




Forschungslandschaft Mobilität Baden-Württemberg – eine Bestandsaufnahme


 Übersicht und Auswertung



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND KUNST

Forschungslandschaft
Mobilität Baden-Württemberg –
eine Bestandsaufnahme

 Übersicht und Auswertung

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4	4	Übersicht zu Ausstattung und Einrichtung	32
1 Einführung und Zielsetzung	6	4.1 Fahrzeug	35	
2 Analyse der Forschungslandschaft Baden-Württembergs	10	4.2 Energie	36	
2.1 Einrichtungen und Standorte	12	4.3 Material und Leichtbau	37	
2.2 Zusammenfassung der Ergebnisse	14	4.4 Produktion	38	
2.3 Übersicht zu den Forschungsschwerpunkten	14	4.5 Elektrotechnik/Sensorik	39	
3 Schwerpunkte der Mobilitätsforschung in Baden-Württemberg	16	4.6 IT und Automatisierung	40	
3.1 Fahrzeug	18	4.7 Sonstiges	40	
3.2 Energie	20	5 Kooperationen in Förderprojekten	42	
3.3 Materialien und Leichtbau	22	Literaturverzeichnis	46	
3.4 Produktion	24	Abbildungsverzeichnis	46	
3.5 Elektrotechnik und Sensorik	25	Abkürzungsverzeichnis	47	
3.6 IT und Automatisierung	26			
3.7 Konzepte und Modelle	28			
3.8 Sonstiges	30			

Vorwort



Innovationskraft, wissenschaftliche Exzellenz und herausragende Forschung sind entscheidende Faktoren für das Gelingen der Transformation Baden-Württembergs vom Land des Automobils hin zu einem führenden Standort klimafreundlicher Mobilitätslösungen. Eine leistungsstarke und an den aktuellen Herausforderungen ausgerichtete Forschungslandschaft ist eine wichtige Basis, um neue Ideen voranzubringen und Wachstum und Wohlstand in unserem Land zu fördern.

Baden-Württemberg verfügt mit herausragenden Universitäten, praxisorientierten Hochschulen für angewandte Wissenschaften, Forschungseinrichtungen und der Dualen Hochschule über eine breite Forschungs- und Innovationslandschaft im Bereich zukünftiger Mobilitätslösungen und der ihr zugrundeliegenden Technologien entlang der Wertschöpfungskette.

Die Studie „Forschungslandschaft Mobilität Baden-Württemberg – eine Bestandsaufnahme“ gibt einen Überblick über bestehende Forschungsfelder, Kompetenzverbünde, beispielhafte Projekte sowie Infrastrukturen und Laborausstattungen an Universitäten, Hochschulen und Forschungseinrichtungen des Landes und greift dabei auf mehr als 100 Profile relevanter Forschungsaktivitäten zurück. Die Profile zeigen die fachliche Breite der Forschungslandschaft. Die Studie kann Partnern inner- und außerhalb des Strategiedialogs Automobilwirtschaft Baden-Württemberg als Nachschlagewerk dienen. Auf der Suche nach fachlichen Ansprechpartnern oder einer bestimmten Laborausstattung können die Profile bei der Recherche helfen. Durch die forschungsorientierte Lehre an den Hochschulen erreichen die Themen auch die Studierenden. Damit bietet die Studie zudem einen detaillierten Blick darauf, welche Themen auf den Nachwuchs an einem Standort einwirken.

Innerhalb des Strategiedialogs Automobilwirtschaft Baden-Württemberg leitet das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst die Themensäule „Forschungs- und Innovationsumfeld“. Die Studie ist ein Baustein für weitere strategische Diskussionen mit Akteuren der Forschungslandschaft. In den Diskussionen wird es um folgende Fragen gehen: Sind wir für die Transformation der Mobilität gerüstet? Welche Stärken und Schwächen haben wir in der Forschungslandschaft? Wo müssen wir uns weiterentwickeln, um auch zukünftig an der Spitze zu bleiben?

Theresia Bauer MdL,
Ministerin für Wissenschaft, Forschung und
Kunst Baden-Württemberg

Franz Loogen, Geschäftsführer
e-mobil BW GmbH

01
EINFÜHRUNG UND
ZIELSETZUNG



01

Einführung und
Zielsetzung



© ZU Friedrichshafen

Die Automobilbranche steht vor dramatischen Umwälzungen, die auf vielfältige Trends wie alternative Antriebe, Vernetzung, autonomes Fahren und flexible Nutzungsmodelle zurückzuführen sind. Dadurch wandelt sich die Bedeutung des Autos vom „Fahrzeug“ zur „Plattform für Mobilitätskonzepte und digitale Angebote“, die vernetzt, autonom und emissionsfrei sein muss. Auf Baden-Württemberg kommen durch die Verschiebung der Bedeutung der Absatzmärkte und die damit verbundene Verlagerung von Wertschöpfungsanteilen ins Ausland weitere strukturelle Herausforderungen zu.

Der Transformationsprozess ebenso wie der internationale Wettbewerb verlangen ein neues Systemverständnis und neue Formen der Zusammenarbeit über Branchen und Technologiesektoren hinweg. Insbesondere für Baden-Württemberg erfordert der Struktur- und Technologiewandel im Mobilitätssystem neue Lösungsstrategien, um den damit verbundenen Herausforderungen an Unternehmen, Arbeitsmarkt und Gesellschaft zu begegnen. Die Landesregierung unterstützt eine erfolgreiche Entwicklung mit einem langfristig angelegten Strategiedialog zur Zukunft der Automobilwirtschaft.

Nur in enger Kooperation zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik wird sich der Strukturwandel erfolgreich bewältigen lassen. Innovationsfähigkeit und Qualifizierung werden eine ausschlaggebende Rolle dabei spielen, ob der Standort Baden-Württemberg als Gewinner oder Verlierer aus dem Prozess hervorgeht.

Baden-Württemberg verfügt im Bereich zukünftiger Mobilitätslösungen mit einer vielfältigen Forschungslandschaft aus führenden Universitäten, Forschungseinrichtungen, den Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HAW) und der Dualen Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) über ein großes Potenzial, technische und wirtschaftliche Lösungsstrategien zu entwickeln und zu erproben sowie (zukünftige) Fachkräfte auszubilden und auf den Struktur- und Technologiewandel im Mobilitätssystem vorzubereiten.

Ziel der vorliegenden Studie „Forschungslandschaft Mobilität Baden-Württemberg – eine Bestandsaufnahme“ ist es, eine umfassende Darstellung der Forschungslandschaft zu zukünftigen Mobilitätslösungen und den ihr zugrunde liegenden Technologien zu geben.

Die Studie gibt einen Überblick über bestehende Lehrstühle und Forschungsbereiche sowie deren besondere Kompetenzen und Forschungsinfrastrukturen. Sie zeigt exemplarisch an bundes- und landesgeförderten Forschungs- und Entwicklungsprojekten bestehende Kooperationsmuster der Forschungslandschaft mit der (regionalen) Wirtschaft auf. Sie bildet damit die Grundlage für eine weiterführende Diskussion zu Stärken und Schwächen der baden-württembergischen Forschungs- und Innovationslandschaft.

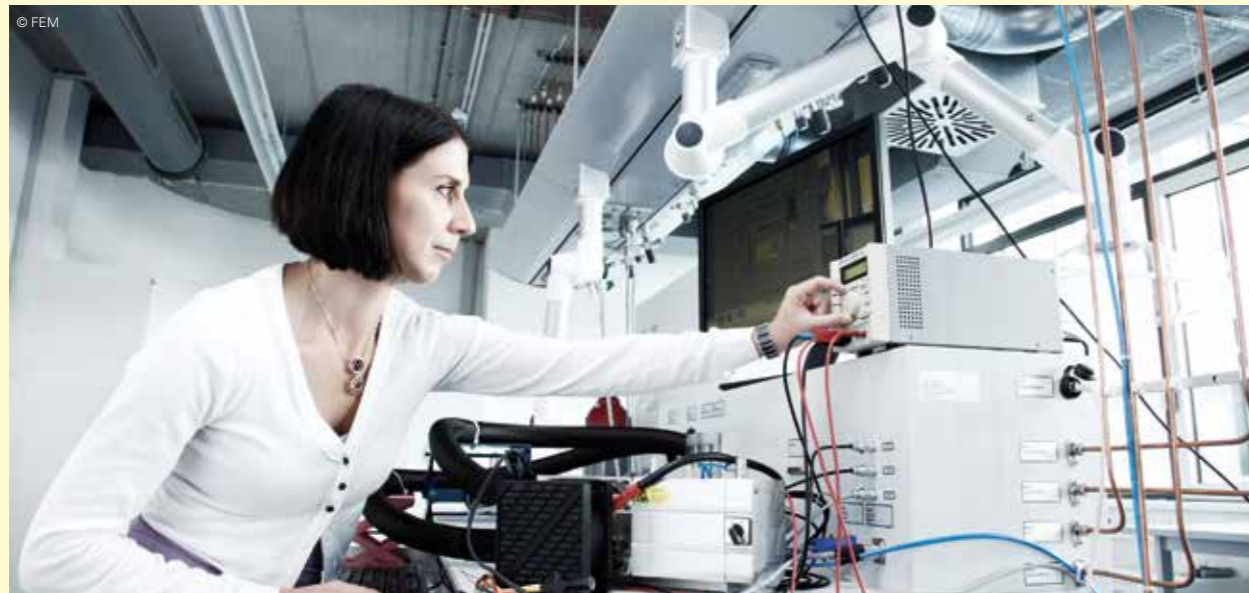
02

**ANALYSE DER
FORSCHUNGSLANDSCHAFT
BADEN-WÜRTTEMBERGS**



02

Analyse der Forschungslandschaft
Baden-Württembergs



2.1 Einrichtungen und Standorte

Die Studie hat zum Ziel, das Potenzial der Forschungslandschaft in Baden-Württemberg im Hinblick auf den Wandel der Automobilwirtschaft und des Mobilitätssystems aufzuzeigen. Die vorliegende Auswertung erfolgt auf Basis der im zweiten Band (e-mobil 2018) dokumentierten Profile der Institutionen. Die Studie gibt eine Übersicht über die Art der Einrichtung, den Forschungsschwerpunkt sowie über die Ausstattung und vorhandene Infrastruktur.

Die 118 Profile teilen sich in Universitätsinstitute (56 Profile), Hochschulen für angewandte Wissenschaften (26 Profile), die Duale Hochschule Baden-Württemberg (5 Profile) und sonstige Einrichtungen wie Fraunhofer-Institute, aber auch Kooperations- bzw. Infrastruktureinrichtungen (31 Profile) auf. Universitätsinstitute mit Bezug zu Mobilität und Produktion umfassen Institute der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), der Universität

Heidelberg, der Universität Hohenheim, der Universität Stuttgart, der Universität Ulm und der Zeppelin-Universität Friedrichshafen. Mit 30 Profilen, bei denen teilweise sogar nach Unterarbeitsgruppen differenziert wurde, stellt hierbei das KIT die höchste Anzahl.

Im Unterschied dazu fassen einige Profile der Hochschulen für angewandte Wissenschaften alle Aktivitäten zum Thema Mobilität für mehrere Institute der jeweiligen Hochschule (z.B. Hochschule Furtwangen, Hochschule Heilbronn) zusammen. Die Forschungslandschaft Mobilität erstreckt sich über Einrichtungen aus ganz Baden-Württemberg, wie die Übersicht der geographischen Verteilung in Abbildung 1 deutlich macht.

Unter der Bezeichnung „Sonstige FuE-Einrichtungen“ sind einerseits unabhängige Institute, andererseits aber auch Kooperationen oder Infrastruktureinrichtungen erfasst. Diese finden sich in Denkendorf, Freiburg, Karlsruhe, Reutlingen, Schwäbisch Gmünd, Stuttgart, Villingen-Schwenningen und Ulm.

Mit neun Einrichtungen liegt hier Stuttgart an der Spitze. In Karlsruhe und Stuttgart finden sich wiederum die meisten der erfassten Institutionen. Sonstige FuE-Einrichtungen sind z. B. die Deutschen Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf (DITF), das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), das Forschungsinstitut Edelmetalle + Metallchemie (fem), das Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS), das Institut für Mikroelektronik Stuttgart (IMS CHIPS), die Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e. V., das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und verschiedene Fraunhofer-Institute.

Die erfassten Kooperationen und Infrastruktureinrichtungen ARENA2036, CELEST, Europäisches Institut für Energieforschung (EIFER), Fraunhofer-Anwendungszentrum KEIM an der Hochschule Esslingen, Labornetzwerk Baden-Württemberg für Elektromobilität XiL-BW-e, Forschungskompetenzfeld für Logistik und Wertschöpfung (LOGWERT) sowie Profilregion Mobilitätssysteme Karlsruhe nehmen eine Sonderstellung ein. Sie bündeln Expertise und Infrastrukturangebote jeweils mehrerer beteiligter Partner und bieten damit ein breiteres Angebot als einzelne Institute. Wie sich aus den im Band „Forschungsprofile“ (e-mobil 2018) exemplarisch dokumentierten Verbundprojekten mit Beteiligung von Forschungspartnern aus Baden-Württemberg zeigt, reicht die inhaltliche Beteiligung der (öffentlichen) Forschung über den hier dokumentierten Kreis hinaus.¹

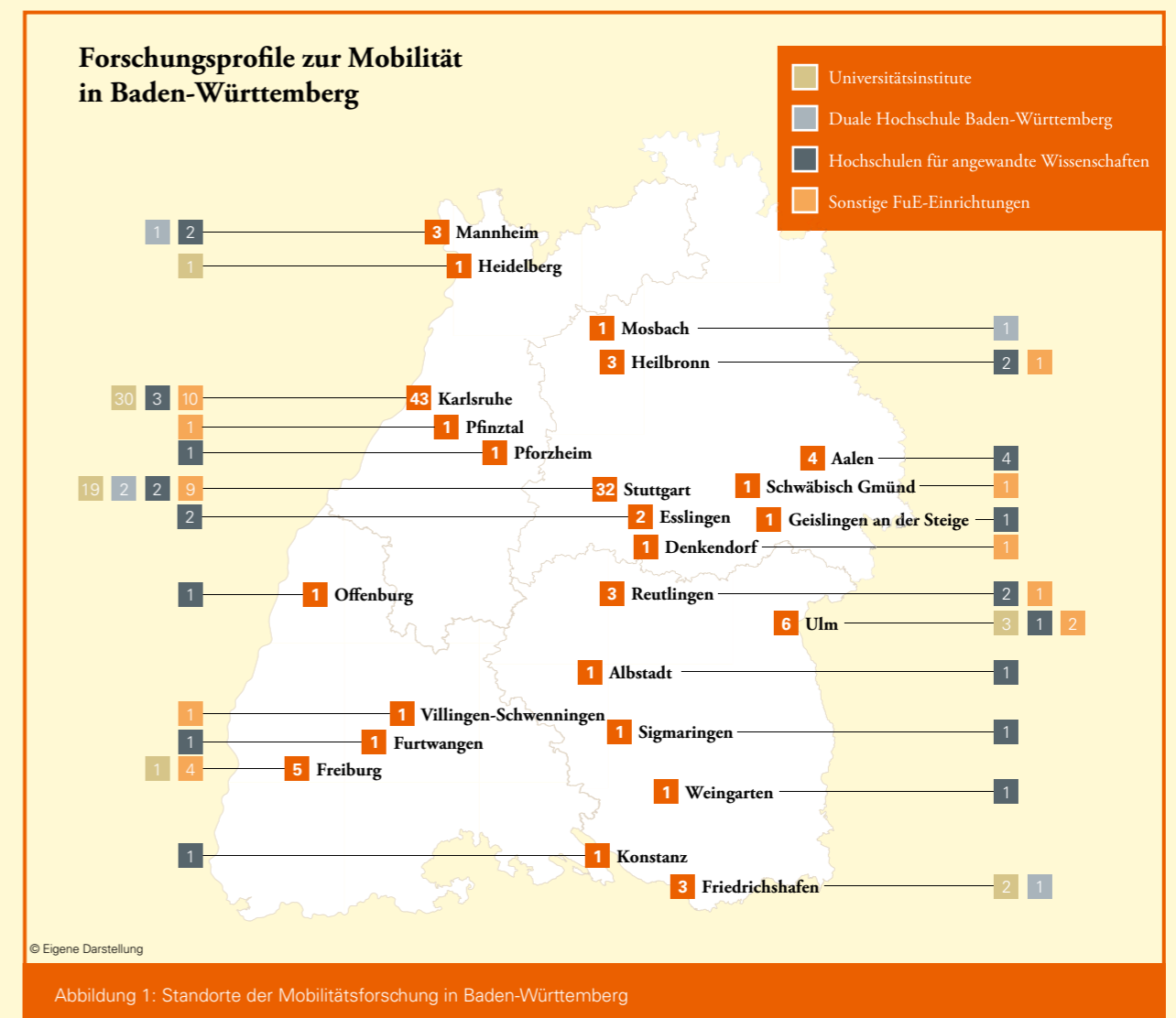


Abbildung 1: Standorte der Mobilitätsforschung in Baden-Württemberg

¹ | Beispielsweise ist die Eberhard Karls Universität Tübingen u. a. am vom BMBF geförderten Verbundprojekt „Frühzeitige Validierung von Safety- und Security-Anforderungen in autonomen Fahrzeugen – SATISFY“ beteiligt.

2.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die bestehende Forschungslandschaft in Baden-Württemberg deckt alle, nach heutigem Kenntnisstand für zukünftige Mobilitätssysteme relevanten, Bereiche ab.

Ausgehend von einer breiten Basis an Forschungsthemen rund um den klassischen Fahrzeugbau und den verbrennungsmotorischen Antrieb findet sich eine Vielzahl von Instituten und Einrichtungen, die sich mit der Elektrifizierung des Antriebsstrangs, aber auch mit Themen wie der Verwendung alternativer Kraftstoffe beschäftigen. Elektromobilität bildet dabei ein Schwerpunktthema der Mobilitätsforschung in Baden-Württemberg und schließt Forschung und Entwicklung zu Batteriezellen und Batteriesystemen und – in etwas geringerem Maße – auch zur Brennstoffzellentechnologie ein. Der Bereich Batterie befasst sich außer mit Lithium-Ionen-Batterien auch mit zukünftigen Technologien wie Lithium-Schwefel-Zellen, Natrium-Ionen-Zellen, Metall-Luft-Systemen oder Redox-Flow-Batterien.

In diesen Bereichen ist auch eine Vielzahl entsprechender Testeinrichtungen vorhanden: Neben technischen Fahrzeug- und Komponentenprüfständen gibt es zahlreiche Testfelder und Versuchsfahrzeuge für verschiedene Zwecke. Die Entwicklung wird dabei vielfach durch Simulationen ergänzt.

Ein weiteres Schwerpunktthema sind Leichtbau und die Entwicklung sowie der Einsatz neuer Materialien.

Als Querschnittsthema zieht sich durch diese Themenbereiche die Produktion, deren Wandlung unter dem Begriff „Industrie 4.0“ und die damit verbundenen Anforderungen. Hier stehen ebenfalls vielfältige Testeinrichtungen zu cyber-physischen Systemen und der Mensch-Maschine-Interaktion zur Verfügung.

Neben diesen „klassischen“ Themen der Fahrzeugentwicklung und des Fahrzeugbaus gewinnen zunehmend die Bereiche Softwareentwicklung und Elektronik an Bedeutung. Relevante Themen für die IT-Entwicklung sind:

- automatisiertes/autonomes Fahren
- vernetztes Fahren
- Flotten-/Energiemanagement

Ergänzende Themen wie Geodaten oder Photogrammetrie erlangen wachsende Bedeutung für das Mobilitätssystem. Es ist davon auszugehen, dass sich bei allen Forschungsfeldern zur Digitalisierung des Mobilitätssystems weiter wachsender Bedarf

ergibt. Mit dem Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg in Karlsruhe steht bereits heute eine entsprechende Versuchsumgebung in Baden-Württemberg zur Verfügung.

Bei Entwicklungen im Bereich Assistenzsysteme und Interaktion steht der Nutzer im Mittelpunkt. Dies spiegelt sich in zahlreichen Forschungsaktivitäten zu Usability und Nutzerverhalten und entsprechenden Laboreinrichtungen wider.

Unterstützt werden die Forschungsaktivitäten durch zahlreiche techno- und sozioökonomische Untersuchungen in unterschiedlich ausgerichteten Institutionen, die Trends analysieren, Bewertungen zu Technologien und Folgenabschätzungen durchführen sowie Zukunftsszenarien und Technologieroadmaps erstellen und bewerten.

Das Bild, das diese Studie widerspiegelt, ist nur eine Momentaufnahme. So wurden während der Endkorrektur der Studie Exzellenzcluster bewilligt, die zukünftig wesentliche Beiträge der hier dargestellten Forschungslandschaft liefern werden: Die Universität Ulm und das KIT konnten mit dem gemeinsamen Antrag für das Exzellenzcluster „Energiespeicherung jenseits von Lithium – neue Speicherkonzepte für eine nachhaltige Zukunft“ ebenso überzeugen wie die Universität Stuttgart mit dem Exzellenzclusterantrag „Daten-integrierte Simulationenwissenschaften (SimTech)“. Das gemeinsam von KIT und der Universität Heidelberg erfolgreich eingereichte „3D Matter made to Order“ als drittes relevantes Exzellenzcluster will dreidimensionale additive Fertigungsverfahren von der Ebene der Moleküle bis hin zu makroskopischen Abmessungen für neuartige Anwendungen untersuchen und entwickeln.

2.3 Übersicht zu den Forschungsschwerpunkten

Die mit den Profilen erfassten Einzelthemen lassen sich in acht FuE-Schwerpunkte zusammenfassen.

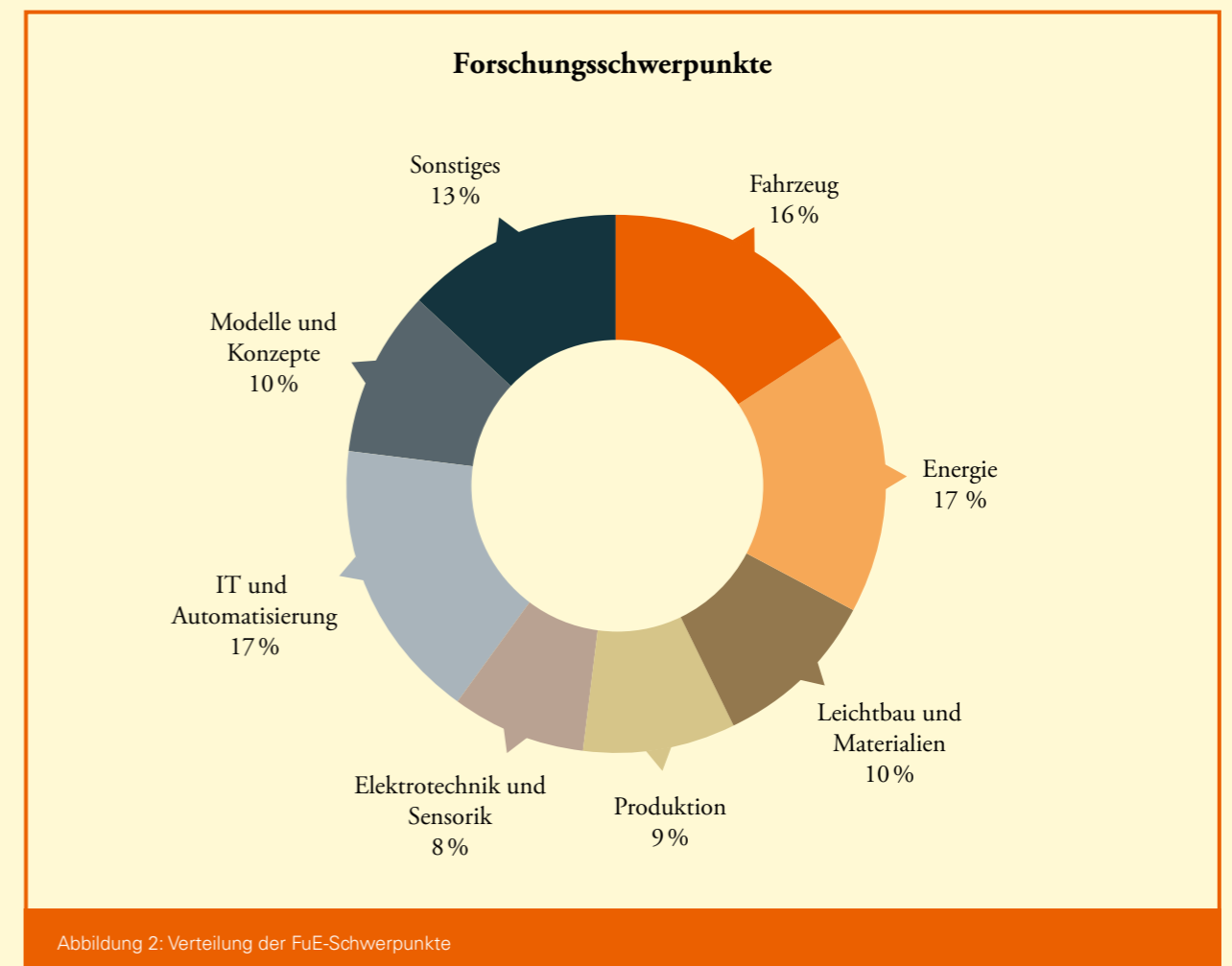
- Fahrzeug: z. B. Antriebe, Fahrzeugkonzepte (auch Schienenfahrzeuge, sonstige Fahrzeuge, Flugzeuge) inkl. Konstruktion, Entwurf
- Energie: z. B. Batteriesysteme inkl. Elektrochemie, Brennstoffzellentechnologie, Energie (Systemanalyse, Infrastruktur, Energiequellen)
- Materialien und Leichtbau: Werkstoffe, Leichtbau- und sonstige Materialien

- Produktion: Fertigungsprozesse, Industrie 4.0 und cyber-physische Systeme
- Elektrotechnik und Sensorik: Leistungselektronik und Energiewandler, Sensorik, Kommunikationstechnik
- IT und Automatisierung: Daten- und Signalverarbeitung, Mensch-Maschine-Schnittstelle und -Anwendungen, Geodaten und Navigation, intelligente vernetzte Systeme, Sicherheit und Privacy
- Konzepte und Modelle: Mobilitätskonzepte und Mobilitätsmanagement, Verkehrsplanung und Stadtentwicklung
- Sonstiges:
 - Nutzerschnittstellen und Usability für Vernetzung und Assistenzfunktionen

- technoökonomische und sozialwissenschaftliche Analysen
- Methoden und Sonstiges

Jede Einrichtung kann mehreren Schwerpunkten zugeordnet sein.

Die Schwerpunkte der Forschung liegen auf den Bereichen Energie (31 Profile), IT und Automatisierung (31) und Fahrzeug (29). Diese stehen in engem Zusammenhang mit den Bereichen Leichtbau und Materialien (17), Produktion (16), Elektrotechnik und Sensorik (14). Im Bereich „Sonstige“ (23) sind unterschiedliche Aktivitäten zusammengefasst, wie Untersuchungen zu Usability und Kommunikation, aber auch technoökonomische und sozialwissenschaftliche Analysen. Hierbei wird Modellentwicklung und Planung für das Mobilitätssystem und den Verkehr in 18 Profilen als Thema genannt.



03 SCHWERPUNKTE DER MOBILITÄTSFORSCHUNG IN BADEN-WÜRTTEMBERG



03

Schwerpunkte der Mobilitätsforschung in Baden-Württemberg



Die Forschungsprofile im gleichnamigen zweiten Band dieser Studie sind durchnummeriert, so dass sich die Zuordnung zur folgenden Auswertung leichter herstellen lässt.

3.1 Fahrzeug

Zugehörige Profile:

2, 9, 10, 12, 13, 18, 20, 25, 28, 31, 37, 38, 48, 50, 58, 59, 74, 76, 83, 84, 87, 88, 91, 92, 96, 102, 103, 115, 117

Neben der Entwicklung neuer Fahrzeug- und Mobilitätskonzepte stehen Entwicklungen für elektrische und hybridelekt-

sche Fahrzeuge im Mittelpunkt. Hier bilden der Antriebsstrang und dessen Optimierung einen wichtigen Forschungsschwerpunkt. Neben konventionellen, elektrischen und hybridelektrischen Antrieben werden auch Antriebe mit alternativen Kraftstoffen betrachtet. Fahrzeuge umfassen in der Hauptsache Kraftfahrzeuge, aber auch Schienenfahrzeuge, Pedelecs, Arbeitsmaschinen und Flugzeuge. Die technische Entwicklung wird dabei zunehmend integrativ und vor dem Hintergrund der Mobilitätsanforderungen der Nutzer und der Zukunft gesehen.

Im Allgemeinen spielt bei allen Forschungsaktivitäten in diesem Schwerpunkt neben Konzeption und experimentellem Test der Prototypen, Prüfstände und Versuchsfahrzeuge auch die Simulationstechnik eine große Rolle bei der Entwicklung. Folgende Arbeitsfelder wurden in diesem Schwerpunkt genannt.

Themenfelder	Beispiele
Fahrzeug-Antriebe	<ul style="list-style-type: none"> → Effizienzsteigernde Technologien und Optimierung für konventionelle sowie hybride und elektrische Antriebe sowie neuartige Energiewandlungskonzepte → Optimierung von Fahrwerk und Antrieb in Kombination, optimierte Betriebsstrategien → Energie- und Thermomanagement-Konzepte → Steuerung und Regelung → Elektromotoren für alle Fahrzeugtypen → Alternative Brennverfahren für alternative Kraftstoffe (synthetische Kraftstoffe aus Biomasse, Flüssiggas und Erdgas)
Kraftfahrzeug und Komponenten	<ul style="list-style-type: none"> → Zunehmende Automatisierung zur prädiktiven optimalen Steuerung der Komponenten → Schwingungsverhalten und Akustik → Fahrzeugaerodynamik → Thermomanagement und Wärmetransportvorgänge → Fahrdynamiksysteme und Regelungen → Sonstige Komponenten: optische Systeme, Rollverhalten/Reifen, Fahrzeugklimatisierung, technische Zuverlässigkeit der elektronischen Systeme
Neue Fahrzeugkonzepte	<ul style="list-style-type: none"> → Offene Fahrzeugplattformen → Konzepte für eine nachhaltige, nutzerorientierte, sichere, vernetzte und auch Verkehrsmodi-übergreifende Mobilität und intelligente Transportprozesse → Straßen- und Schienenfahrzeuge → Einbeziehung von Nutzeranforderungen, Einsatzfällen sowie Raum-, Energie- und Leistungsbedarfen (u. a. Feldstudien, Simulationen)
Sonstige Fahrzeuge	<ul style="list-style-type: none"> → Pedelecs: Brems- und Sicherungssystem, elektrischer Leistungsbedarf, Energiemanagement; Cargo Pedelec mit Brennstoffzelle → Antrieb und Fahrwerk sowie automatisierte Lösungen für Schienenfahrzeuge und elektrifizierte Busse → Elektrisches und hybridelektrisches Fliegen auf Basis von Brennstoffzelle und Batterie → Zukunftskonzepte für mobile Arbeitsmaschinen, u. a. Steuerungs- und Assistenzsysteme sowie hydraulische, elektrische und hybride Antriebstechnik (Deep-Learning-Methoden) → Seilbahnen in urbanen Räumen

Ein wesentliches Schwerpunktthema in Baden-Württemberg ist die Optimierung des Antriebs. Es umfasst die Entwicklung, Erprobung und Evaluierung von Konzepten für hybride und elektrische Antriebe, aber auch die Optimierung konventioneller Antriebe. Elektrische Antriebe werden meist auf Basis von Batterietechnologie, aber teilweise auch von Brennstoffzellen untersucht. Alternative und regenerative Kraftstoffe wie gasförmige und flüssige synthetische Kraftstoffe spielen eine eher untergeordnete Rolle, werden aber z. B. am Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS) betrachtet.

Weitere Schwerpunkte der Kraftfahrzeugentwicklung umfassen u. a. Untersuchungen zu Schwingungen und akustischen Optimierungen, Fahrzeugaerodynamik, Thermomanagement und Optimierung von Wärmetransportvorgängen z. B. für die Batteriekühlung oder die Kühlung elektronischer Geräte oder Fahrdynamiksysteme. Darüber hinaus werden so unterschiedliche Themen wie Fahrzeugklimatisierung, Reifen und Rollverhalten, Einsatz optischer Technologien im Fahrzeug und die technische Zuverlässigkeit und Sicherheit von im Auto betriebenen elektronischen Systemen betrachtet. Auch hier spielt die zunehmende Automatisierung und Vernetzung eine Rolle. Beispielsweise untersucht das Lichttechnische Institut am KIT optische Systemassistenten und lichtbasierte Fahrerassistenz auf Basis optischer Systeme für autonomes Fahren und Mensch-Maschine-Interaktion.

Neue Fahrzeugkonzepte und offene Fahrzeugplattformen haben eine nutzerorientierte, sichere, vernetzte Mobilität zum Ziel und umfassen Straßen- und Schienenverkehr ebenso wie disruptive und Verkehrsmodi-übergreifende Konzepte. Die Konzepte beziehen Nutzeranforderungen sowie Raum-, Energie- und Leistungsbedarfe ein, um intelligente Transportprozesse zu entwickeln. Beispielsweise entwickelt das Institut für Fahrzeugkonzepte des DLR neuartige Fahrzeugkonzepte (Next Generation Car) für ein „InterUrban Vehicle“, ein „Safe Light Regional Vehicle“ und ein „Urban Modular Vehicle“ in einem umfassenden Ansatz mit einer ganzheitlichen Bewertung neuer technischer Lösungen vor dem Hintergrund zukünftiger Nutzer- und Logistikkonzepte.

Außer dem Kraftfahrzeug werden auch weitere Fahrzeuge betrachtet. Am häufigsten wird das Pedelec untersucht, insbesondere an Hochschulen für angewandte Wissenschaften und der Dualen Hochschule Baden-Württemberg. Das DLR entwickelt ein Cargo-Pedelec mit Brennstoffzellentechnologie. Aber auch die Optimierung und der Einsatz automatisierter

Lösungen für Schienenfahrzeuge (Institut für Fahrzeugsystemtechnik am KIT) sowie neue Konzepte für das elektrische und hybridelektrische Fliegen auf Basis von Brennstoffzelle und Batterie werden untersucht (z. B. Universität Stuttgart, Institut für Flugzeugbau). Das Teilinstitut Mobile Arbeitsmaschinen (Mobima) am Institut für Fahrzeugsystemtechnik (FAST) des KIT betrachtet Zukunftskonzepte für mobile Arbeitsmaschinen, d. h. Steuerungs- und Assistenzsysteme sowie hydraulische, elektrische und hybride Antriebstechnik.

3.2 Energie

Den Schwerpunkt bilden die Profile:

1, 2, 5, 37, 43, 48, 50, 52, 53, 54, 57, 58, 60, 71, 73, 74, 81, 82, 85, 87, 89, 93, 94, 101, 102, 105, 106, 109, 112, 115, 118

Dieser sehr wesentliche Schwerpunkt für das zukünftige Mobilitätssystem stellt die Entwicklung von Batteriesystemen sowie – in geringerem Umfang – auch Brennstoffzellen in den Mittelpunkt. Dies umfasst nicht nur die Entwicklung und Untersuchung der Zellen und Systeme, sondern auch deren Produktion. Hier beschäftigt sich eine Vielzahl von Instituten mit der Entwicklung von Batteriesystemen und Batteriekonzepten zur effizienten und ressourcenschonenden Energiespeicherung. Im Mittelpunkt steht die Optimierung der Systeme hinsichtlich Lebensdauer und Kosten, wobei hier auch ein enger Zusammenhang mit dem Bereich IT (Batteriemangement) und Elektronik (Energiewandler) besteht. Darüber hinaus wird auch Energieerzeugung mit einem Schwerpunkt auf Photovoltaik untersucht. Arbeitsfelder umfassen:

Themenfelder	Beispiele
Batteriesysteme	<ul style="list-style-type: none"> → Elektrische und elektrochemische Reaktions- und Transportvorgänge → Lithium-Ionen-Batterien (z. B. Mikrostruktur der Elektroden) und Post-Lithium-Ionen-Batterien wie Lithium-Schwefel-Batterie → Neue Speichertechnologien: Natrium-Ionen-Zellen, Metall-Luft-Systeme, Redox-Flow-Batterien → Neue Materialien für Elektrolyte und Kathodenmaterialien → Wärmemanagement und Kühlkonzepte → Be- und Entladung, Alterung und Lebensdauer → Batteriedesign und -assemblierung → Batteriemangement → Produktion von Batteriesystemen, Elektrodenherstellung und -beschichtung, Zellherstellung und -montage sowie Recyclingkonzepte → Konzepte für den Aufbau und Betrieb von Ladeinfrastruktur, auch induktives Laden
Brennstoffzelle	<ul style="list-style-type: none"> → Reaktions- und Transportvorgänge → Zell-, Modul- und Systemtechnik für die Brennstoffzelle → Kostenreduktion und Leistungserhöhung des Brennstoffzellensystems (z. B. Optimierung der Wasserversorgung, Kühlung der Brennstoffzelle, Alterung der Membran) → Materialentwicklung für Elektroden und Katalysatoren → Produktion von (PEM-)Brennstoffzellen → Wasserstoffinfrastruktur (z. B. dezentrale Betankung, Recycling)
Energieerzeugung in Bezug auf Mobilität	<ul style="list-style-type: none"> → Elektromobilität: intelligente Systemsteuerung; Schaltungs- und Sicherheitstechnik sowie Regelung der Netzeinspeisung, Integration in Betreibernetzstrukturen → Integration der Photovoltaik in Mobilitätssystem oder Fahrzeug → Erneuerbare Energiequellen: thermisch (Wasser, Wind, Solarthermie), photochemisch (biogene Brennstoffe), photoelektrisch (Photovoltaik)

Der Schwerpunkt der Batterieentwicklung liegt auf Lithium-Ionen-Batterien und der Weiterentwicklung der sogenannten „Post-Lithium-Ionen“-Systeme wie Lithium-Schwefel-Batterien und Lithium-Luft-Batterien (z. B. Helmholtz-Institut Ulm, CELEST), aber auch an neuartigen Batteriesystemen wie Redox-Flow-Batterien und Festkörperbatterien wird geforscht (z. B. Freiburger Materialforschungszentrum der Albert-Ludwig-Universität Freiburg). Dabei werden neben experimentellen Untersuchungen, Materialentwicklung, Charakterisierung und Batterietestung auch Simulationsrechnungen zur Validierung durchgeführt. Dies betrifft die elektrochemische Modellierung, Methoden zur modellgestützten Werkstoffentwicklung und die Beschreibung der Batteriealterung und darauf aufbauend die Ableitung optimierter Ladestrategien (z. B. Universität Stuttgart, Institut für Systemdynamik). Hier spielt auch das Batterie-

management eine wichtige Rolle (z. B. Institut für nachhaltige Energietechnik und Mobilität der Hochschule Esslingen).

Zudem werden der Bau von Prototypen und Batteriemodulen sowie der Herstellungsprozess betrachtet (z. B. Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie), auch Zellherstellung und -montage für Batterien sowie Recycling-Konzepte (z. B. Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung). Darüber hinaus werden Konzepte für den Aufbau und Betrieb von Ladeinfrastruktur entwickelt und optimiert sowie induktives Laden untersucht (Universität Stuttgart, Institut für Elektrische Energiewandlung).

Der Bereich der Brennstoffzelle stellt einen weiteren – wenn auch weniger ausgeprägten – Schwerpunkt dar. Untersucht werden

Festelektrolyt- und Polymer-Brennstoffzellen, aber auch Direkt-Ethanol-Brennstoffzellen (DEFC) und alkalische Methanol-Brennstoffzellen.

Auch hier stehen neben experimentellen Untersuchungen zu Prozessen die Materialentwicklung, numerische Simulationen und Modellierung, aber auch Herstellungsmethoden im Mittelpunkt. Untersuchungen zur Wasserstoffinfrastruktur für Brennstoffzellenfahrzeuge werden z. B. im Forschungscluster Elektrochemie der Hochschule Mannheim durchgeführt. Im Bereich Energieerzeugung liegt der Fokus auf erneuerbaren Energiequellen, insbesondere auch Photovoltaik. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme untersucht z. B. die Integration von Photovoltaik in Fahrzeuge zur Unterstützung der Antriebsbatterie, für die Bordelektronik oder Kühlfahrzeuge/-container sowie die Integration von Photovoltaik in die Verkehrsinfrastruktur. Zudem werden u. a. die Einbindung von Elektrofahrzeugen in Betreibernetze und das zugehörige Management untersucht (z. B. Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung).

3.3 Materialien und Leichtbau

Der Schwerpunkt umfasst die Profile:

4, 11, 37, 43, 63, 66, 73, 74, 84, 88, 90, 95, 102, 105, 108, 116, 117

Das Themenfeld beschäftigt sich mit der Untersuchung, Weiterentwicklung und Fertigung von Werkstoffen. Dies betrifft verschiedenartige Werkstoffe für den Fahrzeugbau, um die Sicherheit, Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Funktionalität von Bauteilen zu optimieren. Das Schwerpunktthema Leichtbau nimmt hier mit der Entwicklung und Optimierung von Faserverbundwerkstoffen und von Leichtbaustrukturen aus Metallen oder Metall-Hybriden einen breiten Raum ein. Auch hier ergänzen sich experimentelle Untersuchung und Simulationen des Werkstoffverhaltens. Forschungsthemen umfassen:

Im Bereich Werkstoffe werden die Weiterentwicklung von Werkstoffen und deren Fertigungsprozessen, strukturelle, mechanische oder tribologische Eigenschaften sowie Sicherheit, Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Funktionalität von Bauteilen untersucht. Hier spielen auch Simulation z. B. zu plastischen Verformungen oder Tribologie eine Rolle und ergänzen experimentelle Untersuchungen. Ein Beispiel sind Untersuchungen am Institut für Angewandte Materialien, Computational Materials Science des KIT. Das Institut beschäftigt sich mit der Optimierung tribologischer Systeme sowie mit Lösungen für Reibungsminderung und Verschleißschutz wie technische Keramik, neuartige Schmierstoffe, Tribowerkstoffe sowie tribologische Schichtsysteme.

Ein weiteres wesentliches Schwerpunktthema stellt der Leichtbau sowohl für Kraftfahrzeuge als auch für den Flugzeugbau dar. Die Forschung umfasst neben Carbon- und Keramikfasern und den daraus abgeleiteten Faserverbundwerkstoffen auch Leichtmetalle und Leichtbau durch Strukturbauteile und CFK-Metall-Hybrid-Bauweisen. Die Entwicklungen umfassen neben experimentellen Untersuchungen und Analytik auch Modellbildung und Simulation und schließen den Fertigungsprozess ein.

Insbesondere für den Leichtbau wird häufig ein integrativer Ansatz verfolgt, der folgende Schritte betrachtet: Analyse von Leichtbaupotenzialen, Entwicklung und Validierung von Leichtbaustrukturen, Strukturoptimierung mittels Simulation, Konstruktion und Auslegung von additiv gefertigten Strukturen und von Faserverbundstrukturen sowie auch eine ökologische und ökonomische Betrachtung.

Beispielsweise beschäftigt sich die Hochschule Aalen, Institut Gießerei Technologie, mit der Neu- und Weiterentwicklung von Gießprozessen und Werkstoffen im Bereich Aluminium und Magnesium. Dazu gehören auch CFK-Aluminium- und CFK-Magnesium-Hybridbauteile. Die Entwicklung der Gießprozesse wird durch Simulationen und ein Labor für Werkstoffprüfung unterstützt.

Der Fokus des Instituts für Textilchemie und Chemiefasern der DITF liegt auf der Entwicklung von Hochleistungsfasern, speziell von Carbon- und Keramikfasern und der daraus abgeleiteten Faserverbundwerkstoffe. Das Institut betrachtet die Entwicklung von Fasern aus neuen Materialien ebenso wie nachhaltige Produktionsprozesse und Technologieintegration.

Themenfelder	Beispiele
Werkstoffe	<ul style="list-style-type: none"> → Sicherheit (Defekte, Ermüdungsverhalten), Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Funktionalität von Werkstoffen in Bauteilen → Materialdesign, Weiterentwicklung von Werkstoffen sowie deren verfahrenstechnische Herstellungsprozesse → Hochleistungslegierungen und galvanische oder funktionale Beschichtungen → Beurteilung der Leistungsgrenzen und gezieltes Einstellen von Funktionen und Eigenschaften (Materialdesign) → Tribologie: Reibungs- und Verschleißforschung, Optimierung, Reibungsminderung, Verschleißschutz etc. → Simulation z. B. für plastische Verformungen, tribologische Prozesse
Leichtbau	<ul style="list-style-type: none"> → Polymerchemie, Entwicklung von Hochleistungsfasern, speziell von Carbon- und Keramikfasern und daraus abgeleiteten Faserverbundwerkstoffen, Wiederverwendbarkeit der Materialien → Leichtmetalle und Oberflächenbehandlung, Hochleistungslegierungen und funktionale Beschichtungen → Leichtbau durch Strukturbauteile, CFK-Metall-Hybrid-Bauweisen (z. B. Gießereitechnik) → Nachhaltige Herstellungs- und Testverfahren von Leichtbaustrukturen aus metallischen und Faserverbundwerkstoffen, z. B. Herstellung: Sheet Molding Compound (SMC), Resin Transfer Molding (RTM), thermoplastisches RTM (T-RTM), langfaserverstärkte Thermoplaste/Tapelegen und Polyurethan-Systeme → Produktentwicklung mit Fokus Leichtbau und Bionik: Analyse von Leichtbaupotenzialen, Entwicklung und Validierung von Leichtbaustrukturen, Strukturoptimierung → Methoden zur Berechnung, Simulation und Optimierung faserverstärkter Kunststoffe

3.4 Produktion

Den Schwerpunkt bilden die Profile:

13, 21, 37, 38, 45, 46, 54, 58, 77, 84, 85, 88, 105, 109, 110, 111

Das Schwerpunktthema gliedert sich in zwei Bereiche: Das Thema Industrie 4.0 und cyber-physische Systeme sowie die Entwicklung innovativer Fertigungsprozesse. Das Thema Industrie 4.0 ist eng mit Entwicklungen im Bereich IT verknüpft hinsichtlich Vernetzung und Mensch-Maschine-Schnittstellen, aber auch mit Sensorik und Signalverarbeitung. Im Mittelpunkt stehen hier eine sich selbst organisierende und interagierende Produktion und der Einsatz von Robotik und fahrerlosen Transportsystemen.

Das Schwerpunktthema Industrie 4.0 und cyber-physische Systeme mit der Entwicklung flexibler, sich selbst organisierender und besser interagierender Produktionsstrukturen wird von verschiedenen Instituten verfolgt. Dies umfasst die Entwicklung „intelligenter“ Maschinen, Werkzeuge, Werkstücke oder auch Aufträge, Sensoren und Aktorennetzwerke sowie die digitale Vernetzung (z. B. Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung). Aber auch Zukunftsthemen wie fahrerlose Transportsysteme oder autonome Roboter spielen eine Rolle. Beispielsweise entwickelt das Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme am KIT fahrerlose Transportsysteme zum Transport von Kleinladungsträgern, Gestellen oder Paketen sowie Fahrzeugplattformen für Indoor- und Outdooranwendungen (z. B. autonomes Verteilen von Paketen). Wichtig ist hierfür auch die Mensch-Maschine-Kooperation mit der Nutzung neuartiger Funktionen und Dienste für verschiedene Anwendungen z. B. intralogistische Systeme. Hier werden neue Konzepte integriert, beispielsweise Gestensteuerung, d. h. die Erkennung von Personen und Interpretation von Gesten sowie Steuerung mittels Virtual Reality. Sicherheitsfunktionen zur sicheren Zusammenarbeit mit dem Menschen müssen berücksichtig

Themenfelder	Beispiele
Industrie 4.0 und cyber-physische System	<ul style="list-style-type: none"> → Selbstorganisierende, interagierende und dynamische Produktion → Mobile Robotik und fahrerlose Transportsysteme → Wandelbare Produktionslogistik → Intelligente Steuerungskonzepte/-algorithmen für die Produktion und Intralogistiksysteme → Intelligente Automatisierungssysteme (u. a. Machine Learning) → Automatisierte, modulare und/oder Plug-and-Play-Fördertechnik → Maschine-Mensch-Interaktion: intuitiv, multimodal, Nutzung neuartiger Funktionen, Dienste und Eigenschaften wie Gestensteuerung → Digitaler Zwilling und Anwendung in der Automatisierungstechnik → Fehlermanagement und Absicherung
Innovative Fertigungsprozesse	<ul style="list-style-type: none"> → Fertigungsprozesse für konturgenaue und funktionale Bauteile mit definiertem Eigenschaftsprofil → Steuerungsarchitektur und -algorithmen, Antriebsregelung → Maschinenentwicklung und Materialflussautomatisierung → Produktionsstrategien, Produktionssystemplanung und Qualitätssicherung → Lasertechnik für die laserbasierte Fertigung → Mikroproduktion, Leichtbaufertigung, Elektromobilität, additive Fertigung → Simulation: z. B. Maschinenkomponenten, elektrische und elektronische Schaltungen, Prozesse zur virtuellen Inbetriebnahme → Planung, Simulation und Visualisierung von Logistiksystemen

sichtigt werden (vgl. auch Schwerpunkt IT). Der Forschungscampus ARENA2036 hat sich zu einem beispielgebenden Zentrum für Forschung und Entwicklung für (Leichtbau-) Produkte und Produktionssysteme des zukünftigen Fahrzeugbaus entwickelt und bietet mit seiner flexiblen Forschungsfabrik Raum und Rahmen für zahlreiche Kooperationsprojekte zwischen Industrie und öffentlicher Forschung. Ein wesentlicher Schwerpunkt ist das Thema „Fluide Produktion“ mit der Entwicklung eines menschenzentrierten, cyber-physischen Produktionssystems für die Mobilität der Zukunft. Daneben steht in diesem Schwerpunkt auch Forschung und Entwicklung für Produktions-, Maschinen- und Fertigungstechnik im klassischen Sinn im Fokus. Dies umfasst die Entwicklung von innovativer Fertigungstechnik wie z. B. ganzheitliche Lösungen für Werkzeugmaschinen und Mechatronik, Leichtbaufertigung oder Elektromobilität (vgl. Leichtbau/Energie). In integrativen Ansätzen werden dabei Wechselwirkungen zwischen Produktentwicklung, Produktion und Werkstofftechnik einbezogen und Simulationen zur Optimierung auf allen Ebenen der Produktionstechnik und der Produktionsplanung eingesetzt.

3.5 Elektrotechnik und Sensorik

Der Schwerpunkt umfasst die Profile:

2, 5, 15, 23, 31, 35, 62, 71, 80, 86, 87, 110, 111, 113

Die Bedeutung von Sensorik und Leistungselektronik auf dem Gebiet der Mobilitätssysteme wächst dramatisch an. Sensorik spielt dabei vor allem vor dem Hintergrund der Automatisierung und Vernetzung sowie für cyber-physische Systeme eine Rolle, Leistungselektronik insbesondere für die elektrische Antriebstechnik. Neben Anwendungen für die Mobilität werden v. a. auch integrierte Schaltungen und Systeme für Automatisierungstechnik und Industrie 4.0 entwickelt.

Als Arbeitsfelder zählen dazu:

Themenfelder	Beispiele
Leistungselektronik und Energiewandler	<ul style="list-style-type: none"> → Energiewandler, Multilevel-Umrichter und neuartige Umrichtertopologien, Untersuchungen zu Magnetmaterialien und Magnettechnik sowie Systemintegration → Simulationen, Auslegung und Optimierung leistungselektronischer Systeme → Anwendungsspezifische integrierte Schaltungen (ASIC) für die Anwendung in vernetzten Systemen, Optimierungsalgorithmen und Verfahren zur Entwurfsautomatisierung integrierter Schaltungen → Machine Learning, Deep-Learning-Technologien → Mikroelektronik-Systeme für verbesserte Steuerungs- und Regelungsmöglichkeiten → Neue Leistungshalbleiter-Komponenten: neuartige Halbleitermaterialien mit großer Bandlücke (z. B. Siliziumcarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN)) → großflächige M(E)MS: hochpräzise Membranen aus Silizium
Sensorik	<ul style="list-style-type: none"> → Video- und radarbasierte intelligente Sensoriken für die automatische Fahrzeugführung (Signalverarbeitung) → Bildgebende Sensorik: monoskopische und stereoskopische Kameras sowie Lidar → Mikrosystemtechnische Vitalsensorik zur Fahrerüberwachung → Sensoren zur Lokalisierung von Schienenfahrzeugen wie Wirbelstromsensoren → Eingebettete elektronische Systeme
Kommunikationstechnik	<ul style="list-style-type: none"> → Antennen, Radartechnik → Wellenausbreitung und Charakterisierung des Funkkanals → Mikrowellen- und mm-Wellenschaltungstechnik

In der Leistungselektronik werden Bauelemente und Halbleitertechnologien für die batterie-nahe Elektronik und Batteriemanagementsysteme entwickelt, neue Schaltungskonzepte sowie Auslegung, Prototypenbau und Vermessung von Umrichtern und Stromrichtern untersucht. An der Hochschule Aalen beispielsweise bündeln das Institut für Materialforschung und das Labor für elektrische Antriebstechnik und Leistungselektronik ihre Kompetenzen auf den Gebieten Magnetmaterialien und Magnettechnik sowie Systemintegration im Forschungsschwerpunkt Energiewandler.

Das Schwerpunktthema Sensorik umfasst eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme: video- und radarbasierte sowie bildgebende Sensoriken für verschiedene Anwendungen. Diese reichen von der Oberflächenkontrolle über Kamerasysteme zur Defekterkennung bei produzierten Gütern bis zu automatischer und vernetzter Fahrzeugführung. Wesentlich sind auch die Signalverarbeitung und die Integration in das Gesamtsystem, wobei hier ein enger Zusammenhang mit dem Schwerpunkt IT und Automatisierung besteht.

Das Institut für Mikroelektronik Stuttgart (IMS CHIPS) beschäftigt sich beispielsweise mit der Halbleiterintegration, integrierten Schaltungen und Systemen, M(E)MS-Technologien sowie Nanostrukturierung ebenso wie mit bildgebender Sensorik. Die bildgebende Sensorik steht in engem Zusammenhang mit Bildverarbeitungsaufgaben und der Entwicklung entsprechender Algorithmen für den Einsatz in automatisierten Systemen bzw. Fahrzeugen.

Ein weiteres Beispiel bietet das Institut für Technik der Informationsverarbeitung am KIT. Es befasst sich z. B. mit der Umfelderkennung mittels Sensoren unterschiedlicher Technologien, physiologischem und emotionalem Monitoring des Fahrers, hochperformanter Hardware sowie der Entwicklung und Absicherung autonomen Fahrens. Dies umfasst u. a. eingebettete Systeme für selbstorganisierte Sensor-Aktor-Netzwerke oder Hardware-in-the-Loop-Tests eingebetteter elektronischer Systeme, speziell (selbstlernender) Fahrerassistenzsysteme.

Des Weiteren wird in diesem Bereich die Kommunikationstechnik z. B. am Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik des KIT mit Radartechnik, Mikrowellentechnik und Millimeterwellensystemen untersucht. Dabei stehen Funkkommunikation, Wellenausbreitung ebenso wie Antennen und integrierte Hochgeschwindigkeitsschaltungen im Mittelpunkt.

3.6 IT und Automatisierung

Der Schwerpunkt umfasst die Profile:

6, 10, 13, 17, 19, 22, 26, 27, 30, 33, 34, 39, 40, 41, 42, 44, 48, 50, 54, 60, 66, 70, 77, 79, 97, 98, 99, 100, 104, 115, 117

Für das autonome Fahren und für die Produktion der Zukunft steigen die Anforderungen an Zuverlässigkeit und Sicherheit von IT-Systemen, an Genauigkeit und Schnelligkeit von Objekterfassung und -auswertung und an Algorithmen zur Steuerung von Fahrzeugen und Maschinen. Daten- und Signalverarbeitung spielen eine wachsende Rolle aufgrund der zunehmenden Vernetzung und der Kommunikation der Systeme und Komponenten untereinander. Auch Disziplinen wie Geodäsie und Photogrammetrie kommt zunehmende Bedeutung im Mobilitätssystem zu, da ohne echtzeitfähige Positionierung und hochgenaue Kartendaten autonomes Fahren nicht möglich wäre. Themenstellungen umfassen:

Themenfelder	Beispiele
Daten- und Signalverarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> → Signal-, Bild- und Informationsverarbeitung, Sensorauswertung → Algorithmen, Datenstrukturen und Kommunikationsstrategien → Untersuchung großer Datenströme und komplexer Datenstrukturen → Bildverarbeitung und Mustererkennung, u. a. 3D-Rekonstruktion, Objektklassifikation, Objekterkennung und -verfolgung → Automatische Sichtprüfung zur Überwachung und Steuerung industrieller Prozesse → Innenraumüberwachung und Intentionserkennung für neue Assistenzfunktionen → Semantische Umweltmodellierung, Szeneverstehen, Deep-Learning-Methoden → Lernmodelle/-methoden: probabilistische und formale (Lern-)Methoden für die Interpretation von Bildern oder Abläufen zur besseren Präsentation von Wissen → Leistung, Energieeffizienz und Programmierbarkeit von Computersystemen
Mensch-Maschine-Schnittstelle und Anwendungen	<ul style="list-style-type: none"> → Mensch-Maschine-Kooperation wie z. B. Fahrerassistenzsysteme und Industrie 4.0 → Qualitätssicherung in der Automotive-Produktion durch Unterstützung des Arbeiters durch intuitive Mensch-Maschine-Schnittstellen → Ubiquitous Computing und Usability Engineering → Emotional Computing und Intelligent Interaction: neue Interaktionsformen durch Sprache, Haptik und Gestik mithilfe aktueller Sensorik
Geodaten und Navigation	<ul style="list-style-type: none"> → Drei- und vierdimensionale Geodaten und kinematische Multisensor-Positionsbestimmung zur Lokalisierung von Fahrzeugen und zur automatischen Erstellung von Karten → Fahrzeugnavigations- und Ortungssysteme: globales Navigationssatellitensystem – „Global Navigation Satellite System“ (GNSS) auf Basis von Positions- und Bewegungsdaten mittels geeigneter Sensoren → Navigationssysteme für fahrerlose Transportfahrzeuge: freie Navigation, Multi-Robot-Pfadplanung, digitale Straßenkarte und echtzeitfähiger Kartenabgleich („Map Matching“) → Entwicklung von Systemkonzepten für die Beobachtung und Regelung von bewegten Objekten z. B. zur Steuerung von Arbeitsmaschinen → Photogrammetrie: hochpräzise 3D-Oberflächenerfassung → Graph-Algorithmen (Verkehrssimulationen, Routenplanung)
Intelligente vernetzte Systeme	<ul style="list-style-type: none"> → Neuartige Mobilitätskonzepte zur Automatisierung von Fahrzeugen und Robotersystemen → Vernetzung von hochautomatisierten Fahrzeugen und deren Energiesystemen: Lokalisierung, Situationsinterpretation, Modellierung und Manöverplanung → Neuartige Kommunikationskanäle für kooperatives Fahren → Lernende und kooperierende multimodale Roboter oder Servicerobotik → Bewegungen und Trajektorienoptimierung von Industrierobotern, unbemannten Luftfahrzeugen oder Schwarmrobotern → Optische Systemassistenten und lichtbasierte Fahrerassistenz, Automatisierung schwerer Arbeitsmaschinen von der Sensorauswertung über die Neumodellierung bis hin zur Bewegungsplanung und -regelung
Sicherheit und Privacy	<ul style="list-style-type: none"> → Prüf- und Absicherbarkeit von Fahrerassistenzsystemen → Datenschutz und Sicherheit bei kooperativem und vernetztem Fahren → Software Engineering und Beurteilung der Qualität und Sicherheit von Software

Das zunehmend automatisierte Fahren setzt Datenerfassung mittels Sensoren, Auswertung und Interpretation sowie Vernetzung voraus. Signalverarbeitung umfasst dabei die Analyse, Interpretation und Manipulation der Signale und ist ein wichtiger Forschungsschwerpunkt. Die Bildverarbeitung und Mustererkennung umfasst u. a. 3D-Rekonstruktion, Objektklassifikation, Objekterkennung und -verfolgung und semantische Umweltmodellierung für verschiedene Anwendungsschwerpunkte.

Am Institut für Industrielle Informationstechnik des KIT wird beispielsweise die Bildverarbeitung zur automatischen Sichtprüfung zur Erkennung von Defekten eingesetzt, bei der über eine visuelle Inspektion die Qualität der produzierten Güter geprüft wird. Am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme des KIT erfolgt z. B. für Roboter über eine 2D- und 3D-Bilderkennung eine Identifikation und Greifpunktbestimmung von Objekten. Bildverarbeitungsmethoden zur Rekonstruktion von Szenen-Geometrien sowie deren Interpretation zur Vorhersage des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer werden am Institut für Mess- und Regelungstechnik des KIT untersucht. Hier werden auch Methoden der künstlichen Intelligenz wie Deep Learning eingesetzt.

Mit der Automatisierung verknüpft sind zudem Entwicklungen im Bereich Mensch-Maschine-Interaktionen. Diese werden sowohl stationär (z. B. über Datenvisualisierungen) als auch mobil eingesetzt. Vor allem in der Produktion spielen die Entwicklung von Augmented Reality und die Übertragung visueller und akustischer Inhalte eine Rolle. Neue Interaktionsformen durch Sprache, Haptik und Gestik können für Fahrerassistenzsysteme mithilfe aktueller Sensorik erfasst und mit Methoden der Signal- und Bildverarbeitung, der künstlichen Intelligenz, der wissensbasierten und lernenden Systeme sowie der interaktiven Systeme analysiert werden (z. B. DHBW Stuttgart, Fakultät Technik).

Die Untersuchung zu Geodaten, Multisensorortung und die automatische Erstellung von Karten für Fahrzeugnavigations- und Ortungssysteme (GNSS) sind ebenfalls wesentlich für das automatisierte Fahren. Das Institut für Ingenieurgeodäsie der Universität Stuttgart beschäftigt sich z. B. mit drei- und vierdimensionalen Geodaten und der kinematischen Multisensor-Positionsbestimmung zur Lokalisierung von Fahrzeugen. Auf Basis der Daten werden Ansätze zur fahrzeugautonomen sowie zentral gestützten Positionsbestimmung von Land- und Schienenfahrzeugen entwickelt.

Daneben stehen in diesem Schwerpunkt digitale Abbilder, die Vernetzung und die Kooperation mittels Informationsaustausch und Software für intelligente vernetzte Systeme wie z. B. hochautomatisierte Fahrzeuge oder vernetzte Produktionssysteme im Mittelpunkt (vgl. Schwerpunkt Produktion). Dies umfasst auch neue Konzepte und Algorithmen für kooperatives Fahren und Manöverplanung. Beispielsweise verfolgt das Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB) gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Interaktive Echtzeitsysteme am KIT einen integrativen Ansatz. Es werden Verfahren und Konzepte zur Automatisierung von Fahrzeugen und Robotersystemen entwickelt, die Sensorauswertung, Lokalisierung, Situationsinterpretation, Modellierung und Manöverplanung sowohl in strukturierten Straßenumgebungen als auch in unstrukturiertem Gelände umfassen. Darüber hinaus liegt ein Fokus auf neuartigen Kommunikationskanälen für kooperative Fahrzeuge, der Energieoptimierung von Fahrentscheidungen und Studien zum menschlichen Verhalten im Kontext der zukünftigen Mobilität. Eine Anwendung ist die Automatisierung von Arbeitsmaschinen z. B. für den Einsatz in gesundheitsgefährdenden Umgebungen.

Da IT-Sicherheit, d. h. Privacy, Sicherheit und Datenschutz, einen sehr wesentlichen Aspekt vor dem Hintergrund der zunehmenden Vernetzung der Systeme darstellt, sind auch hier einige Institute aktiv, u. a. das Institut für Informationssicherheit, Universität Stuttgart, und das Kompetenzzentrum für angewandte Sicherheitstechnologie am KIT (KASTEL). In diesem Bereich werden u. a. Analysen mit Verifikation der Systeme für Qualität, Zuverlässigkeit und Sicherheit durchgeführt.

3.7 Konzepte und Modelle

Den Schwerpunkt bilden die Profile:

3, 6, 9, 14, 29, 47, 55, 71, 73, 74, 75, 77, 78, 83, 101, 107, 114, 117

Neue Mobilitätskonzepte und Modelle zur Verkehrsplanung werden vor dem Hintergrund der Transformation des Mobilitätssystems entwickelt. Dabei stellt auch die Integration in Stadt- und Raumplanung ein Thema dar. Themenstellungen umfassen:

Themenfelder	Beispiele
Verkehrsplanung und Stadtentwicklung	<ul style="list-style-type: none"> → Erfassung von Verkehrsdaten, auch aus neuen Datenquellen wie z. B. Mobilfunkdaten, Sensordaten und Daten aus sozialen Netzwerken → Empirische Mobilitätsforschung: Analyse des individuellen Mobilitätsverhaltens → Verkehrssimulation und Routenplanung, Wirkungsabschätzung: mikroskopische Verkehrsnachfragemodelle, Verkehrsfluss-Simulation → Verkehrsentwicklungsplanung unter Einbeziehung von Fuß- und Radverkehr → Verkehrstechnik und -telematik → Verkehrsbetriebswirtschaft: Analyse und Optimierung verkehrlicher Strukturen und Prozesse → Integrierte Stadtentwicklung: Stadtverkehr und stadtverträgliche Mobilität, städtebauliche Anforderungen und Lösungsansätze unter Berücksichtigung von Raumstrukturen und Mobilitätskonzepten
Neue Mobilitätskonzepte und Mobilitätsmanagement (auch für Logistik)	<ul style="list-style-type: none"> → Identifikation, Ableitung und Motivation individueller, Verkehrsmodi-übergreifender Mobilitäts- und Transportkonzepte und hierfür erforderliche Technologien → Strategien für eine Transformation der Mobilität (Elektromobilität, autonomes Fahren, Digitalisierung, Fahrzeug-Sharing und Intermodalität) → Analysen der ökonomischen und ökologischen Potenziale und von Märkten und Trends → Datenbasierte Geschäftsmodelle und neue Services → Fahrversuche und Messfahrten → Analysen von Nutzerverhalten über quantitative und qualitative Methoden (auch Simulationsmodelle)

Klassische Methoden der Verkehrsplanung befassen sich mit der Erfassung von Verkehrsdaten, Verkehrsnachfragemodellen und Verkehrsfluss-Simulation (z. B. Institute für Verkehrswesen des KIT und der Universität Stuttgart). Hier wird auch empirische Mobilitätsforschung durchgeführt, mit der systematischen Analyse des individuellen Mobilitätsverhaltens oder Untersuchungen zur Alltagsmobilität z. B. durch das Institut für Geographie und Geoökologie, Arbeitsgruppe Humangeographie des KIT. Hier werden quantitative und qualitative Methoden eingesetzt und darauf aufbauend Lösungen für das Mobilitätsangebot und die dafür erforderlichen Infrastrukturen entwickelt.

Darüber hinaus werden mit sehr unterschiedlichen Ansätzen Konzepte und Strategien für eine Transformation der Mobilität durch die Einbeziehung von Elektromobilität, autonomem Fahren, Digitalisierung, dem Trend zu Fahrzeug-Sharing und Intermodalität untersucht. Hier werden auch Verkehrsinfrastrukturfinanzierung und die Auseinandersetzung mit dem Prozess der verkehrspolitischen Willens- und Entscheidungsbildung betrachtet (LOGWERT). Dies umfasst z. B. innovative und nach-

haltige Entwicklungen in der Transportlogistik, regionale Standortentwicklung und Verkehrsinfrastruktur, Perspektiven für die letzte Meile im urbanen Raum oder auch intelligente und vernetzte Logistik. Auch die Auswirkungen der neuen Mobilitätskonzepte auf eine integrierte Stadtentwicklung und den Stadtraum werden untersucht (KIT, Institut Entwerfen für Stadt und Landschaft).

3.8 Sonstiges

Der Schwerpunkt umfasst die Profile:

7, 8, 16, 20, 24, 32, 36, 51, 56, 60, 61, 64, 65, 67, 68, 69, 72, 74, 79, 83, 85, 88, 114

Unter „Sonstiges“ sind so unterschiedliche Themen wie Usability und Nutzerschnittstellen, technoökonomische Analysen und sonstige Themen zusammengefasst. Insbesondere die Untersuchung von Nutzerschnittstellen erlangt vor dem Hintergrund von Mensch-Maschine-Interaktion und automatisierten Fahrens

an Bedeutung. Hier besteht ein enger Zusammenhang zu dem Schwerpunkt IT und Automatisierung sowie zur Produktion. Analysen neuer Mobilitätskonzepte und deren Wirkungen erfolgen über vielfältige technoökonomische Ansätze:

Themenfelder	Beispiele
Nutzerschnittstellen, Usability, Kommunikation für individualisierte Assistenzfunktionen und Vernetzung	<ul style="list-style-type: none"> → Untersuchungen zu Interaktionen (Sprache, Haptik, Gestik) z. B. mittels Fahrsimulatoren → Untersuchungen zu Kommunikationsverhalten → Umgang mit automatisierten oder autonomen Systemen, Bedienkonzepte → Akzeptanzstudien zu autonomem Fahren mit Probanden (Fahrsimulatoren) → Analysen durch mitfahrende Beobachtung und Auswertung von Text, Film- und Bilddaten von Fahrern → Human-Centered Mobile Computing: Ergonomie und effiziente Nutzbarkeit mobiler computerbasierter Hilfsmittel und Softwareapplikationen → Usability Analysen, User-Experience-Studien, Personal User Experience
(Techno)-ökonomische und sozialwissenschaftliche Analysen	<ul style="list-style-type: none"> → Markt-, Technologie- und Wertschöpfungsanalysen für neue Mobilitätsangebote (z. B. Fahrzeugautomatisierung, -vernetzung, -elektrifizierung und Sharing von Mobilitätsressourcen) → Technikfolgenabschätzung zu automatisiertem Fahren, Untersuchung der Innovations- und Diffusionsprozesse im Mobilitätssystem → Zukunftstrends in der Automobilwirtschaft → Roadmaps für technologische Entwicklung → Untersuchung gesellschaftlicher und politischer Rahmenbedingungen → Konzepte, Methoden und Strategien für die Erforschung sozio-technischen Wandels → Innovationsforschung zu nachhaltiger Mobilität, Stadtentwicklung, Energietransformation → Wertschöpfungskettenanalyse: Verschiebungen der Wertschöpfungsketten durch den Transformationsprozess, neue Strategie- und Marketingkonzepte
Sonstige	<ul style="list-style-type: none"> → Entwicklungsmethodik und -management → Kooperative Innovationskultur, Wissenskultur: Agile Methoden für Innovations- und Wissensmanagement



Nutzerschnittstellen, Usability und die Interaktion von Fahrer und Fahrzeug gewinnen an Bedeutung. Dies betrifft u. a. die Erforschung nutzerfreundlicher Fahrzeuge bzw. von deren Komponenten und Funktionen und den Umgang mit automatisierten oder autonomen Systemen (z. B. Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation des KIT). Akzeptanzstudien für das automatisierte Fahren werden u. a. am Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen der Universität Stuttgart mit Probanden in Fahrsimulatoren durchgeführt. Daneben wird in mitfahrender Beobachtung und Auswertung von Text, Film- und Bilddaten von Fahrern deren Verhalten analysiert.

Technoökonomische und sozialwissenschaftliche Analysen werden an vielen Instituten, jedoch in unterschiedlicher Weise und mit verschiedenen Schwerpunkten durchgeführt:

- technoökonomische Analyse der energetischen Wertschöpfungskette
- Technikfolgenabschätzung zu automatisiertem Fahren, Untersuchung der Innovations- und Diffusionsprozesse im Mobilitätssystem
- Zukunftstrends und Innovationsforschung in verschiedenen Handlungsfeldern: Energietransformation, Mobilität, Stadtentwicklung, Umwelt- und Klimaschutz
- volkswirtschaftliche Analysen der Entwicklungen des Mobilitätsmarkts und des Energiesystems

→ Untersuchungen zu ökonomischen Transformationsprozessen und Strukturwandel vor dem Hintergrund des Wandels der Mobilität

Darüber hinaus ist unter „Sonstige“ auch Entwicklungsmethodik erfasst, wie z. B. am Institut für Produktentwicklung des KIT, das neben der Entwicklung von Komponenten, wie Antriebssysteme oder tribologischen Systemen, auch Produktentstehungsmodelle aus Sicht der Systemtheorie betrachtet.

04 ÜBERSICHT ZU AUSSTATTUNG UND EINRICHTUNG



04

Übersicht zu
Ausstattung und
Einrichtung



Parallel zu den identifizierten Technologieschwerpunkten wurden die folgenden Kategorien betrachtet:

- Fahrzeug: Prüfstände für das Gesamtfahrzeug, für Komponenten und sonstige Testeinrichtungen
- Energie: Analyseprüfstände für Batterien etc., Labore zur Entwicklung und Herstellung, sonstige Analytik
- Material und Leichtbau: Labore für Materialentwicklung und Analytik

- Produktion: Produktionslabore, Robotiklabore, Simulationen
- Elektrotechnik und Sensorik: Simulationen, Entwicklungslabore, Testeinrichtungen
- IT und Automatisierung: Tools, Sensorik und Labore
- Sonstiges:
 - Testfahrzeuge und Testfelder
 - Fahrsimulator und Usability Labs
 - sonstige Labs/Demonstratoren
 - Sonstiges

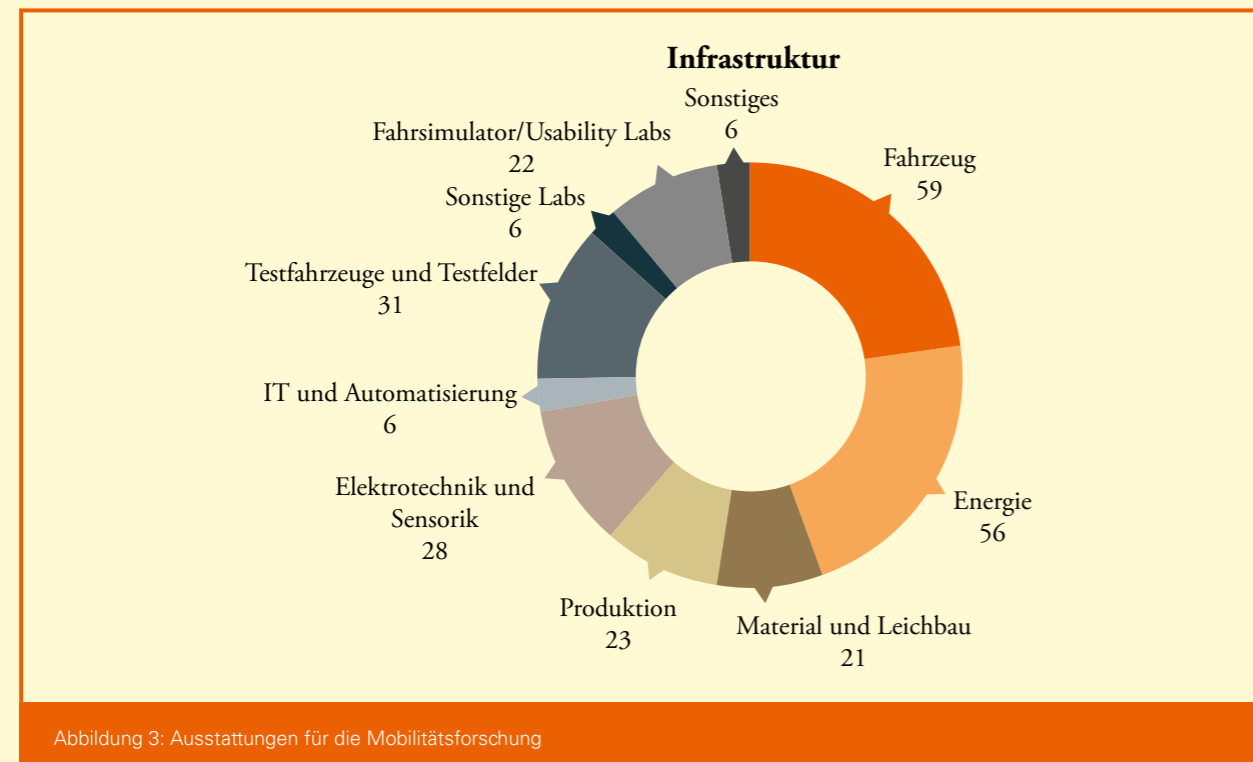


Abbildung 3: Ausstattungen für die Mobilitätsforschung

Ein Schwerpunkt an Ausstattung ergibt sich im Bereich Fahrzeug (59 Einrichtungen), insbesondere bei Komponentenprüfständen, aber auch im Bereich Energie (56 Einrichtungen), hier insbesondere bei Analyseeinrichtungen. In allen Bereichen werden Simulationen parallel zur Entwicklung eingesetzt. Hierbei ist teilweise eine entsprechende Infrastruktur an Rechnersystemen erforderlich, die hier nicht weiter ausgeführt wird.

4.1 Fahrzeug

Der Schwerpunkt liegt auf Komponentenprüfständen, die es in einer großen Bandbreite gibt (29 Profile). Hier liegt der Fokus auf der Untersuchung von Antrieben. Testeinrichtungen für Antriebe von Pkw, Nutzfahrzeugen und mobilen Arbeitsmaschinen umfassen verschiedene Antriebsstrang-/Motorenprüfstände v. a. zur Untersuchung konventioneller und elektrifizierter Antriebsstränge. Sonstige Komponentenprüfstände sind sehr vielfältig und reichen von Akustikprüfständen über Rollenprüfstände bis zu Prüfständen für tribologische Systeme. Außerdem erfolgen experimentelle Untersuchungen und Tests

mit verschiedener Messtechnik, wie z. B. Strömungsmesstechnik, Spektroskopie, Abgasmesstechnik, Korrosionsprüfung oder im Windkanal.

Ein Gesamtfahrzeugprüfstand für Pkw und Nutzfahrzeuge befindet sich am Institut für Fahrzeugsystemtechnik, Teilinstitut Fahrzeugtechnik des KIT. Für Pedelecs stehen – vorwiegend an HAW und der DHBW – ebenfalls umfangreiche Testeinrichtungen wie Pedelec-Prüfstand, Pedelec-Antriebsprüfstand, Prüfstand für Elektromotoren bis 20 kW oder Leistungsmessgeräte zur Verfügung. Für Schienenfahrzeuge gibt es z. B. ebenfalls Antriebsprüfstände oder einen Schienensensorikprüfstand. Zusätzlich stehen verschiedene Versuchsfahrzeuge und Fahrversuchsflächen ebenso zur Verfügung wie z. B. Kraftstoffinfrastruktur für Sonderkraftstoffe inklusive Erdgas und Wasserstoff (u. a. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme).

Beispiele für ein umfassendes Angebot an Infrastruktur sind das Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart bzw. das Institut für Verbrennungsmotoren und

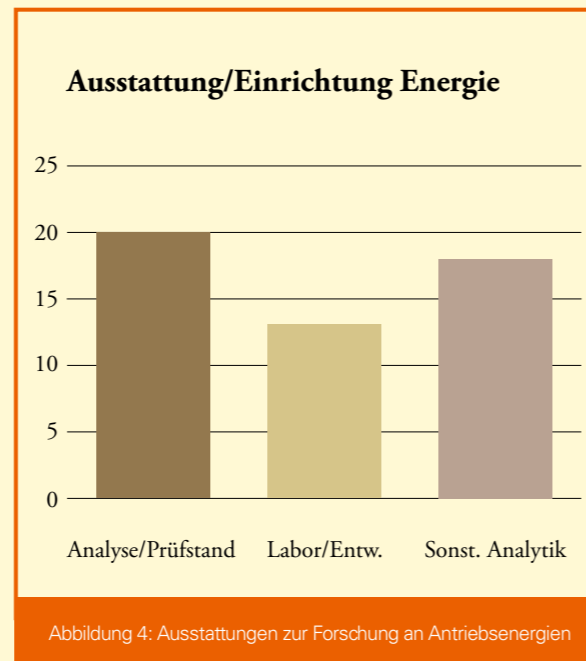
Antriebsstrang- und Motorenprüfstände	Sonstige Komponentenprüfstände	Sonstige Untersuchungen und Messtechnik
<ul style="list-style-type: none"> → Hybrid-Motoren-Prüfstände → Motorenprüfstände für elektrische Maschinen verschiedener Leistungsklassen → Verbrennungsmotorenprüfstände, u. a. auch für Vermessungen von Vollmotoren der kleineren Pkw-Größe und 1-Zylinder-Forschungsmotoren → Gasmotorenprüfstände → Tieftemperaturprüfstände für Pkw-Antriebe bis -25 °C → Hochtransiente Prüfstände → Heißgasprüfstand für Systeme zur Restwärmenutzung, thermoelektrische Generatoren, Turbogeneratoren, Abgasturbo-lader und Abgasanlagen → Prüfstände zur Brennstoff-zerstäubung unter atmosphärischen und erhöhten Drücken 	<ul style="list-style-type: none"> → Klima-Komfort-Prüfstand → Reifenprüfstand und Rollenprüfstände → Griffigkeits- und Abriebprüfstand für Fahrbahn- und Elastomerproben → Fahrzeugdynamikprüfstand (im Aufbau) → Versorgungsprüfstand → Kupplungen und tribologische Systeme: Prüfstände zur Untersuchung von nass- und trockenlaufenden Friktions-systemen 	<ul style="list-style-type: none"> → Strömungsmesstechnik → Spektroskopie → Kamera- und Videosysteme → Hochdruck- und Hochtemperaturlabore → Optische Prüfstände und optische Messtechnik → Abgasmesstechnik → Korrosionsprüfung → Fahrdynamische Messtechnik und Reifenmesstechnik → Klimaprüfung → Windkanalanlagen → Simulationswerkzeuge

Kraftfahrwesen an der Universität Stuttgart, u. a. mit Windkanalanlagen, 19 Motorenprüfständen, verschiedenen Prüfständen des Antriebsstranges (auch hybrid und elektrisch), verschiedenen System- und Komponentenprüfständen und sonstigen Messeinrichtungen sowie Versuchsfahrzeugen, Testladeeinrichtungen und Fahrsimulatoren.

4.2 Energie

Hier liegt der Schwerpunkt auf Prüfständen für Batterien und Brennstoffzellen (u. a. Alterung) und für Solarzellen und synthetische Kraftstoffe (20 Institute). Das ZSW verfügt über ein großes Testfeld mit 25 vollautomatisierten Testständen. 15 Einrichtungen haben ein Labor zur Untersuchung und Entwicklung von Zellen.

Analysemethoden für die Entwicklung von Batterien und Brennstoffzellen sind u. a. Spektroskopie und Mikroskopie sowie elektrochemische Labore.



Analyse	Herstellung
<ul style="list-style-type: none"> → Spektroskopie und Mikroskopie wie z. B. Infrarotspektroskopie, Impedanzspektroskopie, energiedispersive Röntgenspektroskopie, Rasterelektronenmikroskopie → Potentiostaten → Röntgenbeugung → Ionenchromatographie → Klimaschrank/-kammern, Vakuumtrockner, Unterdruckkammern → Zellcharakterisierung mit Laborzellen → Elektrochemische Untersuchungen wie z. B. Quarzmikrowaage, elektrochemische Atomsonde, elektrochemische Zelltests → Photoelektrochemie-Labor → Elektrochemisches Syntheselabor → Metallographisches Labor → Kalorimeter → Handschuhkasten und entsprechende Laborausstattung zum Synthetisieren von Elektrodenmaterialien und zum Bau von Zellen → Elektromotor-Teststände → Leistungselektronik-Tests 	<ul style="list-style-type: none"> → Kalander → Einzelblattstapelbildungsanlage zur Herstellung von Batteriezellstapeln → Tiefziehpresse → Trockenraum → Batteriemodulmontage → Ultraschall-Sprühbeschichter → Multimaterial-Inkjet-Drucker → Heißpresse → Elektrospinning-Geräte → Equipment zur Membranherstellung (Casting-Tisch, Vakuum-Ofen etc.)

Zudem wird die Herstellung von Batterien und Brennstoffzellen betrachtet. Dies umfasst auch Beschichtung oder die Herstellung von Membranen, beispielsweise am KIT-Batterietechnikum.

Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg verfügt über umfangreiche Testausstattung:

→ Brennstoffzellen: Gerätepark für elektrochemische Grundlagenarbeiten und Brennstoffzellenfertigung sowie für Post-mortem-Analysen, Versuchsanlagen zur automatisierten Fertigung von Brennstoffzellenstacks, Simulations- und Modellierungssoftware, Betrieb eines der weltweit größten unabhängigen Testfelder mit 25 vollautomatisierten Testständen (24/7-Dauer-tests), Test von Brennstoffzellenmodulen mit Wasserstoff oder Wasserstoffgemischen, Probennahme und Analytik zur Bestimmung der Wasserstoffqualität nach ISO-14687-2 an H₂-Tankstellen

→ Batterien: Laborausstattung zur Synthese und Charakterisierung von Funktionsmaterialien für Energiespeicherung, Zellfertigungstechnologie vom Labormaßstab bis zur industriellen Forschungsplattform, Testfeld zur Charakterisierung von Einzelzellen über Module bis zu kompletten Batteriesystemen, Prüfeinrichtungen für elektrische Untersuchungen, Ausstattung für Batteriesicherheitstests, nasschemisches Labor für die Batterieanalytik.

Auch die Ladung von Elektrofahrzeugen wird untersucht. So wird z. B. am Institut für Elektrische Energiewandlung der Universität Stuttgart die kontaktlose Energieübertragung mit Hilfe eines 3-Achs- und 6-Achs-Positionierprüfstands zur Bestimmung von positionsabhängigen Koppelfaktoren und Wirkungsgraden, einem induktiven Parkplatz für InField-Messungen, einem modularen Kleinprüfstand zur Vermessung verschiedener Spulentopologien und einem Versuchsfahrzeug BMW i3 mit induktiver Ladeeinrichtung untersucht.

Im Bereich Energieerzeugung stehen Demonstrations- und Testumgebung für virtuelle Kraftwerke wie BHKW, Wärmepumpe, PVT-System etc. zur Verfügung. Beispielsweise stellt das „Living Lab“ Micro Smart Grid des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation einen Demonstrator für eine Dezentralisierung der Energieversorgung dar. Im Parkhaus des Institutszentrums werden neueste Technologien unter wissenschaftlicher Begleitung im Alltagsbetrieb getestet. Die Anlage umfasst über 30 Ladestationen für Elektrofahrzeuge, eine

Photovoltaikanlage zur Stromerzeugung und den europaweit ersten LOHC-Wasserstoffspeicher als Hochenergie- und Langzeitspeicher, der über eine Brennstoffzelle an die Stromversorgung angebunden ist.

4.3 Material und Leichtbau

Im Bereich Material und Leichtbau spielt die Materialcharakterisierung eine große Rolle. Diese umfasst die Charakterisierung der Werkstoffe oder auch Bauteile, u. a. über Thermoanalyse, Spektroskopie, Mikroskopie, Rheologie.

Aber auch Laboranlagen zur Entwicklung spielen eine wichtige Rolle, insbesondere für den Leichtbau. Auch in diesem Bereich werden vielfältige Simulationen eingesetzt, u. a. multiskalige Simulationen zu Werkstoffeigenschaften und Werkstoffentwicklung, Simulation des Bauteilverhaltens oder auch Fertigungs- und Prozesssimulationen.

An den Deutschen Instituten für Textil- und Faserforschung findet sich das High Performance Fiber Center mit modernsten Anlagen zur Entwicklung von Carbon- und Keramikfasern wie Stabilisierungsanlagen, Hochtemperaturöfen und Röntgenanlage ebenso wie State-of-the-Art-Laboranlagen für Trocken-, Nass- und Schmelzspinnverfahren, Reaktionsreaktoren zur Polymersynthese sowie Beschichtungs- und Kaschieranlagen für die Herstellung. Darüber hinaus erfolgt die Charakterisierung und Untersuchung u. a. über Thermoanalyse, Spektroskopie und Spektrometrie, Chromatographie, Röntgenanalyse, Partikelcharakterisierung, Mikroskopie, Rheologie sowie Tensiometrie und Benetzungsmessung.

Charakterisierung der Werkstoffe	Laboranlagen zur Entwicklung
<ul style="list-style-type: none"> → Thermoanalyse → Spektroskopie → Chromatographie → Röntgenanalyse → Mikroskopie → 3D-Röntgen-Computertomographie → Rheologie → Tensiometer → Metallographische Untersuchungen → Werkstoff- und Beschichtungsprüfungen (z. B. für Kriechfestigkeit, Zugfestigkeit, Härte) → Kunststoffprüfung → Diverse optische Messgeräte und Sensoren (z. B. konfokales Weißlichtmikroskop Nanofocus, Kamerasensoren, Streifenlichtprojektion) → Elektrochemische Prozess- und Materialcharakterisierung → Charakterisierungs- und Analysemethoden zur Untersuchung von metallischen Überzügen bis hin zu organischen Beschichtungen → Bewitterungs-, Korrosions-, Korrosionsklimawechsel- und Klimawechselprüfgeräte → Charakterisierung von Pulvern und deren Verhalten bei der Verarbeitung → Mess- und Analysemöglichkeiten sowie Verfahren zur Oberflächenbehandlung (Verschleiß, Benetzungsverhalten, optische Anmutung, Glanzgrad oder Haptik von Bauteiloberflächen) 	<ul style="list-style-type: none"> → Anlagen zur Herstellung von Fasern (Spinverfahren, Hochtemperaturöfen) → Reaktoren für Polymersynthese → Labore für funktionale und Galvanik-Beschichtungen → Induktionsöfen für Gießerei → Sandguss, Lost-Foam- und EOS-Sinteranlage → Öfen für Al-, Mg-, Zn-Legierungen → Compounding und Extrusion → Verzahnungsherstellung → Nanocomposite → Schäumtechnologien → Thermoplast- und Duromerverarbeitung → Laboranlagen für Trocken-, Nass- und Schmelzspinverfahren → Drucktechnikum, Beschichtungs- und Kaschieranlagen → Technikum für die nasschemische Vorbehandlung, Anodisation und organische Beschichtung von Leichtmetallen

4.4 Produktion

In Testlaboren werden Umgebungen für die Produktion im Sinne von Industrie 4.0 auch unter Einsatz von Robotik entwickelt und getestet. Dies umfasst z. B. die assistierte manuelle Montage und Augmented Reality oder ein Labor zur Untersuchung von Mensch-Maschine-Interaktionen bzw. -Kooperation. Auch modulare Produktionssysteme mit vernetzten Systemen und Steuerungen sowie flexible Produktion werden in Demonstratoren getestet. Es wurden 14 Labore der Institute angegeben. Dies umfasst u. a.

- fahrerlose Transportsysteme und Testflächen (Dauertests z. B. für Handhabung, Lokalisierung)
- Hochgeschwindigkeitsförderer
- Virtual-Reality-Versuchsumgebung
- Versuchsflächen mit verschiedenen mobilen Plattformen, Robotersystemen und Produktionsmaschinen
- Versuchshalle mit diversen Werkzeugmaschinen und Industrierobotern
- Labore für virtuelle Methoden in der Automatisierung und für Vernetzung/Steuerung (z. B. Time-Sensitive Networking, Sercos)
- Maschinen für generative Verfahren
- Prototyping-Systeme

Beispielsweise untersucht das Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme des KIT u. a.

- gestengesteuertes, fahrerloses Fahrzeug (FiFi) für den Transport in der Intralogistik
- frei navigierendes und selbstständig lernendes System für den autonomen Materialtransport für flexible Intralogistik (KARIS PRO)
- Assistenzsystem für den Einsatz in der Versandindustrie und in der Montage zur Vermeidung von Fehlbestückungen und zur automatischen Protokollierung von Prozessen
- autonomes, intelligentes Fahrzeug mit Greiffunktion (QBIK).

Die Arena2036 verfügt über eine Forschungsfabrik mit einem Future Work Lab, mit Demonstratoren u. a. für Mensch-Roboter-Interaktion, assistierte Montage, virtuelles Engineering und vernetzte Produktionsmaschinen. Darüber hinaus steht in Instituten, die sich mit der Herstellung von Antrieben, Werkstoffen, Batterien oder Brennstoffzellen etc. beschäftigen, entsprechende Infrastruktur zur Verfügung (vgl. auch Materialien/Energie).

4.5 Elektrotechnik/Sensorik

Hier liegt der Schwerpunkt auf Analyse und Tests einerseits für die Entwicklung von Leistungselektronik und andererseits von Sensorik. Die Ausstattung für Analyse umfasst u. a. so vielfältige Geräte wie Signalgeneratoren, Oszilloskope und sonstige elektronische Laborgeräte. Die Materialanalytik umfasst z. B. Röntgendiffraktometer, Mikroskopie und thermische Analyse. Aber auch Ausstattung für Entwicklung bzw. Synthese ist vorhanden, wie z. B. für die Synthese von Energiewandlern und für die Halbleiterherstellung.

Das Institut für Industrielle Informationstechnik des KIT verfügt im Bildverarbeitungslabor u. a. über Bildverarbeitungssysteme mit Lichtquellen und Kameras, ein hochempfindliches Bilderfassungssystem, Messsysteme zur Fluoreszenzanalyse und Weißlichtinterferometer. Des Weiteren stehen hier Sensorsysteme zur verteilten multisensoriellen Umfelderkennung wie Eye-Tracking-System oder mobile Multi-Sensor-Roboterplattformen sowie Kameras, Lichtquellen, Lidar- und Radarsensoren und Mikrofonarrays zur Verfügung.

Ebenso spielen in diesem Bereich Simulationen eine wichtige Rolle, z. B. in der Entwicklung von Energiewandlern (magnetischer

Analyse und Test	Entwicklung und Synthese
<ul style="list-style-type: none"> → Messgeräte wie Poweranalyser, Leistungsmessung, Oszilloskope etc. → Messtechnik zur Erfassung schneller Schaltvorgänge → Radartestlabor, u. a. Messmöglichkeiten zur Radarquerschnittsmessung, Messung von Objekten, Radartransmission und -reflexion → Antennenmessstand und -kammer → Spektralanalyse und Netzwerkanalyse → Elektromechanische Werkstatt für Prototypenaufbau z. B. von Leistungselektronik, elektrischen Motoren → Optische Oberflächenmessungen → Bildverarbeitungslabore → Labor für Mikroelektronik und Leistungselektronik → Messtechnik für die Erfassung schneller Schaltvorgänge → Materialanalytik wie Kristallstruktur und Gefüge oder Phasenumwandlungen → Magnetometrie: multifunktionales Magnetometer (Vibrationsmagnetometer, Mikroskopeinheit), Hysteresegraph mit Pulseinheit, Weichmagnet-Messplatz 	<ul style="list-style-type: none"> → Synthese für Energiewandler: Lichtbogenofen, Induktionsöfen, Pilotanlage zur Fertigung von Dauermagneten etc. → Schaltungsentwicklung, CMOS-Fertigung und Foundry-Technologien → Nanostrukturierung auf Wafer- und Masken-Substraten (E-Beam, Laser, optische Lithographie) → Reinräume → Wire Bonder, Flip Chip Bonder → Platinenentwicklung → 3D-Drucker

Kreis, thermische Analyse) oder für die Entwurfsumgebung für integrierte Schaltkreise.

4.6 IT und Automatisierung

IT Tools werden für die Entwicklung benötigt. Lediglich in einem Profil wurde hier explizit Matlab/Simulink als IT Tool angeführt (Institut für Industrielle Informationstechnik, KIT).

Für Bilderfassung, Ortungssysteme etc. ist jedoch auch entsprechende Sensorik erforderlich. Zum Beispiel am Photogrammetrischen Labor (Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart) oder in den Laboren des Instituts für Ingenieurgeodäsie, Universität Stuttgart, findet sich

- Sensorik zur Positionsbestimmung: GNSS-Empfänger, Robottachymeter, Inertialmesseinheiten, Odometer, Kreisel, Beschleunigungsmesser, Neigungsmesser, Barometer, Nivelliere, Rotationslaser
- Sensorik zur flächenhaften Erfassung: Laserscanner, Lasertracker
- industrielle Messtechnik (dimensionelle Messtechnik): Lasertracker, Theodolitmesssystem

Die Simulation großer Systeme, echtzeitfähige Datenverarbeitung etc. greifen auf Großrechner und Cloudsysteme zu, die von der Erhebung nicht erfasst, aber ausreichend bekannt sind.

4.7 Sonstiges

Test und Versuchsfahrzeuge sowie Verkehrsdaten/ Testfelder

Test- und Versuchsfahrzeuge stehen bei 23 Einrichtungen zur Verfügung, daneben gibt es Testfelder, zudem wird eine Verkehrsdatenerfassung eingesetzt (6 Einrichtungen). Dies umfasst verschiedene Elektrofahrzeuge (Pkw), aber auch Pedelecs. Die Fahrzeuge werden durch Batterien oder Brennstoffzellen betrieben (u. a. auch Cargo-Pedelec). Hier werden u. a. Fahrerassistenzsysteme entwickelt und getestet. Häufig sind die Fahrzeuge mit entsprechender Sensorik (Radar, Lidar, Kamera) und CAN-Zugriff auf die Bordelektronik zur Ansteuerung der Aktuatorik ausgestattet. Auch Eye-Tracking-Systeme werden hier eingesetzt. Beispielsweise verfügt das Institut für Mess- und Regelungstechnik des KIT über mehrere, teils automatisch fahrende Fahrzeuge mit hochauflösendem Lidar,

Kameras, Radare, DGNSS und Aktorikzugriff. An der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Stuttgart stehen mehrere Elektrofahrzeuge sowie ein Brennstoffzellen-Fahrzeug zur Technologieerprobung der Elektromobilität zur Verfügung. Eine Messdatenerfassung erfolgt u. a. über Kennzeichenerfassungsgeräte, Seitenradargeräte, Videomessungen oder Messtechnik zur mobilen Erfassung von Fahrzeugabständen. Neue Mobilitätskonzepte werden auch mit automatisierten Robotern (Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung) oder dem fahrerlosen Transportsystem des KIT-Instituts für Fördertechnik und Logistiksysteme getestet.

Fahr Simulator/Usability Labs

Die Untersuchung der Mensch-Maschine-Schnittstelle findet sowohl hinsichtlich der Interaktion in der Produktion als auch bezüglich des automatisierten Fahrens statt. Für Mobilitätsanwendungen wird dabei auch häufig ein Fahr Simulator eingesetzt (10 Institute), u. a. mit konfigurierbaren HMI-Komponenten, insbesondere den haptischen Eingabelementen (Pedale, Lenkrad usw.), mit Leinwänden und Monitoren zur Simulation einer vollständigen Rundumsicht, mit Innenraumüberwachung, mit zusätzlicher Sensorik usw.

Usability Labs und Labore zu Nutzererfahrung (Personal User Experience Lab) finden sich an zwölf Einrichtungen. Dies umfasst eine vielfältige Ausstattung, u. a.

- Systeme zum Eye-Tracking sowie zur Gestenerkennung und -messung, Emotionserkennung und Brain Computing Interface
- Verschiedene Experimentalplattformen für die assistierte manuelle Montage mit Zeigegesten, Augmented Reality und unterstützendem Roboterarm
- Beobachtungslabor mit Video-/Audiosystem für Fokusgruppen und Interviews
- Kameras, Audiosysteme

Untersuchungsgegenstände sind u. a. die mentale Beanspruchung, die Art der Kooperation sowie die Fahreraufmerksamkeit.

Sonstige Labs

Sonstige Labore umfassen u. a.

- Ergonomielabor zur ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen und Produktentwicklung
- Mobile Lab zum Test von Hardware- und Softwaretechnologien mobiler und eingebetteter Lösungen (u. a. mit mobilen Endgeräten, mobiler Netzwerkinfrastruktur sowie einem Infotainmentsystem und einem kombinierten Armaturenbrett für Mobilitätsanwendungen)
- Virtual Reality Labs

Am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation steht z. B. das Zentrum für Virtuelles Engineering ZVE zur Verfügung, in dem mittels virtueller Realität und über die 3D-Visualisierung digitalisierte Planungs- und Bauprozesse erleichtert werden. Dies umfasst u. a. Labore wie das „Digital Engineering Lab“ (integrierte Entwicklung von Produkten und Produktionssystemen), das „Urban Living Lab“ (Einsatzszenarien und Anwendungsbeispiele für innovative Services in der Zukunftsstadt) oder das Mobility Innovation Lab.

Sonstiges

Diese Kategorie umfasst Entwicklungsmethodik und -management sowie Methodik für eine kooperative Innovationskultur und Wissensmanagement. Das Institut für Produktentwicklung des KIT betrachtet den Produktentwicklungsprozess und Innovation von elektrifizierten Antriebssystemen, von Kupplungen und tribologischen Systemen ebenso wie Leichtbau und entwickelt bzw. setzt hier auch Methoden auf Basis der Systemtheorie ein: das integrierte Produktentstehungsmodell iPeM und den X-in-the-Loop-Ansatz XiL zur Validierung mechatronischer Systeme.

05 KOOPERATIONEN IN FÖRDERPROJEKTEN



05

Kooperationen in
Förderprojekten

© Helmholtz Institute Ulm

Die Forschungseinrichtungen Baden-Württembergs kooperieren in zahlreichen, von Land, Bund und Europäischer Union geförderten Projekten. Einen Eindruck von den Kooperationsstrukturen vermitteln vom Bund geförderte Verbundvorhaben, für die Thema, Verbundpartner, Laufzeit und Fördervolumen im „Förderkatalog“ der Bundesregierung² zu finden sind.

Die FuE-Einrichtungen und Hochschulen kooperieren in einer großen Bandbreite an Themenstellungen untereinander und mit Unternehmen. Die Unternehmen stammen in vielen Fällen aus Baden-Württemberg, diese kooperieren aber, wie einige Projektbeispiele zeigen, auch mit FuE-Einrichtungen außerhalb Baden-Württembergs. Die Fördersummen variieren von ca. 500.000 bis ca. 26 Mio. Euro.

An den zufällig ausgewählten 75 Projekten sind 30 Forschungseinrichtungen aus ganz Baden-Württemberg beteiligt. Sieben der neun Landesuniversitäten, acht der 23 Hochschulen für angewandte Wissenschaften, fünf Fraunhofer-Institute und zehn

weitere außeruniversitäre Forschungseinrichtungen wirken als Projektpartner an diesen Vorhaben mit. Die Federführung der Verbundvorhaben liegt je etwa zur Hälfte bei Forschungspartnern und Partnern aus der Wirtschaft.

Insbesondere größere Unternehmen suchen sich jedoch ihre Forschungspartner in ganz Deutschland bzw. werden von Einrichtungen aus ganz Deutschland als Forschungspartner gesucht. Einrichtungen wie der Cluster Elektromobilität Süd-West oder clusterähnliche Strukturen wie die ARENA2036 sind Instrumente, die zu einer höheren lokalen Bindung insbesondere der Forschungsaktivitäten größerer Unternehmen beitragen.

2 | <https://foerderportal.bund.de/foekat/>



© Universität Stuttgart IEW/HannoverMesse

Literaturverzeichnis

BMBF (2017)

Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bundesbericht Forschung und Innovation 2016 (samt Ergänzungsbänden), 2017

e-mobil (2012)

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Akademische Qualifizierung – Analyse der Bildungslandschaft im Zeichen von nachhaltiger Mobilität, Stuttgart: e-mobil BW GmbH – Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg, 2012

e-mobil (2015)

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO: Strukturstudie BW^e mobil 2015 – Elektromobilität in Baden-Württemberg, Stuttgart: e-mobil BW GmbH – Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg, 2015

e-mobil (2018)

Innovationhouse Deutschland GmbH: Forschungslandschaft Mobilität Baden-Württemberg – eine Bestandsaufnahme: Forschungsprofile, Stuttgart: e-mobil BW GmbH – Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg, 2018.

MFW (2014)

Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg, Wirtschaftsnahe Forschung in Baden-Württemberg, 2014

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Standorte der Mobilitätsforschung in Baden-Württemberg	13
Abbildung 2: Verteilung der FuE-Schwerpunkte	15
Abbildung 3: Ausstattungen für die Mobilitätsforschung	34
Abbildung 4: Ausstattungen zur Forschung an Antriebsenergien	36

Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
CAN	Controller Area Network
CELEST	Center for Electrochemical Energy Storage
CFK	Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff
CMOS	complementary metal-oxide-semiconductor
DEFC	Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle
DGNSS	Differentielles Globales Navigationssatellitensystem
DHBW	Duale Hochschule Baden-Württemberg
DITF	Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
EIFER	Europäisches Institut für Energieforschung
EOS	Elektro-Optisches System
FAST	Institut für Fahrzeugsystemtechnik
fem	Forschungsinstitut Edelmetalle + Metallchemie
FKFS	Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart
FuE	Forschung und Entwicklung
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem (global navigation satellite system)
HAW	Hochschule für angewandte Wissenschaften
HMI	Human-Machine Interface
IMS	CHIPS Institut für Mikroelektronik Stuttgart
IOSB	Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung
IT	Informationstechnologie
KASTEL	Kompetenzzentrum für angewandte Sicherheitstechnologie
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
Lidar	light detection and ranging
LOGWERT	Kompetenzzentrum für Logistik und Wertschöpfung
LOHC	liquid organic hydrogen carriers
M(E)MS	mikro(elektro)mechanische Systeme
Mobima	Teilinstitut Mobile Arbeitsmaschinen am FAST des KIT
Pkw	Personenkraftwagen
PVT	photovoltaisch-thermisch
Radar	radio detection and ranging
RTM	Resin Transfer Molding (Harzinjektionsverfahren)
SMC	Sheet Molding Compound
ZSW	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg

Impressum

Herausgeber

Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg
www.e-mobilbw.de

gemeinsam mit dem Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg

Autoren

Innovationhouse Deutschland GmbH:
Kathrin Grützmann, Dr. Rolf Reiner

Redaktion und Koordination

e-mobil BW GmbH
Isabell Knüttgen, Stefan Büchele

Gestaltung

markentrieb – Die Kraft für Marketing und Vertrieb

Druck

Karl Elser Druck GmbH
1. Auflage, 500 Stück, Stand: November 2018

Bildnachweise

Umschlag: Monkey Business/AdobeStock
Die Bildrechte liegen, soweit nicht direkt im Bild vermerkt, bei den in der Bildunterschrift jeweils angegebenen Unternehmen und Institutionen.

Auslieferung und Vertrieb

e-mobil BW GmbH
Leuschnerstraße 45
70176 Stuttgart
Telefon +49 711 892385-0
Fax +49 711 892385-49
info@e-mobilbw.de
www.e-mobilbw.de

© Copyright liegt bei den Herausgebern

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk ist einschließlich seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Für die Richtigkeit der Herstellerangaben wird keine Gewähr übernommen.

