



# **AELFA**

## **Kurzbericht zur Studie**

**Im Auftrag des Ministeriums  
für Finanzen und Wirtschaft  
Baden-Württemberg**

Strukturanalyse von  
Automobilkomponenten für  
zukünftige elektrifizierte  
Fahrzeugantriebe



**DLR** Institut für Fahrzeugkonzepte, Stuttgart

# AELFA

## Kurzbericht zur Studie

Strukturanalyse von Automobilkomponenten  
für zukünftige elektrifizierte Fahrzeugantriebe

### **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.**

Institut für Fahrzeugkonzepte

Prof. Dr.-Ing. Horst E. Friedrich

Pfaffenwaldring 38-40  
D-70569 Stuttgart

Tel.: +49 (0)711/6862-256  
Fax : +49 (0)711/6862-258

Horst.Friedrich@DLR.de

Dr.-Ing. Stephan A. Schmid

Pfaffenwaldring 38-40  
D-70569 Stuttgart

+49 (0) 711/6862-533  
+49 (0) 711/6862-258

Stephan.Schmid@DLR.de

# Inhalt

INHALT .....	3
1 MOTIVATION FÜR DIE STUDIE UND VORGEHEN .....	4
2 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT .....	6

# 1 Motivation für die Studie und Vorgehen

Die zunehmende Elektrifizierung von Fahrzeugen bedingt einen Wandel in der Automobilindustrie bzw. ihren Fahrzeugtechnologien. Ziel der vorliegenden Studie ist die Identifikation dieser Veränderungen sowie die Analyse der damit verbundenen Forschungsbedarfe in den Bereichen der Mitarbeiterqualifikation bzw. -kompetenzen, der Fertigungstechnologien sowie der benötigten Werkstoffe und Bauweisen.

Eine sukzessive Elektrifizierung des Antriebsstrangs stellt die gesamte Fahrzeugindustrie vor große Herausforderungen. Neue Komponenten und Fahrzeugarchitekturen implizieren neue Handlungsfelder, welche bisher nur vereinzelt adressiert werden. Der hiermit verbundene Wandel ist mit großen Unsicherheiten für alle Akteure verbunden und betrifft Unternehmen aller Größenklassen und Wertschöpfungsbereiche. Darüber hinaus stellt diese Veränderung die Forschungslandschaft vor signifikante Herausforderungen. Fragen hinsichtlich der Identifikation relevanter Forschungsthemen, der Priorisierung dieser Themen sowie der damit verbundenen zeitlichen Abfolge bedürfen der systematischen Analyse. Die Unterscheidung in notwendige Themenbereiche und solche, welche optional oder als Erweiterung der zwingend erforderlichen Kompetenzen angesehen werden ist vielschichtig.

Mithin sind die Identifikation der relevanten Forschungsbedarfe und die Diskussion der Themenstellungen mit Experten aus Industrie und Forschung essentiell. Die vorliegende Studie führt deshalb zunächst eine systematische Analyse der Struktur elektrifizierter Fahrzeugkonzepte durch. Entlang der drei Dimensionen „Kompetenzen“, „Fertigungstechnologien“ und „Werkstoffe“ werden zukünftige Fahrzeugkonzepte detailliert analysiert. Hierbei werden die Bereiche des eigentlichen Antriebsstrangs sowie der übergreifenden Fahrzeugstruktur berücksichtigt. Da das Thermomanagement des Fahrzeugs beide Teilbereiche als Querschnittsthema adressiert, wird diese Fragestellung gesondert betrachtet.

Die anschließende Kopplung dieser Analysen mit möglichen zukünftigen Entwicklungen des deutschen Fahrzeugmarktes ermöglicht eine Gewichtung der Ergebnisse und letztlich eine Priorisierung der Forschungsthemen. Hierzu werden drei Fahrzeugszenarien mit Hilfe des Simulationstools *VECTOR21* quantifiziert. Um die Auswirkungen, aber auch die dazu notwendigen Randbedingungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs aufzeigen zu können, wird hierbei der Fokus auf im Sinne der Elektromobilität positive zukünftige Entwicklungen gelegt. Als Ergebnis der Studie liegt durch das Zusammenbringen der unterschiedlichen Analysen somit neben der detaillierten Strukturanalyse elektrifizierter Fahrzeugkonzepte und der dazugehörigen Komponenten eine Quantifizierung des notwendigen Forschungsbedarfs vor.

Um die Einbindung der dezentralen Intelligenzen des Landes Baden-Württemberg aus Automobil- und Zulieferindustrie sowie der Forschung sicherzustellen, wurden im Rahmen der Studie Expertenworkshops durchgeführt. Hierbei wurden in insgesamt sieben Workshops mit 45 Industrieexperten die Themenstellungen „Fahrzeugkonzepte und Markt“, „Komponenten elektrifizierter Antriebe“, „Fahrzeugaufbauweisen und Elektrifizierung“ sowie „Klimatisierung bei elektrifizierten Antrieben“ bearbeitet. Forschungspartner waren dabei u. a. das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (SZW) sowie die Universität Stuttgart. Die Ergebnisse dieser Workshops sind in die Analysen der Studie direkt eingeflossen.

Mit der vorliegenden Studie soll die Transparenz in dem komplexen Themengebiet der Elektrifizierung von Antriebssträngen erhöht und somit eine Entscheidungsgrundlage in Politik, Industrie und Forschung geliefert werden.

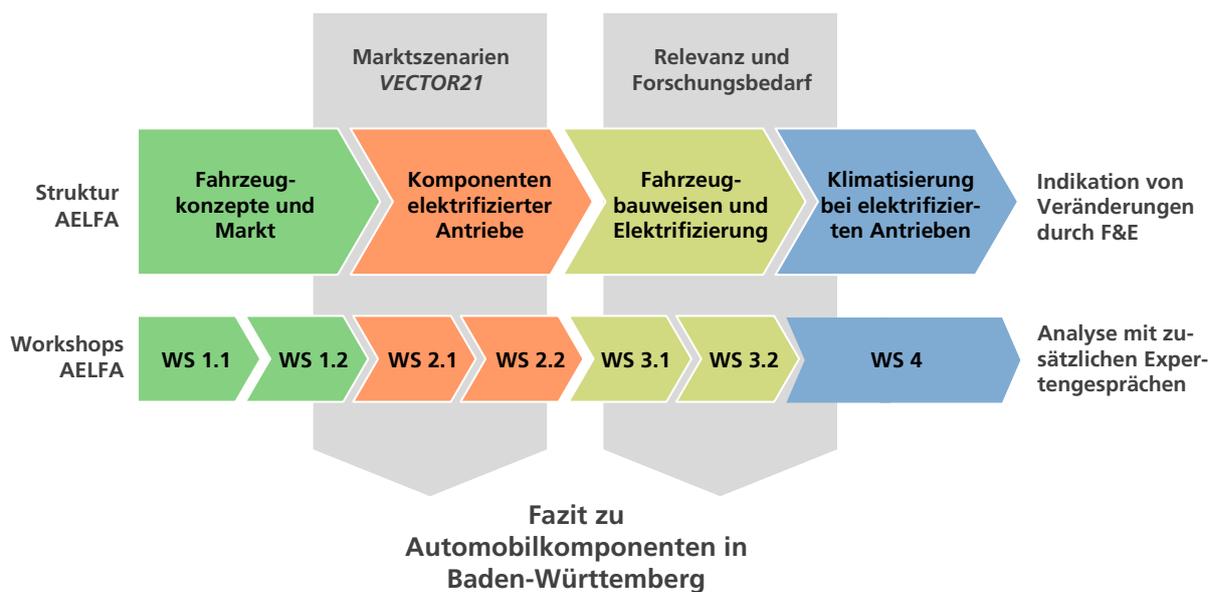


Abbildung 1.1: Struktur und Vorgehen der AELFA-Studie.

## 2 Zusammenfassung und Fazit

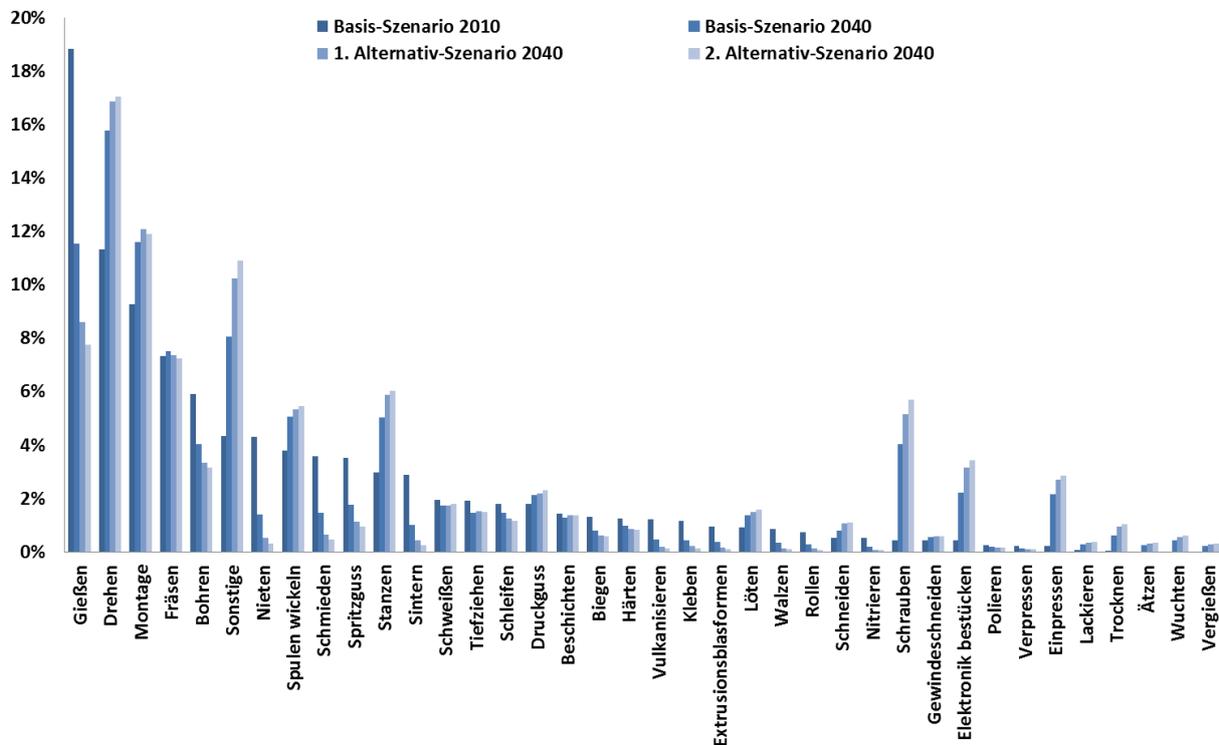
Die Detailbetrachtung elektrifizierter Fahrzeugkonzepte hat gezeigt, unter welchen Bedingungen welche Veränderungen in der Fahrzeug- und Fahrzeugzulieferindustrie eintreten werden. Neuartige Antriebskonzepte werden sukzessive in den Markt eingeführt werden und stellen sowohl die Industrie als auch die Forschung vor große Herausforderungen. Die vorliegende Studie empfiehlt, bereits jetzt die notwendigen Schritte einzuleiten, um auch zukünftig schnell und flexibel auf die geänderten Marktanforderungen reagieren zu können. Das Land Baden-Württemberg verfügt hier über eine gut ausgebaute und leistungsfähige Position, sieht sich aber auch stärker dem Technologiewandel und seinen Anpassungszwängen ausgesetzt. Hier gilt: „Das Bessere ist des Guten Feind“.

<b>Fahrzeuge</b> <i>Antriebsstrang</i>	<b>Technische Analyse</b> <i>Technikbewertung</i>	<b>Flottenszenarien</b> <i>Elektrifizierungsstrategien</i>	<b>Relevanzanalyse</b> <i>Quantifizierung</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ICV: inkl. Micro- &amp; Mildhybrid</li> <li>▪ Range-extender</li> <li>▪ Plug-in Hybrid</li> <li>▪ Batteriefahrzeug</li> <li>▪ Brennstoffzellen-fahrzeug</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hauptantriebsstrang-komponenten               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Verbrennungsmotor</li> <li>– Getriebe</li> <li>– Elektromotor</li> <li>– Leistungselektronik</li> <li>– Batterie</li> <li>– Brennstoffzelle</li> </ul> </li> <li>▪ Fahrzeugstruktur</li> <li>▪ Klimatisierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Basisszenario</li> <li>▪ 2 Alternativszenarien               <ul style="list-style-type: none"> <li>– BEV-Szenario</li> <li>– Acceleration-Szenario</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mitarbeiterqualifikation &amp; -kompetenzen</li> <li>▪ Werkstoffe</li> <li>▪ Bauweisen</li> </ul>

**Abbildung 2.1: Inhalt der AELFA-Studie.**

Daher stehen übergreifende Themenstellungen wie der Wissenstransfer zwischen Forschung und Industrie unter Einbeziehung von Unternehmen aller Größenklassen und Wertschöpfungsstufen, der Wissenstransfer zwischen unterschiedlichen bereits etablierten Forschungseinrichtungen sowie der Wissenstransfer aus anderen Branchen, insbesondere im Hinblick auf neuartige Komponenten, im Vordergrund. Darüber hinaus kann nur durch eine verstärkte fachübergreifende Vernetzung unterschiedlicher Fachbereiche wie der Elektrotechnik, dem Maschinenbau oder der Mechatronik auf die sich stellenden Herausforderungen reagiert werden. Dies betrifft vor dem Hintergrund der Elektrifizierung des Antriebsstrangs alle Qualifikationsgrade vom Ingenieur bis hin zur Fachkraft.

Der Wandel der Fertigungstechnologien und damit die Verschiebung von Wertschöpfungsstrukturen bedingt eine Anpassung der heutigen Prozesse. Die in allen drei untersuchten Fahrzeugszenarien identischen Entwicklungsrichtungen der Wertschöpfungsverschiebung machen es notwendig, heutige, an Relevanz verlierende Fertigungsprozesse für zukünftige Produktionsstrukturen vorzubereiten und weiterhin hinsichtlich ihrer Effizienz, ihrer Kosten, ihrer Qualität und ihrer Geschwindigkeit zu verbessern. Gleichzeitig gilt es aber auch, neu hinzukommende und bisher nur in Nischenanwendungen vorhandene Prozesse großserientauglich zu gestalten. Abbildung 2.2 fasst die Ergebnisse der Relevanzuntersuchungen der Fertigungstechnologien zusammen.



**Abbildung 2.2: Überblick über die Entwicklung der Relevanz der Fertigungstechnologien in allen drei Fahrzeugszenarien.**

Quelle: DLR.

Ähnlich wie die Fertigungstechnologien unterliegen auch die Werkstoffe selbst einem Wandel. Bisher in großem Maße im Antriebsstrang verwendete Materialien werden durch die einsetzende Elektrifizierung sukzessive an Relevanz verlieren. Gleichzeitig werden aber auch hier neue Materialien Verwendung finden, welche bisher nur äußerst selten verbaut werden. Vor diesem Hintergrund gilt es, bereits heute die notwendigen Schritte einzuleiten und mögliche Alternativmaterialien für den Ersatz (geo-)strategisch relevanter Werkstoffe zu finden bzw. zu entwickeln. Abbildung 2.3 fasst die Ergebnisse der Relevanzuntersuchungen der Werkstoffe zusammen.

Für die relevanten **Schrittmachertechnologien** lassen sich die folgenden Forschungsbedarfe ableiten:

Im Bereich der **Fahrzeugstruktur** gilt es, großserientaugliche und kostenattraktive Leichtbaulösungen, z. B. durch neue Werkstofflösungen sowie intelligentes Multi-Material-Design (MMD) zu entwickeln und umzusetzen und dafür neue Lösungen im Bereich der Verbindungs- und Korrosionsschutzsysteme zu erforschen. Die Entwicklung und Verbesserung von Simulations- und Entwicklungsmethoden hilft, die Werkstoff- und Bauweisenpotentiale optimal zu nutzen. Bauweisen mit Mehrwert, z. B. in Form von Funktionsintegration oder einfacher Adaptionmöglichkeiten, eröffnen für die Zulieferindustrie die Chance, neue Kompetenzfelder zu erschließen und frühzeitig zu besetzen.

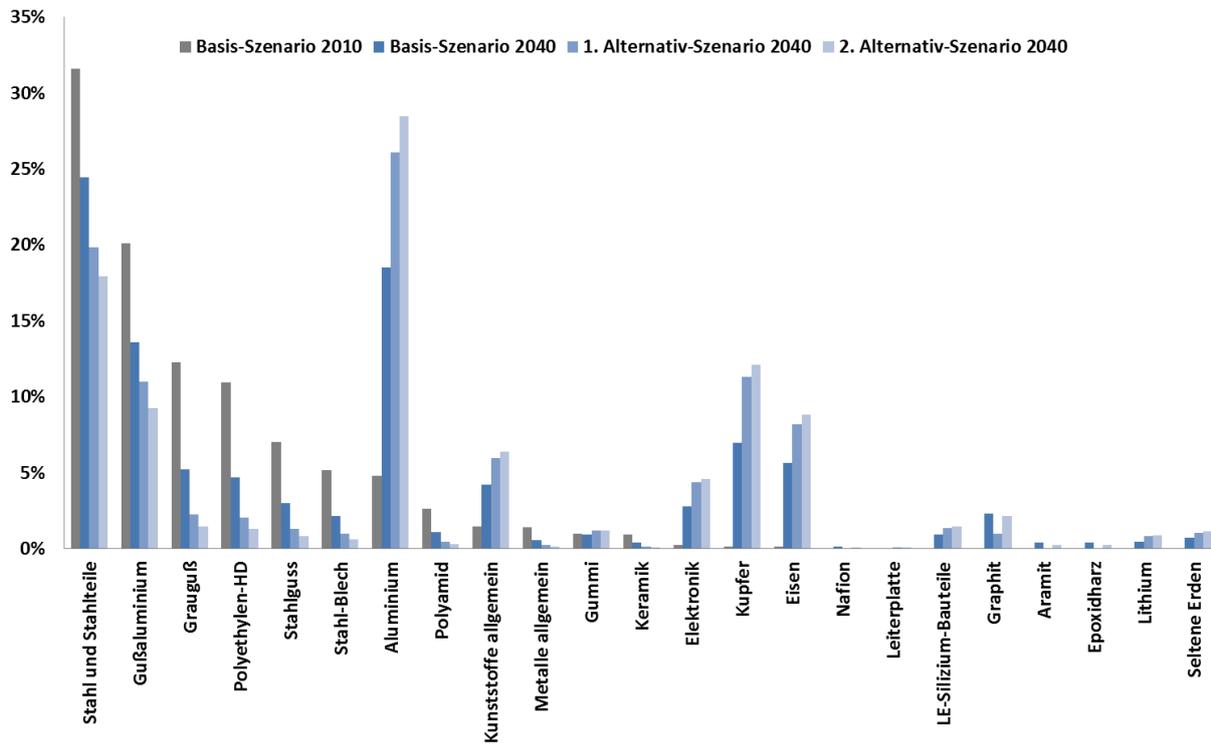


Abbildung 2.3: Überblick über die Entwicklung der Relevanz der Werkstoffe in allen drei Fahrzeugszenarien.

Quelle: DLR.

Im Themenfeld der **Verbrennungsmotoren** haben alle drei Szenarien gezeigt, dass sich bis 2040 verbrennungsmotorisch angetriebene Fahrzeuge im Markt halten werden. Selbst im dritten, sehr prospektiven Szenario besitzt noch über ein Fünftel der neu zugelassenen Fahrzeuge einen Verbrennungsmotor. Daher erscheint es notwendig und sinnvoll, den in Kapitel 3.1 identifizierten Forschungsbedarf hinsichtlich Fragestellungen wie Downsizing, Aufladung und Reibungsminderung konsequent voran zu treiben.

**Traktionsbatterien** sind in allen elektrifizierten Antriebssträngen zu finden. Daher sind die in Kapitel 3.5 erläuterten Forschungsbedarfe für die zukünftige Entwicklung essentiell. Über den gesamten Bereich der Wertschöpfungskette gilt es, von der Grundlagenforschung zu Zellchemien und dem Batteriedesign die Markt- und Serienreife der Batterien zu wettbewerbsfähigen Kosten sicherzustellen. Hierzu zählen die Weiterentwicklung der Fertigungsprozesse inklusive einer zielgerichteten Verknüpfung automobilfremder Zulieferer sowie die Sicherstellung der Versorgungssicherheit an Rohstoffen.

Ähnliche Forschungsbedarfe lassen sich für die Themenfelder der **Elektromaschinen** und der **Leistungselektroniken** ableiten. Hier ist die Versorgungssicherheit insbesondere mit Seltenen Erden essentiell. Darüber hinaus ist die Kopplung der beiden Themengebiete im Sinne einer Systemintegration bis hin zu hochintegrierten Radantrieben eine Hauptentwicklungsrichtung.

**Brennstoffzellensysteme** sind derzeit nur in Kleinstserien verfügbar. Daher spielen hier insbesondere Themenstellungen in Bezug auf eine serienreife Technologieentwicklung eine tragende Rolle. Dabei sind

vor allem technologische Aspekte wie beispielsweise der Einsatz von Edelmetallen von Bedeutung, um wettbewerbsfähige Produktionskosten zu erzielen. Die Analyse der Marktszenarien hat gezeigt, dass die Entwicklung und der Markterfolg von Brennstoffzellenfahrzeugen mit großen Unsicherheiten verbunden ist.

Das übergreifende Themenfeld der **Fahrzeugklimatisierung** adressiert nicht nur alle Typen elektrifizierter Fahrzeugkonzepte, sondern auch die Komponenten sowie die Fahrzeugstruktur selbst. Hier gilt es, zukünftig nachhaltige, übergreifende Lösungsansätze zu entwickeln, um den veränderten Anforderungen gerecht zu werden.

Unter dem Gesichtspunkt einer nachhaltigen Mobilität ist es unabdingbar, LCAs und Ökobilanzen für alle Werkstoffgruppen durchzuführen. Konzeptbestimmend ist dies z. B. erkennbar für CFK-Strukturwerkstoffe oder die Funktionsmaterialien für Batterie und Brennstoffzelle. Eine querschnittliche Studie kann helfen, Alleinstellungsmerkmale auszubauen, abzusichern oder Fehleinschätzungen zu vermeiden.

Eine weitere empfohlene Beobachtung betrifft die geostrategischen Versorgungs- bzw. Verknappungsrisiken. Ebenfalls querschnittlich angelegt könnten damit für Schlüssel- und Schrittmachertechnologien relevante Werkstoffe, Risiken für die Wirtschaft am Standort und auch Alternativlösungen aufgezeigt werden.

Die durchgeführte Strukturanalyse hat technologische Veränderungen herausgearbeitet und Trendentwicklungen beschrieben. Die vorliegende Studie kann somit die Basis für einen baden-württembergischen Abgleich sein, bei dem matrixartig die Komponenten und Potentiale der Unternehmen am Standort mit den künftigen Bedarfen verknüpft werden. Die hier bereits erfolgreich eingesetzte Workshop-Moderation mit den Experten der Region könnte dafür wieder genutzt werden.

## IMPRESSUM

**Diese Studie wurde im Auftrag des Ministeriums für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg mit Mitteln der Baden-Württemberg Stiftung vom Institut für Fahrzeugkonzepte des DLR durchgeführt.**

### Beteiligte Institute **Experten-Workshops**

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e.V.**

Institut für Fahrzeugkonzepte, FK

**Karlsruhe Institut für Technologie, KIT**

Institut für Produktentwicklung, IPEK

**Universität Stuttgart**

Institut für Leistungselektronik und elektrische Antriebe, ILEA

Institut für Umformtechnik, IFU

**Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung**

**Baden-Württemberg, ZSW**

**Herausgeber** **Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.**  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart  
Telefon: 0711 6862 256  
E-Mail: info-st@dlr.de  
www.dlr.de

**Ministerium für  
Finanzen und Wirtschaft  
Baden-Württemberg**

Neues Schloss, Schlossplatz 4  
70173 Stuttgart  
Telefon: 0711 279 0  
E-Mail: poststelle@mfw.bwl.de  
www.mfw.baden-  
wuerttemberg.de  
www.automotive-bw.de

**Autoren der Hauptkapitel** **Kapitel 2:** Dr. Stephan Schmid

**Kapitel 3:** Dr. Michael Schier, Holger Dittus, Thomas Braig, Franz Philipps

**Kapitel 4:** Elmar Beeh, Simon Brückmann

**Kapitel 5:** Max Eschenbach, Thomas Braig

**Kapitel 6:** Bernd Propfe

**Kapitel 7:** Bernd Propfe, Elmar Beeh, Dr. Michael Schier

**Drucklegung** Stuttgart, im Dezember 2011

Abdruck (auch von Teilen) oder sonstige Verwendung  
nur nach vorheriger Absprache mit den Herausgebern.