische Modelle (z. B. für den Einsatz auf Prüfständen)?
	107	Wenn NEIN:
	108	Aus welchem Grund nicht?
	109	Wie zuvor gesagt, sind die Anforderungen der Versuchsdurchführung klar kommuniziert – aus diesem Grund stellt sich diese Frage oftmals nicht.
..Einzelsystemerprobung	110	In einigen Fällen, besonders durch den Wandel zur Elektromobilität hat sich aber auch gezeigt, dass statische Profilvergaben von Größen wie Drehzahl/ Drehmoment/Strom/Spannung/Leistung in Kombination mit den Regelungen des Prüflings oftmals keine realitätsnahen Belastungen erfahren. Zusätzlich resultieren oftmals auch Fehlerfälle (z. B. Schwingung in der Spannung des Batteriesimulators bei Volllastpunkten, ausgelöst durch Stromschwingungen des Prüflings und seiner Regelung), die in der Realität in den selben Betriebspunkten nicht auftreten, da die Anregungen vermutlich nicht wie am Prüfstand vorherrschen.
..Prüfstand ohne Methode	111	Möglicherweise könnten diese Themen durch den modellbasierten Ansatz zumindest abgeschwächt werden. Wie aber schon gesagt, sehe ich den zusätzlichen Aufwand beträchtlich – das müsste in Relation gesetzt werden.
..Prüfstand mit Methoden-/Simu	112	Wie sehen Sie die Veränderungen vor allem im Bereich des Fahrzeugversuchs in Bezug auf aufkommende ADAS/AD-Funktionalität im Fahrzeug?
..autom. Fahrfunktionen (ADAS/	113	Enorme Erprobungsumfänge, damit einzelne Funktionen zuverlässig und sicher funktionieren. Ein weiterer Aspekt, den ich an dieser Stelle vielleicht noch einbringen möchte, ist der Rechtliche im Hinblick den Einsatz dieser Systeme

Experteninterview B07 - Zulieferer, Komponentenentwickler:

	1	Erprobung von Gesamtfahrzeugen im Rahmen des Entwicklungsprozesses:
	2	Während der Fahrzeugentwicklung müssen viele Meilensteine erreicht werden – welchen Stellenwert haben dabei virtuelle (Digital-Twin) und auch reale Versuche im Rahmen des Entstehungsprozesses?
<p>..Meilensteine, Freigabe- und En</p> <p>..Prüfstand mit Methoden</p>	3	Grundsätzlich läuft das nach einem Stage/Gate-Prozess ab, wobei einzelne Gates zu bestimmten Zeitpunkten erreicht werden müssen. Dadurch, dass es öfters auch reine interne Entwicklungen sind, kann man solche Gates auch teilweise verschieben, wenn man die Ziele eben nicht erreicht hat. Und wie du richtig schreibst, wird schon über einen Digital Twin versucht, sehr vieles vorab abzutesten.
<p>..Prüfstand mit Methoden-/Simu</p>	4	Das betrifft aber nicht unbedingt das, was du mit der Frage meinst (Anmerkung: physikalische Modelle für die Auslegung und Optimierung von Regelungen, Optimierung der Fahrbarkeit von Fahrzeugen, etc.), sondern eher, was ganz grob im Fokus in der Elektromobilität ist, dass man eben die Maschinen ausnutzen will wie ein Mastschwein. Also das bedeutet bis zum Limit hinfährt, und dabei sind vor allem die thermischen Grenzen der Maschinen und Inverter ein riesengroßes Thema. Die Aufgabe dabei ist eben, wie man aus möglichst wenig Material mit einer sehr intelligenten Kühlung noch mehr Effizienz herausbringt. Bei diesen Prozessschritten versucht man schon so viel als möglich digital durchzuführen, weil eben Rechenzeit einfach reale Zeit spart.
	5	Welche relevanten Meilensteine / Freigaben werden bei der Erprobung / Absicherung durchlaufen (Komponentenrelease, Verbundrelease, etc.) bzw. in welchen Abständen finden diese statt (z. B. Softwarerelease alle 8 Wochen)?
<p>..Meilensteine, Freigabe- und En</p>	6	Es wird im Vorfeld immer definiert, was zu welchem Gate mit welchem Umfang fertig sein soll. Und bei Erreichen des Gates wird dann immer geschaut, was wir geschafft haben bzw. was noch offen ist und noch abgearbeitet werden muss.
	7	Die Zeitabstände zwischen den Gates werden im Vorfeld definiert. Im optimalen Fall werden diese Gates planmäßig erreicht und dabei sollten eben diese Ziele, die man sich am Anfang gesteckt hat, erreicht sein.
<p>..Meilensteine, Freigabe- und En</p> <p>..Straße, Erprobungsgelän</p> <p>..Straße, Erprobungsgelände ock</p>	8	Gerade für die Versuchsplanung, Vorbereitung sind unterschiedlich laufende Prozesse (Anmerkung: zum Beispiel Software- und Hardwareentwicklung) zwangsläufig unvorteilhaft, da es passieren kann, das mit einigen Elementen des Systems zu gewissen Zeitpunkten der eigentlichen Versuchsdurchführung nicht die gewünschten Reifegrade aufweisen. Ein immenses Problem dabei ist, gerade dann können Erprobungen, unabhängig ob das auf Prüfständen oder später im Entwicklungsprozess auch bei der realen Versuchsdurchführung mit Prototypen ist, nicht sinnvoll und aussagekräftig durchgeführt werden. Nur weil eine Komponente im Test funktioniert hat, heißt das nicht automatisch, dass auch das System im Verbund aus mehreren Komponenten funktioniert.

	<p>9</p>	<p>Das ist eben genau in diesem V-Modell, was in diversen Publikationen gern hergezeigt wird, wo man eben dieses ganze Frontloading machen möchte, sodass man aus dieser Komponenten-Denkweise ein bisschen weggeht und so früh als möglich nach vorne schiebt. Ziel dabei ist es dann, soweit es möglich ist, viele Elemente bereits vorab in der Simulation abzutesten.</p>
	<p>10</p>	<p>Was sind die größten Herausforderungen während der Erprobung?</p>
	<p>11</p>	<p>Im Kontext des softwaredefinierten Fahrzeugs bei der Integration in ein Gesamtsystem? (Aspekte der zunehmenden Vernetzung im Fahrzeug)</p>
	<p>12</p>	<p>Was man gesehen hat bei einem Fahrzeug, das wir selbst herstellen ist, dass gerade dieses Zusammenfügen der einzelnen Komponenten, eine der größten Herausforderungen ist (Anmerkung: Systemintegration), weil da so viel Sachen zusammenspielen müssen.</p>
	<p>13</p>	<p>Am Beispiel eines Elektrofahrzeugs ist es so: Dass Funktionen, die eine Achse selbst können muss (z. B. Parksperre einlegen), das funktioniert irgendwann einmal. Aber bei der Integration der einzelnen Komponenten und Module zu einem Gesamtsystem treten vollkommen andere Probleme zusätzlich auf. Jedes Gerät muss mit jedem reden oder will mit jedem reden. Ein Gerät läuft mit einer Abtastfrequenz, das andere mit einer anderen Frequenz, es gibt Buslaufzeiten, es gibt Delays, etc.</p>
	<p>14</p>	<p>Im Kontext der Elektrifizierung von Antriebsstrangkomponenten bzw. des gesamten Antriebsstrang (z. B. größeres Potential von komponentenübergreifenden Funktionen)?</p>
	<p>15</p>	<p>Gerade bei der Elektrifizierung kommen durch den HV-Kreis (Anmerkung: Hochvolt-Kreis) sehr viele EMV-Störungen (Anmerkung: elektromagnetische Verträglichkeit) dazu, die es in dieser Art und Weise zuvor nicht gegeben hat.</p>
	<p>16</p>	<p>Vor allem die am Prüfstand vorhandene Batteriesimulation (Anmerkung: Zur Simulation der Batterie auf beispielsweise einem Elektromotorenprüfstand) und die reale Fahrzeugbatterie sind bezogen auf diese Themen (EMV, Störungen, Kabellängen, etc.) vollkommen anders im Verhalten. Die Charakteristik von Grundschwingungen für Strom/Spannung/Leistung lässt sich mit einer Batteriesimulation durchaus gut nachbilden, andere Phänomene aber nicht ganz so leicht bzw. es treten öfters auch Eigenschaften auf, die im Fahrzeug mit realer Batterie so gar nicht sichtbar sind.</p>
	<p>17</p>	<p>Im Kontext der zunehmenden Automatisierung von Fahrfunktionen (z. B. Einparkassistent, Notbremsassistent, Spurhalteassistent, etc.)?</p>
	<p>18</p>	<p>Gleiches gilt auch hier, dass es besonders bei der Systemintegration immer wieder zu Problemen kommt. Hinzu kommt, dass besonders in diesem Bereich die Komplexität der Systeme noch einmal ungemein unübersichtlicher ist, welche Sensoren für welche Funktionen in welcher Gewichtung zu welchen</p>

<p>..autom. Fahrfunktionen (ADAS/)</p> 	<p>Fahrsituationen zum Einsatz kommen. Besonders wenn die Fahrzeuge mit sehr vielen verschiedenen Fahrzeugsensoren (z. B. Kamera, Lidar und Radar) ausgestattet sind. In der Regel werden diese Elemente aber auf HiL-Simulatoren vorab erprobt und kommen erst zu späteren Entwicklungszeitpunkten zum Gesamtsystem mit dem Antrieb und Fahrwerk dazu.</p>
<p>..Jahreszeitenabhängigkeit</p> <p>..Straße, Erprobungsgelände</p> 	<p>19 Wie groß ist die Jahreszeitenabhängigkeit im Entwicklungsprozess bzw. in weiterer Folge bei der Erprobung von Fahrzeugen – wie wirken sich nachfolgende Entwicklungsschritte aus?</p> <p>20 Da fragst du eigentlich ein bisschen den Falschen, aber wir machen das meistens so, nachdem wir kein reiner Fahrzeughersteller sind sondern eher ein Zulieferer, dass irgend ein Demo-Fahrzeug hergenommen wird und das entwickelte Equipment (z. B. Antriebsachse) in dieses Fahrzeug eingebaut wird. Damit kann dann auf Erprobung z. B. nach Schweden für µ-Low (Anmerkung: Schnee- oder Eisfahrbahn) gefahren werden.</p>
<p>Erprobungsergebnisse</p> 	<p>21 Die Reproduzierbarkeit dieses Demo-Fahrzeugs ist dementsprechend schwierig, das Demofahrzeug selbst ist relativ teuer. Es ist mitunter schwierig das Equipment auf die Teststrecke zu bekommen, und die Fehlersuche in einem mitunter Fremdsystem (da ja unter anderem auch bestehende Elemente des Demofahrzeugs genutzt werden, da das nicht Entwicklungsumfang von uns ist) ist auch ungemein schwieriger.</p>
<p>..Straße, Erprobungsgelände oder</p> 	<p>22 In den meisten Fällen dient diese Erprobung aber nicht der Applikation des Fahrzeugs, sondern eher für Kundenpräsentationen zur Vorstellung der z. B. Antriebsachsen in einem realen Fahrzeug. Der Grund dafür ist relativ einfach erklärt: der Kunde kann sich beim Fahren, wenn er etwas angreifen kann, deutlich mehr vorstellen als reine Leistungs- oder Messdaten von irgendwelchen Prüfstandsversuchen.</p>
<p>..Prüfaufgabendefinition</p> 	<p>23 Erprobung: Von der Komponentenerprobung bis zum Gesamtsystem</p> <p>24 Wie sieht die grundsätzliche Erprobung / Absicherung / Freigabe eines Fahrzeugs bzw. einer Modellvariante aus (Zyklus von Einzelkomponenten bis zum Gesamtsystem)?</p> <p>25 Bauteil-/Modul- bzw. Komponentenerprobung vs. funktionsorientierter (softwaredefiniertes Fahrzeug) Ansatz?</p>
<p>..Einzelsystemerprobung</p> 	<p>26 Grundsätzlich gibt es gewisse Themenbereiche und Eigenschaften, die in jedem Fall geprüft werden müssen. Dazu gibt es einen Prüfkatalog, hierbei geht es aber eben um die Themen Haltbarkeit, Beständigkeit, Energieeffizienz, Qualität, etc.</p> <p>27 Dadurch dass dieser Schritt aber in sehr frühen Entwicklungsstadien von einzelnen Komponenten und Modulen gemacht wird, ist natürlich auch eine gewisse Restbussimulation notwendig, damit einzelne Systeme sinnvoll funktionieren. Gerade was Querwirkungen zwischen verschiedenen</p>

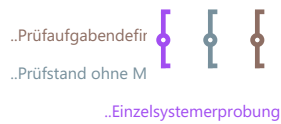
<p>..Einzelsystemerprobung</p> <p>..Prüfstand ohne Methode</p> 	<p>28</p> <p>Komponenten betrifft, die werden in diesem Stadium eigentlich nicht abgetestet.</p> <p>Bezogen auf das Beispiel für die Regelung einer elektrischen Antriebsachse ist gerade das Problem: mit vordefinierten Drehzahl- bzw. Drehmomentprofilen oder Strom- bzw. Spannungsprofilen, bei denen es immer wieder Probleme mit der Regelung gegeben hat ist die Erkenntnis gekommen, dass nicht die Regelung der E-Maschinen schlecht ist, sondern die Vorgabe dieser Profile einfach falsch ist – somit kann auch festgehalten werden, dass einfach falsch getestet wird.</p>
<p>..Prüfstand ohne Methoden-/Sin</p> <p>..Prüfstand ohne Methode</p> 	<p>29</p> <p>Bevorzugter Test von Einzelsystemen (ohne Querwirkungen durch andere Komponenten / Systeme) oder eher frühzeitige Erprobung im Gesamtsystem (die Komponentenerprobung im Gesamtsystem wäre prinzipiell durch den Ersatz von realen durch virtuelle Komponenten auf entsprechenden Prüfstandssystemen möglich)?</p>
<p>..Prüfstand ohne Methoden-/Sin</p> <p>..Prüfstand ohne Methode</p> 	<p>30</p> <p>Gerade diese Profile verursachen Szenarien, für das die Regelungen der E-Maschinen eigentlich nicht ausgelegt sind, sodass dann Schwingungen aller Art (Anmerkung: Schwingungen im Drehmoment, Aufbauschwingungen, etc.) auftreten, die im realen Fahrzeug mit der dort vorherrschenden Belastung gar nie in der Art und Weise auftreten. Beispielsweise gibt es in der Realität nie das Szenario, dass von 20% auf 80% des Drehmoments in einem Zeitschritt gesprungen wird, ohne dass sich die Drehzahl ändert (Anmerkung: im realen Fahrzeug wird, selbst wenn der Drehmomentgradient gefahren werden kann, das Fahrzeug beschleunigen und damit die Drehzahl auch steigen).</p>
<p>..Prüfstand ohne Methoden-/Sin</p> 	<p>31</p> <p>Es sind diese n/M-Profile (Anmerkung: Drehzahl- bzw. Drehmomentprofile), diese Block-Programme, die kommen halt genau aus dieser Getriebe-Testung. Dort machen solche Versuche auch durchaus Sinn. Gerade wenn eine gewisse Schädigung draufgefahren werden soll. Und im Hinblick auf Elektrofahrzeuge ist die aktuelle Testmethodik eigentlich nicht richtig.</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden-/Simu</p> 	<p>32</p> <p>Hierbei machen modellbasierte Tests in Straßenlastsimulation (Anmkerung: mit Fahrzeugmodell bestehend aus Karosseriemodell, Dämpfermodell, Rad/ Reifenmodellen, etc.) durchaus mehr Sinn, da die Belastungen für sämtliche Antriebskomponenten deutlich näher an der Realität sind.</p>
<p>..Methoden-/Simulations- bzw. I</p> 	<p>33</p> <p>Entscheidend dabei ist wiederum immer der Genauigkeitsanspruch der Modelle, was wiederum aus den Prüfanforderungen abgeleitet werden kann. Sollen beispielsweise Tip-In oder Tip-Out-auf μ-Split (Anmerkung: unterschiedlicher Fahrbahnbelag zwischen linken und rechten oder vorderen und hinteren Rädern) durchgeführt werden, und auch daraus Erkenntnisse abgeleitet werden, dann müssen die Modelle und Modellparameterierungen schon mit der Realität gut übereinstimmen. Dazu braucht es natürlich einige Iterationsschleifen für die Parameteranpassungen.</p>
<p>..Methoden-/Simulations- bzw. I</p> 	<p>34</p> <p>Soll aber nur irgendeine Schädigung auf die Antriebselemente gefahren werden oder eine Energieeffizienzermittlungen durchgeführt werden, dann ist die Modellgenauigkeit nicht allzu entscheidend.</p>

	35	<p>Wie werden Prüfscenarien für die Funktionserprobung im Rahmen der Antriebsintegration definiert (überwiegend von Versuchen, die aktuell nur durch Straßenversuche erprobt werden (können) [z. B. ESC, ABS, ASR, etc.]? (Informationen / Erkenntnisse aus klassischer Komponentenerprobung, aus Datenbanken, Betrachtung im Rahmen der funktionalen Sicherheit, aus gesetzlichen Anforderungen (z. B. UN ECE, etc.), Szenarien und Situationen aus FoT)?</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden-/Simu</p>	36	<p>Deswegen weißt du ja auch, dass ich der Meinung bin, dass für uns als Anwendung nur so ein Prüfstand, wo das Fahrzeug als Skateboard (Anmerkung: Antriebsstrangprüfstand) draufsteht im Vergleich zu einem Gesamtfahrzeugprüfstand, wo wirklich das ganze Auto draufsteht, sinnvoller ist. Darüber hinaus ist als Skateboard vermutlich egal, was zum Schluss dann für ein Chassis außen herum ist, das muss dann im Idealfall eigentlich der Kunde entscheiden.</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden-/Simu</p>	37	<p>Es gibt auch den Ansatz, dass es ein Demofahrzeug und ein Fahrzeug genau am Gesamtfahrzeugprüfstand gibt, und diese gegeneinander abgesichert werden, sodass schlussendlich der Prüfstand eine gute Genauigkeit zur Realität aufweist. In weiterer Folge ist die Hoffnung dazu gewesen, dass einige der unzähligen Testkilometer auch auf dem Prüfstand gefahren werden können, weil dort gerade im Hinblick auf Setupänderungen, egal ob Hardware- oder Softwareänderungen, leichter durchgeführt werden können. Darüber hinaus war die Idee, sollten Fehler im Fahrzeug auftreten, dass diese Fehler am Gesamtfahrzeugprüfstand versucht werden nachzustellen, sodass in weiterer Folge gerade die Fehlersuche und Problembhebung auf den Prüfstand verlagert werden kann.</p>
<p>..Straße, Erprobungsgelän</p>	38	<p>Die Prüfsequenzen kommen aber überwiegend aus den Anforderungen von den Kunden. Es stehen aber auch oftmals Test wie ABS-Bremungen, μ-Split-Anfahrten, Active-Damping im Antriebsstrang, Torque-Vectoring, etc.</p>
<p>..Prüfaufgabendefinition</p>	39	<p>Es sind auch immer Sicherheitstest vorgeschrieben – die müssen aber nicht immer im Gesamtfahrzeug abgetestet werden (z. B. Stromsensoren zur Absicherung, etc.).</p>
	40	<p>Wie sieht die (zukünftige) Erprobung von automatisierten/autonomen Fahrfunktionen (z. B. ACC, Einparkassistent, Verkehrszeichenerkennung, etc.) aus, wenn verschiedene Prüfscenarien aufgrund der Vielzahl an variablen Parametern nicht oder nur unzureichend definiert werden können (sind statistische Tests eine Option)?</p>
<p>..autom. Fahrfunktionen (ADAS/</p>	41	<p>Das ist eben der zweite Punkt für ein Gesamtfahrzeug. Wo prüft man solche Sachen eben ab? Man kann sehen, dass beispielsweise in Verbindung des Gesamtfahrzeugprüfstandes mit weiteren Simulationsplattformen wie IPG Carmaker, dass solche Versuche durchaus damit durchgeführt werden können. Wie das bei uns aber aktuell ist, weiß ich gar nicht so genau, da eben die Entwicklung eher auf Funktionen und Komponenten ausgerichtet ist, und nicht</p>
<p>..Einzelsystemerprobung</p>		

<p>..Einzelsystemerprobung</p> <p>..Prüfstand mit Methoden</p> <p>..autom. Fahrfunktionen (</p>		<p>42 direkt auf der Entwicklung von Gesamtfahrzeugen.</p> <p>Da bin ich aber gerade bei diesen, nennen wir es ADAS-Funktionen, etwas unsicher, wie weit das am Prüfstand überhaupt machbar ist, da es irgendwie so ein ständiger Wettkampf ist. Prinzipiell ist man da am Prüfstand mit der Methodenentwicklung tendenziell immer hinten nach – vergleichbar mit Softwareversionen: wenn Microsoft für Windows Updates bringt, braucht es immer einige Zeit, bis alle ihre Softwarepakete an die neuen Version angepasst haben. Aus diesem Grund wird man nie auf die reale Fahrzeugentwicklung verzichten können.</p>
<p>..Meilensteine, Freigabe- (</p> <p>..Einzelsystemerprobung</p> <p>..Gesamtsystemerprobung</p> <p>..Straße, Erprobungsgelän</p>		<p>43 Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext auf der Straße und am Prüfstand:</p> <p>44 Gibt es eine Definition bzw. Kriterien, welche Erprobungsumfänge bei realen Straßenversuchen – welche bei Versuchen auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt werden (vor allem im Rahmen der Antriebsintegration / Fahrwerk)?</p> <p>45 Ab welchem Meilenstein wird vom Prüfstand auf die Straße gewechselt? [höchstwahrscheinlich werden immer Rückkopplungen zur Komponenten- bzw. System- oder Funktionsentwicklung stattfinden – gibt es aber einen konkreten Zeitpunkt oder finden beide Prozesse immer parallel statt?]</p> <p>46 Diesen Punkt gibt es vermutlich nicht zwingend, das wird immer ein Stream sein, der höchstwahrscheinlich parallel laufen wird. Wenn man es auf einem konkreten Meilenstein festmachen will, dann würde ich sagen, dass es vermutlich die Safety-Abnahme einzelner Komponenten ist, damit das Fahrzeug mit seinen Komponenten und Modulen im Fehlerfall in einen sicheren Zustand übergehen kann.</p>
<p>..Gesamtsystemerprobung</p> <p>..Straße, Erprobungsgelän</p>		<p>47 Welche Funktionen / Systeme werden bei einer klassischen Versuchsreihe erprobt bzw. abgesichert [z. B. bei Wintertests, auf der Rennstrecke, etc.]?</p> <p>48 Nachdem wir ein Komponentenlieferant sind und in den meisten Fällen nicht im Gesamtfahrzeug arbeiten, gibt es diesen Schritt nicht. Straßenversuche kommen in den meisten Fällen nur dann vor, wenn neue Features (z. B. Torque-Vectoring) präsentiert werden sollen.</p>
<p>..Fahrzeugvernetzung</p>		<p>49 Wie hoch sind die Reifegrade dieser Funktionen / Systeme während den ersten Versuchsreihen?</p> <p>50 Man wird in so einer Phase schon zumindest an einem Punkt sein wollen, wo die Komponenten die Tests durchlaufen haben und da ist vielleicht noch einiges offen. Das Problem ist, dass die Komponenten dann zusammengefügt werden und da muss ich sagen, hier gibt es immer wieder die gleichen Vernetzungsprobleme, sodass bei einem Demofahrzeug diverse Funktionen und Systeme auch deaktiviert oder gebypassed werden müssen.</p>

	51	Welche Probleme treten bei den ersten Versuchsreihen auf?
..Fahrzeugvernetzung	52	Wie zuvor bereits gesagt, treten hierbei immer wieder Vernetzungsprobleme zwischen einzelnen Komponenten auf.
..Fahrzeugvernetzung	53	Genau diese Thematik, dass man halt diese Softwarekomponenten oder Hardware und verschiedenen Controller, die einmal zusammenbauen muss oder die miteinander interagieren müssen, dass man das im Vorfeld in einer Umgebung abtestet, die wesentlich günstiger ist. Deswegen auch diese Idee mit einer Palette, wobei die einzelnen Steuergeräte vorab einmal aufgebaut werden und das Zusammenspiel in einer HiL, SiL-Simulation erprobt werden. Erst im nächsten Schritt wird auf einen Antriebsstrangprüfstand gewechselt, auf dem dann wirklich auch einzelne Elemente des Antriebsstrangs und Fahrwerks bewegt werden.
..Gesamtsystemerprobung	54	Wie sieht die Aufteilung zwischen sinnvoller Erprobungszeit / Fehleranalyse bzw. Standzeit aufgrund von Problemen aus (z. B. Laufzeit:Fehleranalyse -> 50:50)?
..Funktionsapplikation / -inbetrieb	55	Das lässt sich so nicht unmittelbar beantworten. Gerade in der Inbetriebnahme sind die Probleme deutlich größer, weshalb auch die Standzeiten deutlich höher sind. Wenn die einzelnen Systeme wirklich in Betrieb sind, dann ist sind die Standzeiten möglicherweise geringer. Aber auch dann, wenn es Standzeiten gibt, können ja Setupänderungen durchgeführt werden (Flashen von irgendwelchen Steuergeräten). Das sind dann aber kontrollierte oder gewollte Standzeiten im Rahmen des Entwicklungsprozesses.
..Straße, Erprobungsgelände oder	56	Wie sieht die Verfügbarkeit von Teststrecken bzw. Versuchsarealen oder Prüfstandssystemen aus?
..autom. Fahrfunktionen (57	Nachdem wir auch selbst über eine Teststrecke verfügen, ist dieses Problem eigentlich nicht eklatant, wenngleich wir auch dafür bestimmte Slots im Vorfeld buchen müssen, und diese dann auch entsprechend intern verrechnet werden.
	58	Besonders aber spezielle Testumgebungen im Winter oder mit speziellem Equipment, unter anderem für ADAS-Funktionalitätstests sind dann doch schwieriger zu bekommen. Wenn die Tests aber gesetzlich vorgeschrieben sind, dann ist das ein reiner Kostenfaktor, der aber unumgänglich ist.
	59	Die Prüfstandsverfügbarkeit ist eigentlich in den meisten Fällen gegeben – bei der Planung / Anschaffung von Prüfständen spielt vor allem dessen Auslastung eine zentrale Rolle.
	60	Wie lange dauert üblicherweise eine Versuchsreihe im realen Straßenversuch und am Prüfstand [Zeitraumklassen: 2 Wochen, 4 Wochen, >6 Wochen]?
..Straße, Erprobungsgelände oder	61	Diese Themenbereiche kann ich leider nicht direkt beantworten. Es wird aber immer geschaut, dass die Erprobung möglichst kosteneffizient durchgeführt werden.

- 62 **Wie hoch ist der Prototypeneinsatz (evtl. auch Personalaufwand) während einer realen Erprobung? (2 Fahrzeuge, 6 Fahrzeuge, >10 Fahrzeuge) (5 Personen, 10 Personen, >20 Personen)?**
- 63 Diese Themenbereiche kann ich leider nicht direkt beantworten. Es wird aber immer geschaut, dass die Erprobung möglichst kosteneffizient durchgeführt werden.
- 64 **Werden unterschiedliche Varianten von verschiedenen Funktionssetups / Fahrzeugsetups / Reifegraden oder Technologien bei einer realen Versuchsreihe erprobt [z. B. Softwareänderungen] oder liegt der Fokus auf dem gleichen Setup bei unterschiedlichen Bedingungen?**
- 65 Für die reale Erprobung ist die Varianz der einzelnen Setups nicht mehr allzu groß. Etwaige Parameteränderungen können ja ohnehin mit relativ geringem Aufwand durchgeführt werden. Dafür gibt es die entsprechenden Entwicklungstools für den direkten Zugriff auf die einzelnen Steuergeräte.
- 66 Am Prüfstand ist die Tool-Chain wie in der klassischen Softwareentwicklung, wo Branches ausgecheckt werden, Entwicklungselemente einfließen, Fehler behoben werden, und dann wieder ausgecheckt werden. Die Softwarestücke sind aber schon so konstruiert, dass man einige Elemente auch über die Bedeutung verändern kann, das schon. Es muss also nicht immer wirklich im Quellcode etwas umgestellt werden. Da gibt es einen Plattformgedanken, wo eigentlich sehr viel vorbereitet ist, was man durch Parametrierung ein und ausschalten kann. Man versucht aber wirklich am Source so wenig wie möglich zu ändern – außer es braucht wirklich eine zusätzliche Funktion. Man darf aber auch nicht so naiv sein, dass das jetzt alles abbilden kann.
- 67 Vor allem aber das Thema flashen von Steuergeräten hat in der letzten Zeit überhandgenommen, da dieser Schritt nicht stabil aufgebaut worden ist in der Vergangenheit bei einigen Projekten.
- 68 **Ist der Aufwand für zusätzliches Equipment für eine Versuchsdurchführung hoch [Einsatz von Fahrroboter, Ground-Truth-Messtechnik, etc.]?**
- 69 Der Aufwand für zusätzliches Equipment bezogen auf den Antrieb und das Fahrwerk ist nicht wesentlich mehr verglichen mit der Prüfstanderprobung, da im Fahrzeug sämtliche Sensoren für viele Funktionen ohnehin benötigt werden. In der Regel sind diese dann auch ausreichend für die Bewertung von Fahrmanövern und zum Vergleich.
- 70 **Wie wird mit dem Thema Reproduzierbarkeit umgegangen (Straße / Prüfstand)?**
- 71 **Werden Fahrmanöver mit Robotereinsatz gefahren oder immer manuell?**
- 72 Für Versuche am Prüfstand kommen natürlich die vom Prüfstand zur Verfügung



gestellten Regelungsmethoden und Automatisierungsmöglichkeiten zum Einsatz. Dahingehend ist natürlich die Reproduzierbarkeit immer gegeben.

73 **Vordefinierte Anforderungen an die Ausgangsbedingungen (z. B. Temperaturbereich, etc.)?**

74 Sind auf Basis der Prüfvorgaben aus dem Katalog entsprechend vorgegeben und gilt es im Rahmen der Möglichkeiten auf dem Prüfstand einzustellen.

75 **Vordefinierte Anforderungen an die Teststrecke (z. B. Variation von unterschiedlichen Fahrbahnzuständen (trocken, nass, schneebedeckt, etc.), sofern diese Variabilität auf Teststrecken existiert bzw. kontrolliert eingestellt (z. B. nasse Fahrbahn) werden kann**

76 **Welche Kriterien gibt es für die Auswertung? (kann das pauschalisiert werden?) [quantifizierbare Kriterien oder Vergleich zu anderen Modellen?]**

77 **Wie sieht es mit den Sicherheitsvorgaben / Genehmigungen / Versicherungen von Prototypen aus?**

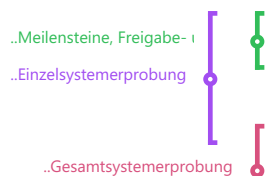
78 Wie zuvor bereits gesagt werden vor der Versuchsdurchführung in der Realität sämtliche sicherheitsrelevanten Systeme vorab getestet. In der Regel wird das auf verschiedenen Prüfstandssystemen durchgeführt.

79 **Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext am Prüfstand:**

80 **Werden funktionale Entwicklungen / Versuche / Absicherungen / Freigaben auch auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen im Gesamtsystem durchgeführt [wobei nicht real verfügbare oder vorhandene Komponenten durch Simulationsmodelle ersetzt werden (z. B. Karosseriemodell, Reifenmodell, Anhänger, etc.)]?**

81 **WENN JA:**

82 **Welche Versuche werden durchgeführt bzw. auf welchen Versuchen liegt der Fokus?**



83 Auf Komponentenebene gibt es für einige Bereiche schon die Freigabe, dass das funktioniert, wenn das am Prüfstand erprobt worden ist. Das betrifft in der Regel Themen wie den Parklock, TCU-Versuche (Anmerkung: Telematics Control Unit). Im Rahmen der Systemintegration wie gesagt nur etwaige Sicherheitsfreigaben für Sicherheitsfunktionen, die auch im realen Prototypen funktionieren müssen, um die Sicherheit des Testpersonals zu gewährleisten.

84 **Welche Prüfstandsvarianten werden konkret eingesetzt (Rollenprüfstände bzw. Rollenbandprüfstände, Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstände wie der KS R2R)?**



85 Antriebsstrangprüfstände, Motorprüfstände, B2B-Prüfstände (Anmerkung: Prüfling gegen Prüfling in Wechselwirkung als DUT und Belastungseinheit).

	86	Wie wird mit dem Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung umgegangen (wie werden diese Methoden verifiziert und validiert)?
..Straße, Erprobungsgelände oder	87	Nachdem die meisten Testszenarien trotzdem nicht modellbasiert durchgeführt werden, gibt es hierzu keine Aussagen. In der Regel werden aber einzelne Versuche (z. B. Tip-In oder Tip-Out, Anfahren auf μ -Split) auf dem Prüfstand mit den realen Fahrzeugmessungen verglichen.
	88	Gibt es Datenbanken für unterschiedliche Simulationsmodellvarianten oder dessen Parametrierungsstände?
	89	Aktuell nicht.
	90	Wenn NEIN:
	91	Warum werden funktionale Versuche / Absicherungen nicht auf Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt?
..Prüfaufgabendefinition ..Einzelsystemerprobung	92	Wie zuvor bereits gesagt legen die Kunden (Beauftragungsunternehmen) für die Entwicklung von Komponenten und Modulen die Anforderungen an diese fest. Gleichzeitig werden auch die Prüfvorschriften dazu vordefiniert. Aus diesem Grund gibt es die Notwendigkeit von funktionalen Tests im Gesamtkontext nicht.
..Einzelsystemerprobung	93	Darüber hinaus ist das große Ganze für uns als Komponentenlieferant oftmals nicht einsehbar. Somit würden solche Versuche keinen Vorteil bringen.
	94	Ist es das Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung ein entscheidendes Kriterium?
..Methoden-/Simulations- bzw. I	95	Auch das ist ein großes Thema, dass die eingesetzten Methoden natürlich zusätzlich entwickelt und abgesichert werden müssen. Diesen Prozess würde ich aus meiner Sicht sogar als eigenen Bereich sehen, den wir in der Form in unserer Organisationsstruktur überhaupt nicht haben.
	96	Darüber hinaus ist neben den Methoden auch die Modellierung der physikalischen Eigenschaften der Fahrzeuge in Kombination mit der Validierung der Modelle und Parametrierung eine große Hürde. Aber auch bereits in frühen Phasen der Entwicklung, wo der Simulationseinsatz tendenziell noch größer ist als auf Gesamtfahrzeugprüfständen ist die Absicherung dieser Elemente ein großes Problem. Zumal es hier, zu diesen Zeiträumen, auch noch keine Vergleich mit realen Fahrversuchen geben kann.
	97	Beispiel diese Thermalgeschichten: Ich kann da CFD vor mir herrechnen, aber ich muss mir das irgendwie verifizieren und absichern, damit ich überhaupt weiß, ob das auch mit der Realität zusammenpasst. Und das Thema ist natürlich je weiter im Entwicklungsprozess fortgeschritten wird, desto prekärer wird dieses Thema.
..Methoden-/Simulations- bzw. I	98	Aus eigener Erfahrung kann ich sagen, dass es Bereiche gibt, die sich das sehr

..Methoden-/Simulations- bzw. I

genau anschauen, ob das Modell, das gebaut oder extern geliefert worden ist, wirklich das Fahrzeug abbildet, wie es auf der Straße ist. Die Modellabsicherung ist aber ein Muss, und damit wieder ein weiterer Kostenfaktor neben der Anschaffung des Prüfstands selbst.

99 Zusätzlich gibt es wieder Teilbereiche (z. B. Randsteinüberfahrt), wenn irgendwelche mechanische Belastungen auf Dämpfer etc. analysiert werden sollen, die am Gesamtfahrzeugprüfstand aber keine oder zumindest keine realitätsnahe Belastung erfahren, die können dann damit nicht erprobt werden. Dieses Bewusstsein muss es dafür geben.

100 **Werden Einschränkungen am Prüfstand im Vergleich zur Straße gesehen / befürchtet?**

..Straße, Erprobungsgelände oder

101 Klarerweise können nicht alle Versuche aus der Straßenerprobung auch auf einem Prüfstandssystem z. B. Antriebsstrangprüfstand durchgeführt werden.

102 **Gibt es andere Einschränkungen (Verfügbarkeit bzw. Anschaffungskosten von Gesamtfahrzeugprüfständen, Komplexität solcher Systeme im Hinblick auf Bedienung / Wartung, Auslastungsbedenken)?**

103 Mitunter ein großes Thema hier ist die Auslastung der Prüfstände. Diese sind in der Anschaffung große Ausgabeposten – wenn diese dann nicht adäquat ausgelastet werden können rechnet sich das nicht.

104 **Werden Modelle und Simulationen (physikalische Echtzeit-Modelle von einzelnen Komponenten) im Entwicklungsprozess und in weiterer Folge auf Prüfständen eingesetzt (z. B. für die frühzeitige Energie- bzw. Reichweitenerprobung, Funktionserprobung, etc.)?**

Systemintegration zum Gesamtf

105 **Wenn JA:**

106 **In welchem Umfang kommen diese Modelle und Simulationen zum Einsatz?**

107 **Werden Ergebnisse von Simulationen/Modellen als Entscheidungsgrundlage herangezogen?**







108 **Um welche Modelle handelt es sich (CFD, etc.) oder auch physikalische Modelle (z. B. für den Einsatz auf Prüfständen)?**

109 **Wenn NEIN:**

110 **Aus welchem Grund nicht?**

..Gesamtsystemerprobung

111 Liegt einerseits daran, dass wir Komponentenlieferant sind und das Gesamtsystem eigentlich nicht im Fokus haben. Damit ist auch das Gesamtsystemdenken in einer Komponentenorientierten Organisation wie wir es sind komplizierter. Damit ist auch der Einsatz von Gesamtfahrzeugprüfständen bei uns eigentlich nicht direkt gegeben.

<p>..Straße, Erprobungsgelände oder</p> 	<p>112 Zusätzlich gibt es andere Faktoren wie menschliche Komponenten (z. B. das Fahrgefühl etc.), welche auf Prüfständen nicht oder nur unzureichend dargestellt werden können. Aus diesen Gründen werden doch öfters die Versuche mit Prototypen auf der Straße durchgeführt.</p>
	<p>113 Wie sehen Sie die Veränderungen vor allem im Bereich des Fahrzeugversuchs in Bezug auf aufkommende ADAS/AD-Funktionalität im Fahrzeug?</p>
<p>..autom. Fahrfunktionen (ADAS/..Prüfstand mit Methoden</p> 	<p>114 Dazu gibt es einige gute Ansätze: Beispielsweise sollte versucht werden, die Anzahl der Testfälle, welche üblicherweise mit voranschreitender Systemintegration tendenziell mehr werden, bewusst wieder in frühe Phasen verschieben, sodass in der Simulation oder auf SiL oder MiL-Prüfständen die allermeisten Testszenarien erprobt werden. Wie gesagt, mit voranschreitender Systemintegration und Funktionsentwicklung sollen die Testfälle dann nach und nach abnehmen (HiL, ViL), sodass auch der Aufwand dafür verringert werden kann.</p>
	<p>115 Gibt es besonders bei der Versuchsplanung und -durchführung eine Innovationstrategie im Hinblick auf Veränderungen beim Gesamtfahrzeug?</p>
<p>..Einzelsystemerprobung ..Gesamtsystemerprobung</p> 	<p>116 Es gibt Bestrebungen, eben genau von dieser Komponentenwelt abzuweichen, um eben diese Vollintegration zu einer gewissen Zeit zu machen, und auch die Leute dahingehend abzuholen, dass nicht jeder nur auf einzelne kleine Komponenten und Teilbereiche schaut.</p>
<p>..Einzelsystemerprobung</p> 	<p>117 Es gibt im R&D-Center in den letzten Jahren aber keine wirklichen Entwicklungen oder Bestrebungen hier etwas zu ändern. Zusätzlich sind aber, um noch einmal darauf zurückzukommen, viele Testszenarien von einzelnen Kunden definiert und die müssen abgearbeitet werden.</p> <p>118 Eher so in Richtung HV-Integration, dass man das vorher im Kleinen mit Low-Power-Prüfständen testen kann, ohne die große Leistung. Dabei geht es in den meisten Fällen nur um eine Funktionstestung.</p>
<p>Systemintegration zum Gesamtf</p> 	<p>119 Interessant wäre es, wie diese Themen bei großen OEM's wie beim BMW, Mercedes Benz, VW oder Porsche aussehen.</p>
	<p>120 Würden Sie das V-Modell im Rahmen der Fahrzeugentwicklung / Erprobung (besonders bei der Verifikation / Validierung) noch als zeitgemäß betrachten? Gibt es, besonders für das softwaredefinierte Fahrzeug mit vielen vernetzten Funktionen andere, bessere Ansätze?</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden-/Simu ..Methoden-/Simulations-</p>  	<p>121 Bezogen auf den Modellbaukasten: das reale Komponenten durch virtuelle Modellteile ersetzt werden und in weiterer Folge unter Umständen durch entsprechendes Prüfstandsequipment emuliert werden, diesen Benefit sehe ich nicht. Das bezieht sich aber mehrheitlich auf die Anwendung bei Komponentenprüfständen wie Batterietestern, Motor- oder Inverterprüfständen. Der Aufwand der Modellierung einzelner Teilbereiche in ausreichenden</p>



Detailgraden sprengt in vielen Fällen höchstwahrscheinlich jeglichen Rahmen (Anmerkung: Kosten, Zeit).

122 Wenn man so will, ist der Teil des Modellbaukastens mit der Simulation der Karosserie, der Räder/Reifen, der Dämpfer, etc. durchaus sinnvoll, da hier das Fahrzeug hinsichtlich des Antriebsstrangs eigentlich vollständig vorhanden ist. Damit ist auch das Thema der Systemintegration besser eingegliedert in den Entwicklungsprozess.

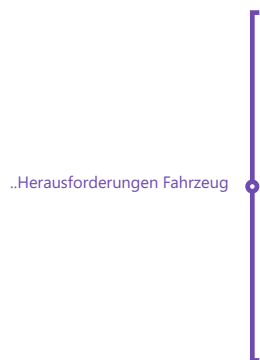
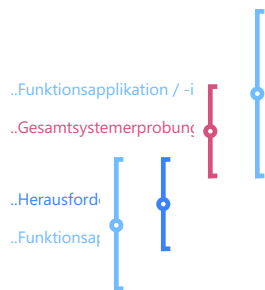
123 **Würden Sie noch irgendwelche Ergänzungen anfügen? Der Rahmen der Arbeit sollte keine Kostenrechnung werden, da die entsprechenden Kennzahlen dafür nur schwer abrufbar sind – wie siehst du das?**

124 Bezüglich einer Kostenrechnung, ob und wie viel auf Prüfständen gemacht wird, würde ich hier noch anmerken, dass das im Vorhinein zu prognostizieren für Gesamtfahrzeugprüfstände, auf denen irgendwelche Prüfscenarien durchzuführen sind, immens schwierig ist. Hier würde ich eher raten, dass man sagt, man blickt in die Vergangenheit bei einem abgeschlossenen Projekt die Faktoren noch einmal anschaut. Besonders aber durch den Wandel hin zu noch mehr Assistenzsysteme, noch komplexere Antriebsfunktionen bzw. der generelle Wandel der Antriebstopologie lässt sich hierzu auch aus der Vergangenheit wahrscheinlich relativ wenig ableiten.

Experteninterview B08 - Forschung, Prüfdienstleistung:



- 1 **Erprobung von Gesamtfahrzeugen im Rahmen des Entwicklungsprozesses:**
- 2 **Während der Fahrzeugentwicklung müssen viele Meilensteine erreicht werden – welchen Stellenwert haben dabei virtuelle (Digital-Twin) und auch reale Versuche im Rahmen des Entstehungsprozesses?**
- 3 Also was ich für uns sagen kann, ist, dass zum Beispiel aktuell, also von dem, was wir machen, tatsächlich irgendwelche virtuellen und digital Twins keine Rolle spielen. Also wenn das an uns abgegeben wird, irgendein Auftrag, dann spielen virtuelle Komponenten und Versuche keine Rolle. Reale Versuche, also wenn ich unter realen Versuchen verstehe, was schon passiert ist, dann ist der größte Teil, dass dann das bereits gefahrene Manöver auf der Straße am Prüfstand probieren nachzustellen und abzufahren. In meisten Fällen tatsächlich Dauerläuferprobungen. Das erfolgt zum größten Teil in Form von Strom- oder Spannungsprofilen, Drehzahl- oder Drehmomentprofilen. D. h. man kann sagen, es gibt keine modellbasierte Erprobung auf dem Prüfstand. Oftmals ist das auch ein Problem, dass es keinen Datenaustausch für sämtliche relevante Modelle bzw. virtuelle Komponenten und Parametrierungen gibt bzw. diese Modelle nicht an Dritte wie uns weitergegeben werden (können). Viele Entwicklungsabteilungen bzw. Fachbereiche von großen OEM's geben diesen Bereich nicht gerne aus der Hand. Zuletzt ist das auch ein Kostenfaktor, wenn verschiedene Modelle und Parametrierungen gegenüber der Realität abgesichert, validiert und verifiziert werden müssen.
- 4 **Welche relevanten Meilensteine / Freigaben werden bei der Erprobung / Absicherung durchlaufen (Komponentenrelease, Verbundrelease, etc.) bzw. in welchen Abständen finden diese statt (z. B. Softwarerelease alle 8 Wochen)?**
- 5 Nein, wir sehen den Prozess so nicht, ob da eine Absicherung dahinter ist. Wir kennen den Meilenstein nicht so direkt dadurch, dass er nicht kommuniziert wird. Man sieht ihn teilweise aus verschiedenen Programmen, die auf dem Prüfstand durchgeführt werden. Manche Meilensteine sind, glaube ich, wenn man das jetzt mal auf ein Elektrofahrzeug bezieht, wie die Batterie performt, Vollastbeschleunigungen, Energieeffizienz des Fahrzeugs, Reichweitenversuche, etc. Das sind teilweise Bereiche, die wir immer wieder mit einem Prüfling, der über einen längeren Zeitraum auch über Jahre gefahren wird und damit im Dauerlauf so stattgefunden hat. Prinzipiell beziehen sich diese Versuche eher auf Komponentenversuche im gesamten Antriebsverbund, wobei der Gesamtkontext nur aus realen Komponenten besteht. Das passiert dann in verschiedenen Varianten mit verschiedenen Datenständen, sodass eine gewisse Varianz der einzelnen Releasestände von Komponenten immer wieder erprobt werden. Wie das über den Entwicklungszyklus des Gesamtfahrzeugs aussieht, weiß ich aber nicht.
- 6 **Was sind die größten Herausforderungen während der Erprobung?**



7 **Im Kontext des softwaredefinierten Fahrzeugs bei der Integration in ein Gesamtsystem? (Aspekte der zunehmenden Vernetzung im Fahrzeug)**

8 Die größten Probleme sind tatsächlich bezogen auf den Antriebsstrang des Fahrzeugs und dessen Komponenten im Hinblick auf das komplizierte Flashen von diversen unterschiedlichen ECU's, was tatsächlich schwierig ist und lange dauert und immer zu Problemen führt, dass irgendwann das Gesamtsystem wieder vernünftig zusammenläuft. Bezogen auf die Frage, was am Ende unsere Herausforderung am Prüfstand sind, sind es die Probleme mit dem Prüfling an sich. Wenn eben unterschiedlichste Softwareprogramme, mit denen geflasht wird bzw. werden soll.

9 **Im Kontext der Elektrifizierung von Antriebsstrangkomponenten bzw. des gesamten Antriebsstrang (z. B. größeres Potential von komponentenübergreifenden Funktionen)?**

10 Also ich muss sagen, wenn man das auf die Elektrifizierung des Antriebsstrang bezieht, sind da bedeutend weniger Probleme als bei Verbrenner-Antriebsstrang-Fahrzeugen in Bezug auf das reine Testen. Weil es einfach besser funktioniert, wesentlich weniger Komponenten dran sind, die am Prüfstand auch funktionieren müssen. Geänderte Themen durch die Elektrifizierung sind natürlich alle Hochvolt (HV)-Themen. Änderungen am HV-Strang des Fahrzeugs bzw. an HV-Komponenten des Antriebsstrangs müssen durch anders ausgebildete Leute gemacht werden. Nach Änderungen muss alles neu abgenommen werden, was vorher eben beim Verbrenner niemanden interessiert hat bzw. das in der Form auch gar nicht notwendig gewesen ist.

11 **Im Kontext der zunehmenden Automatisierung von Fahrfunktionen (z. B. Einparkassistent, Notbremsassistent, Spurhalteassistent, etc.)?**

12 Automatisierte Fahrfunktionen haben wir bisher eigentlich so in dem Detail auf unseren Prüfständen noch nicht gemacht. Allerdings glaube ich trotzdem, dass der Prozess der Automatisierung einfach dann doch unheimlich groß ist und zeitintensiv und du auch die Leute doch alle ziemlich gut ausgebildet sein müssen und viel Erfahrung mitbringen müssen.

13 **Wie groß ist die Jahreszeitenabhängigkeit im Entwicklungsprozess bzw. in weiterer Folge bei der Erprobung von Fahrzeugen – wie wirken sich nachfolgende Entwicklungsschritte aus?**

14 Kann ich leider nicht viel dazu sagen, da das nicht in den Aufgabenbereich bei uns hineinfällt.

15 **Erprobung: Von der Komponentenerprobung bis zum Gesamtsystem**

16 **Wie sieht die grundsätzliche Erprobung / Absicherung / Freigabe eines Fahrzeugs bzw. einer Modellvariante aus (Zyklus von Einzelkomponenten bis zum Gesamtsystem)?**

	17	Bauteil-/Modul- bzw. Komponentenerprobung vs. funktionsorientierter (softwaredefiniertes Fahrzeug) Ansatz?
<p>..Methoden-/Simulations- bzw. I</p> 	18	<p>Also wenn das jetzt auf das neue Prüffeld bezogen wird, dann ist das aus meiner Sicht noch etwas zu früh, um das sinnvoll beantworten zu können. Einige Bereiche diese Prüffelds sind ja auch auf die Forschung und Entwicklung von Prüfmethode ausgelegt. Dazu gibt es aber noch keine konkreten Forschungsteilnehmer oder Firmen.</p>
<p>..Gesamtsystemerprobung</p> 	19	<p>Im alten Prüffeld wird schon meistens der funktionsorientierte Ansatz gewählt. Also wo wir direkt testen, ob irgendwas funktioniert oder wo eben Fahrzeuge aus gewissen Entwicklungsstufen funktionsorientiert getestet werden. Aber es gilt grundsätzlich die Herangehensweise, dass es spezielle Testfälle für einzelne Funktionen oder Module gibt. Dafür sind aber auch immer alle zu erprobenden Bauteile / Module und auch softwareteile auf realen Steuergeräten am Prüfstand real vorhanden. Es gibt keinen ernsthaften modellbasierten Ersatz realer Komponenten in Form von virtuellen Komponenten.</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden</p> 	20	Bevorzugter Test von Einzelsystemen (ohne Querwirkungen durch andere Komponenten / Systeme) oder eher frühzeitige Erprobung im Gesamtsystem (die Komponentenerprobung im Gesamtsystem wäre prinzipiell durch den Ersatz von realen durch virtuelle Komponenten auf entsprechenden Prüfstandssystemen möglich)?
<p>..Prüfstand ohne Methode</p> <p>..Einzelsystemerprobung</p> 	21	<p>Es werden, wie zuvor schon gesagt, immer einzelne Testfälle für einzelne Module, Systeme und Funktionen definiert und dann auch durchgeführt. Den Ansatz aus der Gesamtfahrzeugsicht zu kommen, unabhängig der realen Komponenten am Prüfstand immer den gleichen Testfall (z. B. Stadtfahrt oder Vollastbeschleunigung) durchzuführen und alle nicht real vorhandenen Elemente durch virtuelle Komponenten in Form von Simulationsmodellen zu ersetzen gibt es nicht. Das ganze sehe ich aber als sehr komplex an, zumal die Schnittstellen einzelner Bereiche extrem groß sind und der Aufwand wirklich groß wird.</p>
	22	Wie werden Prüfscenarien für die Funktionserprobung im Rahmen der Antriebsintegration definiert (überwiegend von Versuchen, die aktuell nur durch Straßenversuche erprobt werden (können) [z. B. ESC, ABS, ASR, etc.]? (Informationen / Erkenntnisse aus klassischer Komponentenerprobung, aus Datenbanken, Betrachtung im Rahmen der funktionalen Sicherheit, aus gesetzlichen Anforderungen (z. B. UN ECE, etc.), Szenarien und Situationen aus FoT)?
<p>..Prüfaufgabendefinition</p> 	23	<p>Die Prüfaufgaben kriegen wir vorgegeben von den entsprechenden Beauftragungen. Es gibt auch keine direkte Rückkoppelung der Informationen und Erkenntnisse im Hinblick auf die Versuchsdurchführung.</p>
	24	Wie sieht die (zukünftige) Erprobung von automatisierten/autonomen Fahrfunktionen (z. B. ACC, Einparkassistent, Verkehrszeichenerkennung, etc.) aus, wenn verschiedene Prüfscenarien aufgrund der Vielzahl an

..autom. Fahrfunktionen (

..Methoden-/Simulations-

..Herausforderungen Fahrzeug

..Herausforderungen Fahr

..Funktionsapplikation / -i

variablen Parametern nicht oder nur unzureichend definiert werden können (sind statistische Tests eine Option?)?

25 Also ich, ich könnte mir schon vorstellen, das müsste, vielleicht muss das ja auch irgendwo das Ziel sein, dass man das eben viel eindeutiger und eben auch automatisiert abfahren kann, um tatsächlich dasselbe zu machen und vielleicht auch einfacher und schneller zum Ziel zu kommen. Gerade dieser Bereich ist aber noch komplexer, da der Simulationsaufwand im Hinblick auf die bewusste bzw. kontrollierte Varianz vieler Testszenarien nicht unmittelbar realisierbar ist.

26 **Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext auf der Straße und am Prüfstand:**

27 **Gibt es eine Definition bzw. Kriterien, welche Erprobungsumfänge bei realen Straßenversuchen – welche bei Versuchen auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt werden (vor allem im Rahmen der Antriebsintegration / Fahrwerk)?**

28 **Ab welchem Meilenstein wird vom Prüfstand auf die Straße gewechselt? [höchstwahrscheinlich werden immer Rückkopplungen zur Komponenten- bzw. System- oder Funktionsentwicklung stattfinden – gibt es aber einen konkreten Zeitpunkt oder finden beide Prozesse immer parallel statt?]**

29 Nachdem keine Prototyperprobung auf der Straße von uns durchgeführt wird, kann ich das leider nicht beantworten.

30 **Welche Funktionen / Systeme werden bei einer klassischen Versuchsreihe erprobt bzw. abgesichert [z. B. bei Wintertests, auf der Rennstrecke, etc.]?**

31 Siehe weiter oben.

32 **Wie hoch sind die Reifegrade dieser Funktionen / Systeme während den ersten Versuchsreihen?**

33 **Welche Probleme treten bei den ersten Versuchsreihen auf?**

34 **Wie sieht die Aufteilung zwischen sinnvoller Erprobungszeit / Fehleranalyse bzw. Standzeit aufgrund von Problemen aus (z. B. Laufzeit:Fehleranalyse -> 50:50)?**

35 Die Fehleranalyse bei Verbrennerfahrzeugen tatsächlich deutlich schlechter, da sehr viele Komponenten zusammenspielen müssen (z. B. bei Öltests). Bei elektrifizierten Antriebsstrangsystemen ist der Aufwand zu Testbeginn extrem hoch, wenn die Reifegrade der Versuchsdurchführung oder die Reifegrade der zu erprobenden Systeme hin zum SOP besser werden ist die Erprobungszeit im Dauerlauf von >90%.

36 **Wie sieht die Verfügbarkeit von Teststrecken bzw. Versuchsarealen und Prüfstandssystemen aus?**

..Herausforderungen Fahrzeug	}	37	Prinzipiell ist bei uns immer das Ziel, die Auslastung der Prüfstände für die Rentabilität so hoch wie möglich zu halten. Besonders die Antriebsstrangprüfstände mit den Dauerlauferprobungen sind eigentlich immer ganz gut ausgelastet – hier wird aber bereits immer frühzeitig die Belegung geplant sodass sich die Aufträge auch umsetzen lassen.
		38	Nachdem wir keine Erprobungen auf Prüfgeländen durchführen kann ich die Frage der Verfügbarkeit von Teststrecken nicht wirklich beantworten.
		39	Wie lange dauert üblicherweise eine Versuchsreihe [Zeitraumklassen: 2 Wochen, 4 Wochen, >6 Wochen]?
Erprobungsvorbereitung ,	}	40	Versuchsreihe von Dauerlauferprobungen reichen von 2Tagen bis 1Jahr je nach Testszenario (Dauerlauferprobungen)
..Prüfstand ohne Methode	}	41	Wie hoch ist der Prototypeneinsatz (evtl. auch Personalaufwand) während einer realen Erprobung? (2 Fahrzeuge, 6 Fahrzeuge, >10 Fahrzeuge) (5 Personen, 10 Personen, >20 Personen)?
Erprobungsvorbereitung ,	}	42	Für die Versuchsdurchführung auf dem Prüfstand ist die Anzahl der Prototypen auf die Anzahl der jeweiligen Prüfstände limitiert. Üblicherweise befinden sich aber doch 4-6 Aggregateträger auf den Antriebsstrangprüfständen zur Dauerlauferprobung.
..Prüfstand ohne Methode	}	43	Werden unterschiedliche Varianten von verschiedenen Funktionssetups / Fahrzeugsetups / Reifegraden oder Technologien bei einer realen Versuchsreihe erprobt [z. B. Softwareänderungen] oder liegt der Fokus auf dem gleichen Setup bei unterschiedlichen Bedingungen?
		44	Austausch oder Update von Komponenten oder Systemen während einer Versuchsreihe kommen schon vor. Einerseits kann es ja zu Zerstörungen in Bezug auf die Haltbarkeit von Prüflingen kommen, andererseits sind einige Prüfscenarien auch auf die Erprobung von neuen Funktionen des Systems ausgelegt, wofür natürlich das neue System gebraucht wird.
..Gesamtsystemerprobung	}	45	Unter den Umständen eines Gesamtfahrzeugs am Gesamtfahrzeugprüfstand kann es schon sein, dass das Gesamtsystem zwar vorhanden ist, das Ziel aber trotzdem ist nur eine bestimmte Komponente zu testen, wie beispielsweise die Haltbarkeit einer Seitenwelle im Fahrzeug, das aber aufgrund des Zusammenspiels im Gesamtkontext nicht auf einem Komponentenprüfstand durchgeführt werden kann.
..Prüfstand ohne Methode	}	46	Ist der Aufwand für zusätzliches Equipment für eine Versuchsdurchführung hoch [Einsatz von Fahrroboter, Ground-Truth-Messtechnik, etc.]?
..Straße, Erprobungsgelände oder	}	47	Es erfolgt keine Versuchsdurchführung von Prototypen auf Testgeländen. Aber durch die reale Erprobung könnte ich mir schon vorstellen, dass ähnlich wie am Prüfstand auch das Fahrzeug mit zusätzlicher Messtechnik ausgestattet ist.
		48	Wie wird mit dem Thema Reproduzierbarkeit umgegangen (Straße /

		Prüfstand)?
	49	Werden Fahrmanöver mit Robotereinsatz gefahren oder immer manuell?
..Herausforderungen Prüfstand	50	Automatisiertes Laden, Fahrroboter zum Fahren werden eingesetzt, der Aufwand dafür ist aber immer enorm. Das hängt tatsächlich vom Erprobungsszenario ab.
	51	Vordefinierte Anforderungen an die Ausgangsbedingungen (z. B. Temperaturbereich, etc.)?
Erprobungsergebnisse	52	Gibt es, und sind auch in den Anforderungen der Prüfdefinitionen angegeben. Sofern die angegebenen Kriterien am Prüfstand umgesetzt werden können wird das gemacht – nicht jeder Prüfstand ist beispielsweise mit einer Klimakammer ausgestattet.
..Prüfaufgabendefinition	53	Vordefinierte Anforderungen an die Teststrecke (z. B. Variation von unterschiedlichen Fahrbahnzuständen (trocken, nass, schneebedeckt, etc.), sofern diese Variabilität auf Teststrecken existiert bzw. kontrolliert eingestellt (z. B. nasse Fahrbahn) werden kann
	54	Welche Kriterien gibt es für die Auswertung? (kann das pauschalisiert werden?) [quantifizierbare Kriterien oder Vergleich zu anderen Modellen?]
	55	Wie sieht es mit den Sicherheitsvorgaben / Genehmigungen / Versicherungen von Prototypen aus?
..Herausforderungen Fahrzeug	56	Für den Prüfstandseinsatz gibt es definierte Anforderungen und gesetzliche Regulative, welche sowohl vom Prüfling als auch vom Prüfstand erfüllt werden müssen, bevor mit der Versuchsdurchführung gestartet wird. Nichtsdestotrotz ist es mit Sicherheit so, dass die Anforderungen an den Prototypen für die reale Straßenerprobung deutlich höher anzusehen sind als für den Prüfstandseinsatz, da am Prüfstand eigentlich keine unmittelbare Personengefahr zu keinem Zeitpunkt der Erprobung besteht. Dieser Punkt unterscheidet sich von der realen Erprobung.
	57	Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext am Prüfstand:
	58	Werden funktionale Entwicklungen / Versuche / Absicherungen / Freigaben auch auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen im Gesamtsystem durchgeführt [wobei nicht real verfügbare oder vorhandene Komponenten durch Simulationsmodelle ersetzt werden (z. B. Karosseriemodell, Reifenmodell, Anhänger, etc.)]?
	59	WENN JA:
	60	Welche Versuche werden durchgeführt bzw. auf welchen Versuchen liegt der Fokus?

<p>..Einzelsystemerprobung</p> <p>..Prüfstand ohne Methode</p> <p>..Gesamtsystemerprobung</p>	<p>61</p>	<p>Rudimentäre Versuche aber ohne Simulationseinsatz (keine virtuellen Komponenten). Versuchsziel ist in der Regel der Dauerlauf bzw. die Analyse von Einzelnen Komponenten im Hinblick auf die Schädigung, Energieeffizienz, Haltbarkeitsversuche von Seitenwellen, etc. Dabei sind vor allem die Zulieferer von Fahrzeugherstellern die Kunden für die Absicherung der Haltbarkeit. Applikationen werden auch auf Antriebsstrangprüfständen gemacht (z. B. Schaltqualität), dabei kommt aber aus verschiedenen Gründen (z. B. Geheimhaltung, Know-How-Schutz, etc.) meist ein Applikationsingenieur vom Hersteller des Moduls, der Achse oder des Fahrzeugs mit und es wird am Prüfstand gemeinsam gemacht.</p>
<p>..Prüfstandsvarianten</p>	<p>62</p> <p>63</p>	<p>Welche Prüfstandsvarianten werden konkret eingesetzt (Rollenprüfstände bzw. Rollenbandprüfstände, Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstände wie der KS R2R)?</p> <p>Antriebsstrangprüfstände über die Auflagerung des Fahrzeugs durch Lagerböcke (keine R2R-Technologie), Motorprüfstände, Rollenbänder nur für eine Achse (z. B. NVH-Messungen), Motorprüfstände für Elektromotoren / Verbrenner / Hybride / Wasserstoff oder Gas, Batterietest, Inverterprüfstand, Brennstoffzellenprüfstände (Shortstack)</p>
<p>..Prüfstand ohne Methode</p> <p>..Methoden-/Simulations-</p> <p>..Prüfstand mit Methoden</p> <p>..Gesamtsystemerprobung</p>	<p>64</p> <p>65</p> <p>66</p>	<p>Wie wird mit dem Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung umgegangen (wie werden diese Methoden verifiziert und validiert)?</p> <p>Die Prüfmethode sind, wie zuvor schon kurz angesprochen, von der Beauftragung bereits definiert. Dahingehend müssen keine Prüfmethode abgesichert werden. Der Testkatalog mit allen Definitionen (Belastungen durch den Prüfstand bis hin zur Messstellenliste) muss immer vorgegeben werden.</p> <p>Wir hatten auch schon R2R-Analysen direkt mit Fahrzeug am R2R mit guten Ergebnissen, aber was trotzdem zu nichts geführt hat, also nicht zu mehr R2R-Erprobungen. Zumindest nicht bei uns. Und ich denke auch nicht wo anders, da die Prüfstände in der Anzahl gar nicht vorhanden sind. Ich glaube auch, dass der Schritt dahin, dieses Vertrauen in virtuelle Modellteile o. ä. sehr groß ist, zumal diese Bereiche immer wieder abgesichert werden müssen.</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden-/Simu-</p>	<p>67</p> <p>68</p>	<p>Gibt es Datenbanken für unterschiedliche Simulationsmodellvarianten oder dessen Parametrierungsstände?</p> <p>Gibt es nicht, da keine Simulationsmodelle verwendet werden.</p>
	<p>69</p> <p>70</p> <p>71</p>	<p>Wenn NEIN:</p> <p>Warum werden funktionale Versuche / Absicherungen nicht auf Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt?</p> <p>Ist es das Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung ein entscheidendes Kriterium?</p>

..Methoden-/Simulations- bzw. I

72 Dieses Thema ist besonders kritisch, da hierbei bei manöverbasierten Tests die Frage der Genauigkeit zur Realität gestellt wird. Diese Frage lässt sich oftmals aber nicht mit ein paar Sätzen oder Diagrammen beantworten, da die Bandbreite bzw. Komplexität der Systeme zu groß ist, als dass das an zwei Kriterien festgemacht werden kann.

73 **Werden Einschränkungen am Prüfstand im Vergleich zur Straße gesehen / befürchtet?**

74 **Gibt es andere Einschränkungen (Verfügbarkeit bzw. Anschaffungskosten von Gesamtfahrzeugprüfständen, Komplexität solcher Systeme im Hinblick auf Bedienung / Wartung, Auslastungsbedenken)?**

75 **Werden Modelle und Simulationen (physikalische Echtzeit-Modelle von einzelnen Komponenten) im Entwicklungsprozess und in weiterer Folge auf Prüfständen eingesetzt (z. B. für die frühzeitige Energie- bzw. Reichweitenerprobung, Funktionserprobung, etc.)?**

76 Anmerkung: Hier sind komplexe Modelle zur Beschreibung der Fahrdynamik gemeint.

77 **Wenn JA:**

78 **In welchem Umfang kommen diese Modelle und Simulationen zum Einsatz?**

79 **Werden Ergebnisse von Simulationen/Modellen als Entscheidungsgrundlage herangezogen?**

80 **Um welche Modelle handelt es sich (CFD, etc.) oder auch physikalische Modelle (z. B. für den Einsatz auf Prüfständen)?**

81 **Wenn NEIN:**

82 **Aus welchem Grund nicht?**

83 Weil diese Modelle nicht bestehen und auch die Informationen/Schnittstellen für Parametrierungen und für das Gesamtsystem nicht vorhanden sind. Darüber hinaus braucht es ein viel größeres Gesamtverständnis für das System, was in weiterer Folge ein Dienstleister / Forschungsinstitut von einem nicht am Markt verfügbaren Gesamtfahrzeug nicht haben kann. Wenn dann zusätzlich noch die Informationen aus verschiedenen Gründen nicht ausgetauscht werden können, kann der Erprobungsprozess nicht im Gesamtkontext durchgeführt werden.

..Abhängigkeiten

..Herausforderungen Fahr

84 **Wie sehen Sie die Veränderungen vor allem im Bereich des Fahrzeugversuchs in Bezug auf aufkommende ADAS/AD-Funktionalität im Fahrzeug?**

..Abhängigkeiten

85 Das ich kann das persönlich nicht beantworten. Ich denke allerdings, dass der Erprobungsaufwand sicherlich steigen wird, ja.

..Prüfstand mit Methoden-/Simu

86 **Gibt es besonders bei der Versuchsplanung und -durchführung eine Innovationstrategie im Hinblick auf Veränderungen beim Gesamtfahrzeug?**

87 Durch den neuen Aufbau des Prüffeldes ist das Ziel die Entwicklung zu virtualisieren. Sodass die Homologation von Fahrzeugen durch die Produktvielfalt durch die Simulation erfolgen kann.

88 **Würden Sie das V-Modell im Rahmen der Fahrzeugentwicklung / Erprobung (besonders bei der Verifikation / Validierung) noch als zeitgemäß betrachten? Gibt es, besonders für das softwaredefinierte Fahrzeug mit vielen vernetzten Funktionen andere, bessere Ansätze?**

..Prüfstand mit Methoden-/Simu

89 Also wenn es jetzt klassisch wahrscheinlich eher nicht mehr. Wenn man das jetzt auf diese Wortwahl oder Begriffe des virtuellen Zwilling oder digitaler Zwilling (digital-twin) sitzt, dann wird das auf der linken Seite des V-Modells viel mehr werden. Damit dieses Frontloading passieren kann, braucht es natürlich eine virtuelle Abbildung der Realität in einer gewissen Form, um in weiterer Folge auf der rechten Seite wirklich dieses Testing und Simulation zu haben. Aber ich denke dafür sind auch eine Vielzahl an Daten notwendig, sodass eine Wechselwirkung zwischen Design und Validierung frühzeitig erfolgen kann.

90 **Würden Sie noch irgendwelche Ergänzungen anfügen?**

91 Nein, Vielen Dank!

Experteninterview B09 - Forschung:

	1	<p>Erprobung von Gesamtfahrzeugen im Rahmen des Entwicklungsprozesses:</p>
	2	<p>Während der Fahrzeugentwicklung müssen viele Meilensteine erreicht werden – welchen Stellenwert haben dabei virtuelle (Digital-Twin) und auch reale Versuche im Rahmen des Entstehungsprozesses?</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden-/Simu</p>	3	<p>In unserem Forschungsinstitut, das sich auf Entwicklung von automatisierten oder autonomen Fahrfunktionen sowie die Methodenentwicklung und -absicherung für Prüfstandsanwendungen spezialisiert hat, spielen virtuelle (Digital-Twin) Versuche eine zentrale Rolle im Kontext des Fahrzeugentwicklungsprozess.</p>
	4	<p>Diese simulationsgestützten Versuche ermöglichen es, durch Simulation und Modellierung verschiedene Szenarien effizient zu analysieren und Fahrsysteme, Fahrzeugkomponenten sowie Gesamtsysteme frühzeitig zu optimieren. Dies trägt nicht nur zu einer beschleunigten Entwicklung bei, sondern soll auch ohne eine beträchtliche Anzahl an physischer Prototypen auskommen.</p>
<p>..Straße, Erprobungsgelän</p> <p>..Methoden-/Simulations-</p>	5	<p>Gleichzeitig erkennen wir die essenzielle Bedeutung realer Versuche an. Diese dienen der Validierung und Absicherung unter realen Bedingungen, um sicherzustellen, dass die virtuellen Modelle präzise und zuverlässig sind. Insbesondere in den Bereichen Fahrzeugsicherheit und Zuverlässigkeit sind physische Tests unersetzlich.</p>
	6	<p>Welche relevanten Meilensteine / Freigaben werden bei der Erprobung / Absicherung durchlaufen (Komponentenrelease, Verbundrelease, etc.) bzw. in welchen Abständen finden diese statt (z. B. Softwarerelease alle 8 Wochen)?</p>
	7	<p>Im Rahmen eines Forschungsprojektes gibt es Meilensteine zum Projekt, diese hängen in der Regel aber nicht in Zusammenhang mit irgendwelchen Entwicklungszielen und Projektzeitplänen von Forschungspartnern. Im weitesten Sinne gibt es evtl. eine Abhängigkeit, wenn das Forschungsprojekt die Grundlage für weitere Entwicklungsschritte im Rahmen der Fahrzeugentwicklung ist.</p>
<p>..Methoden-/Simulations- bzw. I</p>	8	<p>Besonders in unserem Umfeld fokussieren sich die Forschungsprojekte oftmals auf die Umsetzung von automatisierten oder autonomen Fahrfunktionen. Um entsprechende Werkzeuge für die Entwicklung solcher Systeme zu haben bedarf es die Modellierung und Simulation von Fahrzeugelementen, der unmittelbaren Umgebung unter Berücksichtigung externer Einflussfaktoren. Darüber hinaus werden auch Möglichkeiten im Rahmen des virtuellen Fahrversuchs untersucht.</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden-/Simu</p>	9	<p>Unter anderem kommt auch ein für Forschungsprojekte angeschaffter Gesamtfahrzeugprüfstand für die Erprobung zum Einsatz. Dabei liegt der Fokus auf der Co-Simulation und Interaktion zwischen realen und simulierten Elementen des Fahrzeugs und seiner Umgebung, sodass in weiterer Folge</p>

..Prüfstand mit Methoden

..Methoden-/Simulations-

Fahrerassistenzsysteme oder autonome Fahrfunktionen in Simulationsumgebungen oder auf Prüfständen erprobt werden können. Eine Schwierigkeit dabei ist immer – den Gap zwischen der Simulation und der Realität auf ein gefordertes Minimum zu verringern. Dies ist in vielen Bereichen aber sehr aufwendig.

10 **Was sind die größten Herausforderungen während der Erprobung?**

11 **Im Kontext des softwaredefinierten Fahrzeugs bei der Integration in ein Gesamtsystem? (Aspekte der zunehmenden Vernetzung im Fahrzeug)**

12 Die tatsächliche Integration einzelner Komponenten zu einem Gesamtsystem spielt bei uns eigentlich keine Rolle, da wir eine Forschungseinrichtung und kein OEM sind. Vielmehr geht es um die Entwicklung von einzelnen Fahrfunktionen oder Assistenzsystemen.

13 Darüber hinaus beschäftigen sich einige Forschungsprojekte mit der Erprobung solcher Systeme von der Simulation über den Prüfstandseinsatz bis zum realen Fahrversuch auf Testgeländen.

..autom. Fahrfunktionen (

..Methoden-/Simulations-

14 Herausforderungen gibt es aber speziell in dem Bereich der Informationsbeschaffung, sodass in weiterer Folge die Simulationsentwicklung durchgeführt werden kann.

15 **Im Kontext der Elektrifizierung von Antriebsstrangkomponenten bzw. des gesamten Antriebsstrang (z. B. größeres Potential von komponentenübergreifenden Funktionen)?**

..Abhängigkeiten

16 Damit beschäftigen wir uns nicht wirklich – wir sind hier würde ich sagen eine Ebene über den Funktionen des Antriebsstrangs und dessen Komponenten.

17 **Im Kontext der zunehmenden Automatisierung von Fahrfunktionen (z. B. Einparkassistent, Notbremsassistent, Spurhalteassistent, etc.)?**






18 Hier würde ich besonders drei Punkte hervorheben: Erstens die Komplexität der Systeme: ADAS-Systeme bestehen aus einer Vielzahl von Sensoren, Aktoren und Algorithmen, die miteinander interagieren. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl an unterschiedlicher Hersteller dieser Komponenten. Besonders auch durch den Einsatz von KI bei solchen Systemen sind diese zwar deutlich besser – aber auch um einen guten Faktor komplexer geworden.

..autom. Fahrfunktionen (







..Methoden-/Simulations-

19 Zweitens: die Vielfalt der Umgebungsbedingungen: ADAS-Systeme müssen in einer Vielzahl von Umgebungsbedingungen sicher funktionieren, z. B. bei Nacht, bei Regen oder auf Schnee. Dies erfordert eine umfassende Erprobung unter verschiedenen Bedingungen. Besonders für die Modellierung von Simulationen unterschiedlichster Art ist dieser Freiheitsgrad schwer zu definieren.

20 Und Drittens: Die Modellierung einzelner Elemente von der Umgebung bis hin

<p>..autom. Fahrfunktionen (</p> <p>..Methoden-/Simulations-</p> 	<p>zur Simulation oder Emulation von realen Sensoren. Viele der im Fahrzeug verbauten Sensoren funktionieren im Gesamtsystem gemeinsam, basieren aber teilweise auf grundverschiedenen physikalischen Prinzipien (z. B. Kamera, Lidar, Radar und Ultraschallsensoren). Alle diese Teilbereiche müssen aber bei einem Fahrmanöver in der Simulation oder am Prüfstand in Echtzeit aufeinander abgestimmt sein. Andernfalls wird die entsprechend zu erprobende Funktion im Fahrzeug in einen Stöorzustand wechseln.</p>
<p>..Methoden-/Simulations-</p> <p>..Straße, Erprobungsgelän</p> 	<p>21 Wie groß ist die Jahreszeitenabhängigkeit im Entwicklungsprozess bzw. in weiterer Folge bei der Erprobung von Fahrzeugen – wie wirken sich nachfolgende Entwicklungsschritte aus?</p> <p>22 Wie zuvor bereits erwähnt spielt dieser Faktor bei unseren Forschungsprojekten nur eine untergeordnete Rolle. Maximal für Vergleichsmessungen auf der Straße zu bestimmten Umgebungs- (Tag, Nacht, viel Verkehr, wenig Verkehr, etc.) und Umweltbedingungen (Kalt, Warm, Heiß, Schneefall, Regen, etc.).</p>
<p>..Prüfstand ohne Methoden-/Sin</p> <p>..Gesamtsystemerprobung</p> 	<p>23 Erprobung: Von der Komponentenerprobung bis zum Gesamtsystem</p> <p>24 Wie sieht die grundsätzliche Erprobung / Absicherung / Freigabe eines Fahrzeugs bzw. einer Modellvariante aus (Zyklus von Einzelkomponenten bis zum Gesamtsystem)?</p> <p>25 Bauteil-/Modul- bzw. Komponentenerprobung vs. funktionsorientierter (softwaredefiniertes Fahrzeug) Ansatz?</p>
<p>..Gesamtsystemerprobung</p> <p>..Einzelssystemerprobung</p> <p>..Methoden-/Simul</p> 	<p>26 Es gibt keine Komponentenerprobung o. ä.. Dahingehend gibt es auch keine Erprobung diesbezüglich.</p> <p>27 Bei der Entwicklung von automatisierten Fahrfunktionen bedarf es der Berücksichtigung sehr vieler unterlagerter Systeme.</p> <p>28 Bevorzugter Test von Einzelsystemen (ohne Querwirkungen durch andere Komponenten / Systeme) oder eher frühzeitige Erprobung im Gesamtsystem (die Komponentenerprobung im Gesamtsystem wäre prinzipiell durch den Ersatz von realen durch virtuelle Komponenten auf entsprechenden Prüfstandssystemen möglich)?</p>
<p>..Gesamtsystemerprobung</p> <p>..Einzelssystemerprobung</p> <p>..Methoden-/Simul</p> 	<p>29 Für automatisierte Fahrfunktionen und Assistenzsysteme ist immer das Gesamtsystem relevant. Für die Modellierung und Simulation von Sensoren sind aber auch die Einzelelemente und dessen Funktionsweise interessant. Das würde ich nicht in diesen Bereich einordnen – das ist prinzipiell unabhängig der Funktion ohnehin die Grundanforderung.</p> <p>30 Wie werden Prüfscenarien für die Funktionserprobung im Rahmen der Antriebsintegration definiert (überwiegend von Versuchen, die aktuell nur durch Straßenversuche erprobt werden (können) [z. B. ESC, ABS, ASR, etc.]? (Informationen / Erkenntnisse aus klassischer Komponentenerprobung, aus Datenbanken, Betrachtung im Rahmen der funktionalen Sicherheit, aus gesetzlichen Anforderungen (z. B. UN ECE,</p>

		etc.), Szenarien und Situationen aus FoT)?
	31	In vielen Ländern gibt es gesetzliche Anforderungen an die Sicherheit von Fahrzeugen und dessen Fahrfunktionen. Diese Anforderungen können ebenfalls für die Definition von Prüfscenarien genutzt werden bzw. diese Gesetzestexte definieren bereits selbst die Versuchsdurchführung für Fahrfunktionen oder Assistenz- und Sicherheitssysteme (z. B. EuroNCAP).
..Prüfaufgabendefinition	32	Darüberhinaus gibt es aus diversen Datenbanken verschiedene Manöver und Szenarien. Dazu gehören auch Situationen, bei denen der Verkehrsfluss eine Rolle spielt. Die Erprobung von Fahrzeugen im realen Straßenverkehr (FoT) liefert wertvolle Erkenntnisse über mögliche Fehler und Fehlfunktionen. Diese Erkenntnisse können und werden für die Definition von Prüfscenarien genutzt. In den meisten Fällen ist aber die Aufbereitung der Rohdaten aus Fahrzeugmessungen für die sinnvolle Definition von Prüfbedingungen extrem aufwendig.
	33	Wie sieht die (zukünftige) Erprobung von automatisierten/autonomen Fahrfunktionen (z. B. ACC, Einparkassistent, Verkehrszeichenerkennung, etc.) aus, wenn verschiedene Prüfscenarien aufgrund der Vielzahl an variablen Parametern nicht oder nur unzureichend definiert werden können (sind statistische Tests eine Option)?
	34	siehe oben.
	35	Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext auf der Straße und am Prüfstand:
	36	Gibt es eine Definition bzw. Kriterien, welche Erprobungsumfänge bei realen Straßenversuchen – welche bei Versuchen auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt werden (vor allem im Rahmen der Antriebsintegration / Fahrwerk)?
	37	Ab welchem Meilenstein wird vom Prüfstand auf die Straße gewechselt? [höchstwahrscheinlich werden immer Rückkopplungen zur Komponenten- bzw. System- oder Funktionsentwicklung stattfinden – gibt es aber einen konkreten Zeitpunkt oder finden beide Prozesse immer parallel statt?]
..Gesamtsystemerp ..Prüfstand mit Met ..Straße, Erprobung	38	Bei der Erprobung von automatisierten Fahrfunktionen oder Assistenzsystemen im Rahmen von Forschungsprojekten gibt es immer wieder iterative Erprobungszyklen zwischen der Simulation, dem Prüfstand und dem realen Straßenversuch.
	39	Welche Funktionen / Systeme werden bei einer klassischen Versuchsreihe erprobt bzw. abgesichert [z. B. bei Wintertests, auf der Rennstrecke, etc.]?
..Abhängigkeiten ..Jahreszeitenabhängigkei	40	(Anmerkung: Diese Frage zielt eigentlich auf Fahrwerksregelung etc. ab) – Ist für unseren Bereich eigentlich nicht unmittelbar von Relevanz. Prinzipiell sind unsere Entwicklungsstränge nicht parallel wie bei großen OEM's – d. h. wir

<p>..Jahreszeitenabhängigkeit</p> 	<p>41</p>	<p>entwickeln nicht unzählige Funktionen und Systeme parallel, damit gibt es natürlich auch nicht die Notwendigkeit, viele Funktionen und Systeme bei einer Versuchsreihe zu testen. Grundlegend liegt, wie gesagt, der Fokus zumeist genau auf dem Bereich, auf das das aktuelle Forschungsprojekt abzielt.</p>
<p>..Funktionsapplikation / -i</p> <p>..Methoden-/Simulations-</p> 	<p>42</p>	<p>Bei den ersten Versuchsreihen von neuen Fahrregelungen in der Simulation treten naturgemäß einige Fehler auf. Durch die iterative Verbesserung dieser in der Simulation stellt dies aber kein allzu großes Problem dar.</p>
<p>43</p>	<p>44</p>	<p>Wie hoch sind die Reifegrade dieser Funktionen / Systeme während den ersten Versuchsreihen?</p> <p>Welche Probleme treten bei den ersten Versuchsreihen auf?</p> <p>Wie sieht die Aufteilung zwischen sinnvoller Erprobungszeit / Fehleranalyse bzw. Standzeit aufgrund von Problemen aus (z. B. Laufzeit:Fehleranalyse -> 50:50)?</p>
<p>45</p>	<p>46</p>	<p>Wie sieht die Verfügbarkeit von Teststrecken bzw. Versuchsarealen oder Prüfstandssystemen aus?</p> <p>Wenn die Zeitslots früh genug gebucht werden, ist das üblicherweise kein Problem.</p>
<p>..Straße, Erprobungsgelän</p> <p>Erprobungsvorbereitung ,</p> <p>..Prüfstand mit Methoden</p> 	<p>47</p>	<p>Die kleinen Prüfstandsumgebungen für die Sensoren und Aktoren sind eigentlich für hinsichtlich Messungen und Versuche ganz gut ausgelastet. Der Gesamtfahrzeugprüfstand steht eigentlich immer zur Verfügung. Dieser ist ja unter anderem mit Forschungsgeldern finanziert, damit ist der kommerzielle Einsatz für externe auch etwas schwieriger. Wenn allerdings Versuchsaufträge kommen, nehmen wir diese gerne an.</p>
<p>48</p>	<p>49</p>	<p>Wie lange dauert üblicherweise eine Versuchsreihe [Zeitraumklassen: 2 Wochen, 4 Wochen, >6 Wochen]?</p> <p>Wenn sich der Erprobungsumfang auf wenige Manöver und Szenarien beschränkt sind wenige Tage ausreichend für Versuchsmessungen am Erprobungsgelände. Danach erfolgen üblicherweise einige Iterationsschleifen in der Simulation bzw. am Prüfstand gemacht - hierfür lässt sich kein wirklicher Aufwand ableiten.</p>
<p>Erprobungsvorbereitung ,</p> <p>..Straße, Erprobungsgelän</p> 	<p>50</p>	<p>Wie hoch ist der Prototypeneinsatz (evtl. auch Personalaufwand) während einer realen Erprobung? (2 Fahrzeuge, 6 Fahrzeuge, >10 Fahrzeuge) (5 Personen, 10 Personen, >20 Personen)?</p>
<p>Erprobungsvorbereitung ,</p> <p>..Straße, Erprobungsgelände oder Tests</p> 	<p>51</p>	<p>Üblicherweise 1 Fahrzeug mit 1-4 Personen zur Erprobung von Fahrfunktionen.</p>
<p>Erprobungsvorbere</p> 	<p>52</p>	<p>Werden unterschiedliche Varianten von verschiedenen Funktionssetups / Fahrzeugsetups / Reifegraden oder Technologien bei einer realen Versuchsreihe erprobt [z. B. Softwareänderungen] oder liegt der Fokus auf dem gleichen Setup bei unterschiedlichen Bedingungen?</p>
<p>53</p>	<p>53</p>	<p>Grundlegend wird versucht bei einer Erprobung des Fahrzeugsetup möglichst</p>

Erprobungsvorbere
 ..Gesamtsystemerp
 ..Straße, Erprobungsgelände oder Tests

54 unverändert zu lassen. Durch die äußeren Bedingungen (Anmerkung: Umwelt und Umgebung) sind die Einflussfaktoren bereits ziemlich stark – eine bewusste Varianz durch veränderte Fahrzeugsetups wird daher bewusst vermieden.

54 Ist der Aufwand für zusätzliches Equipment für eine Versuchsdurchführung hoch [Einsatz von Fahrerroboter, Ground-Truth-Messtechnik, etc.]?

..Straße, Erprobungsgelän
 Erprobungsvorbereitung ,

55 Besonders für die Verifizierung und Validierung von automatisierten Fahrfunktionen ist besonders die Ground-Truth-Messtechnik essenziell. Nur dadurch lassen sich im Post-Processing die Ergebnisse sinnvoll bewerten. Diese Messtechnik stellt quasi die Referenz zum Soll dar.

56 Wie wird mit dem Thema Reproduzierbarkeit umgegangen (Straße / Prüfstand)?

57 Werden Fahrmanöver mit Robotereinsatz gefahren oder immer manuell?

58 Bei der Erprobung von automatisierten Fahrfunktionen ist dieser Teil obsolet.

..Prüfstand mit Methoden
 ..Herausforderungen Prüf

59 Eine wesentliche Einschränkung auf Gesamtfahrzeugprüfständen (Sowohl Rollenprüfstand als auch KS R2R) ist, dass rein längsdynamische Fahrsysteme erprobt werden können, da keine realen Lenkbewegungen durch etwaige Fahrregelungen ausgeführt werden können. Dahingehend gibt es auch Bestrebungen und Forschungsprojekte mit Partnern, sodass hier eine Möglichkeit geschaffen wird das zu realisieren.

60 Vordefinierte Anforderungen an die Ausgangsbedingungen (z. B. Temperaturbereich, etc.)?

Erprobungsvorbereitung ,
 ..Straße, Erprobungsgelän

61 Temperatureinflüsse spielen eine untergeordnete Rolle. Etwaige Lichteinfälle, Regen oder Schnellfall etc. im Hinblick auf die Messtechnik (z. B. Kamera) oder reflektierende Fremdkörper auf der Teststrecke (z. B. für Radar, Lidar) sind hierbei relevanter.

62 Vordefinierte Anforderungen an die Teststrecke (z. B. Variation von unterschiedlichen Fahrbahnzuständen (trocken, nass, schneebedeckt, etc.), sofern diese Variabilität auf Teststrecken existiert bzw. kontrolliert eingestellt (z. B. nasse Fahrbahn) werden kann

..Straße, Erprobungsgelän
 Erprobungsvorbereitung ,

63 Wie zuvor angemerkt ist dieser Einfluss besonders für die Fahrzeugmesstechnik von entscheidender Bedeutung. Einige Kriterien können auf gewissen Teststrecken eingestellt werden (z. B. Benässung der Fahrbahn oder Regen für einen bestimmten Abschnitt).

64 Welche Kriterien gibt es für die Auswertung? (kann das pauschalisiert werden?) [quantifizierbare Kriterien oder Vergleich zu anderen Modellen?]

	65	Hier gibt es aufgrund der Komplexität der Materie keine allgemeinen Faktoren.
	66	Wie sieht es mit den Sicherheitsvorgaben / Genehmigungen / Versicherungen von Prototypen aus?
	67	Die Versuche finden auf abgesperrten Testgeländen statt.
	68	Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext am Prüfstand:
	69	Werden funktionale Entwicklungen / Versuche / Absicherungen / Freigaben auch auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen im Gesamtsystem durchgeführt [wobei nicht real verfügbare oder vorhandene Komponenten durch Simulationsmodelle ersetzt werden (z. B. Karosseriemodell, Reifenmodell, Anhänger, etc.)]?
	70	WENN JA:
	71	Welche Versuche werden durchgeführt bzw. auf welchen Versuchen liegt der Fokus?
..Methoden-/Simulations- ..Prüfstand mit Methoden	72	Ja, da die Entwicklung von Prüfmethode in Kombination mit Simulationsumgebungen, HiL-, SiL bis hin zum ViL im Vordergrund steht. Zu den Versuchen zählen unter anderem die Verkehrsflusssimulation in Kombination mit Fahrerassistenzsystemen bis hin zu vollautonomen Fahrfunktionen von modernen Fahrzeugen.
	73	Welche Prüfstandsvarianten werden konkret eingesetzt (Rollenprüfstände bzw. Rollenbandprüfstände, Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstände wie der KS R2R)?
..Prüfstandsvarianten	74	HiL, SiL, zusätzliche kleine Simulations- oder Emulationsaufbauten, Gesamtfahrzeugprüfstand, Fahrsimulator
	75	Wie wird mit dem Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung umgegangen (wie werden diese Methoden verifiziert und validiert)?
..Methoden-/Simulations- bzw. I	76	Die Modellierungen für Simulationsmodelle werden in wiederkehrenden Schleifen mit realen Messungen aus dem Fahrzeug und dessen Sensoren/ Aktoren verglichen und adaptiert.
	77	Gibt es Datenbanken für unterschiedliche Simulationsmodellvarianten oder dessen Parametrierungsstände?
..Methoden-/Simulations- ..Abhängigkeiten	78	Über unterschiedliche Kooperationspartner gibt es immer wieder Inputs und Neuerungen bezüglich der Simulation des Prüfstandes und dessen Equipment, des Fahrzeugs inkl. dessen Sensoren (z. B. Radar, Kamera) sowie der Umwelt. Eine Schwierigkeit ist aber, die relevanten Informationen für die Modellierung von einzelnen Bereichen zu bekommen. Dazu zählen unter anderem die Hersteller für die Sensoren, unterschiedliche Softwareplattformen, etc..

..Methoden-/Simulations- bzw. I

79 Es werden für die Modellierung mehrere branchenübliche Plattformen verwendet, abhängig der Anwendungsgebiete der jeweiligen Modelle und Modellteile.

80 **Wenn NEIN:**

81 **Warum werden funktionale Versuche / Absicherungen nicht auf Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt?**

82 **Ist es das Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung ein entscheidendes Kriterium?**

83 **Werden Einschränkungen am Prüfstand im Vergleich zur Straße gesehen / befürchtet?**

84 **Gibt es andere Einschränkungen (Verfügbarkeit bzw. Anschaffungskosten von Gesamtfahrzeugprüfständen, Komplexität solcher Systeme im Hinblick auf Bedienung / Wartung, Auslastungsbedenken)?**

85 **Werden Modelle und Simulationen (physikalische Echtzeit-Modelle von einzelnen Komponenten) im Entwicklungsprozess und in weiterer Folge auf Prüfständen eingesetzt (z. B. für die frühzeitige Energie- bzw. Reichweitenerprobung, Funktionserprobung, etc.)?**

86 **Wenn JA:**

87 **In welchem Umfang kommen diese Modelle und Simulationen zum Einsatz?**

..Prüfstand mit Methoden-/Simu

88 Bei den Simulationsmodellen handelt es sich um Modelle zur Simulation des Fahrzeugs und dessen Komponenten (Karosseriemodell, Rad/Reifenmodelle, Sensormodelle), dessen Umgebung (Verkehrssimulation, Umgebungssimulation, etc.) sowie um Modelle, die den Gesamtfahrzeugprüfstand abbilden, sodass Versuche neben dem realen Gesamtfahrzeugprüfstand vorab in der Simulation zu deutlich kostengünstigeren Konditionen abgebildet werden können.

89 **Werden Ergebnisse von Simulationen/Modellen als Entscheidungsgrundlage herangezogen?**

90 Ziel ist die Modell- und Methodenentwicklung.

91 **Um welche Modelle handelt es sich (CFD, etc.) oder auch physikalische Modelle (z. B. für den Einsatz auf Prüfständen)?**

92 Echtzeitfähige Modelle aus den erklärten Disziplinen für Prüfstand/Fahrzeug/Umgebung/etc.

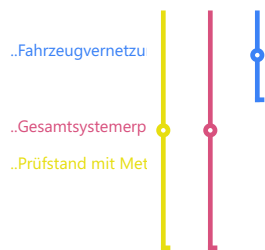
93 **Wenn NEIN:**

94 **Aus welchem Grund nicht?**

<p>..Herausforderung</p> <p>..Methoden-/Simul</p> <p>..autom. Fahrfunkti</p>	<p>95 Wie sehen Sie die Veränderungen vor allem im Bereich des Fahrzeugversuchs in Bezug auf aufkommende ADAS/AD-Funktionalität im Fahrzeug?</p> <p>96 Besonders der stark erhöhte Bedarf an Realweltdaten: ADAS/AD-Systeme müssen in einer Vielzahl von Umgebungsbedingungen sicher funktionieren. Für Modell- und Methodenvergleiche mit der Realität erfordert es umfassende Daten aus realen Fahrversuchen zu haben. Besonders die Generierung dieser Daten in Kombination mit der Klassifizierung bzw. Filterung auf relevante Daten von entsprechend interessanten Fahrmanövern gestaltet sich als Mammutaufgabe.</p>
<p>..Methoden-/Simulations- bzw. I</p>	<p>97 Gibt es besonders bei der Versuchsplanung und -durchführung eine Innovationstrategie im Hinblick auf Veränderungen beim Gesamtfahrzeug?</p> <p>98 Abhängig einzelner Kerngebiete vieler Forschungsprojekte gibt es eine Versuchsdurchführung mit dem Gesamtfahrzeug sowohl auf der Straße als auch am Prüfstand. Das Ziel hierbei ist immer vergleichbare Ergebnisse in beiden Disziplinen zu erlangen – dabei steht aber nicht die Funktion des Fahrzeugs im Vordergrund, vielmehr ist die Prüfmethodik im Fokus.</p>
<p>..Abhängigkeiten</p> <p>..autom. Fahrfunktionen (</p>	<p>99 Würden Sie das V-Modell im Rahmen der Fahrzeugentwicklung / Erprobung (besonders bei der Verifikation / Validierung) noch als zeitgemäß betrachten? Gibt es, besonders für das softwaredefinierte Fahrzeug mit vielen vernetzten Funktionen andere, bessere Ansätze?</p> <p>100 Grundsätzlich ja, wobei besonders im Kontext des automatisierten Fahrens bzw. autonomen Fahrens eine Kollaboration aus einer Vielzahl an Bereichen zusammenspielen muss, sodass ein starrer Workflow aus der Definition von Anforderungen über das herunterbrechen auf Einzelelemente und der nachfolgenden Validierung der Anforderungen nicht unmittelbar umsetzbar ist.</p>
<p>..Herausforderungen Prüfstand</p>	<p>101 Würden Sie noch irgendwelche Ergänzungen anfügen?</p> <p>102 Insgesamt sehen wir die Veränderungen im Bereich des Fahrzeugversuchs als Chance, innovative Methoden zu entwickeln, um die Herausforderungen von ADAS/AD zu bewältigen und die Sicherheit sowie die Effizienz autonomer Fahrzeuge zu gewährleisten.</p>

Experteninterview B10 - Prüfstandshersteller, Prüfdienstleistung:

	<p>1 Einsatzmöglichkeiten eines Gesamtfahrzeug-Antriebsstrang-Prüfstandes im Rahmen der Fahrzeugentwicklung:</p>
	<p>2 Erprobung von Gesamtfahrzeugen im Rahmen des Entwicklungsprozesses:</p>
	<p>3 Während der Fahrzeugentwicklung müssen viele Meilensteine erreicht werden – welchen Stellenwert haben dabei virtuelle (Digital-Twin) und auch reale Versuche im Rahmen des Entstehungsprozesses?</p>
<p>Systeminteg ..Prüfstand m ..Prüfstand o ..Straße, Erprobungsgelände oder Tests</p>	<p>4 Aus meiner Sicht haben sich modellbasierte Meilensteine noch zu wenig im Entwicklungsprozess etabliert. Der Hauptfokus liegt noch immer auf Komponententests und Fahrversuchen auf Testgeländen oder der Straße.</p>
	<p>5 Welche relevanten Meilensteine / Freigaben werden bei der Erprobung / Absicherung durchlaufen (Komponentenrelease, Verbundrelease, etc.) bzw. in welchen Abständen finden diese statt (z. B. Softwarerelease alle 8 Wochen)?</p>
<p>..Meilensteine, Freigabe- und En ..Einzelsystemerprobung ..Gesamtsystemerp ..Meilensteine, Freig</p>	<p>6 Der Entwicklungsprozess ist sehr OEM spezifisch. Generell haben aber alle OEMs in gewisser Art und Weise Freigaben für Komponenten, Sensoren und die immer größer werden Baugruppen bis hin zum Gesamtsystem. Bei der Erprobung sind immer wieder Unterschiede hinsichtlich Granularität des Testings zu beobachten. Während einzelne OEMs beispielsweise den E-Motor und das Getriebe gesondert bis ins letzte Detail erproben, legen andere mehr Fokus auf Tests im Modulverbund (E-Motor plus Getriebe). Die Abstände sind aus meiner Sicht sehr Bauteil spezifisch. Während Software (Verbund-Releases) zwischen wenigen Wochen bis zu Monaten abgesichert und freigegeben werden, sind die Zeitspannen bei Hardwarekomponenten deutlich größer.</p>
	<p>7 Was sind die größten Herausforderungen während der Erprobung?</p> <p>8 Im Kontext des softwaredefinierten Fahrzeugs bei der Integration in ein Gesamtsystem? (Aspekte der zunehmenden Vernetzung im Fahrzeug)</p>
<p>..Meilensteine, Freigabe- ..Fahrzeugvernetzung</p>	<p>9 Der zunehmende Vernetzungsaspekt spielt eine sehr große Rolle. Die hohe Komplexität der Vernetzung und das erstmalige Zusammenführend der Software-Teilsysteme und der Hardware führt immer wieder zu Problemen (siehe auch SOP Verschiebungen bei sämtlichen Marken wie Porsche, VW, Audi,..)</p>
	<p>10 Im Kontext der Elektrifizierung von Antriebsstrangkomponenten bzw. des gesamten Antriebsstrang (z. B. größeres Potential von komponentenübergreifenden Funktionen)?</p>
<p>..Fahrzeugvernetzu ..Gesamtsystemerp ..Antriebsstrang</p>	<p>11 Durch die Elektrifizierung wird zwar die Hardware des Fahrzeugs (Vergleich VKM zu E-Achse) deutlich einfacher und wartungsärmer, es ergeben sich aber viele neue Möglichkeiten hinsichtlich Antriebsregelung zB. Torque Vectoring,</p>



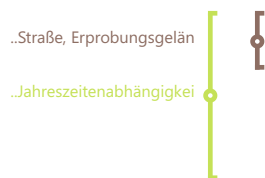
Effizienzsteigerung, Lastverteilung etc. Infolgedessen steigt aber auch der Kommunikationsaufwand zwischen den Modulen/Funktionen (zB. beim Bremsen wird die E-Achse zur Rekuperation genutzt). Hier gibt es gerade beim Testen auf Komponentenebene immer größerer Herausforderungen, da es durch die vielseitigen, gegenseitigen Wechselwirkungen immer schwieriger wird eine einzelne Komponente am Prüfstand zu testen. Aus diesem Grund ist ein Trend Richtung Gesamtfahrzeugprüfstand zu erkennen.

12 **Im Kontext der zunehmenden Automatisierung von Fahrfunktionen (z. B. Einparkassistent, Notbremsassistent, Spurhalteassistent, etc.)?**



13 Der Test und Absicherungsaufwand steigt mit diesen Funktionen noch einmal exponentiell an, da neben dem Gesamtsystem „Fahrzeug“ auch noch die komplexe Wahrnehmung der Umwelt hinzukommt.

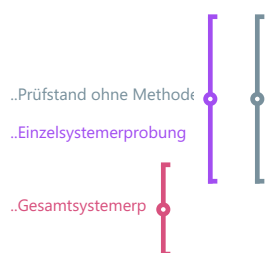
14 **Wie groß ist die Jahreszeitenabhängigkeit im Entwicklungsprozess bzw. in weiterer Folge bei der Erprobung von Fahrzeugen – wie wirken sich nachfolgende Entwicklungsschritte aus?**



15 Bei der Entwicklung werden Jahreszeiten bzw. Winter- und Sommererprobungen fix eingeplant. Diese sind natürlich nur sinnvoll, wenn die zu erprobenden Funktionen davor entwickelt. Ist eine Funktion gar nicht oder nur unzureichend fertig entwickelt, wird die Erprobung sehr ineffizient sein und zu Verzögerungen im Entwicklungsprozesse führen.

16 **Erprobung: Von der Komponentenerprobung bis zum Gesamtsystem**

17 **Wie sieht die grundsätzliche Erprobung / Absicherung / Freigabe eines Fahrzeugs bzw. einer Modellvariante aus (Zyklus von Einzelkomponenten bis zum Gesamtsystem)?**

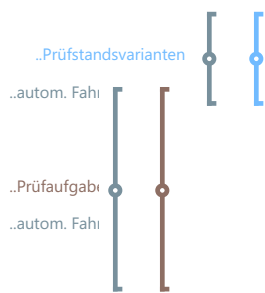
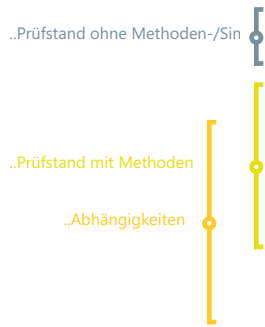


18 **Bauteil- bzw. Komponentenerprobung vs. funktionsorientierter (softwaredefiniertes Fahrzeug) Ansatz?**

19 Im Moment wird noch sehr viel komponentenorientiert entwickelt. Dies ist einerseits historisch bedingt, andererseits in gewisser Art und Weise dem Baukastensystem der OEMs geschuldet. Hier werden teilweise nur Komponenten spezifiziert und entsprechend entwickelt, bevor die Zielplattform etc. bekannt sind. Ähnlich ist das auch bei Zulieferern der Fall. Durch die immer größere Vernetzung wird in Zukunft sicher ein Schritt Richtung funktionsbasiertem Testen unumgänglich sein.

20 **Bevorzugter Test von Einzelsystemen (ohne Querwirkungen durch andere Komponenten / Systeme) oder eher frühzeitige Erprobung im Gesamtsystem (die Komponentenerprobung im Gesamtsystem wäre prinzipiell durch den Ersatz von realen durch virtuelle Komponenten auf entsprechenden Prüfstandssystemen möglich)?**

21 siehe oben.



22 **Wie werden Prüfscenarien für die Funktionserprobung im Rahmen der Antriebsintegration definiert (überwiegend von Versuchen, die aktuell nur durch Straßenversuche erprobt werden (können) [z. B. ESC, ABS, ASR, etc.]? (Informationen / Erkenntnisse aus klassischer Komponentenerprobung, aus Datenbanken, Betrachtung im Rahmen der funktionalen Sicherheit, aus gesetzlichen Anforderungen (z. B. UN ECE, etc.), Szenarien und Situationen aus FoT)?**

23 Viele Testszenarien werden von Straßenversuchen abgeleitet bzw. durch Nachfahrprogramme (reale Messdaten werden als Sollwerte verwendet). Sinnvoll wäre nur die Szenarien entsprechend den Versuchen auf der Straße zu definieren und am Prüfstand einen modellbasierten Ansatz zu verfolgen. Die Testdefinition hängt neben der Art des Prüflings (Komponente, Modul, Gesamtfahrzeug) auch davon ab, ob die Tests von einem OEM oder einem Zulieferer durchgeführt werden. In der Regel haben Zulieferer nur sehr wenig Infos über das spätere Gesamtfahrzeug. Durch intelligente Modellparametrierung kann mit wenig Infos straßenrealistisch getestet werden.

24 **Wie sieht die (zukünftige) Erprobung von automatisierten/autonomen Fahrfunktionen (z. B. ACC, Einparkassistent, Verkehrszeichenerkennung, etc.) aus, wenn verschiedene Prüfscenarien aufgrund der Vielzahl an variablen Parametern nicht oder nur unzureichend definiert werden können (sind statistische Tests eine Option?)?**

25 Auf diesem Gebiet wird sich in den nächsten Jahren noch viel tun. Neben dem Ausbau von SIL und HIL-Systemen wird auch der Integrationsprüfstand eine wichtige Rolle vor der Erprobung auf dem Testgelände einnehmen. Ein wesentlicher Aspekt wird die Generierung von relevanten Testfällen mithilfe von statistischen Methoden und die automatisierte Auswertung der Ergebnisse sein. Wenn selbstlernende Algorithmen für ADAS Systeme weiter Einzug halten (Sprichwort KI) wird sich auch die Testinfrastruktur noch einmal deutlich weiterentwickeln müssen.

26 **Erprobung: Gesamtfahrzeugkontext auf der Straße und am Prüfstand:**

27 **Gibt es eine Definition bzw. Kriterien, welche Erprobungsumfänge bei realen Straßenversuchen – welche bei Versuchen auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt werden (vor allem im Rahmen der Antriebsintegration / Fahrwerk)?**

28 **Ab welchem Meilenstein wird vom Prüfstand auf die Straße gewechselt? [höchstwahrscheinlich werden immer Rückkopplungen zur Komponenten- bzw. System- oder Funktionsentwicklung stattfinden – gibt es aber einen konkreten Zeitpunkt oder finden beide Prozesse immer parallel statt?]**

29 Im Moment findet noch sehr viel parallel statt. Schon in sehr frühen Phasen werden Komponenten in Aggregateträger verbaut und auf Testgeländen oder am Prüfstand erprobt. Bis erste Prototypen der finalen Ausbaustufe zur

..Einzelsystemerprobung
..Prüfstand ohne Methode



Verfügung stehen wird, sobald erste Komponenten zur Verfügung stehen auf geeigneten Komponenten- bzw. Antriebsstrangsprüfständen erprobt.

30 **Welche Funktionen / Systeme werden bei einer klassischen Versuchsreihe erprobt bzw. abgesichert [z. B. bei Wintertests, auf der Rennstrecke, etc.]?**

..Abhängigkeiten



31 Hier sichert glaube ich jeder Fachbereich seine eigenen Funktionen ab. Jeder Fachbereich hat eigenen Prüflinge und Fahrzeuge

32 **Wie hoch sind die Reifegrade dieser Funktionen / Systeme während den ersten Versuchsreihen?**

..Herausforderungen Fahrzeug



33 Kommt aus meiner Sicht auch auf die Neuheit/Innovationsgrad des Systems an.

34 **Welche Probleme treten bei den ersten Versuchsreihen auf?**

..Fahrzeugvernetzung



35 Funktionen müssen noch aufwendig in Betrieb genommen werden. Teilweise Vernetzungsprobleme oder unvorhergesehene Quereinflussungen.

36 **Wie sieht die Aufteilung zwischen sinnvoller Erprobungszeit / Fehleranalyse bzw. Standzeit aufgrund von Problemen aus (z. B. 50:50)?**

..Straße, Erprobungsgelände
Erprobungsvorbereitung,



37 Sinnvoll wäre es, wenn die Standzeiten nahe Null wären und die Fehleranalyse mithilfe automatisierter Auswertewerkzeuge sehr schnell funktioniert. Aus meiner Erfahrung sind die Standzeiten aber gerade bei Realerprobungen auf Teststrecken im Ausland beträchtlich. Durch die schlechte Reproduzierbarkeit werden Fehler oftmals sehr spät erkannt und ineffizient behoben.

38 **Wie sieht die Verfügbarkeit von Teststrecken bzw. Versuchsarealen aus?**

..Herausforderungen Fahrzeug



39 schwer zu sagen, teilweise vermutlich schwieriger an die Fahrzeuge/Prototypen zu kommen

40 **Wie lange dauert üblicherweise eine Versuchsreihe [Zeitraumklassen: 2 Wochen, 4 Wochen, >6 Wochen]?**

Erprobungsvorbereitung / -durchführung



41 ist wahrscheinlich von bis auch alles dabei (kommt vermutlich auch auf die Entfernung an zB. Neuseeland wird sicher länger eingeplant sein)























42 **Wie hoch ist der Prototypeneinsatz (evtl. auch Personalaufwand) während einer realen Erprobung? (2 Fahrzeuge, 6 Fahrzeuge, >10 Fahrzeuge) (5 Personen, 10 Personen, >20 Personen)?**

43 **Werden unterschiedliche Varianten von verschiedenen Funktionssetups / Fahrzeugsetups / Reifegraden oder Betriebsstrategien / Technologien bei einer realen Versuchsreihe erprobt [z. B. Softwareänderungen] oder liegt der Fokus auf dem gleichen Setup bei unterschiedlichen Bedingungen?**

44 Aus meiner Sicht wäre beides sinnvoll, aber keine Ahnung wie die das wirklich machen

	45	Ist der Aufwand für zusätzliches Equipment für eine Versuchsdurchführung hoch [Einsatz von Fahrerroboter, Ground-Truth-Messtechnik, etc.]?
Erprobungsvorbereitung / -durchführung	46	Im Vergleich zur restlichen Erprobung sicher vernachlässigbar
	47	Wie wird mit dem Thema Reproduzierbarkeit umgegangen?
	48	Werden Fahrmanöver mit Robotereinsatz gefahren oder immer manuell?
Erprobungsvorbereitung / -durchführung	49	sowohl als auch, ja nach Funktion und Erprobungsziel
	50	Vordefinierte Anforderungen an die Ausgangsbedingungen (z. B. Temperaturbereich, etc.)?
Erprobungsvorbereitung, ..Straße, Erprobungsgelände oder Teststraßen	51	vermutlich ja, aber in sehr weiten Abgrenzungen
	52	Vordefinierte Anforderungen an die Teststrecke (z. B. Variation von unterschiedlichen Fahrbahnzuständen (trocken, nass, schneebedeckt, etc.), sofern diese Variabilität auf Teststrecken existiert bzw. kontrolliert eingestellt (z. B. nasse Fahrbahn) werden kann
Erprobungsvorbereitung, ..Straße, Erprobungsgelände	53	vermutlich ja, jedoch mit schlechter Reproduzierbarkeit oder synthetischen Oberflächen (Fliesen)
	54	Welche Kriterien gibt es für die Auswertung? (kann das pauschalisiert werden?) quantifizierbare Kriterien oder Vergleich zu anderen Modellen?
	55	wird auch von Fachbereich zu Fachbereich und Funktion zu Funktion verschieden sein. Bei Fahrbarkeit und Komfort gibt es gewisse, einheitliche Kriterien (zB Längsruck)
	56	Wie sieht es mit den Sicherheitsvorgaben / Genehmigungen / Versicherungen von Prototypen aus?
..Straße, Erprobungsgelände, Erprobungsvorbereitung	57	Je nach Umfeld (Testgelände, Straße) eigene Sicherheitsvorgaben und Freigaben/Genehmigungen notwendig. Für Straßentest teilweise hohe Anforderungen
	58	Link zurück zu Frage 7: Werden funktionale Entwicklungen / Versuche / Absicherungen / Freigaben auch auf Antriebsstrang- oder Gesamtfahrzeugprüfständen im Gesamtsystem durchgeführt [wobei nicht real verfügbare oder vorhandene Komponenten durch Simulationsmodelle ersetzt werden (z. B. Karosseriemodell, Reifenmodell, Anhänger, etc.)]?
..Prüfstand mit Methoden-/Simulationen	59	Aktuell werden leider zu wenige Tests auf Gesamtfahrzeugprüfständen, also auf Antriebsstrang und Rollenprüfständen, durchgeführt
	60	Wenn JA:

	61	Welche Versuche werden durchgeführt bzw. auf welchen Versuchen liegt der Fokus?
..Prüfstand mit Methoden-/Simu	62	Potential sicher bei NCAP Manövern (Notbremsen, etc)
	63	Welche Prüfstandsvarianten werden konkret eingesetzt (Rollenprüfstände bzw. Rollenbandprüfstände, Gesamtfahrzeug-Antriebsstrangprüfstände wie der KS R2R)?
..Prüfstandsvarianten	64	HIL Systeme und Testgelände - Grobabsicherung am HIL, Testgelände, Versuche auf der Straße
	65	Gibt es Datenbanken für unterschiedliche Simulationsmodellvarianten oder dessen Parametrierungsstände?
..Abhängigkeiten	66	je nach OEM vermutlich unterschiedlich, aber vermutlich nichts sinnvolles, bei Zulieferern eher nicht
..Prüfstand mit Methoden	67	Wenn NEIN:
..Prüfstand mit Methoden-/Simu	68	Methode noch zu wenig etabliert, teilweise mit großem Anfangsaufwand verbunden, der sich aber schnell wieder rechnet
	69	Ist es das Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung ein entscheidendes Kriterium?
	70	Werden Einschränkungen am Prüfstand im Vergleich zur Straße gesehen / befürchtet?
	71	Gibt es andere Einschränkungen (Verfügbarkeit bzw. Anschaffungskosten von Gesamtfahrzeugprüfständen, Komplexität solcher Systeme im Hinblick auf Bedienung / Wartung, Auslastungsbedenken)?
	72	Wie wird mit dem Thema Methodenabsicherung / Modellabsicherung umgegangen (wie werden diese Methoden verifiziert und validiert)?
	73	Warum werden funktionale Versuche / Absicherungen nicht auf Gesamtfahrzeugprüfständen durchgeführt?
	74	Werden Modelle und Simulationen (physikalische Echtzeit-Modelle von einzelnen Komponenten) im Entwicklungsprozess und in weiterer Folge auf Prüfständen eingesetzt (z. B. für die frühzeitige Energie- bzw. Reichweitenerprobung, Funktionserprobung, etc.)?
	75	Sowohl als auch, leider noch immer zu wenig modellbasiert
	76	Wenn JA:
	77	In welchem Umfang kommen diese Modelle und Simulationen zum Einsatz?

<p>..Prüfstandsvarianten</p> 	<p>78</p>	<p>SIL, MIL, Testing: Simulation von fehlenden Antriebsstrangkomponenten auf Komponentenprüfständen</p>
<p>..Herausforderungen Prüf- Erprobungsergebnisse</p>  	<p>79</p>	<p>Werden Ergebnisse von Simulationen/Modellen als Entscheidungsgrundlage herangezogen?</p>
<p>..Herausforderungen Prüf- Erprobungsergebnisse</p>  	<p>80</p>	<p>In In frühen Phasen evtl. schon. Beim Testen werden Modellausgänge sicher eher weniger herangezogen. Im Simulationsverbund generierte physikalische Messgrößen (gemessenes Moment, Drehzahl,...), jedoch sehr wohl.</p>
<p>..Methoden-/Simulations- bzw. I</p> 	<p>81</p>	<p>Um welche Modelle handelt es sich (CFD, etc.) oder auch physikalische Modelle (z. B. für den Einsatz auf Prüfständen)?</p>
<p>..Methoden-/Simulations- bzw. I</p> 	<p>82</p>	<p>In der Entwicklung sicher beides.</p>
<p>..Methoden-/Simulations- bzw. I</p> 	<p>83</p>	<p>Wenn NEIN:</p>
<p>..Methoden-/Simulations- bzw. I</p> 	<p>84</p>	<p>Aus welchem Grund nicht?</p>
<p>..Methoden-/Simulations- bzw. I</p> 	<p>85</p>	<p>Methode nicht etabliert, bzw keine Modelle vorhanden.</p>
<p>..StraÙe, Erprobungsgelän ..Fahrzeugvernetzung</p>  	<p>86</p>	<p>Wie sehen Sie die Veränderungen vor allem im Bereich des Fahrzeugversuchs in Bezug auf aufkommende ADAS/AD-Funktionalität im Fahrzeug?</p>
<p>..StraÙe, Erprobungsgelän ..Fahrzeugvernetzung</p>  	<p>87</p>	<p>Erprobung von hochautomatisierten Funktionen wird am Testgelände nur sehr eingeschränkt möglich sein und auf der Straße unter realen Verkehrsbedingungen zu gefährlich sein.</p>
<p>..StraÙe, Erprobungsgelän ..Fahrzeugvernetzung</p>  	<p>88</p>	<p>Gibt es besonders bei der Versuchsplanung und -durchführung eine Innovationstrategie im Hinblick auf Veränderungen beim Gesamtfahrzeug?</p>
<p>..Prüfstand mit Methoden-/Simu</p> 	<p>89</p>	<p>Einsatz von Gesamtfahrzeugprüfständen forcieren, evtl. einen Prototypen fix auf einem Gesamtfahrzeugprüfstand aufbauen, der dann den Gesamtentwicklungsprozess auf dem Prüfstand mitdurchläuft und immer alles Updates etc. bekommt. Laufende Korrelation der Ergebnisse (automatisiert) mit Prototypen auf der Straße.</p>
<p>..StraÙe, Erprobung Erprobungsergebn</p>   	<p>90</p>	<p>Würden Sie das V-Modell im Rahmen der Fahrzeugentwicklung / Erprobung (besonders bei der Verifikation / Validierung) noch als zeitgemäß betrachten? Gibt es, besonders für das softwaredefinierte Fahrzeug mit vielen vernetzten Funktionen andere, bessere Ansätze?</p>
<p>Systemintegration zum Gesamf</p> 	<p>91</p>	<p>Die Entwicklung wird im Prinzip ähnlich ablaufen (Definition von Anforderungen, Runterbrechen auf Komponenten, da diese ja auch extern vergeben werden,...). Die Rückflüssen von rechten Ast des V-Modells in den Linken wird in Zukunft durch Frontloading schneller laufen müssen, sodass die Schleifen schneller geschlossen werden</p>
<p>Systemintegration zum Gesamf</p> 	<p>92</p>	<p>Würden Sie noch irgendwelche Ergänzungen anfügen?</p>