



VDI-Fachtagung

# OEM Forum Fahrzeugtüren und -klappen

Bad Gögging, 26. und 27. März 2019

Bildquelle: © Opel Automobile GmbH

# VDI-BERICHTE

Herausgeber:

VDI Wissensforum GmbH

### **Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

### **Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek** (German National Library)

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at [www.dnb.de](http://www.dnb.de).

### **© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2019**

Alle Rechte vorbehalten, auch das des Nachdruckes, der Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, auszugsweise oder vollständig.

Der VDI-Bericht, der die Vorträge der Tagung enthält, erscheint als nichtredigierter Manuskriptdruck.

Die einzelnen Beiträge geben die auf persönlichen Erkenntnissen beruhenden Ansichten und Erfahrungen der jeweiligen Vortragenden bzw. Autoren wieder. Printed in Germany.

ISSN 0083-5560

ISBN 978-3-18-092342-0

# Inhalt

## ► Keynote

Transformation Automotive: From technology to new customer expectations . . . . .	1
R. Viereckl, Partner, PwC Strategy& (Germany) GmbH, Düsseldorf	

## ► Türen- und Klappensysteme

Autonomes Fahren: Autonome Türen? Wie das Nutzungsverhalten den Fahrzeugzugang der Zukunft verändert . . . . .	17
S. Hermeling, Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. Kommanditgesellschaft, Bamberg	
Die Tür des 911 in der achten Generation . . . . .	29
L. Schulz, Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Weissach	
Das Türenkonzept des Audi e-tron. . . . .	35
M. Esswein, AUDI AG, Ingolstadt	
High Volume Thermoplastic Liftgate Production . . . . .	49
J. Götzelmann, Magna Exteriors GmbH, Sailauf; M. Birka, Magna Exteriors, USA-Troy	

## ► Fahrzeugspiegel

Entwicklung eines virtuellen Außenspiegels . . . . .	57
A. Lorenz, AUDI AG, Ingolstadt	

## ► Leichtbau, Werkstoffe und Technologien

Akustikdesign bei Leichtbautürsystemen – Designprozesse und Herausforderungen . . . . .	65
J. Müller, S. Starost, Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG, Hallstadt	



► **Entwicklungsmethodik**

---

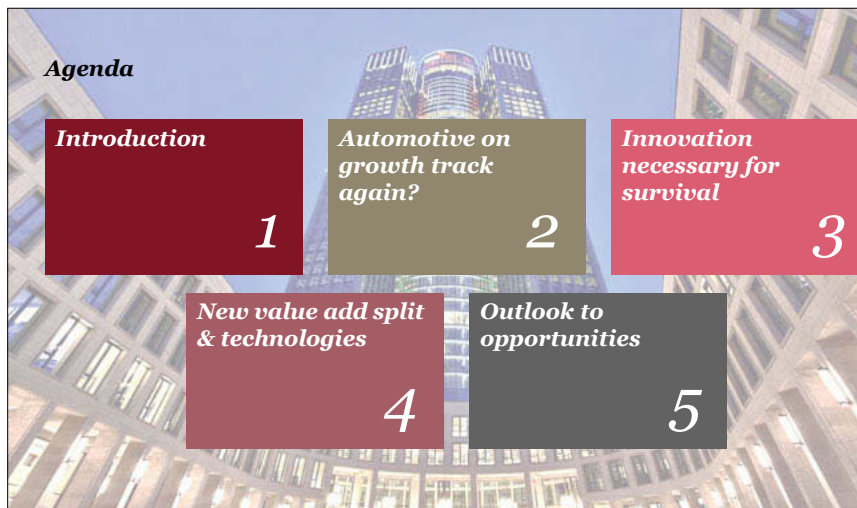
**Schließkraft-Simulation von Fahrzeugtüren – Detailbetrachtung von Dichtungssystemen. . . .75**  
A. Cousin, W. Jakobs, Ford-Werke GmbH, Köln;  
M. Hüsing (VDI), Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. B. Corves (VDI), Institut für Getriebetechnik,  
Maschinendynamik und Robotik (IGMR), RWTH Aachen University, Aachen

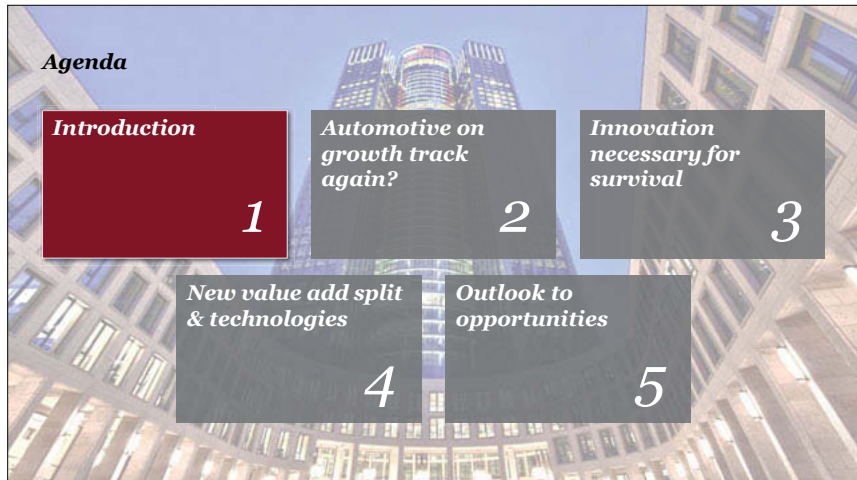
**Entwicklung einer Premium Ladeklappe im vorderen Kotflügel des Audi e-tron –  
Erfahrungen und Herausforderungen aus dem Entwicklungsprozess. . . . .89**  
J. Burger, AUDI AG, Ingolstadt

# Transformation Automotive: From technology to new customer expectations

Dr. Richard Viereckl,

Partner, PwC Strategy& (Germany) GmbH, Düsseldorf





Introduction

**Strategy& together with PwC offer a unique combination of capabilities**

**Our combined capabilities**

strategy&  
Part of the PwC network

ME  
Management Engineers

Autofacts®

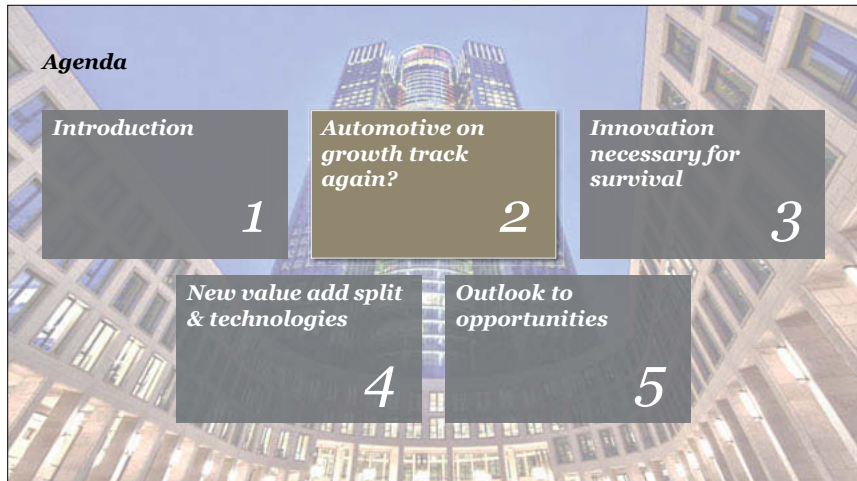
pwc

**Global strategy model, leading foresight, capabilities positioning**

**Scale, quality prominence, and deep relationships, skills, and insight**

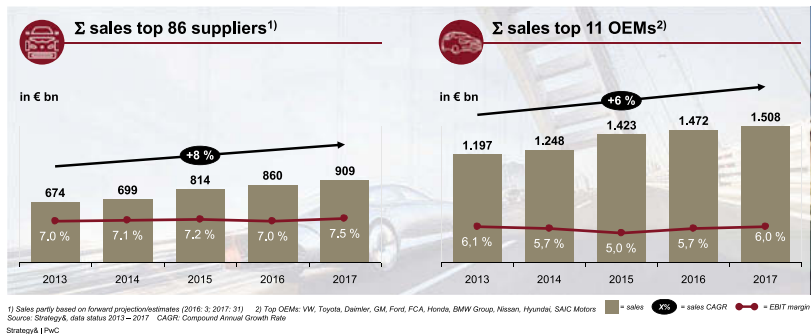
- **PROVEN TRACK RECORD** – A combined 250-year legacy of working with the world's leading institutions to solve their toughest problems and capture their greatest opportunities.
- **FOREMOST IN FORESIGHT** – Incisive thought leadership that is unrivalled in its depth, breadth, and overall quality.
- **FUNCTIONAL DEPTH** – Access to skills in strategy, deals, tax, finance, technology, and operations that extend and enhance differentiating platforms.
- **INDUSTRY BREADTH** – The team to beat in virtually every industry with deep reserves of expert talent and resources.
- **EXPERIENCED EXPERTISE** – 240,000+ talented employees. A blend of consultants, operational and functional specialists, and recruited talent from client industry provides unique foresight and practical insight.
- **GLOBAL REACH** – Scale in all major and emerging economies (776 locations in 157 countries) and able to seamlessly serve thousands of global clients.
- **NETWORK EFFECT** – Nearly 10,000 partners provide leading expertise to a wide range of clients in 15+ industry sectors.

Strategy & | PwC



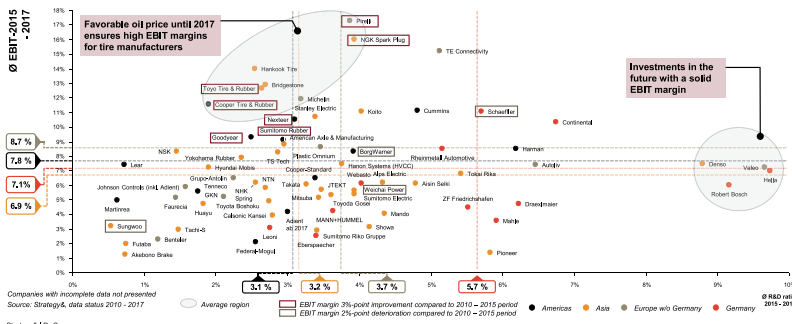
Automotive on growth track again

**Top suppliers are growing faster than the top OEMs  
and at the same time are more profitable**



Automotive on growth track again

## Germans invest most in R&D, but still manage to almost reach the level of their competitors in terms of EBIT margins



Automotive on growth track again

## Suppliers from other geographies appear to be getting ready for take off and are growing faster than Germans in R&D, EBIT and sales

Comparison of R&amp;D ratio, EBIT margin and sales growth 2010 - 2015 and 2015 - 2017

Growth Ø EBIT margin						Growth Ø R&D ratio						Growth Ø revenue (CAGR)					
#	Name	Region	Ø 10-15	Ø 15-17	Delta	#	Name	Region	Ø 10-15	Ø 15-17	Delta	#	Name	Region	Ø 10-15	Ø 15-17	Delta
1	Prell	Europe w/o Germany	12,2%	17,3%	+5,1%	1	NGK Spark Plug	Asia	1,3%	3,9%	+2,7%	1	Weichai Power	Asia	8,6%	37,0%	+28,4%
2	Nexteer	Americas	6,7%	10,5%	+3,8%	2	Mitsuba	Asia	0,9%	3,4%	+2,5%	2	American Axle & Man.	Americas	15,3%	25,7%	+10,4%
3	Cooper Tire & Rubber	Americas	7,9%	11,6%	+3,7%	3	Valeo	Europe w/o Germany	7,8%	9,7%	+1,8%	3	Plastic Omnium	Europe w/o Germany	9,0%	16,2%	+7,2%
4	Goodyear	Americas	5,9%	9,2%	+3,4%	4	Stanley Electric	Asia	1,8%	3,4%	+1,6%	4	Mann+Hummel	Germany	6,9%	13,1%	+6,2%
5	Toyo Tire & Rubber	Asia	9,3%	12,6%	+3,3%	5	Showa	Asia	3,1%	4,2%	+1,1%	5	Dana	Americas	3,4%	8,2%	+4,8%
6	NGK Spark Plug	Asia	13,0%	16,0%	+3,0%	6	Continental	Germany	5,7%	6,8%	+1,0%	6	Showa	Asia	-1,1%	3,6%	+4,7%
7	Bridgestone	Asia	10,1%	12,9%	+2,7%	7	Cummins	Americas	3,8%	4,8%	+1,0%	7	Valeo	Europe w/o Germany	8,6%	12,9%	+4,3%
8	Linamar	Americas	8,7%	11,3%	+2,6%	8	Autoliv	Europe w/o Germany	5,5%	6,5%	+0,9%	8	Yokohama Rubber	Asia	0,4%	4,4%	+4,0%
9	Johnson Controls	Europe w/o Germany	4,4%	6,9%	+2,5%	9	Dräxlmaier	Germany	5,4%	6,2%	+0,8%	9	Grupo Antolin	Europe w/o Germany	16,5%	19,9%	+3,4%
10	Koto	Asia	8,7%	11,0%	+2,3%	10	Prell	Europe w/o Germany	3,2%	3,9%	+0,7%	10	Aisin Seiki	Asia	4,2%	7,2%	+3,0%

The majority of companies with the strongest growth in EBIT come from the Americas and Asia

Increase in R&D spend led only indirectly to an increase in EBIT

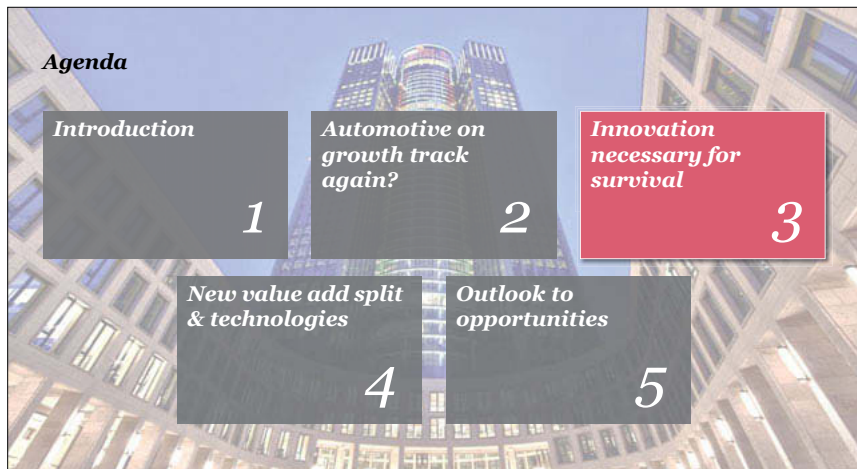
Only one German company among the top 10 revenue growth champions

The majority of companies with the strongest growth in EBIT come from the Americas and Asia

Increase in R&D spend led only indirectly to an increase in EBIT

Only one German company among the top 10 revenue growth champions

Source: Strategy&L, deltas in percentage points xxx Increase from below-average level xxx German supplier  
Strategy&L PwC



Innovation necessary for survival

## ***German E-Mobility practice up to now***

### **Real World**



Strategik | PwC

Innovation necessary for survival

## Consumers expect mobility services that are convenient, personalized, multi-modal and connected

### Multi-modal

**74%** of consumers opt for the most convenient way to get from A to B – including the combination of multiple transport modes



### Ubiquitously connected and integrated

**34%** of European consumers expect to seamlessly receive connected car services<sup>(1)</sup> – so does a **89%** share of Chinese customers



### On-demand

**47%** of European consumers would consider giving up their own car in favor of widely available and adequately priced autonomous robotaxi services

### Shared

**70%** of Chinese vehicle owners could imagine earning money from sharing their car via a P2P platform, while only **28%** would do so in Europe



### Personalized

**70%** of consumers expect mobility offers to be personalized, reflecting their mobility patterns and personal needs



### Experience-driven

When traveling fully autonomous, music streaming with **46%** and video streaming with **42%** are considered most relevant by consumers to enhance their experience



### Subscription-based

The majority of consumers would be willing to pay less than **\$250** for a monthly subscription of unlimited rides within town

(1) Real-time traffic information, communication and advertising, news stream, music stream  
Abbreviations: P2P – Peer-to-Peer; Source: PwC Strategy& consumer research, 2018, n=3000 (EU, USA and CHN)  
Strategy& | PwC

Innovation necessary for survival

## Electric and autonomous vehicles are subject to volatile regulatory frameworks across the E.U., China and the U.S.

### Regulatory trends



#### Electric

- Target controversy between „CARB“ states and EPA
- Gap between CARB's ZEV sales targets and EPA's emission standards freeze
- OEMs anxious about disparate US regulations

#### Autonomous

- Individual legislation in each state → fast ratification
- AVs on public highways permitted in selected states (Florida, Nevada, Virginia...)
- Michigan and California allow driverless vehicle tests



#### Electric

- Local focus on NOx & particles
- Credits for EVs to avoid CO<sub>2</sub> non-compliance penalties
- Inner-city bans of ICE planned

#### Autonomous

- AVs receive only test vehicle status, driver mandatory for testing on public roads
- L3 mode allowed in Germany, yet uncertainty about certification



#### Electric

- Licensing privileges for BEVs and PHEVs in many cities
- Mandatory EV quota planned for 2019
- Stepwise reduction of vehicle subsidies until 2022

#### Autonomous

- Legal initiatives for AVs on the political agenda, no nationwide regulations issued yet
- Test vehicle registrations for public highways in 7 cities (incl. Beijing and Shanghai)
- Many players already testing with local regulations of certain cities

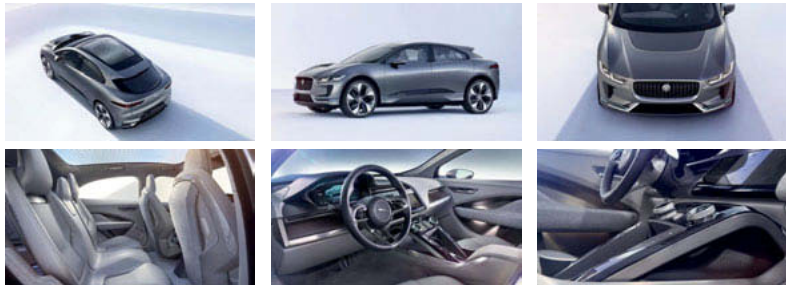
Regulator as (1) accelerator (2) inhibitor (3) or neutral

Abbreviations: CARB – states that have adopted the California Emission Standards; EPA – US Environmental Protection Agency; ZEV – zero emission vehicle; EV – electric vehicle; AV – autonomous vehicle  
Strategy& | PwC

Innovation necessary for survival

## ***E-mobility opens up new opportunities in vehicle concepts***

### **i-Pace concept**



Stratagik | PwC

Innovation necessary for survival

## ***Design will be key – bracking through the old packaging & style***

### **New Styling Examples**



Stratagik | PwC



Innovation necessary for survival

## ***Forward-looking concepts with a completely new structure and new functions are already in place***

### **Example – Iconiq**



#### **Trends in Auto Lighting**

- Under Body LED
- Exterior Lighting (in blue)
- Night View Sealing

→ LED trend also for the OE and aftermarket business

Source: PwC Strategy & research  
Strategy & PwC

Innovation necessary for survival

## ***New functionality will be key – all in function integration***



Strategy & PwC

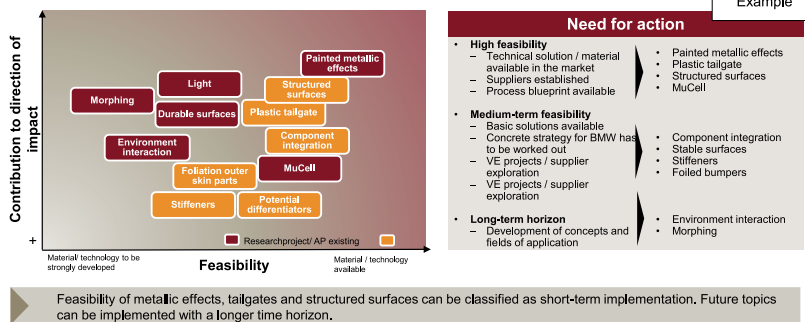
Innovation necessary for survival

## Challenges in all dimensions of people moving are coming soon



Innovation necessary for survival

## Derivation of need for action Classification of needs for action consolidated



Stratag &amp; PwC

Innovation necessary for survival

## Commercial applications will be first; China is far ahead



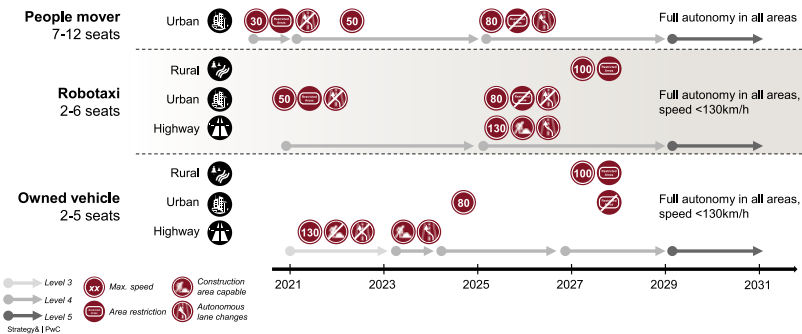
Strategy&PwC

Robo Intralogistic  
Robotaxis  
Robo-Last Mile

Innovation necessary for survival

## L4 autonomous driving is expected to be available by 2022 with people movers and robotaxis on restricted roads and speed <50km/h

Availability of autonomous driving (example of Germany)

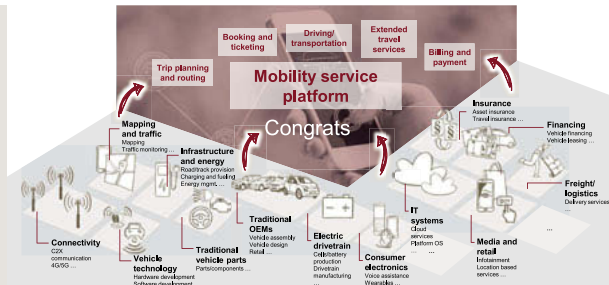


Innovation necessary for survival

## ***Mobility platforms beat traditional transportation offerings in choice, convenience, and price***

### **Mobility service platforms**

aim at providing passenger transportation that is more convenient and at a better price than traditional offers through more efficient asset use and/ or better orchestration of ecosystem partners



Abbreviations: OS – operating system  
Strategy& | PVC

## ***Agenda***

### ***Introduction***

1

### ***Automotive on growth track again?***

2

### ***Innovation necessary for survival***

3

### ***New value add split & technologies***

4

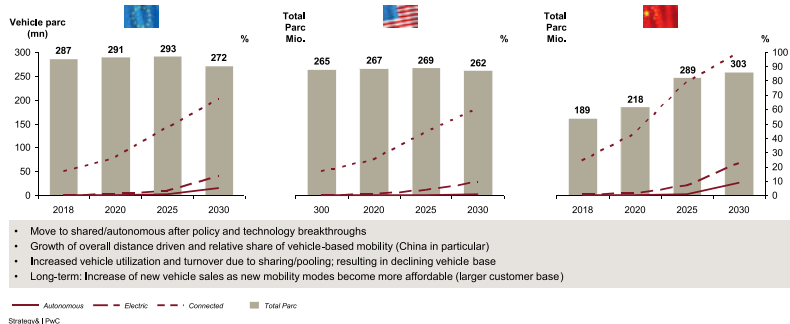
### ***Outlook to opportunities***

5

New value add split &amp; technologies

### ***Vehicle parc expected to decline in Europe, followed by China/US after 2030, as high utilization of shared cars will reduce required fleet***

Total vehicle parc (in millions; auton. / electr. / connected in % of total parc)

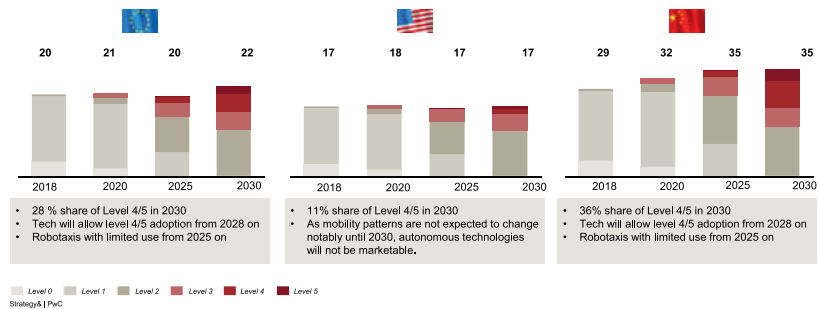


New value add split &amp; technologies

### ***Autonomous vehicles used in significant numbers after 2025 driven by L4/L5 technology advancements***

New car sales: Autonomous

(EU, US, China; in millions)





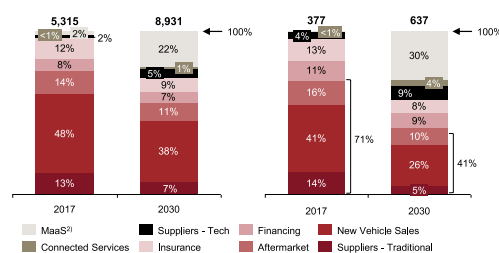
New value add split & technologies

### ***Industry profit share of traditional suppliers, vehicle sales and aftermarket will almost halve to 41% by 2030***

**Automotive industry – global value pool shifts**

Revenue distribution<sup>1)</sup> (in \$bn)

Profit distribution<sup>1)</sup> (in \$bn)



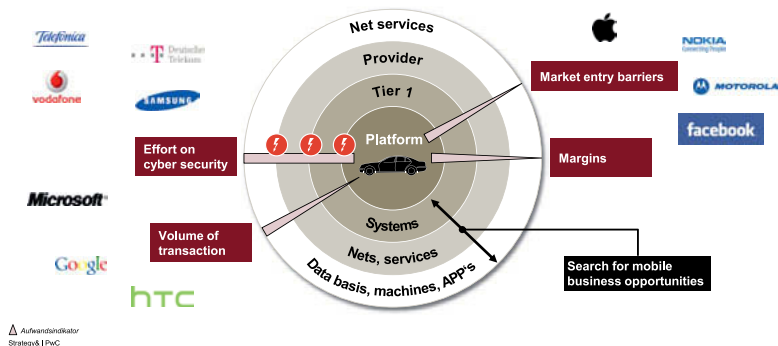
#### **Key levers**

- MaaS increases **vehicle utilization** and respective vehicle wear/tear → higher vehicle related sales, but declining vehicle base
- MaaS **fleet owners** emerge as growing buyer segment with higher bargaining power → lower margins in aftermarket, financing, and insurance
- **Autonomous** increases technical vehicle complexity/value provided by new tech suppliers, but reduces collisions → shift in aftersales business
- Vehicle **electrification** reduces power train complexity, vehicle maintenance need, and traditional supplier contribution → reduced traditional supplier revenues

<sup>1)</sup> Based on Strategy& Analytics 2030 Scenario. Totals may not equal sums shown due to rounding. <sup>2)</sup> Vehicle-based mobility as a service, incl. "shared autonomous" & "shared driver-driven"  
 Note: Consolidated view, supplier value pools not eliminated from vehicle/aftermarket/MaaS revenues to show full industry value pools  
 Source: PwC Autotech, IHS, HBR, Technavio, Thomson Reuters, Oxford Economics, OEM Reports, Strategy& Analytics  
 Strategy& Analytics

New value add split & technologies

***Business opportunities around connected car are very different and have co-connected challenges***



***Agenda***

***Introduction***

***1***

***Automotive on growth track again?***

***2***

***Innovation necessary for survival***

***3***

***New value add split & technologies***

***4***

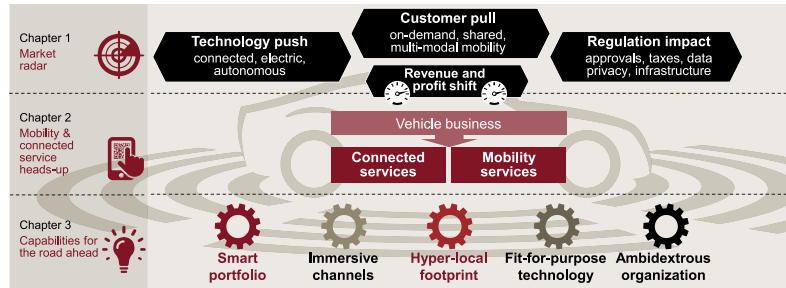
***Outlook to opportunities***

***5***

Outlook to opportunities

## Our digital dashboard helps to navigate the future as both carmaker and mobility service provider

Digital dashboard with key transformation areas

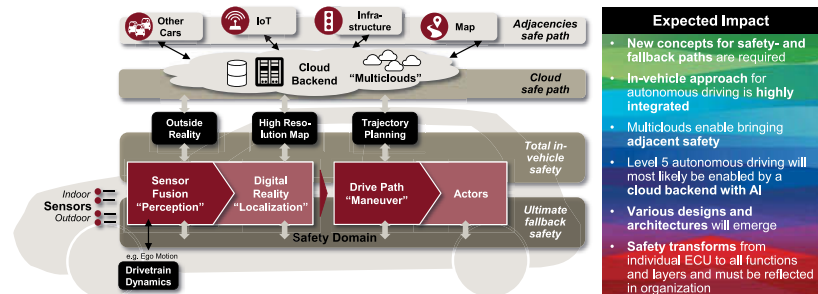


Strategy&amp; | PwC

Outlook to opportunities

## The domain ADAS /AD is subject to most significant and most complex technological change and a good example for distributed safety

High-level view on domain ADAS / AD – Distributed safety



Strategy&amp; | PwC

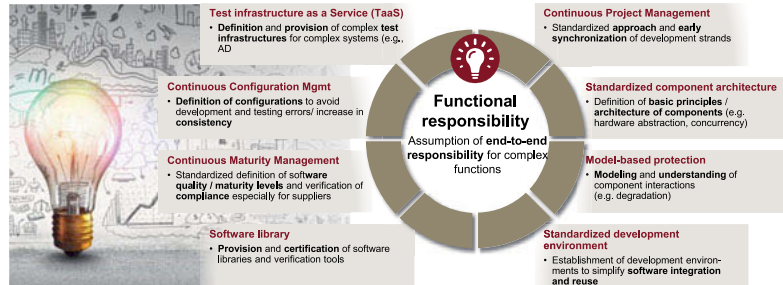


Outlook to opportunities

SELECTION

## Tier-1 suppliers have to regain functional responsibility

### Required functional orientation and orchestration

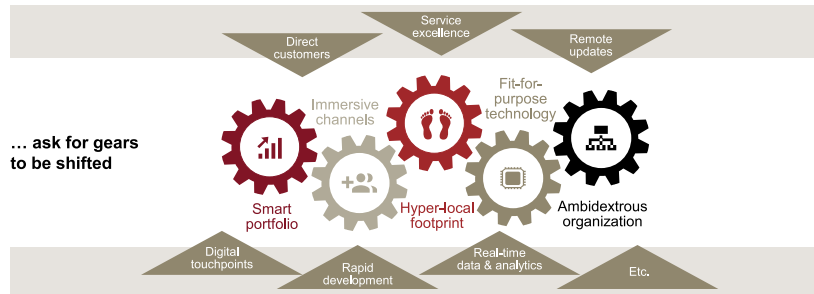


Source: Strategy&S, SDK: Software Development Kit, AD: Autonomous Drive  
Strategy&S | PwC

Outlook to opportunities

## Winners will shift gears in 5 areas to meet future of mobility demands

### New paradigms in automotive ...



Strategy&amp;S | PwC

## **Autonomes Fahren: Autonome Türen?**

### **Wie das Nutzungsverhalten den Fahrzeugzugang der Zukunft verändert**

## **Autonomous driving: Autonomous side doors?**

### **How changing user behavior is effecting vehicle access**

B.Eng. **Sebastian Hermeling**,

Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. Kommanditgesellschaft, Bamberg

#### **1. Autonomes Fahren**

Das A in CASE steht für autonomes Fahren und beschreibt gemeinsam mit Connectivity, Shared Mobility und Elektrifizierung die vier wesentlichen Treiber der automobilen Revolution des 21. Jahrhunderts. [1] Diese Trends haben das Potential, sowohl die Wahrnehmung und Nutzung von Fahrzeugen als auch das Verständnis von Mobilität in den kommenden Jahren radikal zu verändern.

Die Etappen hin zum autonomies Fahren werden in sechs Stufen der Automatisierung beschrieben: Von Level 0 „Driver Only“ bis Level 5 „Driverless“. [2] Wie für alle autonomen Systeme besteht der Anreiz für autonomes Fahren im Wesentlichen aus drei Aspekten: Mehr Komfort, mehr Sicherheit und mehr Flexibilität. Die Herausforderung dabei ist immer die Verantwortungsübergabe vom Nutzer an ein selbsttätig arbeitendes System zu klären. Dies lässt sich auch auf den Fahrzeugzugang übertragen. Denn so wie sich das Nutzungsverhalten und das Fahrzeugdesign ändern wird, werden sich in Folge dessen auch die Funktionalitäten von Türen und Klappen wandeln. Das Fahrerlebnis sollte sich diesbezüglich ebenfalls entlang der Automatisierungsstufen weiterentwickeln. Brose entwickelt in diesem Zusammenhang Funktionen für den Fahrzeugzugang unter Einbezug der Expertise für Innenraum und Fahrzeigtüren.

#### **2. Autonome Türen**

Der Fahrzeugzugang hat sich kontinuierlich weiterentwickelt. Definiert man die klassische PKW-Seitentür, wie sie heute insbesondere im Entry-Segment noch zum Standard gehört, als Level 0 der Automatisierung, so können diverse Entwicklungspfade identifiziert werden: Vom klassischen Schlüssel über Keyless-Entry-Systeme hin zu Identifikation per Gesichtserkennung. Vom rein mechanischen Schloss über die elektrische Zentralverriegelung hin zum vollelektrischen Schloss. Musste der Nutzer früher noch die Tür bis in die Hauptraste

des Schlosses werfen, unterstützt ihn heute eine Zuziehhilfe. Wo früher ein Türgriff war, klappen nun Griffe aus und diese werden wiederum bald – wie an der Heckklappe – durch Sensoren und Schalter für berührungsloses Öffnen und Schließen ersetzt. Ebenfalls sind elektrisch angetriebene Heckklappen und -deckel bereits heute etabliert. In naher Zukunft werden auch Seitentüren nicht mehr mit der Hand bedient werden.

Im Zusammenspiel dieser Entwicklungen entsteht die „autonome Tür“, die das sichere vollautomatische Öffnen und Schließen ermöglicht. Brose arbeitet bereits an den erforderlichen Komplettsystemen, die aus Schloss mit Zuziehhilfe, Sensoriken für den Einklemm- und Kollisionsschutz, einem elektronischen Steuergerät sowie dem Antrieb bestehen. Diese Lösungen bietet das Familienunternehmen bereits in verschiedenen Abstufungen an und ermöglicht dem Nutzer so ein ganz neues Erlebnis beim Fahrzeugzugang.

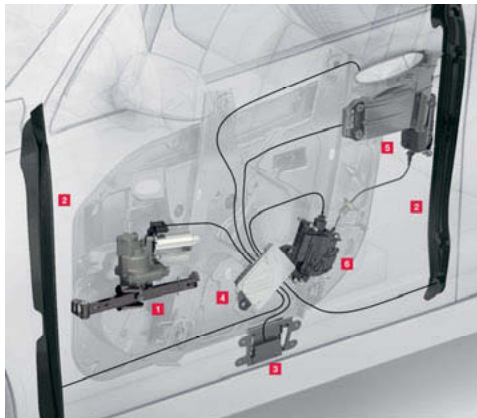


Bild 1: Das Türantriebssystem von Brose umfasst den (1) Antrieb, die (2) Einklemm- und (3) Kollisionsschutzsensorik, das (4) Steuergerät sowie das (5) elektrisch öffnende Seitentürschloss mit (6) Zuziehhilfe.

### 3. Nutzerzentrierung

Der Fokus auf den Nutzer wird umso wichtiger, da dieser mehr denn je im Zentrum der eingangs genannten automobilen Revolution steht. Im Kontext der globalen Megatrends wie dem Klimawandel, der Digitalisierung und der Individualisierung ergeben sich drei große

Fragen: Verbrenner oder Elektromotor? Besitz oder Verfügbarkeit? Selbst fahren oder gefahren werden? Allen ist gemein, dass der Nutzer mit seinen Wünschen, Erwartungen und Bedürfnissen im Zentrum der Frage steht. Daraus leitet sich ab, dass die OEMs und Zulieferer das Kundenerlebnis verstehen und gestalten müssen.

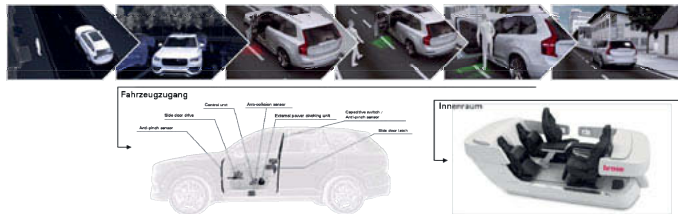


Bild 2: Ganzheitliche Lösungen entlang der „Customer Journey“

#### 4. Auswirkungen auf Automobilzulieferer

Weil das Fahrerlebnis als zentrales Alleinstellungsmerkmal stärker in den Hintergrund rückt, werden beim teil- und vollautonomen Fahren andere Aspekte sehr viel relevanter. In diesem Zusammenhang werden Fahrzeugzugangs- und Innenraumkonzepte mehr und mehr verschmelzen. Um diese Zukunft zu gestalten, brauchen Automobilhersteller – etablierte wie neue – innovative Partner wie Brose, die Expertise von der Komponente bis zum System im Bereich Türen und Klappen sowie im Bereich Interieur vereinen können. Brose verfolgt dabei einen ganzheitlichen Systemansatz und kombiniert klassische Entwicklungsmethoden mit Systems Engineering und nutzerzentrierten Entwicklungsansätzen. Auf diese Art können erfolgreiche Produkte und Lösungen entlang der „Customer Journey“ entstehen.

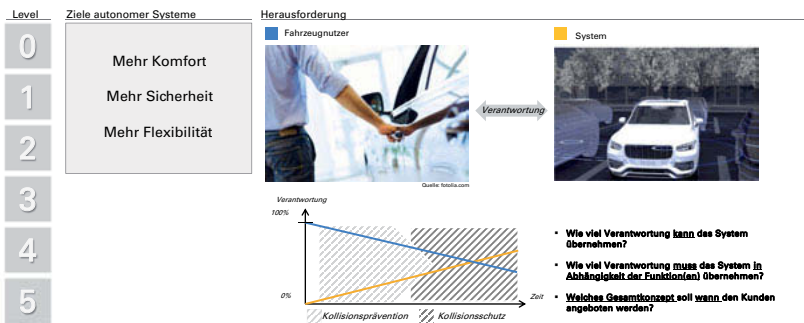
- [1] Vgl. „CASE - Intuitive Mobilität“, Daimler AG, <https://www.daimler.com/case/>
- [2] Vgl. dazu u.a. SAE-Norm J3016 und „Automatisiertes Fahren“, Verband der Automobilindustrie e.V., <https://www.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/automatisiertes-fahren/automatisiertes-fahren.html>

## Autonomes Fahren



Verantwortlich: TQ2-VE/ Sebastian, Hermeling

## Autonome Türen?



Verantwortlich: TQ2-VE/ Sebastian, Hermeling

## Autonome Türen?

Level	Stufen der Automatisierung	→ Beispiele bei Seitentüren
0	<div>Fahrer führt dauerhaft Längs- und Querverführung aus.</div> <div><b>Kein eingreifendes Fahrzeugsystem aktiv.</b></div> <div>Quelle: VDA/Bundesamt für Straßenwesen</div>	 <p>Der Klassiker: Manuell bedienbare Schwenktür</p>
1		
2		
3		
4		
5		
Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling		

## Autonome Türen?

Level	Stufen der Automatisierung	→ Beispiele bei Seitentüren
✓	<p>Fahrer führt dauerhaft Längs- oder Querverführung aus.</p> <p><b>System übernimmt jeweils andere Funktion.</b></p> <p>Quelle: VDA/Bundesamt für Straßenwesen</p>	
1		
2		
3		
4		
5	z.B. die Zuziehhilfe: Automatisiertes Zuziehen gegen den Türdichtungsdruck	
Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling		

## Autonome Türen?

Level	Stufen der Automatisierung	→ Beispiele bei Seitentüren
✓	Fahrer muss das System dauerhaft überwachen.	
✓	<b>System übernimmt Längs- und Querverführung in einem spezifischen Anwendungsfall.</b>	
2	Quelle: VDA/Bundesamt für Straßenwesen	
3		
4		
5		

Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

z.B. „Blind Spot Detection“ → „Exit Warning“ oder „Safe Exit Assist“

## Autonome Türen?

Level	Stufen der Automatisierung	→ Beispiele bei Seitentüren
✓	Fahrer muss das System nicht mehr dauerhaft überwachen.	
✓	<b>Muss potenziell in der Lage sein, zu übernehmen.</b>	
✓	System übernimmt Längs- und Querverführung in einem spezifischen Anwendungsfall.	
✓	Erkennt Systemgrenzen und fordert Fahrer zur Übernahme mit ausreichender Zeitreserve auf.	
3	Quelle: VDA/Bundesamt für Straßenwesen	
4		
5		

Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

z.B. der kapazitiver Einklemmschutz bei automatisch schließenden Türen / Klappen

## Autonome Türen?

Level	Stufen der Automatisierung	→ Beispiele bei Seitentüren
✓		
✓	Kein Fahrer erforderlich im spezifischen Anwendungsfall.	
✓	<b>System kann im spezifischen Anwendungsfall alle Situationen automatisch bewältigen.</b>	
✓	Quelle: VDA/Bundesamt für Straßenwesen	
4		
5		

Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

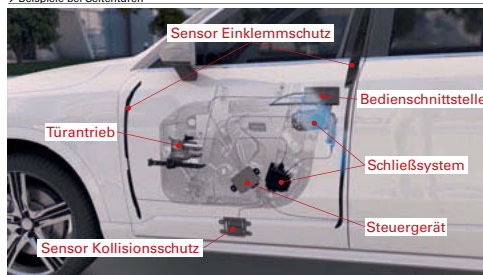
z.B. „Power-Close“: Türantrieb für automatisches Schließen der Seitentür

## Autonome Türen?

Level	Stufen der Automatisierung	→ Beispiele bei Seitentüren
✓		
✓	<b>System kann während der ganzen Fahrt alle Situationen automatisch bewältigen.</b>	
✓	<b>Kein Fahrer erforderlich.</b>	
✓	Quelle: VDA/Bundesamt für Straßenwesen	
✓		
5		

Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

Die vollautomatische Tür





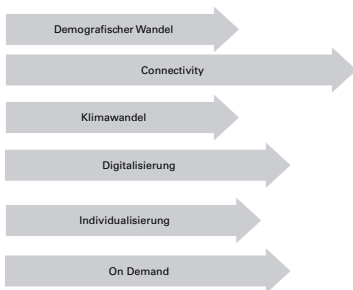
## Was bringt die Zukunft?



Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

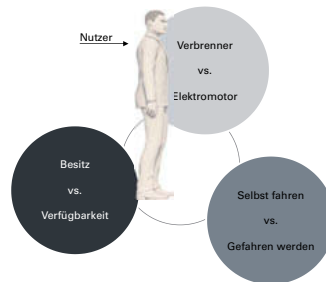
## Was bringt die Zukunft?

### Die großen Trends unserer Zeit



Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

### Die großen Fragen unserer Zeit



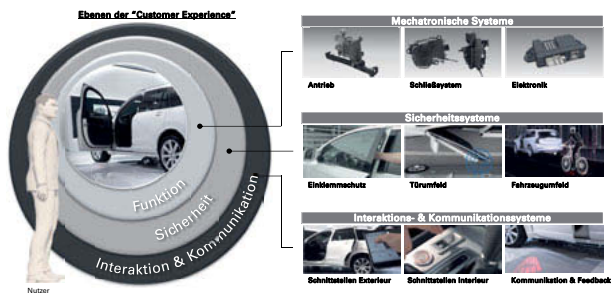
## Nutzerzentrierte Entwicklung

Die „Customer Journey“ verstehen und gestalten



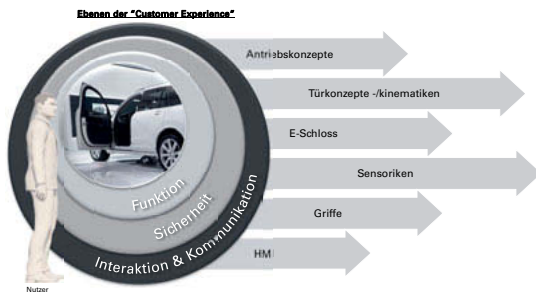
Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

## Nutzerzentrierte Entwicklung



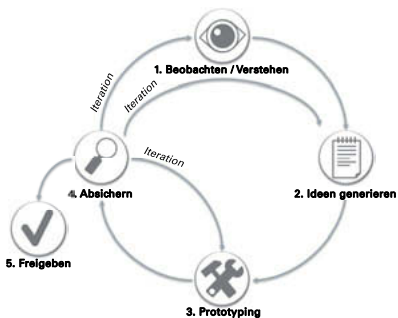
Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

## Nutzerzentrierte Entwicklung



Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

## Nutzerzentrierte Entwicklung



Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

Z.B. durch Nutzerkontextanalysen, ...



... Visualisierung und Umsetzung von Ideen, ...

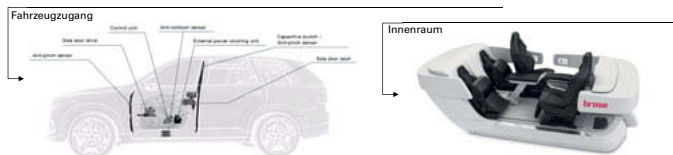


... durchführen von Car Clinics.



## Kundenerlebnis: Der USP der Zukunft

Brose Produkte und Lösungen entlang der „Customer Journey“



Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling



## Die Tür des 911 in der achten Generation

Dipl.-Ing. (FH) **Lars Schulz**, Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Weissach

## Zusammenfassung

## Der neue Porsche 911

# PERFORMANCE

**C-Box** 2.981 cm<sup>3</sup>  
Sechsstufige Boxer-Box mit Elektron-Aufladung (Steuerleistung 34kW)

**450 PS**  
317 kW (432 PS) bei 5.500 U/min

**530 Nm**  
Maximales Drehmoment  
530 Nm bei 3.500 - 5.500 U/min

**8**  
Achtstufen-Overhead-Drive-Getriebe  
PS

**+30°**

**911 Carrera S**

**3,5 s**  
Beschleunigung 0 - 100 km/h

**306 km/h**  
Höchstgeschwindigkeit

**1.515 kg**  
Leertgewicht nach ISO

**911 Carrera 4S**

**3,4 s**  
Beschleunigung 0 - 100 km/h

**306 km/h**  
Höchstgeschwindigkeit

**1.565 kg**  
Leertgewicht nach ISO

\*Vergleichswert zum Vorgängermodell (2012)

# DESIGN

Adaptives Hochdrucklicht mit gelbtem Anstrich

Beim 180°-Wechsel vom Heck zum vorderen Lichtbereich um 30°-Technik

Elektron. Motorbremse (standard bei S und 4S)

Starker, vertikaler Topfgriff

Neuer, vertikaler Motor mit elektronischer Lenkung

Neuer LED-Matrix-Heuptelefonie mit 18°-Schaltfeld (nur bei Carrera S und 4S)

Neue LED-Matrix-Heuptelefonie mit 18°-Schaltfeld (nur bei Carrera S und 4S)

Neue LED-Matrix-Heuptelefonie mit 18°-Schaltfeld (nur bei Carrera S und 4S)



Rufnummer: 0800 100 100 100 (kostenlos)

# DIGITAL

Porsche Next Step

Porsche Connect

Porsche Digital



# MEHR KOMFORT

Neue Porsche Active Suspension Management (PASM)

Elektron. Motorbremse (standard bei S und 4S)

Elektron. Motorbremse (standard bei S und 4S)

Elektron. Motorbremse (standard bei S und 4S)



# MEHR SICHERHEIT

Neue LED-Matrix-Heuptelefonie mit 18°-Schaltfeld (nur bei Carrera S und 4S)

Elektron. Motorbremse (standard bei S und 4S)

Elektron. Motorbremse (standard bei S und 4S)

Elektron. Motorbremse (standard bei S und 4S)



# INTERIEUR

Porsche Communication Management (PCM) mit 18°-Schaltfeld (nur bei Carrera S und 4S)

Elektron. Motorbremse (standard bei S und 4S)

Elektron. Motorbremse (standard bei S und 4S)

Elektron. Motorbremse (standard bei S und 4S)



911 Carrera S: 0-100 km/h: 3,5 s, Höchstgeschwindigkeit: 306 km/h, Verbrauch (l/100 km): 12,7 (10,7) (9,7) bei 90 (120) km/h, Emission (g/km): 161 (146) (131) bei 90 (120) km/h, CO<sub>2</sub>: 203 (183) (163) g/km, Emission (g/km): 161 (146) (131) bei 90 (120) km/h, CO<sub>2</sub>: 203 (183) (163) g/km, Emission (g/km): 161 (146) (131) bei 90 (120) km/h, CO<sub>2</sub>: 203 (183) (163) g/km

www.porsche.com

Schneller, Breiter, Digital – Auch in der achten Generation ist der neue Porsche 911 unverkennbar der Porsche-DNA verpflichtet. Den Stylisten und Entwicklern ist es wieder gelungen den 911 in seinen Grundzügen beizubehalten und gleichzeitig neue Erkenntnisse der Entwicklung und neue Technologien einfließen zu lassen.

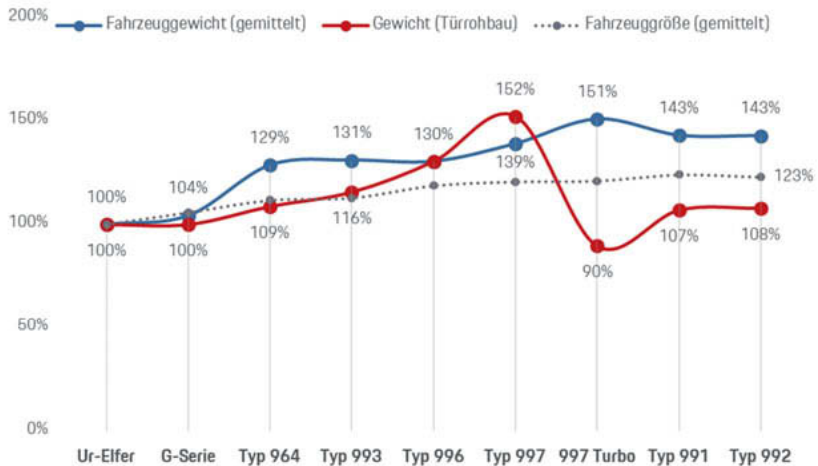
Das Exterieur Design wirkt vertraut und ist doch eindeutig neu. Der 911 der achten Generation tritt breiter, selbstbewusster und moderner auf.

Um die Form in der Seitenlinie stärker zu betonen wurde die Karosserie im Bereich der Türen deutlich eingeschnürt. Die Breite Hinterachse gibt es im 992 nun für alle Derivate auf Basis der Allradmodelle.

Die markante Form wird zusätzlich durch die breitere Vorderachse betont.

Die mit den Türen bündige Integration der elektrisch ausfahrenden Griffe betont die taillierte und glatte Seitenlinie. Die ebenfalls neu geformten Außenspiegel sind auf möglichst geringe Seitenscheibenverschmutzung und minimale Windgeräusche optimiert und optional elektrisch anklappbar.

Trotz nahezu gleicher Fahrzeugabmessungen und erhöhter Anforderungen an die Fahrzeugsicherheit ist es gelungen das Gesamtfahrzeuggewicht auf einem vergleichbaren Niveau des Vorgängers zu halten.



### Das Türrohbaupkonzept

Die Tür wirkt, als sei sie übergangslos zwischen vorderem und hinterem Kotflügel eingespannt worden. Sie fügt sich gradlinig und schnörkellos ein. Die deutlich tiefer als beim Vorgängermodell einsetzende Fällung der Seite sorgt für einen optisch tieferen Schwerpunkt und unterstreicht die gedrungene Erscheinung des neuen 911.

Für den Türrohbau führt das neue Styling zu Herausforderungen im Package. Bei gleichen Greenhouse-Dimensionen und eingeschnürter Tailenlinie bleibt weniger Bauraum für die Türstrukturbauteile übrig.

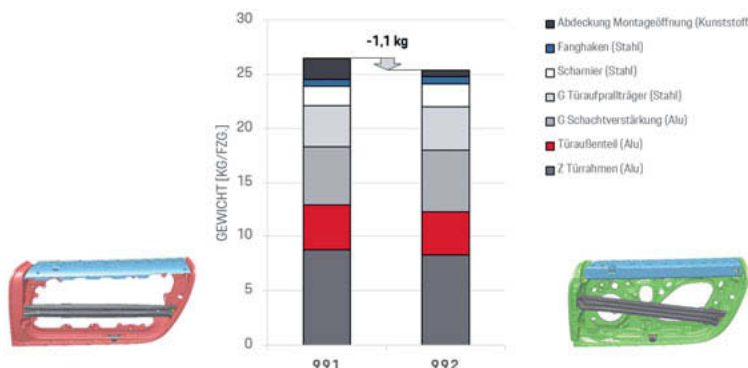


Hinzu kommen neue Anforderungen aus der Fahrzeugsicherheit. Auslegungskriterien sind hier nicht nur die Anforderungen des 991, sondern auch der IIHS Small Overlap und der UN R135 Pfahl seitlich.

So haben wir für den 992 das bewährte Konzept mit einem Türinnenteil aus Aluminium Druckguss verlassen und uns für eine Aluminium Blechschalenbauweise entschieden. Wir nutzen hier die Leichtbautechnologien in Verbindung mit den duktilen Eigenschaften der verwendeten Blech Legierungen. Um optisch höchsten Anforderungen zu gerecht zu werden und Fließfiguren zu vermeiden, kommen sowohl für das Türinnenteil als auch für das Türaußenteil nur 6000er Aluminium Legierungen in Frage. So vermeidet man auf dem anspruchsvollen Türinnenteil Fließfiguren.

Die Einschränkungen im Bauraum werden beim Türaufprallträger durch eine Materialumstellung von einem HCT780 auf einen TWIP Stahl CR980 kompensiert. Die TWIP Stahllegierungen kombinieren hervorragende Umformeigenschaften für anspruchsvolle Geometrien mit der hohen Performance für die Fahrzeugsicherheit. Es wurde beim TWIP Stahl ein Rohmaterial mit 580 N/mm<sup>2</sup> Zugfestigkeit und >50% Bruchdehnung verwendet, welches durch den Umformvorgang auf >980 N/mm<sup>2</sup> verfestigt wird. Mit der hohen Reserve bei hohen Dehnraten bietet ein Türaufprallträger aus diesem Material ideale Voraussetzungen für die Crashanforderungen.

Für die Schachtverstärkung außen kommt – wie beim Vorgänger – ein streckgebogenes Aluminium Strangpressprofil zum Einsatz. Allerdings wurde auch hier das Material von einer 6060 Legierung auf eine ECO Aluminium Legierung umgestellt. Die vielversprechende ECO 7021 Legierung hat sich hier leider nicht in die Serie durchgesetzt. Durch aufwändigen Korrosionsschutz in Form einer Eloxierung und die Veränderung der Materialeigenschaften durch den Wärmeeintrag im KTL- und Lack-Prozess sinken die Eigenschaften auf das Niveau der ECO 6082 Legierung.



Insgesamt konnte durch die Änderung des Türkonzeptes das Türgewicht um mehr als 1 kg/Fzg. Reduziert werden.

### Das Dichtungskonzept

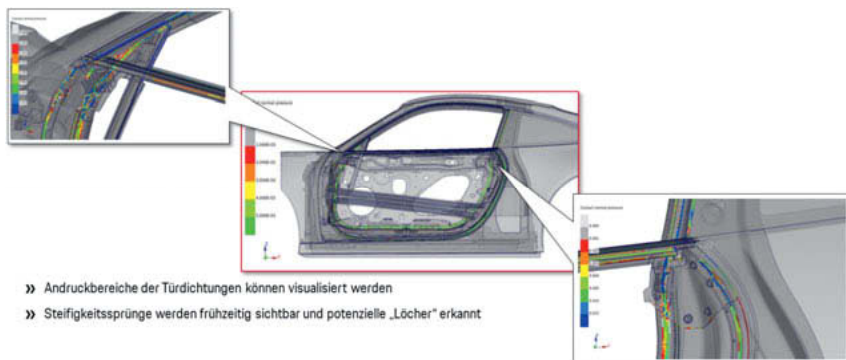
Beim Dichtkonzept wurde gezielt das Konzept der Vorgänger optimiert und durch die optische Einbindung von Zierleisten und Verglasung das Design des 911 Carrera weiter verbessert.



Beim 911 Coupé sind somit die Varianten der Zierleisten in die Dachrahmendichtung bzw. die Türschachtelung integriert. Im Bereich der Fondseitenscheibe ist die Zierleiste Bestandteil der Verglasung.

Im 992 haben wir intensiv die virtuelle Dichtungsentwicklung genutzt. Bereits bei der Auslegung konnten so die Dichtungsgegendrücke überprüft werden und damit Schwachstellen bereits vor der Hardwareerstellung identifiziert werden.

Die Wassersimulation zeigt wo sich das abfließende Wasser seinen Weg sucht und ob die theoretisch vorgesehenen Entwässerungswege auch tatsächlich funktionieren.



### Neuer Türaußengriff mit elektrischem Türschloss

Entsprechend der Designwünsche, wurde ein elektrisch ausfahrender Türaußengriff entwickelt, der kombiniert mit einem elektrischen Türschloss für eine komfortable Türöffnung sorgt und eine glattflächige Türaußenoptik ermöglicht.

Damit löst der teilversenkte elektrisch ausfahrbare Türgriff des 992 eine lange Tradition an Bügelgriffen – mit Ausnahme des 996 – ab.



Da das Türaußenblech in 6000er Qualität nur eingeschränkt kalt einstufig umformbar ist musste man für eine ergonomische Griffbetätigung in die Trickkiste greifen. Um einen ergonomischen Eingriff zu gewährleisten lässt man den Türgriff beim Entriegeln des Fahrzeugs elektrisch in seine Bereitschaftsposition ausfahren. In dieser Position reicht ein minimaler fast kraftfreier Betätigungsweg aus um das eSchloss elektrisch zu öffnen. Für den Pannenfall oder ein stromloses Fahrzeug verfügt das System über eine mechanische Redundanz. So kann das Schloss auch herkömmlich über einen Bowdenzug ausgelöst werden. Für diese „Notbetätigung“ wird der Türgriff über eine deutlich spürbare Kraftschwelle hinaus betätigt. Die Türgriffe fahren bei Verriegelung, einer Zeitschwelle bei Nichtbetätigung oder nach dem Anfahren automatisch in Ihre Ruheposition.

Das eSchloss bietet den Vorteil, dass es keine mechanischen Zustände „Offen“ und „Verriegelt“ gibt, sondern nur logische. Damit ist es möglich bei anliegendem Geschwindigkeitssignal „Verriegelt“ zu fahren und somit Bewegungen am Bowdenzug – z.B. bei Verformung – zu ignorieren.

### Der Außenspiegel

Beim neuen Außenspiegel lag die Herausforderung der Entwicklung darin, neue Designakzente bei gleichzeitig gewohnt hohen Ansprüchen an Aeroakustik und Optik zu setzen. Auch im Außenspiegel wurde der aktuelle Stand der Technik umgesetzt. Neben den bekannten Optionen aus dem 991 gibt es für den 992 Real Top View als Ausstattungsvariante. Die dafür erforderlichen Kameras wurden unter anderem in die Außenspiegel integriert. In Vorbereitung dafür wurde die bekannte Vorfeldleuchte aus dem 991 in eine Manövriereleuchte geändert. Die Spurwechselanzeige sitzt nun wie bei anderen Porsche Baureihen im Spiegelglas.



#### 991 Außenspiegel

- » Basis 1,11 kg/Spiegel
- » Optionen: Beiklappantrieb, Vorfeldleuchte, Memory, Farbvarianz

#### 992 Außenspiegel

- » Basis 1,36 kg/Spiegel, 10% größer wie 991
- » Neu: RTV Kamera, SWA Anzeige, Manövriereleuchte
- » Optionen: Beiklappantrieb, Memory, Farbvarianz

Die Mehrungen in der Produktsubstanz erfordern ein minimal größeres Package im Spiegelgehäuse. Die Form des Gehäuses wurde dabei intensiv im Windkanal abgestimmt und optimiert. Als Ergebnis wurde ein Stand erreicht der weniger stark verschmutzt als beim Vorgänger. Aeroakustisch ist der Außenspiegel so unauffällig, dass man so gut wie keine Unterschiede im Summenpegel an einem Fahrzeug mit und ohne Außenspiegel messen kann.



# Das Türenkonzept des Audi e-tron

Dipl.-Ing. (FH) **Maik Esswein**, AUDI AG, Ingolstadt

## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Motivation

- Aufbruch der Marke Audi in das elektromobile Zeitalter
- Vorsprung durch Technik
  - Innovationen die weit über den elektrischen Antrieb hinaus gehen
  - Digitalisierung, Connectivity autonomes Fahren
- Klassische Stärken der vier Ringe
  - Technik, Design und Qualität auf Premiumniveau
- Spezifische Anforderungen E-Fahrzeuge

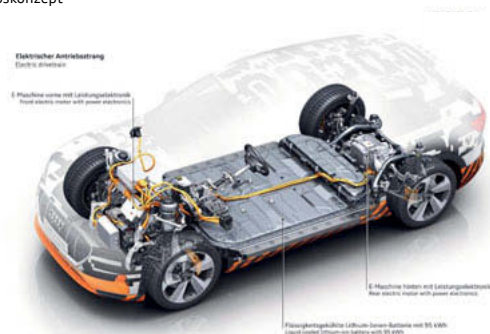
„Aufbruch, der elektrisiert“



## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Herausforderungen für die Innenraumakustik von Elektrofahrzeugen

- › Neues Antriebskonzept

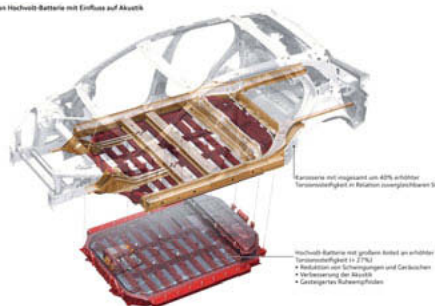


## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Herausforderungen für die Innenraumakustik von Elektrofahrzeugen

- › Neue Karosseriearchitektur

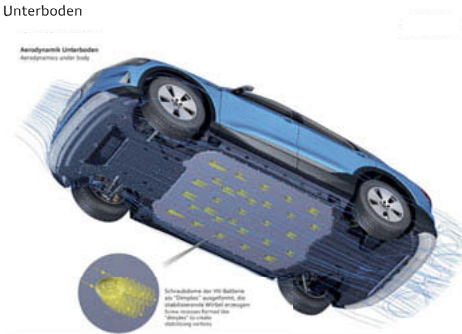
Integrierte Hochvolt-Batterie mit Einfluss auf Akustik



## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Herausforderungen für die Innenraumakustik von Elektrofahrzeugen

- › Extrem flacher Unterboden



## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Herausforderungen für die Innenraumakustik von Elektrofahrzeugen

- › Neues Antriebskonzept
- › Neue Karosseriearchitektur
- › Extrem flacher Unterboden



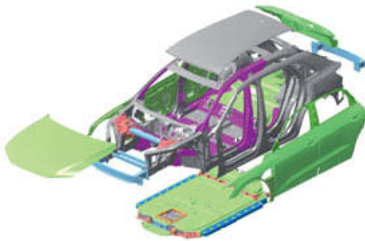
⇒ Innenraumakustik auf deutlich reduziertem Geräuschniveau

### Herausforderung an die Dichtigkeit der Türen

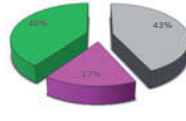
- › Antriebs- und Rollgeräusche stehen im unteren Geschwindigkeitsbereich stärker im Vordergrund
- › Windgeräusche stehen im höheren Geschwindigkeitsbereich stärker im Vordergrund
- › Optionale Akustikverglasung der Türscheiben reduziert das Innengeräusch noch weiter

## Das Türenkonzept des Audi e-tron

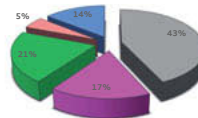
### Materialmix Karobau



■ Stahl kaltumgeformt ■ Stahl warmumgeformt ■ Aluminium



■ Stahl kaltumgeformt ■ Stahl warmumgeformt  
■ Aluminium Blech ■ Aluminium Guss  
■ Aluminium Profil



## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Türrohnbau

#### Übersicht Einzelteile



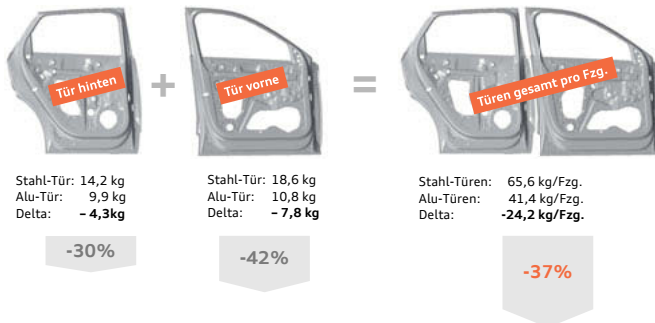
#### Entwicklungsziele

- Erfüllung hoher Crashanforderungen
- Aeroakustik auf Zielkurve
- Gewichtsreduzierung
- Türrohnbauauslegung für zwei Spiegelkonzepte
  - Prämisse Dreieckspegel mit Optik und Funktion ähnlich einem Schachtspiegel

## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Türrohbau

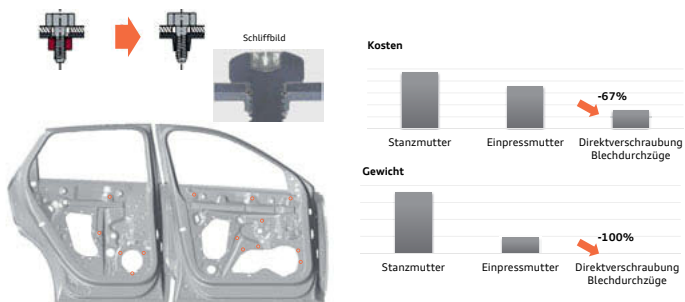
- › Gewichtsreduzierung des reinen Türrohbaus durch Aluminium Leichtbauweise



## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Türrohbau

- › Direktverschraubung in Blechdurchzüge anstatt Verschraubung in Funktionselemente





## Das Türenkonzept des Audi e-tron

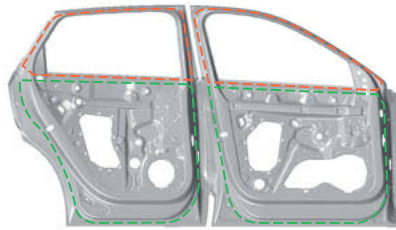
### Türrohnbau

- › Verbindungstechniken haben wesentlichen Beitrag zur Gesamtsteifigkeit

#### Rahmenbereich Lasern



#### Türkastenbereich Stanznieten



## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Türrohnbau

- › Einfluss Türrohnbau auf Akustik
- › Auslegung Türrahmensteifigkeit mittels FEM-Simulation

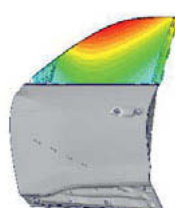
Lastfälle: Mitte A-Säule



Ecke B-Säule



Windlast



## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Türrohbau

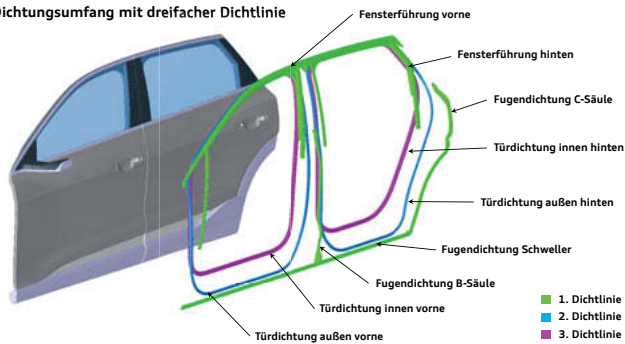
- › Einfluss Türrohbau auf Akustik
- › Dämmmatten



## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Dichtsystem

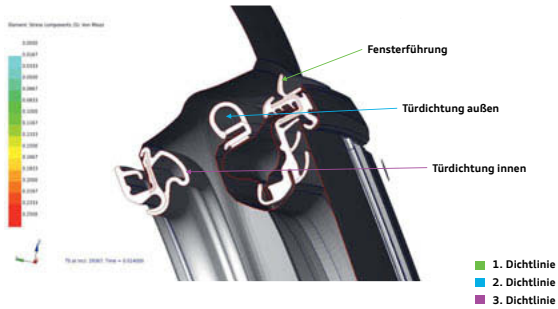
- › Dichtungsumfang mit dreifacher Dichtlinie



## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Dichtsystem

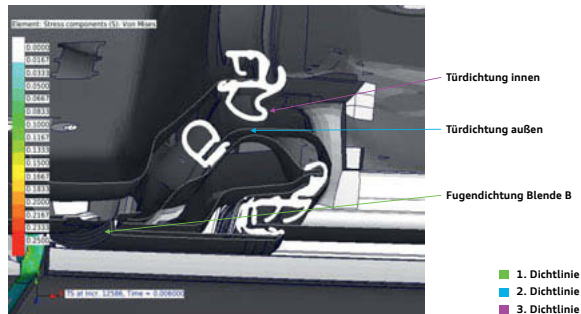
#### > Dachschnitt



## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Dichtsystem

#### > Schnitt B-Säule hinten

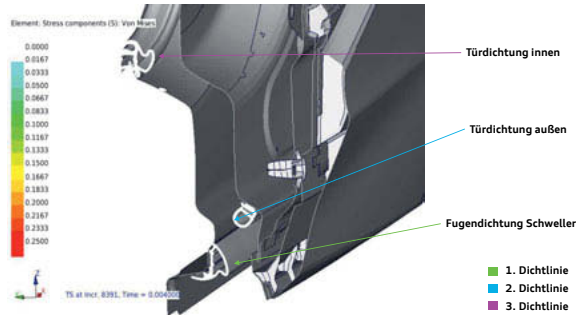




## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Dichtsystem

#### > Schnitt C-Säule unten



## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Dichtsystem

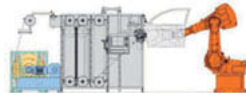
- > Simulation Schließverhalten (Schließkomfort)
- > Berücksichtigung von Entlüftungseinflüssen der Dichtungen und Bauräume



## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Dichtsystem

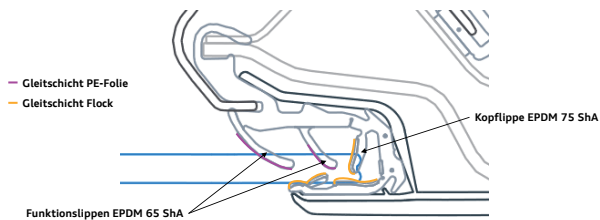
- Rollkopfapplikation der TDA in Endlostechnik
- Kosteneinsparung gegenüber Plattentechnik
- Höhere Flexibilität bei Derivaten und Folgeprojekten



## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Dichtsystem

- Fensterführung mit reduziertem Durchschiebemoment



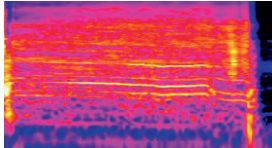
## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Dichtsystem

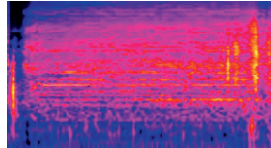
- › Fensterführung mit reduziertem Durchschiebemoment hat positiven Einfluss auf die Fensterheberakustik



Schwergängig:



Leichtgängig:



## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Dichtsystem

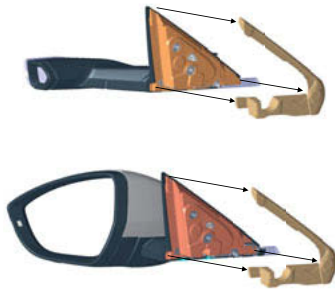
- › Akustikoptimierung durch Schaumteile



## Das Türenkonzept des Audi e-tron

### Dichtsystem

- Dichtkonzept Spiegeldreieck für zwei Spiegelvarianten



- Schaumteil virtueller Spiegel
- Schaumteil klassischer Spiegel
- Schaumteil türseitig

## Das Türenkonzept des Audi e-tron

Autobild: „So leise und geschliffen sind wir noch nie gefahren“

Efahrer.com: „Leiser als die Luxusklasse.“

PS Welt: „Endlich mal ein Elektroauto das Spaß macht“







# High Volume Thermoplastic Liftgate Production

Dipl.-Ing. (FH) **J. Götzelmann**, Magna Exteriors GmbH, Sailauf;  
**M. Birka**, Magna Exteriors, USA-Troy

## Abstract

Historically, the use of composite components or systems in automotive was limited to low-volume applications. Specialty vehicles, styled to create or maintain niche portions of the market, were typical targets for composite substitutes for sheet metal components.

Benefits of composites, such as reduced mass and lower tooling investment, have been recognized for twenty years.

Until recently, piece cost - or system cost - of thermoplastic liftgates, was believed to be significantly higher than the cost of conventional sheet metal construction.

What has changed is the OEM's deeper look into total system cost, including the cost of installation. OEMs with the highest rate of implementation of thermoplastic liftgates are the ones with the most thorough knowledge of their complete cost roll up. In the case of global vehicles, the complete picture is being analyzed.

## 1. Introduction

As more automakers move toward exclusive production of SUVs, crossovers, and 5-door vehicles, (reducing or eliminating sedans from their model offerings), vehicle styling plays an increasingly important role.

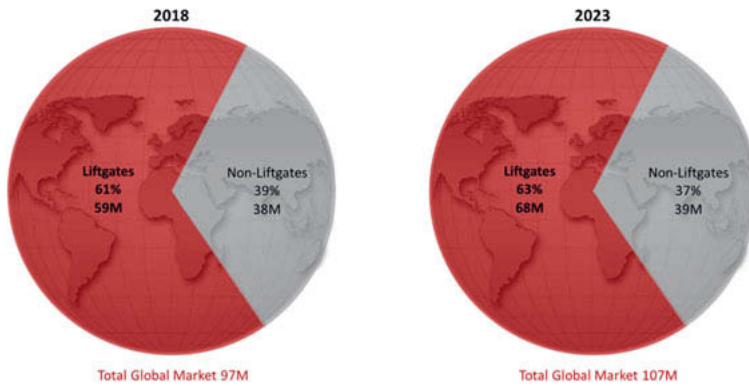


Fig. 1: Liftgate equipped vehicle growth

The rear ends of vehicles are not exempt, and the thermoplastic liftgate is a key enabler for the more aggressive trends of auto company stylists and designers.



Fig. 2: Concept vehicle

## 2. Component Integration

The Magna Exteriors thermoplastic liftgate allows for significant component integration, including, but not limited to:

- **Vehicle spoiler**
- **Interior trim**
- **License plate illumination and operation panel**
- **Lower sacrifice panels**
- **Other trim that would typically be applied parts on a metallic liftgate**



Fig. 3: Part count reduction through integration

## 3. Manufacturing Benefits

The benefits of the thermoplastic liftgate to an OEM include:

- **Single module displayed at lineside**
- **Improved team member ergonomics (reduced overhead assembly)**
- **Leak tested prior to delivery**
- **Electrical function tested prior to delivery**

## 4. Why High Volume or Full Plant Volume?

The vehicle footprint, or overall length through paint, is essentially shortened by not having to lift, or prop open, the liftgate to paint the liftgate frame area. An added benefit, is reduced ISD (in system damage) that occurs as a result of:

- **Contact**
- **Opening and closing**
- **Temporary prop rod damage**
- **Liftgate 'chucking', or side-to-side movement**

Installation of a fully painted thermoplastic liftgate module, after vehicle painting, can increase the OEM's paint shop throughput by up to 12%!

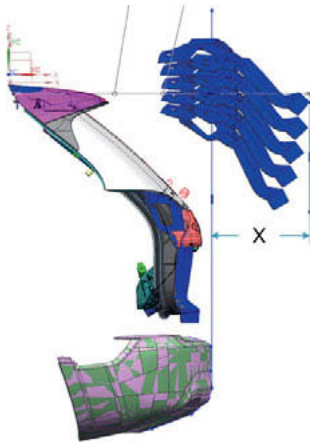


Fig. 4: Reduced overall vehicle length (X)

The increased paint shop throughput can also facilitate two-tone painting of the same vehicle.



Fig. 5: Two tone paint treatment

## 5. Enabling Technologies for High Volume Production

Technologies that enable high-volume production include:

- **Infrared acceleration of adhesive curing**
- **Infrared welding of reinforcements**
- **In-mold reinforcement integration**

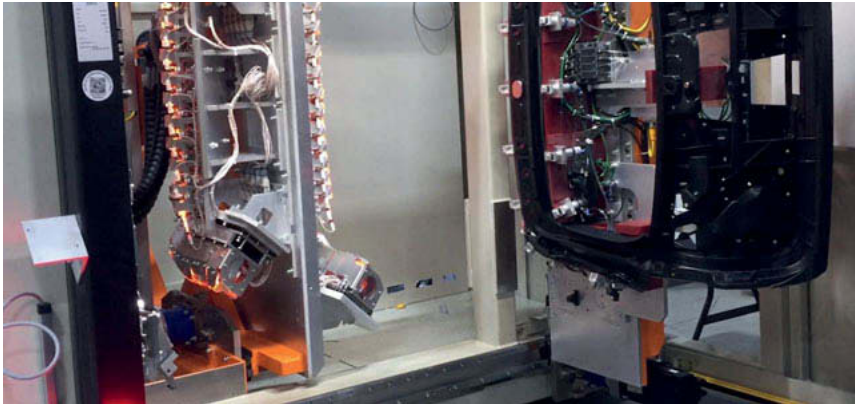


Fig. 6: IR Welding cell



Fig. 7: IR Adhesive curing

## 6. Future Developments

Future developments, in the short term, will focus on continuous improvement items that enhance current manufacturing processes:

- **Primer less adhesives**
- **Increased use of proven joining technologies**
- **Material refinements that provide improved product performance**
- **High performance reinforcing systems**



Fig. 8: Filament wound reinforcement

Mid-term developments will address the use of:

- **Higher performance filler materials (ie. Carbon fiber)**
- **In mold reinforcements**
- **Alternative polymers**
- **Manufacturing optimization to enable mass reduction**

Long-term developments under consideration:

- **Higher throughput pre-preg technologies**
  - **Increased performance**
  - **Optimal mass**

- **Through-panel illumination**
- **Optimized or Uniquely functioning hardware**
  - **Hinges**
  - **Latches**
  - **Struts**

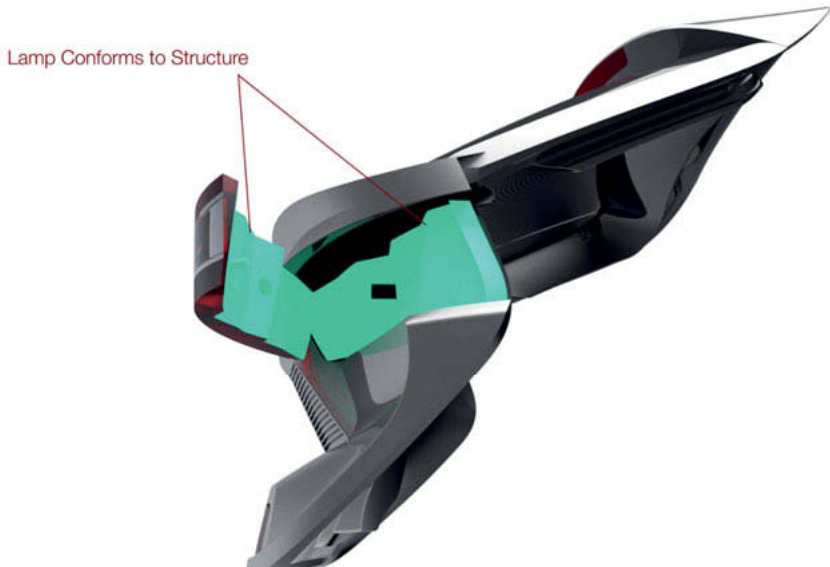


Fig. 9: Potential integration of lamp 'Can' into liftgate structure

## 7. Conclusion

Current manufacturing technology and product design permit production levels to reach an assembly line rate of over 60 vehicles per hour, or 300,000 vehicles annually.

In addition to competitive system costs, Magna Exteriors thermoplastic liftgate technology provides reduced tooling investment, reduced mass (compared to metallic solutions), opportunities for component integration, and a viable manufacturing solution for aggressive design and styling.





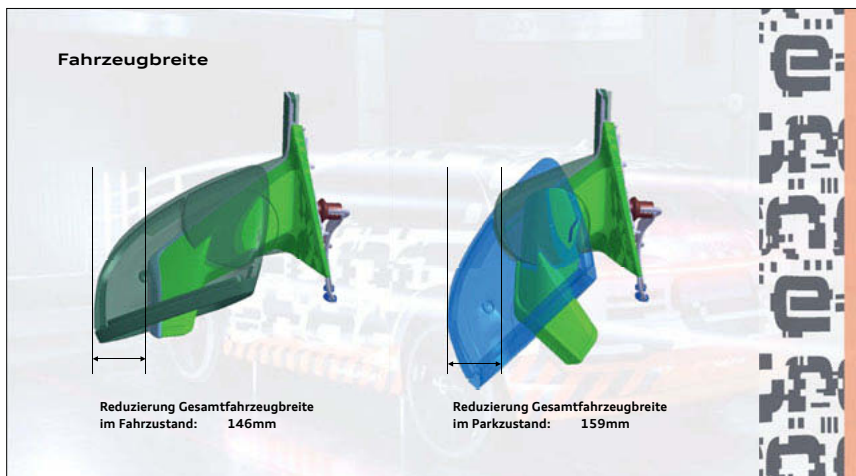
# Entwicklung eines virtuellen Außenspiegels

Dipl.-Ing. **Alexander Lorenz**, AUDI AG, Ingolstadt

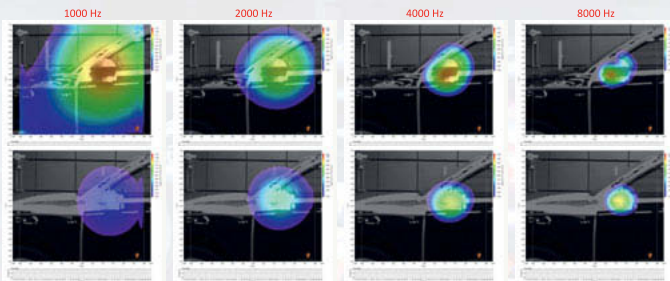
## Der virtuelle Außenspiegel des Audi e-tron

### Agenda:

- > Aerodynamik/Gewicht
- > resultierende Fahrzeugbreite/Anbindung zum Rohbau
- > Aeroakustik
- > Verschmutzung
- > Gesetzesanforderung; Sichtfeld
- Übergabe an meinen Kollegen Herrn Prücklmeier
  - > Systemkomponenten
  - > Vorteile von OLED
  - > Anzeige- und Bedienkonzept
  - > Zusatzanzeigen und einstellbare Sichten
  - > Vorteile des Virtuellen Außenspiegels

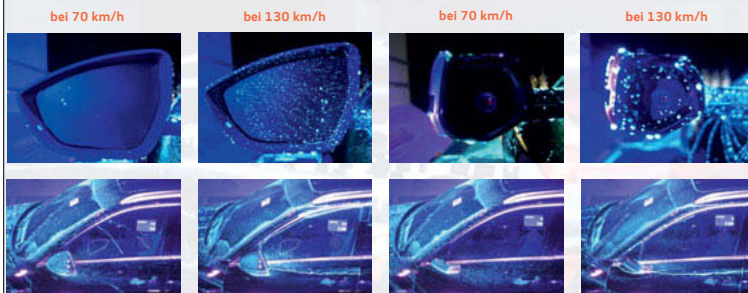


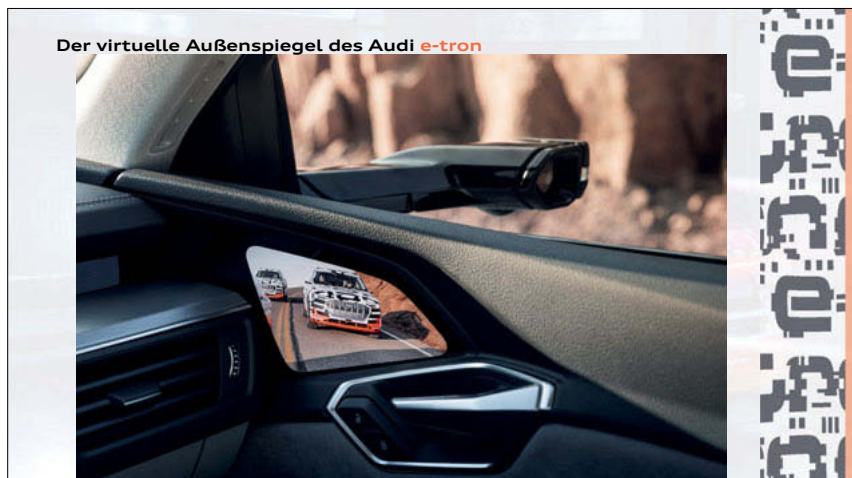
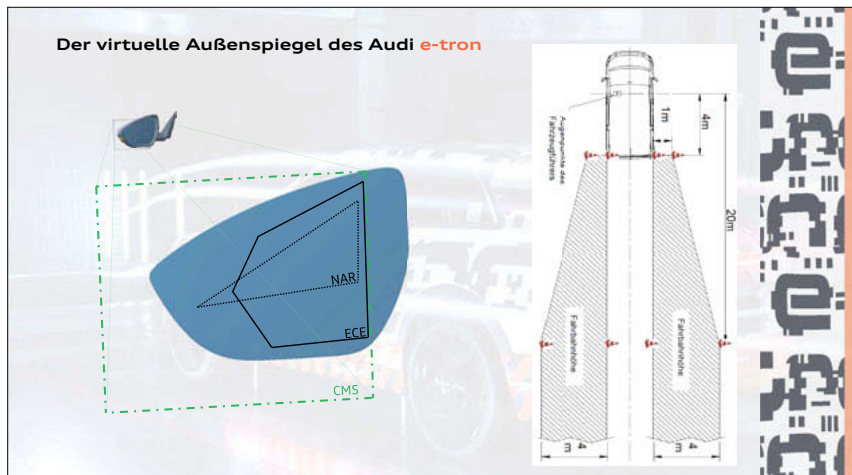
## Aeroakustik



Aeroakustische Messungen bei 140 km/h

## Verschmutzung





## Der virtuelle Außenspiegel des Audi e-tron

### Agenda:

- Systemkomponenten
- Vorteile von OLED
- Anzeige- und Bedienkonzept
- Zusatzanzeigen und einstellbare Sichten
- Vorteile des Virtuellen Außenspiegels

Andreas Prückmeier, I/EE-621

## Systemkomponenten Virtueller Außenspiegel



Andreas Prückmeier, I/EE-621

## Vorteile von OLED vs LCD

### Temperaturverhalten

- > keine Abhängigkeit der Schaltzeiten von der Temperatur

### Wesentlich schnellere Schaltzeiten

- > Schaltzeiten von OLED 10-mal schneller als bei LCD

### Überragender Schwarzwert

- > kein Grauschleier durch das Backlight
- > kein Blenden in der Nacht durch das Display (hoher Detaillierungsgrad)

### Kontrast ist 5-mal höher als beim LCD

- > kein Grauschleier über dem Bild

### Farben werden natürlicher dargestellt, größeres Farbspektrum

### Höhere Auflösung

### Energieeffizients ca. 30 % weniger Strombedarf

### Dicke des Displays

- > Auf Grund nicht notwendigem Backlight Package Verringerung um 5mm

### Geringeres Gewicht als ein LCD ca. 1/3 weniger

- > Auf Grund des nicht notwendigen Backlight

### Keine Blickwinkelabhängigkeit

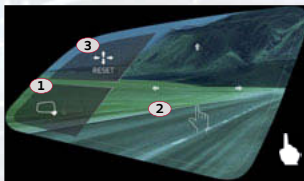
- > 180° Blickwinkelstabilität



Andreas Prückmeier, I/EE-621

## Bedien - Oberfläche

- > Die Bedienoberfläche öffnet sich bei Annäherung an das Display



- 1 Spiegelwahl kann vorgenommen werden
- 2 Bedienfläche für die Spiegelverstellung wird gekennzeichnet
- 3 Default View kann aktiviert werden

Andreas Prückmeier, I/EE-621



## Übersicht der Zusatzanzeigen

Blinker aktiv



- › grünes Overlay blinkende im Takt des Blinkers

SWA Infostufe



- › „Transparente Darstellung“ der Infostufe statisch

SWA Warnstufe

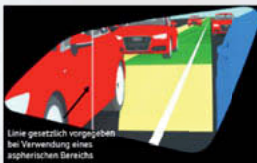


- › blinkende Darstellung

Andreas Prückmeier, I/EE-621

## Aktivierbare Sichten des Virtuellen Außenspiegels

Blinkersicht



- › Erweiterung des Sichtbereichs nach Außen zur Verringerung des toten Winkels

Bordsteinsicht



- › Erweiterung des Sichtbereichs nach unten zur Verringerung des toten Winkels

Autobahnsicht

- › Veränderung des Zoomlevels im Rahmen der gesetzlichen Möglichkeiten um Objekte größer erscheinen zu lassen

Andreas Prückmeier, I/EE-621



## Vorteile der Virtuellen Außenspiegel

### Verbesserung der Aerodynamik

- › Verringerung des CW Wertes um 5 Punkte → ca. 1-2% mehr Reichweite

### Verbesserung der Aeroakustik

- › Akustikverglasung Seitenscheibe

### Verringerung des Totenwinkels

- › dynamische Anpassung der Sichtwinkel möglich

### Verbesserte Sicht

- › Immer klare Sicht auch bei schlechtem Wetter (Regen, Schnee)
- › Keine Blendung durch eine tiefstehende Sonne
- › Die Kamera muss nicht „freigekratzt“ werden

### Mehrwert durch angepasste Sichten

### Mehrwert durch Anzeige von Zusatzinformationen ADAS

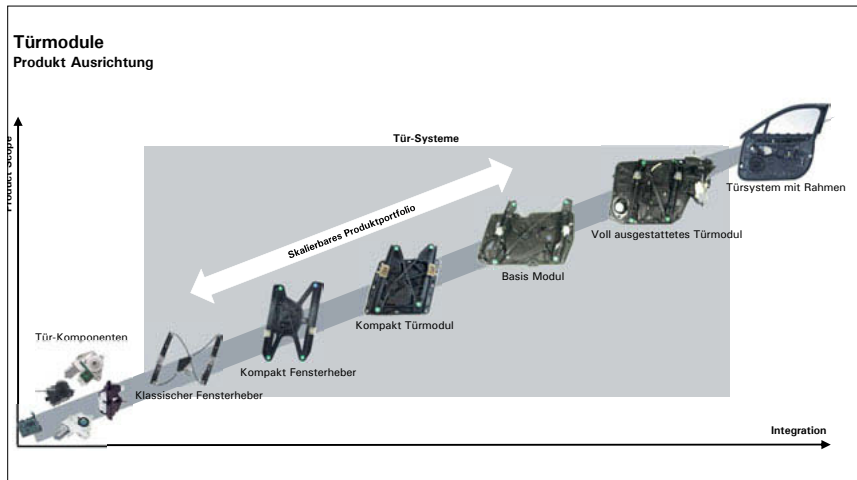
Exterieur Designmerkmal - Signatur eines modernen Fahrzeugs

Andreas Prücklmeier, I/EE-621

# Akustikdesign bei Leichtbautürsystemen

## Designprozesse und Herausforderungen

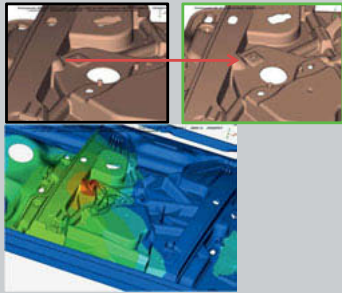
Dipl.-Ing. (FH) **Joachim Müller**, Dipl.-Ing. (FH) **Stephan Starost**,  
Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG, Hallstadt





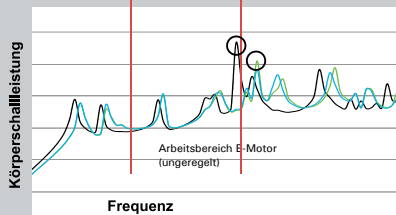
## Lastfall "Körperschall durch FH-Motoranregung"

Einfluss lokaler Struktursteifigkeit



Lokale Geometrieänderung =>

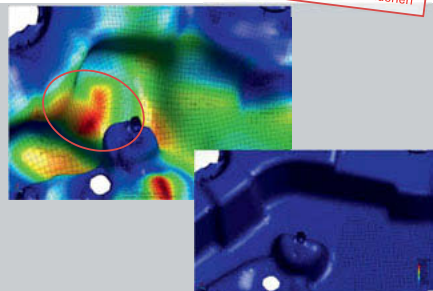
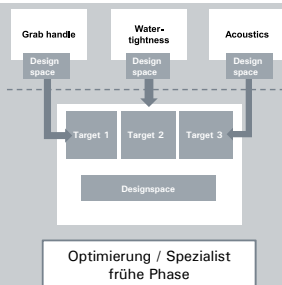
- Reduzierung Körperschall
- Verschiebung von Maxima



Qualifizierte Bewertung auf Basis von validiertem Material und Modelverhalten des Antriebes

## Optimierung

Topographieoptimierung auf mehrere Lastfälle



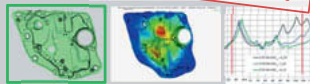
Frühzeitige Optimierung auf mehrere Zielfunktionen => Rückführung der Freiformflächen

## Optimierung

### Konstruktionsbegleitende Berechnung

#### Standardberechnung Körperschall

- Automatisierter Lastfall im SimulationsDatenManagement-System(SDM)
- Browserbasierte Anwendung durch Konstruktion
- Autobericht zur Bewertung des aktuellen Designs (Antwortzeit ca. 4h)



Design drives CAE

Concept Phase of PDP

Proposed solution: CAE on demand

TIM

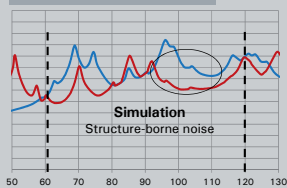


Konstruktionsbegleitende automatisierte Berechnung gewährleistet akustische Ziele im weiteren Entwicklungsprozess

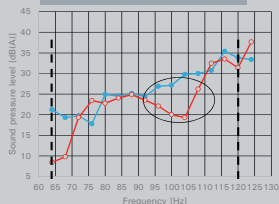
## Validierung

### 3D-Druck / Validierung

#### Simulation



#### Luftschallmessung



Entwicklung eines 3D-Druckmaterials mit ähnlichen Eigenschaften des Serienmaterials  
Schnelle prototypische Umsetzung  
Messen und „Erleben“ des Optimierungsvorteils

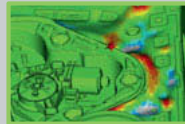
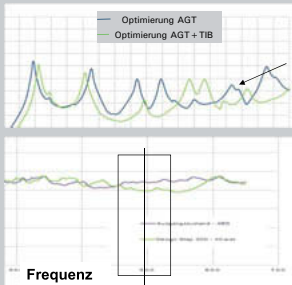
Schnelle wirksame Darstellung von Akustik-Optimierung mittels 3 D-Druck



## Ausblick

### Simulation

Körperschalleistung



Optimierung über die Systemgrenzen =>  
zusätzliches Potential im Frequenzbereich  
ab 70 Herz

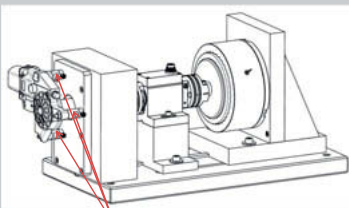
Sickenoptimierung höhere Ordnung =>  
Pegelreduzierung im Zielfrequenzbereich  
Feinere Auflösung der Sicken

Erweiterung des  
Entwicklungsziels

## Validierung

### Komponenten Parametererfassung

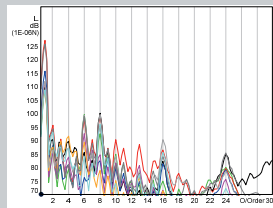
Blocked Force Lastprüfstand



Schnittstellenkraft in 9 Raumachsen



Messung Schnittstellenkräfte / 3 (x,y,z) x3



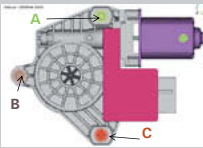
Standard für Beschreibung  
der Antriebskomponente  
umgesetzt

## Validierung

### Komponenten Parametererfassung

Motorsimulationsmodell  
validiert

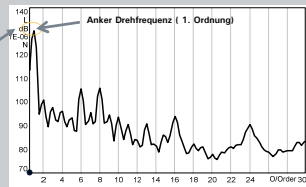
#### Simulation



Simulation der Summenschnittstellkraft  
(A + B + C)

Summenkraft bei (85Hz):  
 $(1,09 + 0,88 + 0,88) \text{ N} = 2,85 \text{ N} = 129,1 \text{ dB}$

#### Messung Schnittstellkraft / Summe



## Validierung

### Strukturoptimierung

Verbesserung der  
Fensterhebergeräusche  
durch Türmodul

#### Türsystemvergleich

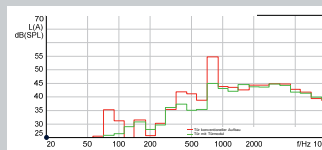


Tür konventioneller Aufbau



Tür mit Türmodul

#### Terzpegelvergleich konventionelle Tür vs. Türmodul



Ziel des Akustikdesign, ist  
die Verbesserung des  
Antriebsgeräusches durch  
Türinnenstruktureinfluss

## Validierung

### Strukturoptimierung

#### Türsystemvergleich

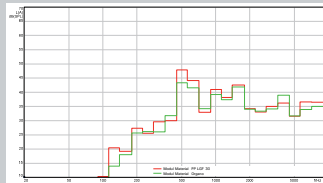


Türmodul / Material PP LGF 30



Türmodul / Material Organo

#### Terzpegelvergleich Türmodul PPLGF 30 vs. Organo



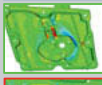
Verbesserung der  
Fensterhebergeräusche  
durch Akustikdesign

Die bei dem Organo  
Material sich ergebenden  
Designmöglichkeiten  
erhöhen den  
Akustikdesignspace

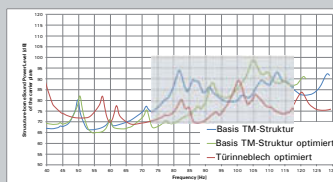
## Validierung

### Systemgrenzenerweiterung

#### Akustikdesign in Verbindung mit Türe



#### Optimierungspotentiale



Gesamtsystembetrachtung  
zeigt hohes  
Optimierungspotential

Durch Erweiterung der  
Systemgrenze zeigt sich  
ein weiteres hohes  
Optimierungspotential.

Je größer das Modul  
desto höher ist die  
Akustikwirksamkeit



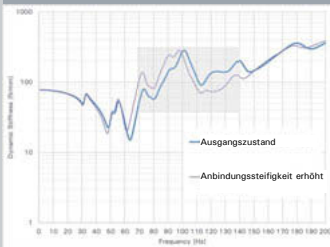
## Validierung

## Dynamische Steifigkeit

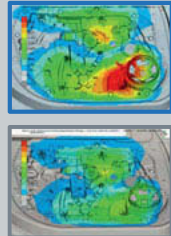
## Simulationsmodell



## Simulation dyn. Steifigkeit



## Schwingform Struktur



Verbesserung der  
Strukturperformance  
durch Akustikdesign

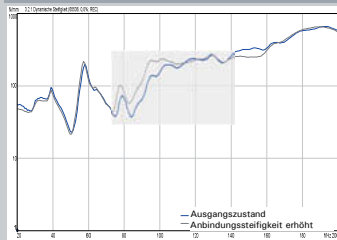
## Validierung

## Audioperformance

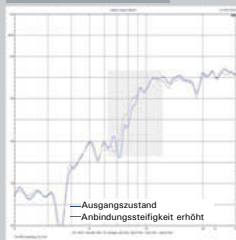
## Simulationsmodell



## Messung dyn. Steifigkeit



## Lautsprecherfrequenzgang



Verbesserung der  
Audioperformance  
durch Akustikdesign

## Validierung

### Audioperformance

#### Türsystemvergleich

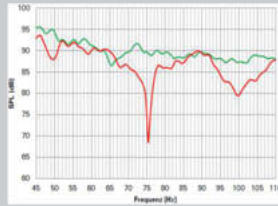


Tür konventioneller Aufbau



Tür mit Türmodul

#### Lautsprecherfrequenzgang Tür vs. Türmodul



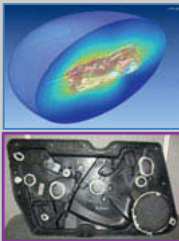
Verbesserung der  
Lautsprecherperformance  
durch Türmodul

Identischer Lautsprecher  
zeigt mit Modulsystem  
deutliche höhere Pegel  
und lineareren  
Frequenzgang

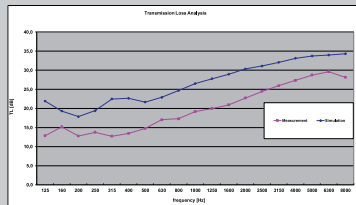
## Validierung

### Durchschallung

#### Simulationsmodell



#### Vergleich Simulation Messung



Durchschallungssimulation  
für Designoptimierung  
validiert

Simulation und Messung  
zeigen Übereinstimmung  
im Verlauf

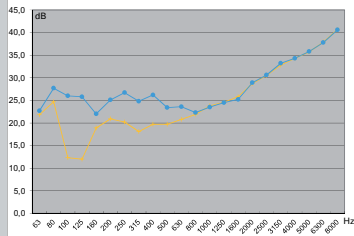
## Validierung

### Durchschallung

#### Versuchsaufbau



#### Vergleich Modul ohne Bauteile und mit Anbauteilen



Verbesserung der Durchschallung mit Bauteilintegration in der Wirkschnittstelle

## Zusammenfassung

### Lessons Learned

Für ein erfolgreiches Akustikdesign ist die frühzeitige Zusammenarbeit über die Systemgrenzen erforderlich.

Je geringer die Türmodulfläche je geringer sind die Akustikdesignpotentiale

Jedes Türsystem benötigt ein eigenes Akustikdesign

Die unterschiedlichen Zielanforderungen erzeugen für den Akustikdesignprozess eine komplexe Entwicklungsaufgabe, hierfür entwickelt Brose eigene Simulationsprozesse und Tools.

Entwicklung von standardisierten Prozessen und Abläufen, stellen die Qualität des Akustikdesign sicher

Durch den ständigen Validierungsprozess wird die kontinuierliche Optimierung und Detaillierung der Simulationsmodelle sichergestellt

In der frühen Entwicklungsphase, bilden kurze Simulationsloops für die Topografieoptimierung die Grundlage für das erfolgreiche Akustikdesign des Gesamtsystems.

Organo - Module zeigen breiteres Akustikdesign Spektrum

## Schließkraft-Simulation von Fahrzeugtüren Detailbetrachtung von Dichtungssystemen

### Door Closing Effort Simulation A Focus on Seal Back Pressure

**A. Cousin** M.Sc. RWTH, Dipl.-Ing. **W. Jakobs**,  
Ford-Werke GmbH, Köln;  
Prof. Dr.-Ing. **M. Hüsing** (VDI), Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. **B. Corves** (VDI),  
Institut für Getriebetechnik, Maschinendynamik und Robotik (IGMR),  
RWTH Aachen University, Aachen

#### Abstract

Motion systems in car body engineering are affected by multiple influences resulting in altered kinetics and kinetostatics. Above-mentioned influences can be divided into manufacturing impacts (caused by production and assembly tolerances) and kinematic impacts.

The customers' subjective feeling of perceived vehicle quality regarding craftsmanship and dimensioning demands for detailed analysis of each contributor of door closing efforts. The door closing energy required to fully latch a vehicle side door or respectively the profile of the door closing force measured at the handles is considered as the principal quality attribute which needs to be simulated in the design phase and evaluated during the complete prototype phase. One of the main contributors of door closing energy is the seal back pressure or seal deflection. Detailed analyses and simulations of its influence are essential for closing effort predictions.

For clarification of the dependencies and interactions of each contributor to door closing efforts an application software is being developed in cooperation between IGMR RWTH Aachen University and Ford-Werke GmbH. The calculation and prediction methodology for seal load simulations is presented in this publication and compared to state of the art CAE-methods. After enumerating the reasons for efficient simulation technologies in car body engineering several approaches to seal load simulation are introduced, also comparing advantages and disadvantages. Its significance during automotive development is shown on the basis of prototyping phases. It helps to understand system constraints, enables optimizations of assembly processes by applying sensitivity analyses and sustains the finding of robust design solutions. Furthermore the opportunities of tolerance analysis are highlighted as a brief outlook taking into account VDI 2730.

## 1. Simulationstechnik in der Türenentwicklung

Die automobiler Fertigung unterliegt vielerlei Einflüssen, die sich auf das subjektive Qualitätsempfinden des Kunden übertragen. Die Einhaltung definierter Zielgrößen ist unerlässlich zur Erfüllung der Kundenanforderungen. Der erste physische Kontakt und damit auch die erste haptische Wahrnehmung des Fahrzeugs durch den Kunden erfolgt in der Regel über den Tür-Außengriff. Damit kommt dem Öffnungs- und Schließverhalten der Fahrzeugseitentür eine große Bedeutung in Bezug auf Qualitätsansprüche und deren Erfüllung zu. Die Umsetzung einer qualitativ hochwertigen Seitentür lässt sich in zwei Aufgabenbereiche gliedern, die im Rahmen der Schließkraftsimulation von Bedeutung sind:

1. Robuste Auslegung in der Konstruktionsphase
2. Effiziente Prozesskontrolle in Bezug auf ausschlaggebende Parameter

Beim ersten Aufgabenbereich stellt sich die grundlegende Frage nach der Datenverfügbarkeit zur Beurteilung der Konstruktion. Es gilt, die vorhandenen Daten (z.B. aus CAD- und CAE-Systemen) gezielt zu nutzen und zu analysieren. Zur Bewertung eines robusten Designs können Kennwerte herangezogen werden, doch deren Abgleich mit Fahrzeugdaten (bspw. mit der Türschließenergie) ist erst ab dem Moment der Verfügbarkeit physikalischer Prototypen möglich. Bis heute ist es in Bezug auf Türschließkräfte zwingend erforderlich, Gesamtfahrzeuge zu testen und zu messen, da Einflussgrößen wie die Kabineninnendruckentwicklung sonst nicht berücksichtigt werden können. Damit kann ein Abgleich mit Kennwerten und Erfahrungswerten erst zu einem späten Entwicklungszeitpunkt stattfinden, genauer ab dem Zeitpunkt der Verfügbarkeit von Verifikations-Prototypen. Derartige Untersuchungen können z.B. mittels des Messinstruments „EZ-Slam“ [1] von EZ-Metrology durchgeführt werden. Die effiziente Kontrolle industrieller Fertigungsprozesse ist von ähnlich großer Bedeutung wie die Robustheit einer Auslegung gegen externe Störfaktoren. Jeder Prozess muss im Rahmen des Qualitätsmanagements auf bestimmte Prozessparameter eingestellt werden, die eine ausreichende Prozessstabilität garantieren und dem Qualitätsanspruch des Kunden genügen. Die richtige Einstellung der Prozessparameter bereitet oft Schwierigkeiten und muss mit einer Vielzahl von Versuchen erarbeitet werden. Zudem ist es äußerst schwierig im „Try&Error“-Verfahren das Optimum für einen Parameter zu treffen. Entsprechend aufwendiger ist es das Optimum bei mehreren Einflussparametern zu finden, da sie untereinander positive und negative Wechselwirkungen aufweisen können. Durch die beschriebenen Zusammenhänge wird der Bedarf an Simulationsmethoden und damit an vor-verlagerten Verfügbarkeiten von Entwicklungsdaten einzelner Zielgrößen deutlich. Gerade in Bezug auf Türschließkräfte, die weder in Komponenten- noch in Systemtests, sondern nur anhand von Gesamtfahrzeugtests bestimmbar sind, zeigen sich große Potentiale beim Einsatz von Simulationstechnik während der Entwicklung.

Der Einsatz von Simulationstechnik begünstigt einerseits die Robustheit eines Designs, bietet aber auch die Möglichkeit mittels Multi-Parameter Optimierungen die Effizienz der Montageprozesse zu steigern.

Eine exakte Simulation der Türschließenergie erfordert ein tiefgreifendes Verständnis der Haupt-Verursacher von Energieverlusten und der Wechselwirkungen die damit einhergehen. Diese Verluste werden durch wiederkehrende physikalische Mechanismen hervorgerufen: unter anderem sind Reibung, Alterung und Toleranzen zu nennen.

Der nachfolgenden Abbildung sind die grundlegenden Einflussfaktoren von Energieverlusten bei Türschließbewegungen zu entnehmen (vgl. Bild 1).

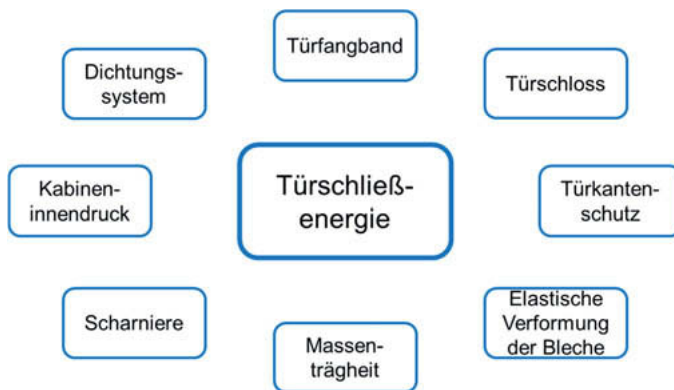


Bild 1: Haupteinflussgrößen auf Türschließenergie

Wie in Titel und Einleitung dieses Manuskripts bereits erwähnt wird der Fokus auf die Simulation des Verhaltens von Dichtungssystemen während eines Türschließvorgangs gelegt. Es wird sowohl der Anteil der Gesamtschließenergie, der auf die Kompression der Dichtung entfällt, als auch der Momentenverlauf über den Tür-Öffnungswinkel untersucht. Traditionell beschränken sich die Analysen der Türdichtungen vor und während der Prototypenphasen auf die Auslegung des nominalen Dichtspalts und dessen Kontrolle im Serienanlauf. Die Aufnahme von CLD-Kurven (Compression Load Deflection) anhand von normierten Dichtungsstücken (für eine geringe Anzahl von charakteristischen Punkten entlang des Dichtungsverlaufs) lässt in Kombination mit dem Dichtspalt Rückschlüsse auf die Kraftniveaus zu. Damit soll eine Aussage darüber getroffen werden, ob die Auslegung des Dichtspalts und der Dichtungsprofile für den Anwendungsfall geeignet ist und der Arbeitsbereich der CLD-Kurve getroffen wird (vgl. Bild 2).

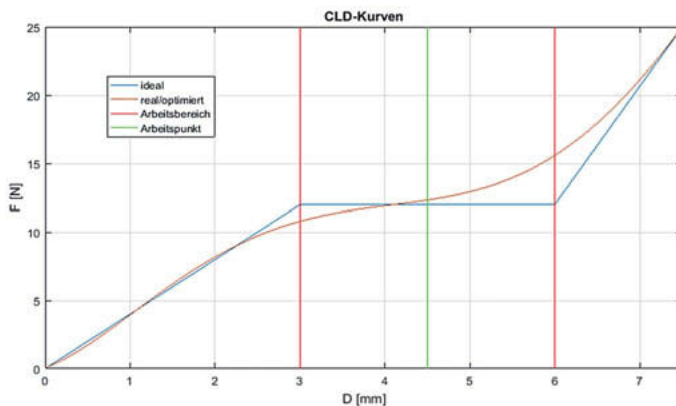


Bild 2: Darstellung einer CLD-Kurve mit Arbeitsbereich (idealisiert und real)

Eine CLD-Kurve ist prinzipiell in drei Bereiche geteilt. Im linearen Kompressionsbereich wird die Dichtung anfänglich komprimiert, wenn sie erstmalig in Kontakt zum Blech tritt. Die Kompression der Dichtung sollte bei vollständig geschlossener Tür innerhalb des annähernd horizontal verlaufenden Arbeitsreichs liegen, um die Dichtfunktion zu gewährleisten. Liegt sie darüber, im Blockbereich, sind die Dichtkräfte deutlich erhöht.

CLD-Kurven können sowohl durch Messungen als auch durch CAE-Analysen ermittelt werden. Mit ihrer Hilfe lassen sich Aussagen über die anliegende Dichtkraft und die nominale Kompression der Dichtung treffen. Dadurch kann die Hauptfunktion der Dichtung – das Abdichten der Türöffnung – bewertet werden. Informationen über den Momentenverlauf, hervorgerufen durch den Dichtungsgegendruck oder die dissipierte Schließenergie lassen sich jedoch nicht gewinnen. Darüber hinaus können nur Aussagen über die Nominalgeometrie und die nominalen Montagepositionen getroffen werden. Toleranzen, beispielsweise durch Maßabweichungen der Türbleche oder Varianzen beim Montageprozess bleiben unberücksichtigt.

## 2. Simulationsansätze von Türdichtungen

Zur Berechnung der resultierenden Kompressionskräfte (Seal-Back-Pressure) auf Grundlage der CLD-Diagramme muss bekannt sein unter welchen Randbedingungen die Kurven aufgezeichnet werden.

Wie bereits erwähnt, werden die Experimente oder Finite Elemente Simulationen anhand von normierten Dichtungsstücken durchgeführt.

Die Messaufzeichnung beginnt ab dem Moment des ersten Kontakts zwischen Dichtungsprofil und gegenüberliegender Blechgeometrie. Demnach wird auf der Abszisse im CLD-Diagramm der reale Kompressionsweg des ersten Berührungspunktes dargestellt. Da es sich bei der Türbewegung um eine Rotation handelt entspricht der Kompressionsweg dem Bogenmaß des Kreissegments. Auf der Ordinate wird die entsprechende Kraft pro normierter Dichtungslänge angetragen.

Bei den meisten Fahrzeugen werden Dichtungssysteme zum Einsatz gebracht die aus zwei oder mehr Dichtungsumläufen bestehen. Diese Umläufe können sowohl Tür- als auch Karoserieseitig angebracht sein. Die folgenden Erläuterungen werden anhand einer türseitig montierten Dichtung gemacht, die auf der Karosserie zum Liegen kommt. Die Kontaktfläche der Karoserieseite ist ein abgerundeter Absatz. Rund um die Türöffnung wird ein definierter Radius appliziert. Die Kontaktfläche wird in der Design-Phase als umlaufende Röhre abstrahiert, der „Center-Tube“. Vereinfachend wird die Kompression der Dichtung bei geschlossener Tür als Durchdringung des Profils mit dem Center-Tube dargestellt. Dies ist Bild 3 zu entnehmen.

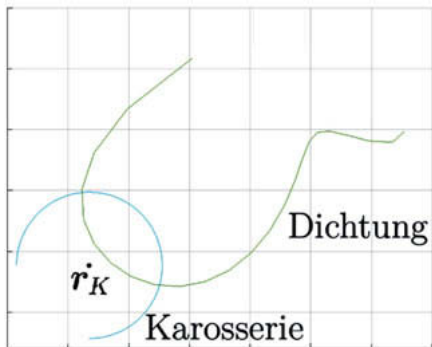


Bild 3: Profilquerschnitt einer Primärdichtung und des Center-Tube im Schweller-Bereich

Um mit Hilfe der CLD-Kurve eine Kraft bzw. Streckenlast für ein definiertes Stück Dichtung über den Verlauf der Türbewegung zu ermitteln muss zunächst bekannt sein wo auf dem Profil bzw. dem Center-Tube der erste Berührungspunkt liegt. Für eine Tür-seitige Dichtung wird die Bahn des Berührungspunktes über die Rotation weiterverfolgt. Zur Ermittlung der Berührungspunkte kann auf verschiedene Verfahren zurückgegriffen werden.

1. Geometrisch exaktes Verfahren
2. Ellipsen-Verfahren
3. Dual-Tube-Verfahren



Das geometrisch exakte Verfahren erfordert den größten Vorbereitungsaufwand. Dabei wird das Profil um die Scharnierachse der Tür rotiert und für jeden Einzel-Schnitt der entsprechende Berührungspunkt mit dem Türwinkel abgespeichert. Die Genauigkeit steigt logischerweise mit der Anzahl der Schnitte entlang des Profils und mit der Inkrementierung des Rotationswinkels. Dieser Vorgang kann sowohl im CAD als auch in MATLAB erfolgen. Nachfolgend ist die Diskretisierung entlang des Profils in CATIA V5 dargestellt (vgl. Bild4). Nachteilig dabei ist, dass im CAD der Berührungspunkt noch in die Schnittebene projiziert werden muss. Dadurch ergibt sich eine kleine Abweichung. Diese lässt sich jedoch quantitativ ermitteln und zur Berechnung der durch Reibung dissipierten Energie nutzen.

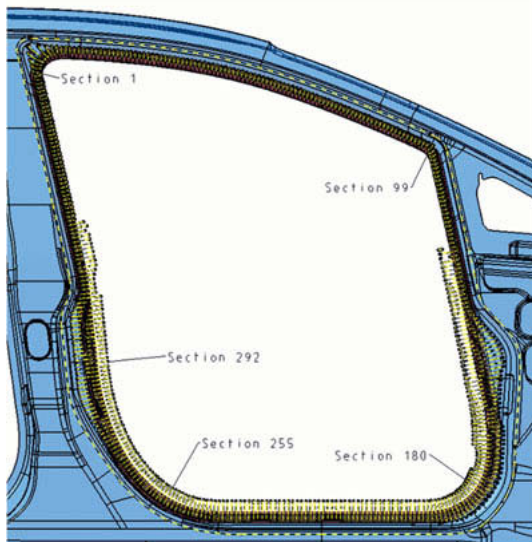


Bild 4: Schnittbildung entlang des Dichtungsumlaufs zur Ermittlung der Berührungspunkte

Das zweite Verfahren modelliert die Durchdringungsfläche zwischen Profil und Center-Tube als Ellipse. Über die Schnittpunkte der beiden Profile lassen sich durch Strecken- und Mittelsenkrechtenkonstruktion die Halbachsen der Ellipse bestimmen. Zusammen mit der initialen Bewegungsrichtung des Ellipsenmittelpunkts (bei geschlossener Tür) werden die Berührungspunkte als Schnitt mit den jeweiligen Profilkonturen definiert (vgl. Bild 5). Vorteilhaft bei diesem Verfahren ist, dass sich die gesuchten Punkte sehr schnell bestimmen lassen. Wie aus der Überlagerung der realen Durchdringung mit der Ellipse deutlich wird entsteht im Bereich der Profilschnittpunkte eine Ungenauigkeit.

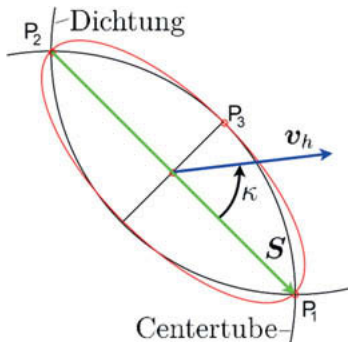


Bild 5: Annäherung der Dichtungsdurchdringung bzw. Kompression als Ellipse

Das dritte Verfahren wird als Dual-Tube-Verfahren bezeichnet. Dabei werden der Center-Tube als auch das Profil der Dichtung im Bereich der Durchdringung als exakte Kreisbögen mit definiertem Krümmungsmittelpunkt angenähert. Damit können die Berührpunkte durch Angabe von drei beliebigen Punkten auf dem Dichtungsprofil ermittelt werden. Auch bei diesem Verfahren wird die Bewegungsrichtung grafisch angetragen (vgl. Bild 6).

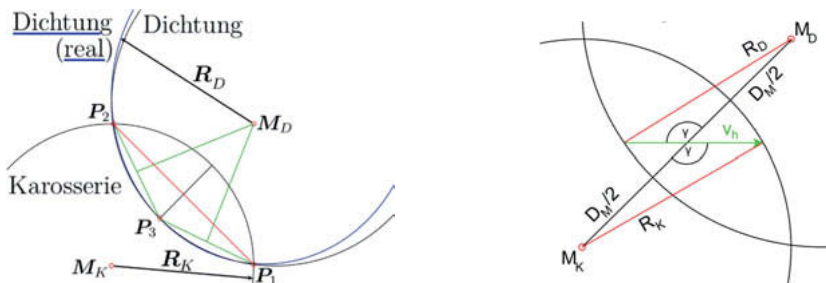


Bild 6: Dual-Tube-Verfahren

Zur Einordnung der zwei geometrisch-konstruktiven Verfahren (2 und 3) werden sie mit dem exakten Verfahren verglichen.

Dazu wird die relative Abweichung der Dichtungskompression zum exakten Verfahren für 30 definierte Stützstellen entlang des Dichtungsumlaufes aufgetragen. Die Dichtungskompression wird berechnet als Strecke zwischen den Berührpunkten beim Türöffnungswinkel  $\alpha = 0^\circ$ . In Bild 7 ist die relative Abweichung für das Ellipsenverfahren (blau) und das Dual-Tube-Verfahren (rot) als geschlossene, umlaufende Kurve im Abstand zur Türscharnierachse aufgetragen. Es wird deutlich, dass das Dual-Tube-Verfahren eine deutlich

bessere Näherung darstellt. Lediglich im A-Säulen-Bereich nimmt die Abweichung auch für das Dual-Tube-Verfahren zu. Dies ist durch den geringen Abstand zur Scharnierachse zu begründen. Der Krümmungsradius der Bahn ist deutlich geringer.

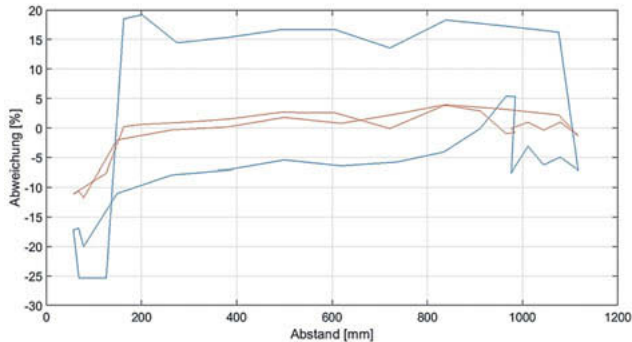


Bild 7: Relative Abweichung von Ellipsen-Verfahren und Dual-Tube-Verfahren

Über die Berücksichtigung des Scharnierabstands, bzw. des effektiven Krümmungsradius der Bahnkurve lässt sich für das Dual-Tube-Verfahren eine Korrektur einführen. Dies ist in Bild 8 dargestellt (hellgrün). Die resultierende Abweichung zum exakten Verfahren beträgt damit durchschnittlich lediglich < 1,5%. Durch wiederholte Anwendung des Korrekturvorgangs lässt sich der Fehler weiter reduzieren.

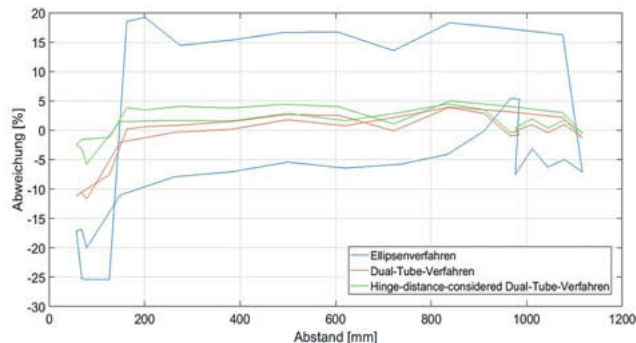


Bild 8: Korrektur des Dual-Tube-Verfahrens

Nähere Erläuterungen zu den genannten Verfahren zur Ermittlung der Dichtungskompression, bzw. der Berührungspunkte sind in [2] zu finden.

Im Anschluss an die Bestimmung der Berührungspunkte werden diese im Sinne der Tür-Kinematik rotiert. Für jedes Winkelinkrement des Türwinkels und für jede Schnittebene wird der Abstand der Punkte als Kompression berechnet. Ab dem ersten Kontakt von Profil und Center-Tube werden die Dichtungskräfte durch Interpolation im CLD-Diagramm definiert. Dabei wird das Dichtungsprofil ähnlich vieler Federsegmente komprimiert analog zu dem Ansatz von Li in [3]. Das Ergebnis ist in Bild 9 dargestellt. Für jedes Dichtungssegment ergibt sich eine Kraftkurve.

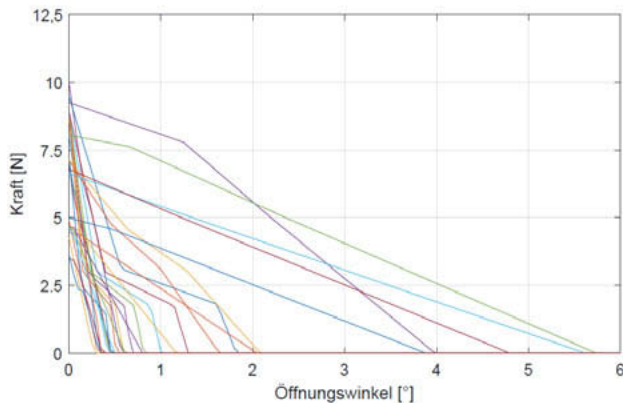


Bild 9: Dichtungsgegenkraftverläufe über Türwinkel für 30 Dichtungssegmente

Mit dem jeweiligen effektiven Hebelarm der Dichtungssegmente lassen sich aus den Kraftkurven Momentenkurven generieren, die wiederum ein resultierendes Gesamtmoment um die Scharnierachse bilden. Dies ist exemplarisch in dem nachfolgenden Diagramm für die Primärdichtung einer Ford Fiesta Vordertür gezeigt (vgl. Bild 10).

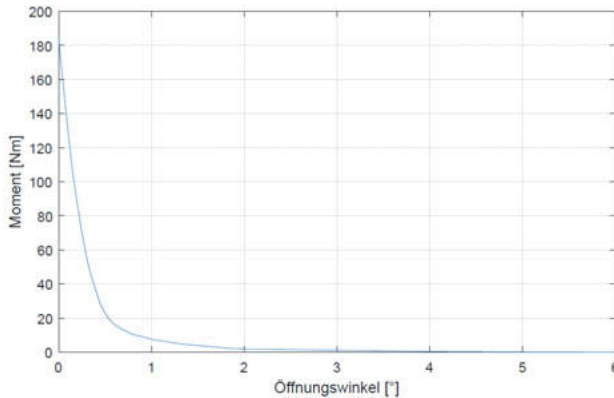


Bild 10: Momentenverlauf eines Dichtungssystems am Ford Fiesta  
(Primär- & Sekundärdichtung)

Die Fläche unterhalb des Graphen entspricht der Energie die auf die Kompression der Dichtung entfällt. Sie kann durch Integration ebenfalls bestimmt werden.

Eine Validierung der Simulationsergebnisse wurde mittels des Messinstruments EZ-Slam [1] vorgenommen. Dazu wurde ein Ford Fiesta mit neuen (green) Dichtungen bestückt. Die Tür wurde analog zum Messverfahren der CLD-Kurven mehrmals geschlossen, um die Dichtung vor zu komprimieren. Dichtungen sind sehr anfällig in Bezug auf Alterungseffekte und relaxieren gerade in den erste Stunden der Kompression sehr stark. Die Werte der CLD-Kurven sinken um bis zu 50%. In Bild 11 sind die Ergebnisse der Messung verdeutlicht.

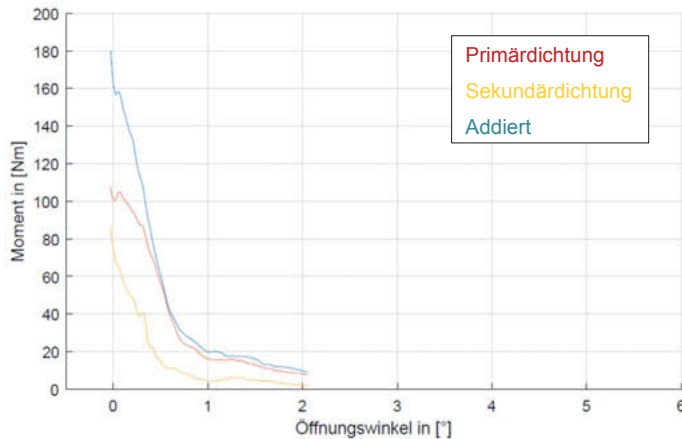


Bild 11: Ergebnis von EZ-Slam Messungen am Ford Fiesta

### 3. Randbedingungen bei der Simulation von Türdichtungen

Bereits zu Beginn der Erläuterungen zu Dichtungssimulation wurde auf die Besonderheiten der CLD-Diagramme hingewiesen. Eine Dichtungssimulation kann nur qualitativ hochwertige und verlässliche Ergebnisse liefern, wenn sie auf fundierten Eingangsparametern basiert. Türdichtungen sind äußerst alterungsempfindlich. Schon nach wenigen Stunden im verbauten Zustand relaxieren sie erheblich bis das Kraftniveau schlussendlich um fast 50% des ursprünglichen Wertes abfällt. Damit ist das Simulationsergebnis immer dem Alter der Dichtung zuzuordnen. Die CLD-Kurve einer gealterten Dichtung verläuft deutlich flacher als die einer „green“ Dichtung.

Darüber hinaus ist zwischen einer quasi-statischen und einer dynamischen Dichtungssimulation zu unterscheiden. Die hier vorgestellten Ergebnisse beschränken sich auf die quasi-statischen Untersuchungen aufgrund der Datenverfügbarkeit zum Untersuchungszeitpunkt. Dichtungsgegendrucke und die daraus resultierenden Momente sind geschwindigkeitsabhängig. Dies kann einerseits durch CLD-Kurven berücksichtigt werden, die dynamisch ermittelt wurden oder aber durch Korrekturfaktoren in die Berechnung einfließen. Die CLD-Kurve einer dynamischen Messung verläuft steiler als die einer quasistatischen Messung. Genauere Informationen zu diesen Zusammenhängen sind in [4] beschrieben. Die Unterschiede entstehen im Wesentlichen durch die Luft im Inneren des Dichtungsprofils, die während der Kompression verdrängt wird.

Der Verlauf eines Dichtungsprofils ist stark abhängig von der Kontur der Fahrzeugtür. Bei sogenannten „A-Frame Doors“ laufen die Türprofile in den Ecken spitz zu. Dagegen werden die Bleche der „Stamped Doors“ aus einem Stück gefertigt. A-Frame Doors weisen im Vergleich zu Stamped deutlich engere Krümmungsradien auf. Diese können mit strangextrudierten Dichtungsprofilen oft nicht überbrückt werden. Daher werden die Dichtungsumläufe segmentweise aufgebaut: Auf jedes Profilstück folgt ein sogenanntes „In-mold“. In-molds sind spritzgessene Verbindungsstücke, die in den Ecken von A-Frame Doors befestigt werden und die Profilstücke miteinander verbinden. Aufgrund von Material-, Geometrie- und Textur-Unterschieden weisen sie ein anderes Kompressionsverhalten auf als die strangextrudierten Profile. Daher sind für die Simulation der Dichtungskräfte auch spezifische CLD-Kurven erforderlich. Am IGMR der RWTH Aachen University wurde eine eigene Test-Reihe für die Primärdichtung eines Ford Fiesta durchgeführt. Die In-Molds wurden freigeschnitten und die Tür- sowie Karosserie-Geometrie mittels additiver Fertigungsverfahren repliziert. Durch den Einsatz eines servo-gesteuerten Spindelantriebs und entsprechender Messtechnik sind Kraft-Weg-Diagramme für 3 verschiedene In-Molds aufgenommen worden. Durch die Normierung auf eine definierte Dichtungslänge entstanden CLD-Kurven. Der Versuchsaufbau und ein exemplarisches CLD-Diagramm sind nachfolgend dargestellt (vgl. Bild 12).

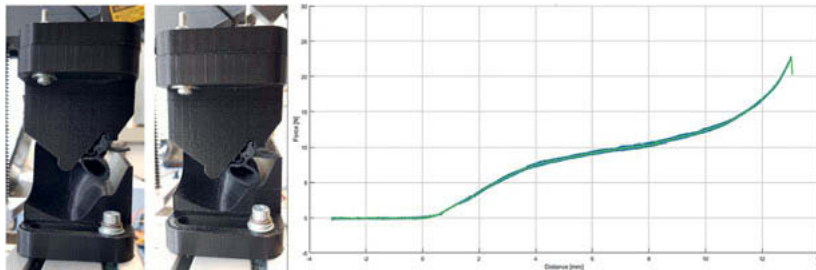


Bild 12: Stempel zu Bestimmung von CLD-Kurve eines In-Molds und Ergebnis

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Durch die vorgestellte Simulationemethode lassen sich Fahrzeugdichtungen effizient simulieren. Es können sowohl Aussagen über die Kraftniveaus als auch über die Design-Geometrien getroffen werden. Während bei herkömmlichen Entwicklungsmethoden der Fokus auf dem nominalen Dichtspalt liegt, kann in diesem Beispiel der vollständige Momentenverlauf um die Türscharnierachse analysiert werden und ggf. mit weiteren Einflussgrößen verrechnet werden. Darüber hinaus lassen sich auf einfache Weise Toleranzeinflussanalysen und Sensitivitäts-

analysen nach VDI 2730 [5] in die Simulation einbinden. Dies ermöglicht es zufällige Toleranzkombinationen der Einflussparameter zu berücksichtigen. Dazu zählen nicht nur systemeigene Toleranzen der Dichtungsumläufe, sondern auch Blechtoleranzen auf den Anlageflächen. Ohne großen Aufwand kann die Toleranzverteilung einer Jahresproduktion (innerhalb vordefinierter Toleranzbänder) simuliert und damit die Auswirkung auf die Zielgröße „Tür-Schließ-Energie“ bestimmt werden. Durch gezielten Einsatz von Sensitivitätsanalysen lässt sich eine Auslegung auf Robustheit hin überprüfen. Reagiert das System in Bezug auf Veränderung einzelner Parameter sensitiv gibt es zwei Handlungsmöglichkeiten: Einerseits kann das Design verändert werden mit dem Ziel die Sensitivität zu senken. Die zweite Möglichkeit besteht darin den jeweiligen Parameter während der Produktion genauer zu kontrollieren und ggf. die Toleranzbänder einzuengen.

Der nächste Schritt im Rahmen der Dichtungssimulation wird der Übergang von der idealisierten Center-Tube Geometrie hin zu realen Kontur der Dichtungs-Anlagefläche. Der Center-Tube ist ein Design-Konstrukt, das zur Vorauslegung des Dichtspalts zwischen Karosserie und Tür genutzt wird. Dies bedeutet jedoch nicht, dass er zu 100% umgesetzt wird oder umgesetzt werden kann. Durch Beschränkung der Untersuchungen auf das exakte Verfahren zur Ermittlung der Berührungspunkte besteht die Möglichkeit die Originalgeometrie zu berücksichtigen, was zu einer Steigerung der Genauigkeit des Verfahrens beiträgt. Darüber hinaus kann die Anzahl der Schnitte entlang des Dichtungsumlaufs variiert werden. Je feiner die Diskretisierung entlang der Dichtung, desto genauer sind die Simulationsergebnisse. Der Simulationsaufwand und die benötigte Zeit steigen entsprechend an.

Abschließend ist zu erwähnen, dass die Simulation um ein geeignetes Verfahren zur Berücksichtigung der Blechtoleranzen erweitert werden muss. Diese prägen sich in spezifischen Mustern aus und können für zwei benachbarte Schnitte entlang des Dichtungsumlaufs nicht zufällig aus dem Toleranzfeld gewählt werden (z.B. am oberen und unteren Rand der Grenzen).



- [1] EZ-Slam2, Prospekt, EZ-Metrology, Novi MI-USA 2018
- [2] Hamann, T.: Entwicklung und Verifizierung eines mathematischen Ersatzmodells zur Beschreibung von Türdichtungssystemen und dessen Implementierung in MATLAB, IGMR RWTH Aachen University, Aachen, Bachelorarbeit 2018
- [3] Li, J., Mourelatos, Z.P., Schwarze, F.G. u. Rozenbaum, J.V., Prediction of Automotive Side Swing Door Closing Effort, SAE International, Warrendale, PA-USA 2009
- [4] Mahm, O. et. Al.: AUTOMOTIVE DOOR CLOSING EFFORTS: Static versus Dynamic Compression Load Deflection Measurements, Cooper Standard Automotive, [www.rubbernews.com](http://www.rubbernews.com), 2005
- [5] VDI 2730: Toleranzen und Toleranzmanagement bei Gelenkgetrieben, Richtlinie, Verein Deutscher Ingenieure, Beuth Verlag GmbH, Düsseldorf 2015

# Entwicklung einer Premium Ladeklappe im vorderen Kotflügel des Audi e-tron

## Erfahrungen und Herausforderungen aus dem Entwicklungsprozess

Josef Burger, AUDI AG, Ingolstadt

### Abstract

Der Vortrag gibt einen Einblick in die Entwicklung eines hochvernetzten und automatisierten Premiumladezugang im AUDI e-tron. Von der Idee über die Funktionsbeschreibung bis hin zur Integration ins Fahrzeug.

### 1. Funktionskonzept und Integration der elektrischen Ladeklappe für den Audi e-tron



Abbildung 1: elektrische Ladeklappe AUDI E-tron

Die Eigenschaftsdefinition ist der erste Schritt in der Fahrzeugentwicklung und definiert die ersten groben Züge im Hinblick auf die Beziehung Fahrzeug – Kunde. Gefolgt von der Funktionsdefinition, welche die unmittelbare Integration in die Fahrzeugumgebung und die unmittelbare Interaktion mit dem Fahrzeugnutzer und Passanten bedeutet.

### 2. Erfahrungen und Herausforderungen aus dem Entwicklungsprozess



Abbildung 2: Kotflügel AUDI E-tron

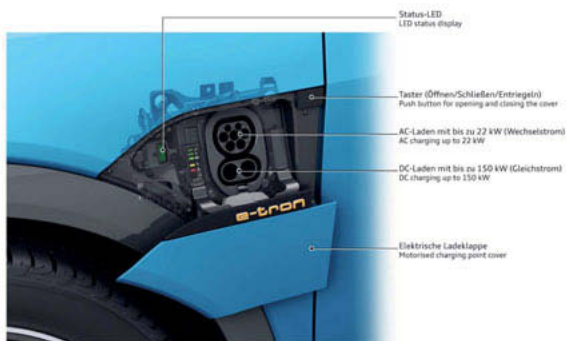
Eine besondere Herausforderung während der Entwicklung war die Integration in die Fahrzeugaußenhaut des Fahrzeugs bei gleichbleibender Steifigkeit, Qualität und Sicherheitsanforderungen. Ein unabdingbarer Bestandteil der Integrationskette ist das neuartige Kotflügelkonzept, welches im neuen AUDI e-tron seine Primäre feiert.



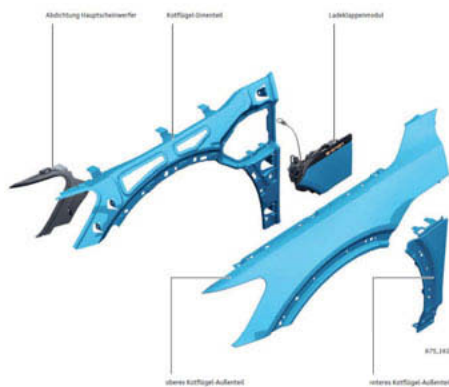
### Position der Premium Ladeklappe im Audi e-tron



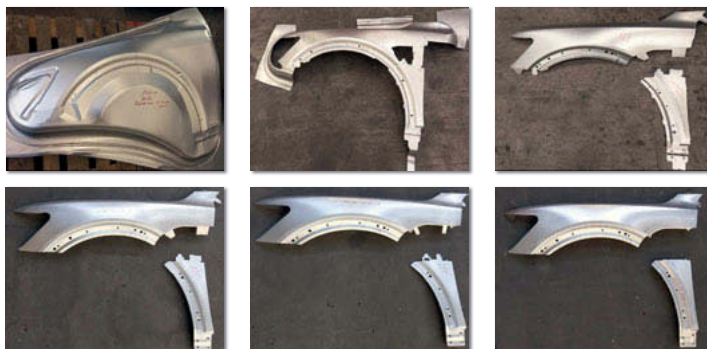
### Bedienkonzept der Premium Ladeklappe des Audi e-tron



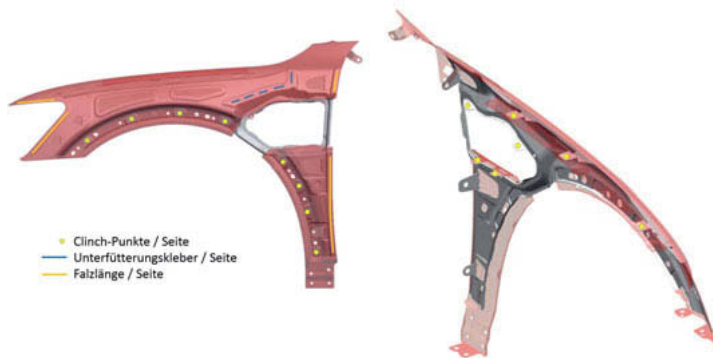
### Explosionsdarstellung – Kotflügelsystem / Premium Ladeklappe



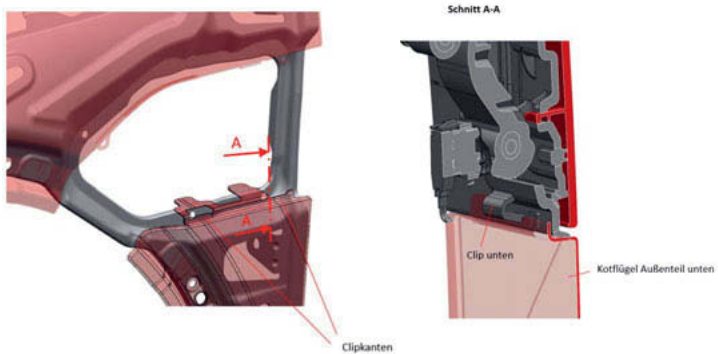
### Fertigungsschritte des Kotflügelaußenteils



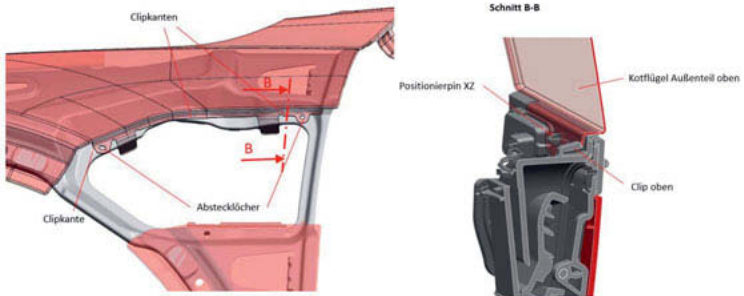
### Verbindungstechnik – Kotflügelssystem



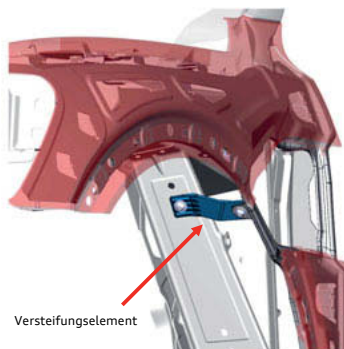
### Befestigungssystem – Premium Ladeklappe unten



### Befestigungskonzept – Premium Ladeklappe oben



### Versteifungselement des Kotflügel systems



### Neuartiges Positionierkonzept der Scheinwerfer zum Kotflügelssystem











VDI-FVT



ISBN 978-3-18-092342-0

Bildquelle: © Opel Automobile GmbH