



► **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 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.

© 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 Manuscriptdruck.

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. Götzemann, Magna Exteriors GmbH, Sailauf;	
M. Birk, 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

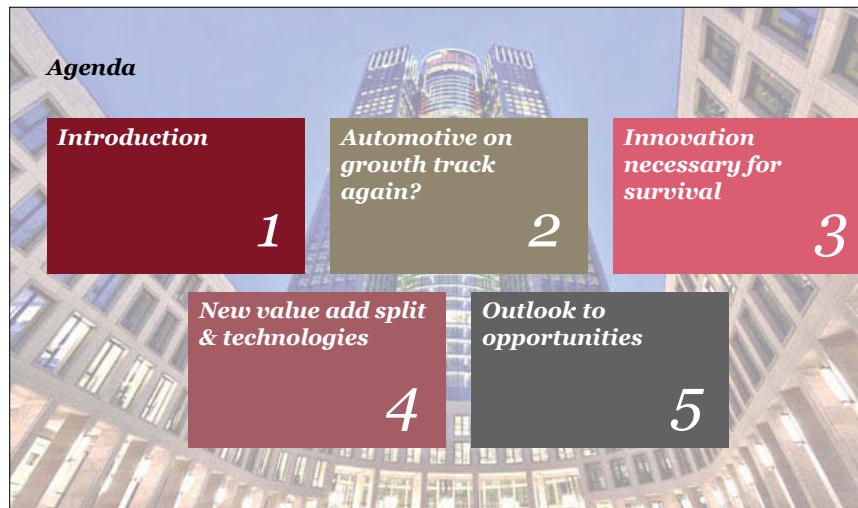
- Schließkraft-Simulation von Fahrzeugtüren – Detailbetrachtung von Dichtungssystemen. 75**
A. Cousin, W. Jakobs, Ford-Werke GmbH, Köln;
M. Hüsing (VDI), Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. B. Corves (VDI), Institut für Getriebetechnik,
Maschinendynamik und Robotik (IGMR), RWTH Aachen University, Aachen

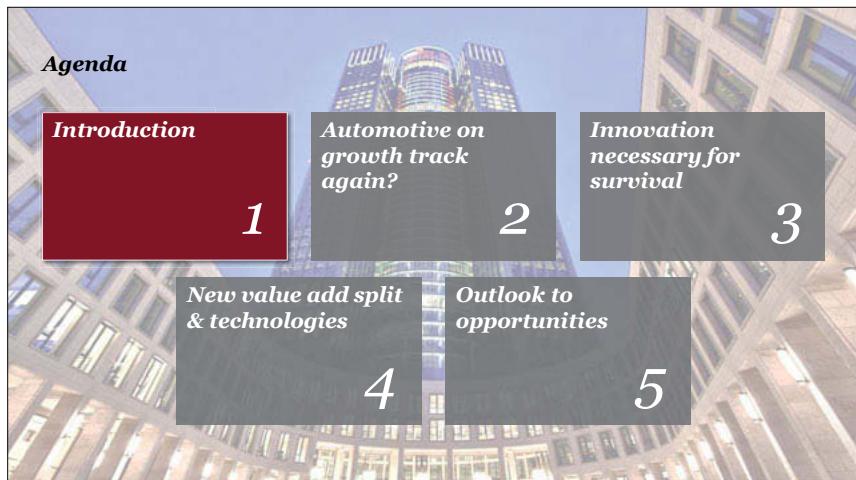
**Entwicklung einer Premium Ladeklappe im vorderen Kotflügel des Audi e-tron –
Erfahrungen und Herausforderungen aus dem Entwicklungsprozess. 89**
J. Burger, AUDI AG, Ingolstadt

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®

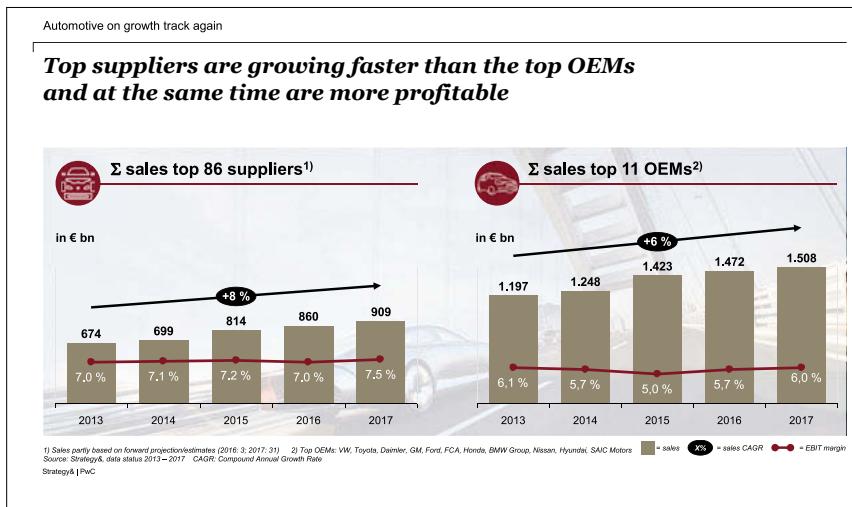
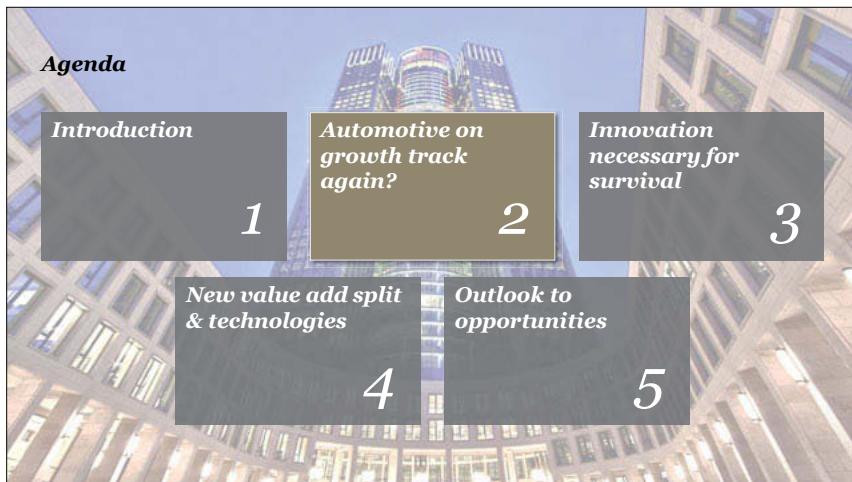
pwc

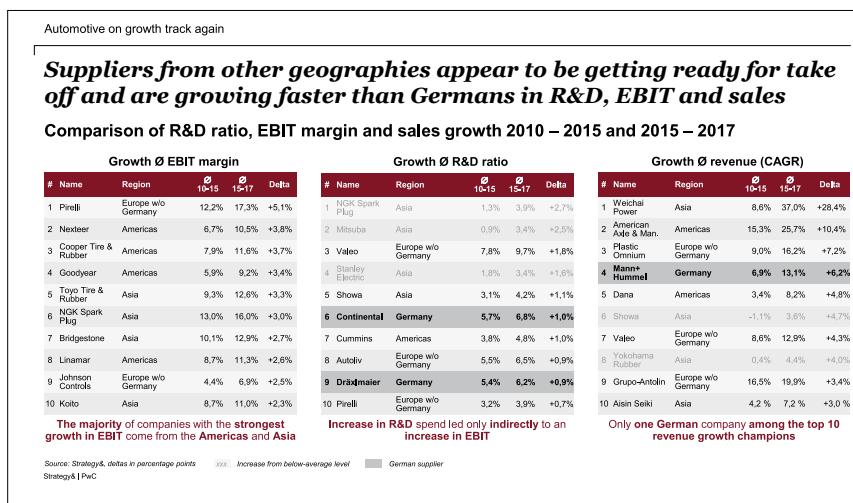
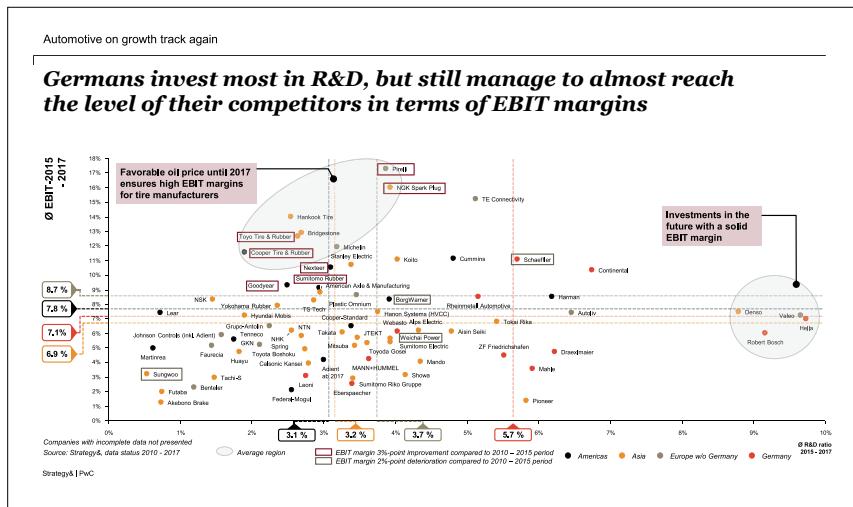
Global strategy model, leading foresight, capabilities positioning

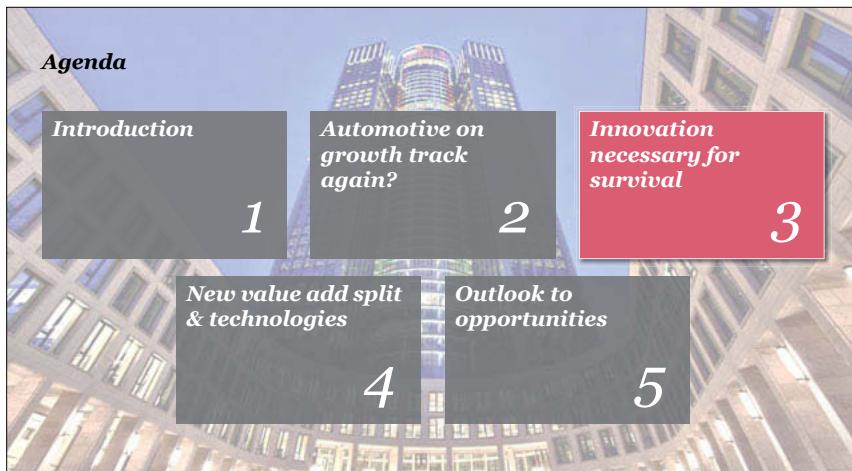
Scale, quality prominence, and deep relationships, skills, and insight

- **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 unrivaled 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







Innovation necessary for survival

German E-Mobility practice up to now

Real World

Strategy& | 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! – so does a 89% share of Chinese customers

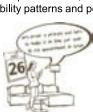


On-demand
47% of European consumers would consider giving up their own car in favor of widely available and adequately priced autonomous robotaxis services

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



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

USA

Electric

- Target controversy between CARB states and EPA
- Gasoline, 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



EU

Electric

- Local focus on NOx & particles
- Credits for EVs to avoid CO₂ 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

China

Electric

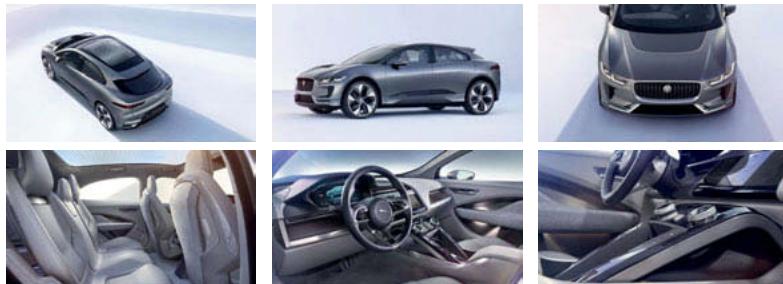
- Licensing privileges for BEVs and PHEVs in many cities
- Mandatory EV quota planned for 2019
- Stepwise reduction of vehicle subsidies until 2022

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**

Strategy&PwC

Innovation necessary for survival

Design will be key – breaking through the old packaging & style**New Styling Examples**

Strategy&PwC

Innovation necessary for survival

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

Example – Iconiq



Source: PwC Strategy& research
Strategy&PwC

Trends in Auto Lighting

- Under Body LED
 - Exterior Lighting (in blue)
 - Night View Sealing
- LED trend also for the OE and aftermarket business

Innovation necessary for survival

New functionality will be key – all in function integration



Strategy&PwC

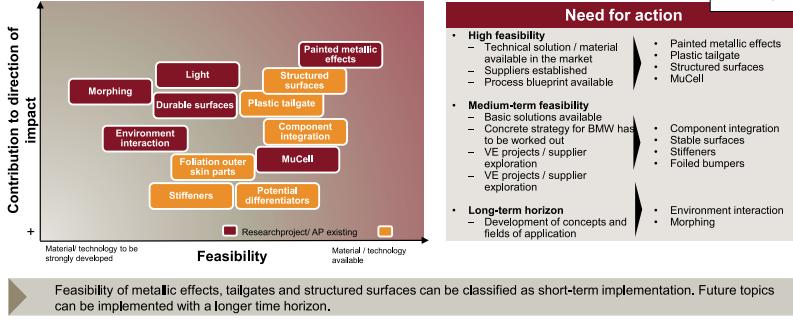
Innovation necessary for survival

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



Innovation necessary for survival

Commercial applications will be first; China is far ahead



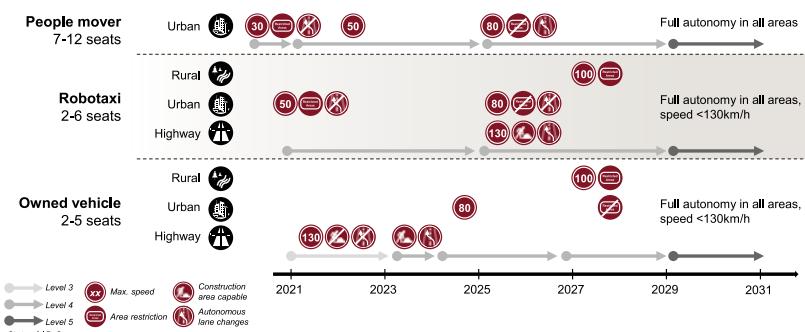
**Robo Intralogistic
Robotaxis
Robo-Last Mile**

Strategy&PwC

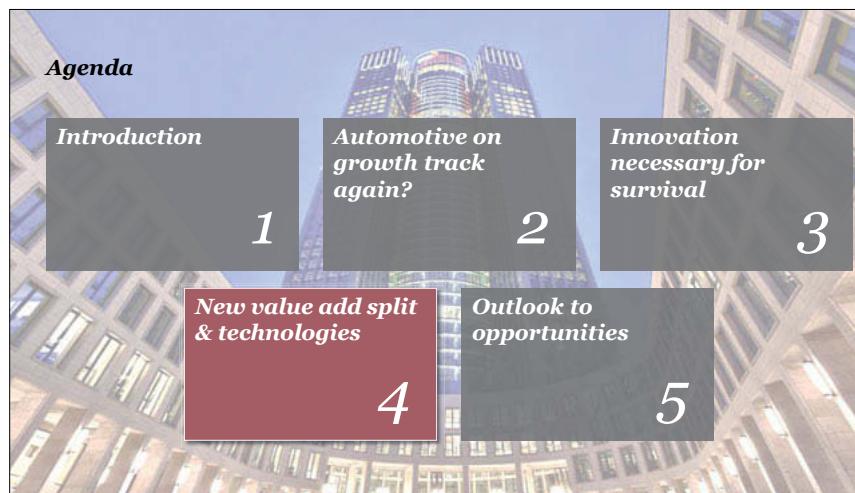
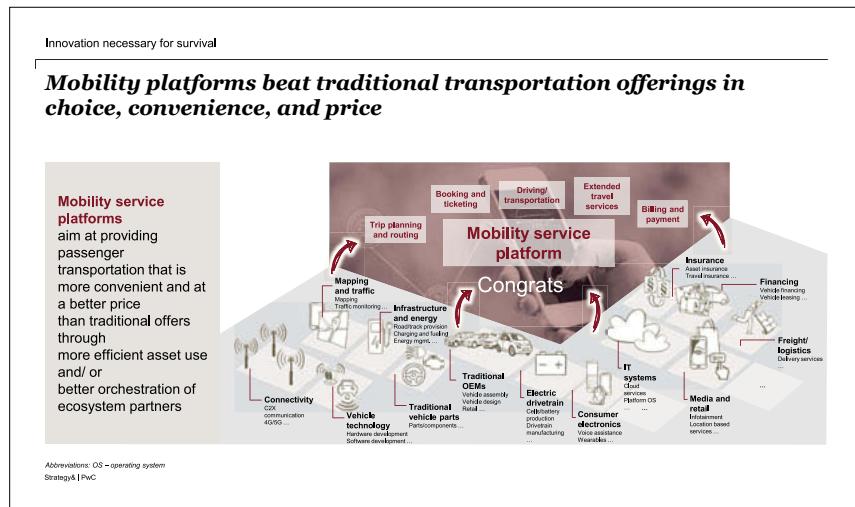
Innovation necessary for survival

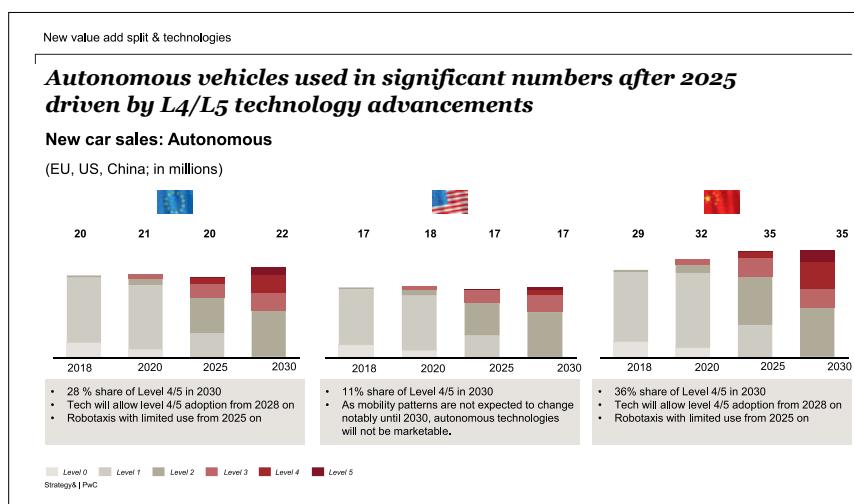
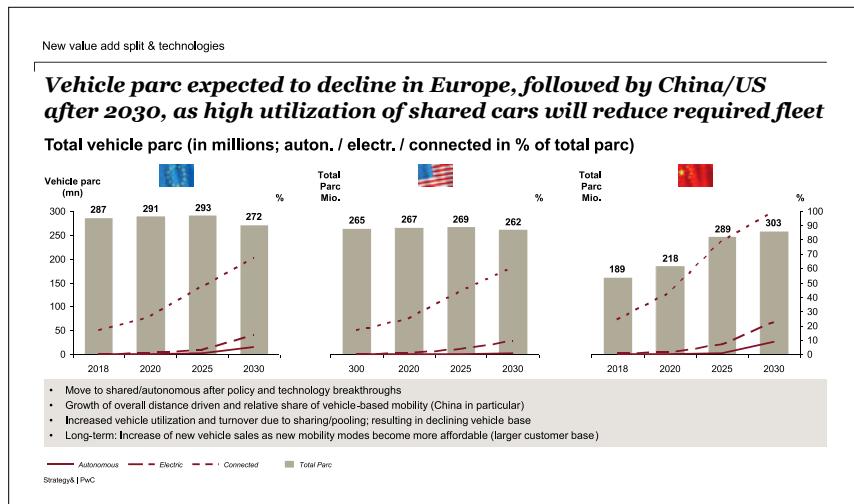
L4 autonomous driving is expected to be available by 2022 with people movers and robotaxis on restricted roads and speed <50km/h

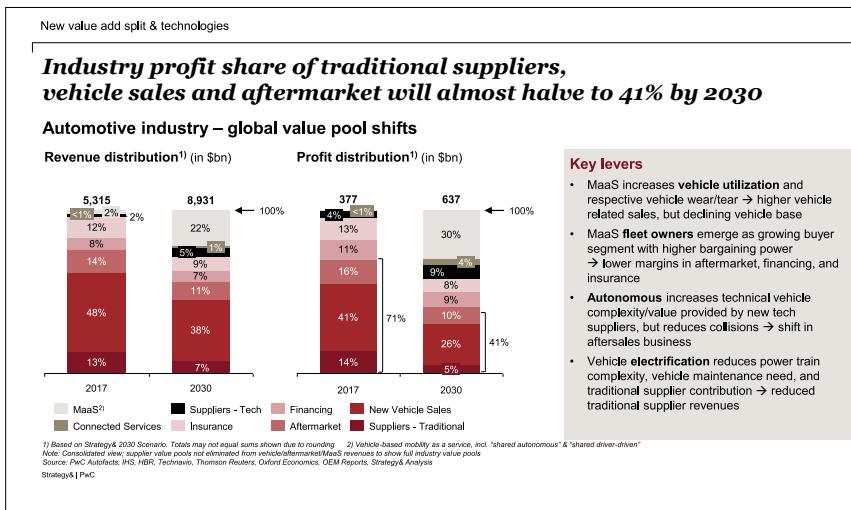
Availability of autonomous driving (example of Germany)

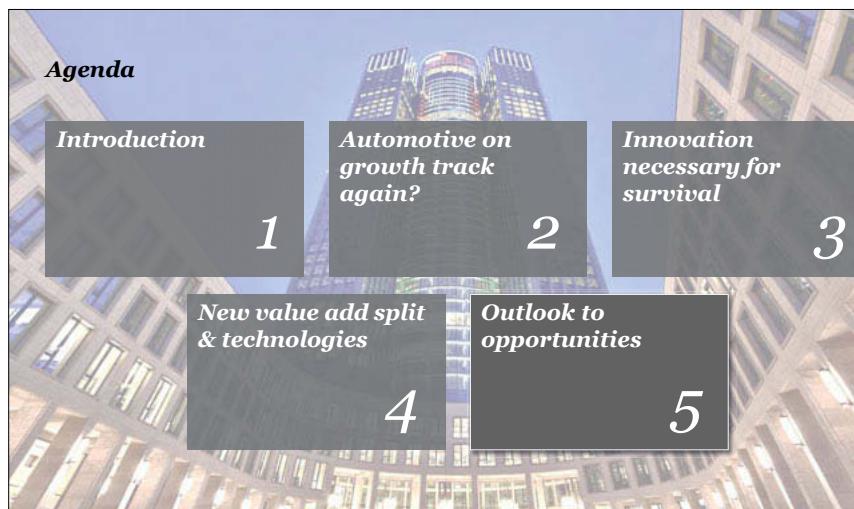
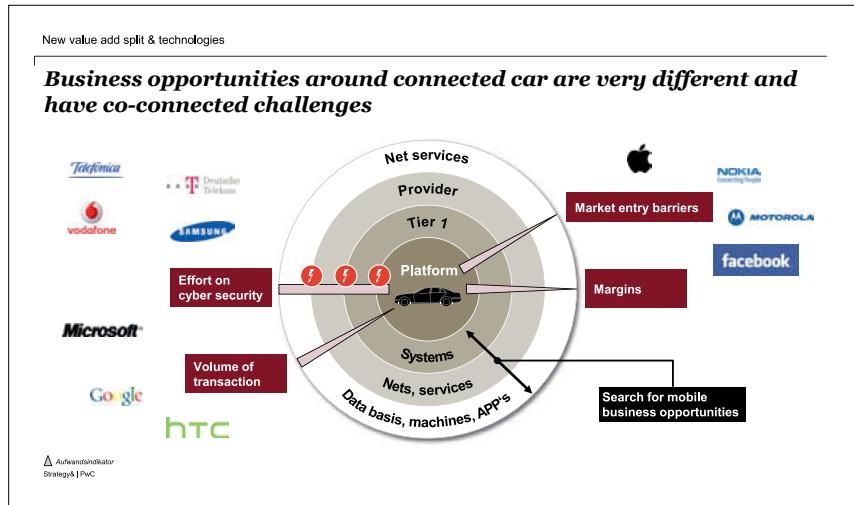


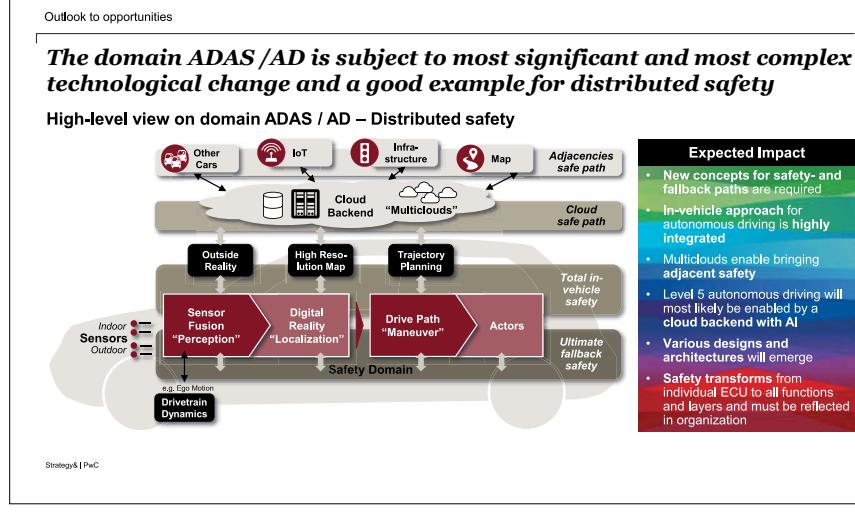
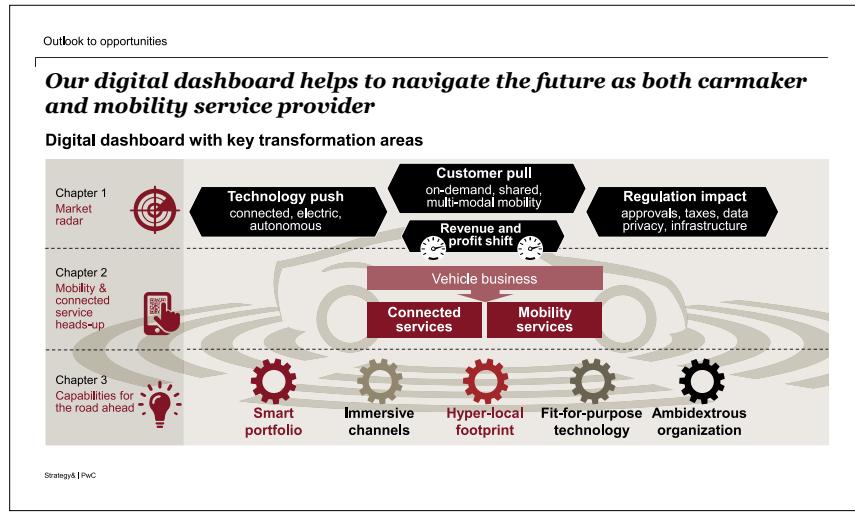
Strategy&PwC

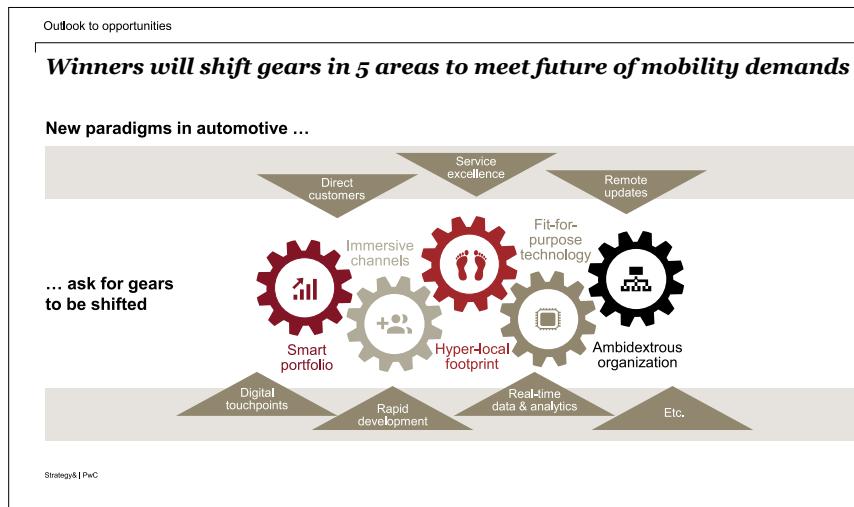
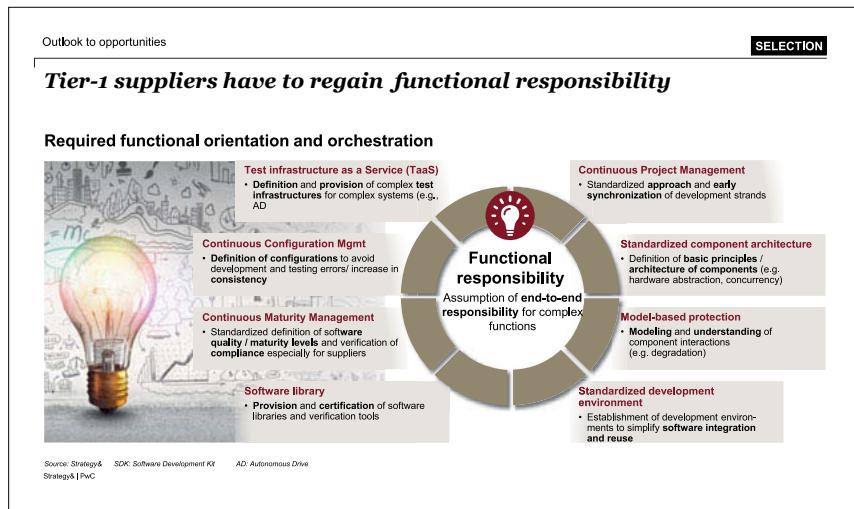












Autonomes Fahren: Autonome Türen?

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 autonomem 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 Fahrzeugerlebnis sollte sich diesbezüglich ebenfalls entlang der Automatisierungsstufen weiterentwickeln. Brose entwickelt in diesem Zusammenhang Funktionen für den Fahrzeugzugang unter Einbezug der Expertise für Innenraum und Fahrzeutüren.

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.

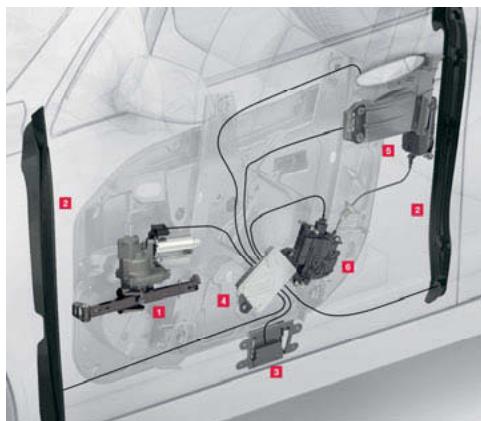


Bild 1: Das Türantriebssystem von Brose umfasst den (1) Antrieb, die (2) Einklemm- und (3) Kollisionsschutzsensork, das (4) Steuergerät sowie das (5) elektrisch öffnende Seitentürschloss mit (6) Zuziehhilfe.

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.

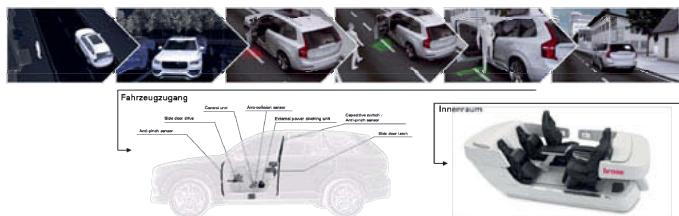


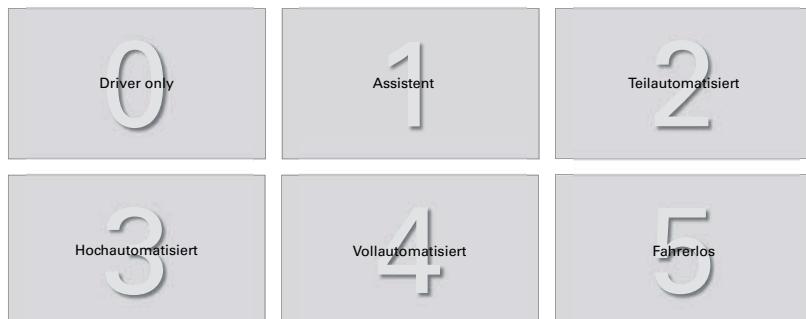
Bild 2: Ganzheitliche Lösungen entlang der „Customer Journey“

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.

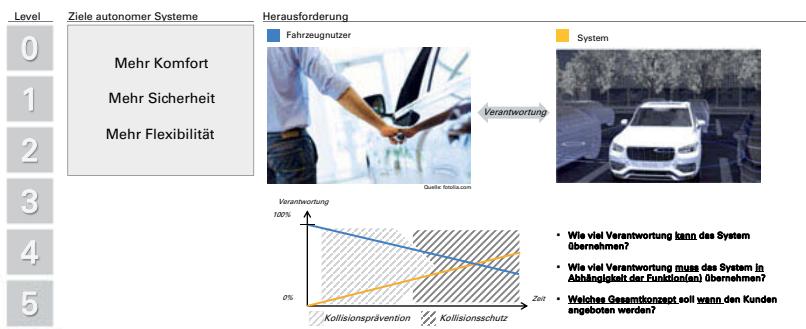
- [1] Vgl. „CASE - Intuitive Mobilität“, Daimler AG, <https://www.daimler.com/case/>
- [2] Vgl. dazu u.a. SAE-Norm J3016 und „Automatisiertes Fahren“, Verband der Automobilindustrie e.V, <https://www.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/automatisiertes-fahren/automatisiertes-fahren.html>

Autonomes Fahren



Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

Autonome Türen?



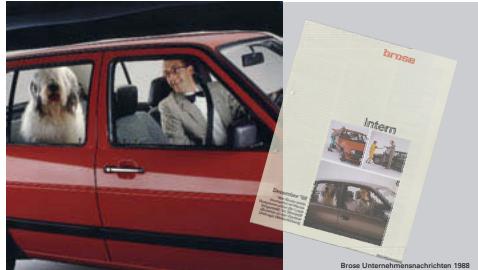
Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

Autonome Türen?

Level	Stufen der Automatisierung
0	Fahrer führt dauerhaft Längs- und Querfahrung aus. Kein eingreifendes Fahrzeugeystem aktiv.
1	
2	
3	
4	
5	

Quelle: VDA/Bundesamt für Straßenwesen

→ Beispiele bei Seitentüren



Der Klassiker: Manuell bedienbare Schwenktür

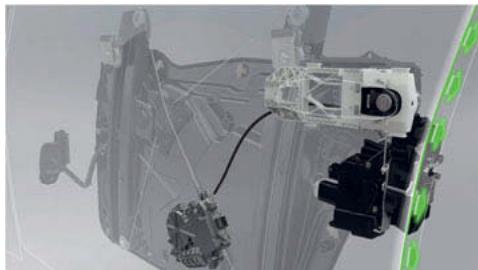
Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

Autonome Türen?

Level	Stufen der Automatisierung
✓	Fahrer führt dauerhaft Längs- oder Querfahrung aus. System übernimmt jeweils andere Funktion.
1	
2	
3	
4	
5	

Quelle: VDA/Bundesamt für Straßenwesen

→ Beispiele bei Seitentüren



z.B. die Zuziehhilfe: Automatisiertes Zuziehen gegen den Türdichtungsdruck

Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

Autonome Türen?

Level

1 ✓

2 ✓

3

4

5

Stufen der Automatisierung

Fahrer muss das System dauerhaft überwachen.

System übernimmt Längs- und Querführung in einem spezifischen Anwendungsfäll.

Quelle: VDA/Bundesamt für Straßenwesen

→ Beispiele bei Seitentüren



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

Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

Autonome Türen?

Level

1 ✓

2 ✓

3 ✓

4

5

Stufen der Automatisierung

Fahrer muss das System nicht mehr dauerhaft überwachen.

Muss potentiell in der Lage sein, zu übernehmen

System übernimmt Längs- und Querführung in einem spezifischen Anwendungsfäll.

Erkennt Systemgrenzen und fordert Fahrer zur Übernahme mit ausreichender Zeitreserve auf.

Quelle: VDA/Bundesamt für Straßenwesen

→ Beispiele bei Seitentüren



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

Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

Autonome Türen?



Stufen der Automatisierung

Kein Fahrer erforderlich im spezifischen Anwendungsfall.

System kann im spezifischen Anwendungsfall alle Situationen automatisch bewältigen.

Quelle: VDA/Bundesamt für Straßenwesen

→ Beispiele bei Seitentüren



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

Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

Autonome Türen?



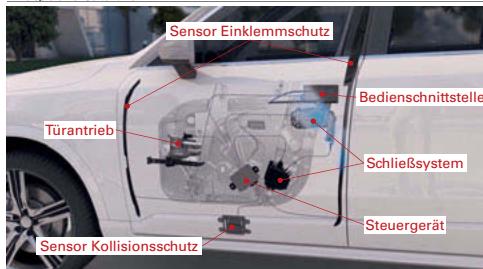
Stufen der Automatisierung

System kann während der ganzen Fahrt alle Situationen automatisch bewältigen.

Kein Fahrer erforderlich.

Quelle: VDA/Bundesamt für Straßenwesen

→ Beispiele bei Seitentüren



Die vollautomatische Tür

Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

Was bringt die Zukunft?



Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

Was bringt die Zukunft?

Die großen Trends unserer Zeit

Demografischer Wandel

Connectivity

Klimawandel

Digitalisierung

Individualisierung

On Demand

Die großen Fragen unserer Zeit

Nutzer

Verbrenner

vs.

Elektromotor

Besitz

vs.

Verfügbarkeit

Selbst fahren

vs.

Gefahren werden

Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

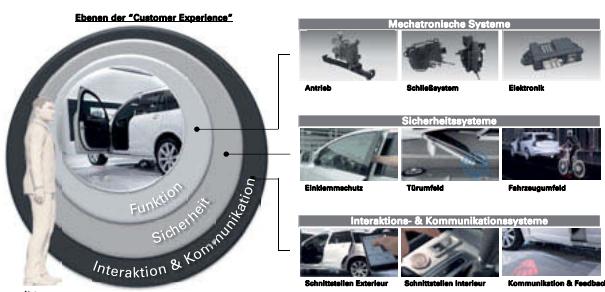
Nutzerzentrierte Entwicklung

Die „Customer Journey“ verstehen und gestalten



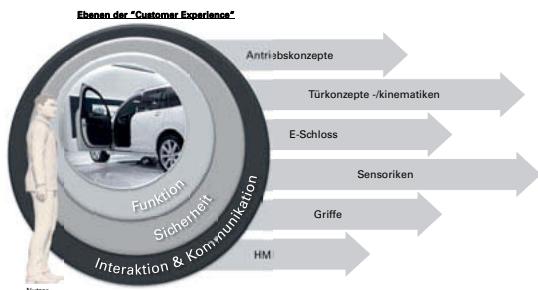
Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

Nutzerzentrierte Entwicklung



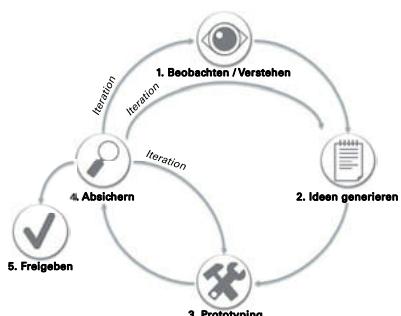
Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

Nutzerzentrierte Entwicklung



Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

Nutzerzentrierte Entwicklung



Z.B. durch Nutzerkontextanalysen, ...



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



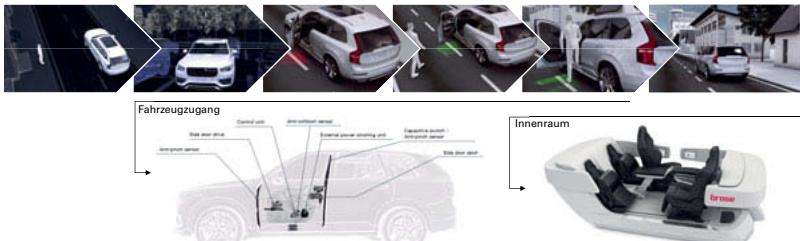
... durchführen von Car Clinics.



Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

Kundenerlebnis: Der USP der Zukunft

Brose Produkte und Lösungen entlang der „Customer Journey“



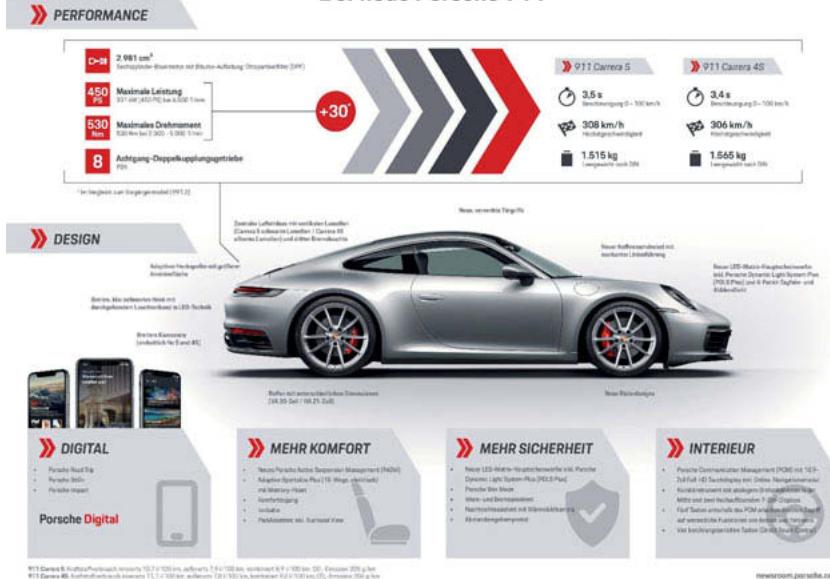
Verantwortlich: TG2-VE/ Sebastian, Hermeling

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



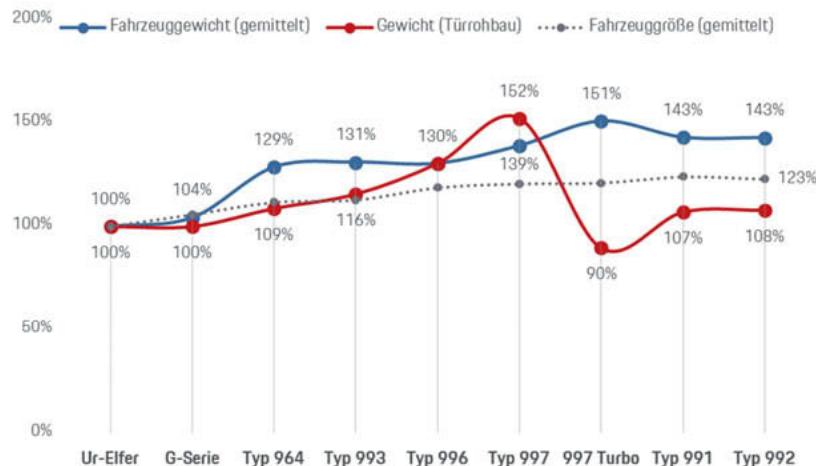
Schneller, Breiter, Digital – Auch in der achten Generation ist der neue Porsche 911 unverkennbar der Porsche-DNA verpflichtet. Den Stylisten und Entwicklern ist es wieder gelungen den 911 in seinen Grundzügen beizubehalten und gleichzeitig neue Erkenntnisse der Entwicklung und neue Technologien einfließen 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 markante Form wird zusammen durch die breitere Verkleidung 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 Türrohbaukonzept

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 Fallung 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 Taillenlinie bleibt weniger Bauraum für die Türstrukturauteile übrig.

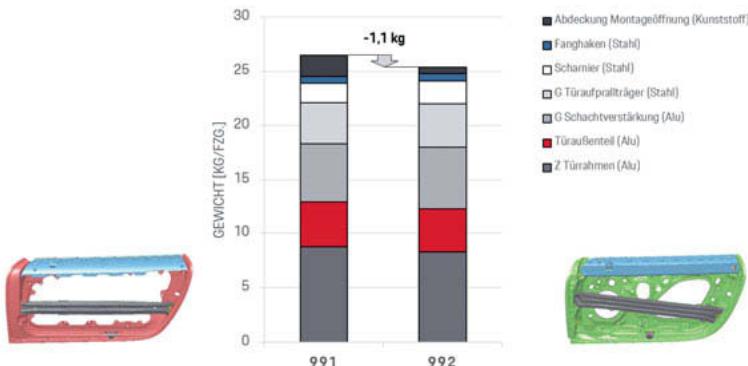


Hinzu kommen neue Anforderungen aus der Fahrzeugsicherheit. Auslegungskriterien sind hier nicht nur die Anforderungen des 991, sondern auch der IIHS Small Overlap und der UN R135 Pfahl seitlich.

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^2 Zugfestigkeit und $>50\%$ Bruchdehnung verwendet, welches durch den Umformvorgang auf $>980 \text{ N/mm}^2$ 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.

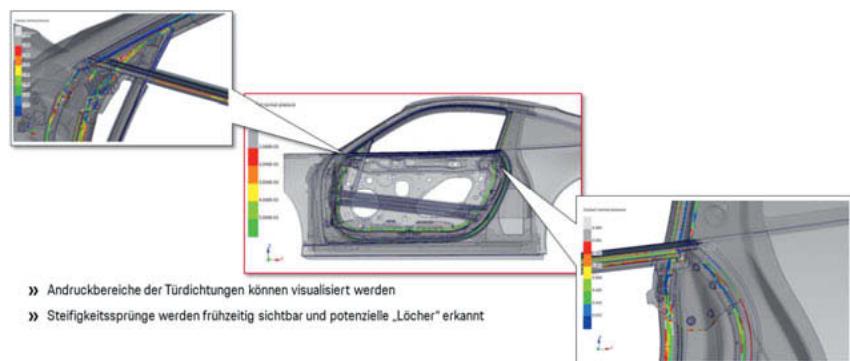
Das Dichtungskonzept

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 Türschachtdichtung 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 Betätigungs weg 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 Manövrielleuchte 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, Manövrielleuchte
- » 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

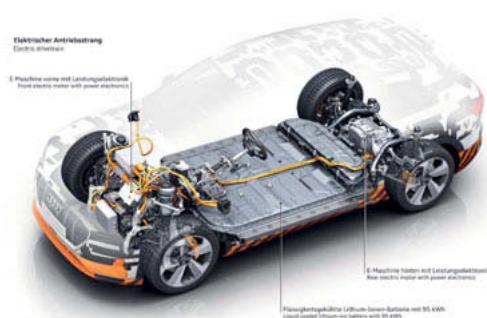
„Aufbruch, der elektrisiert“



Das Türenkonzept des Audi e-tron

Herausforderungen für die Innenraumakustik von Elektrofahrzeugen

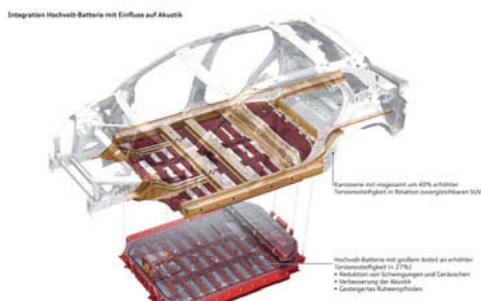
- › Neues Antriebskonzept



Das Türenkonzept des Audi e-tron

Herausforderungen für die Innenraumakustik von Elektrofahrzeugen

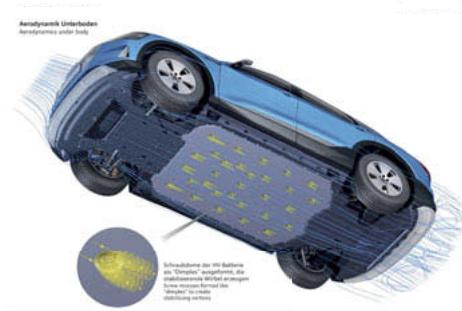
- › Neue Karosseriearchitektur



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

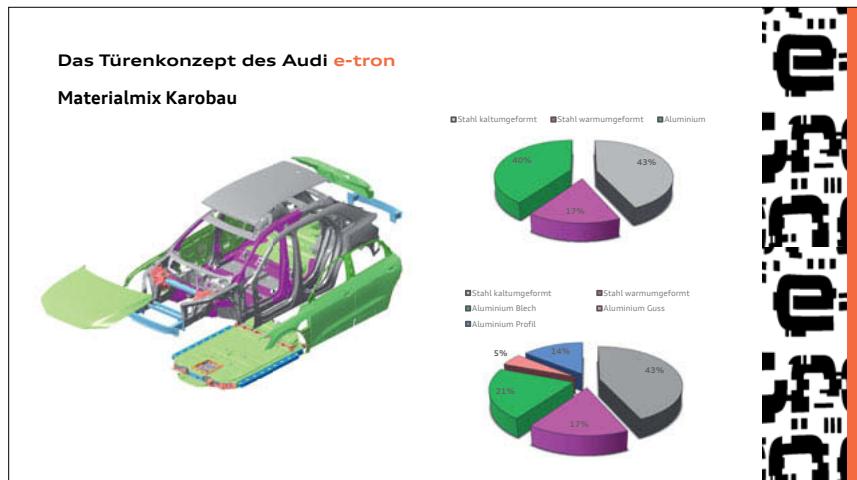


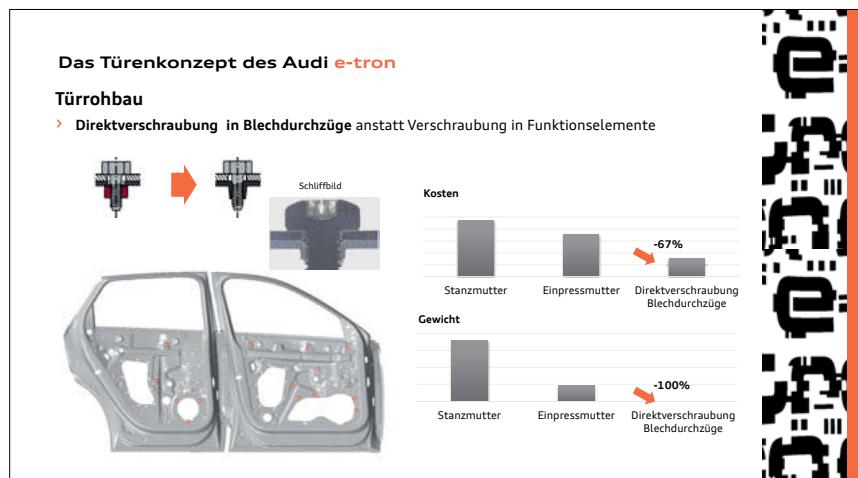
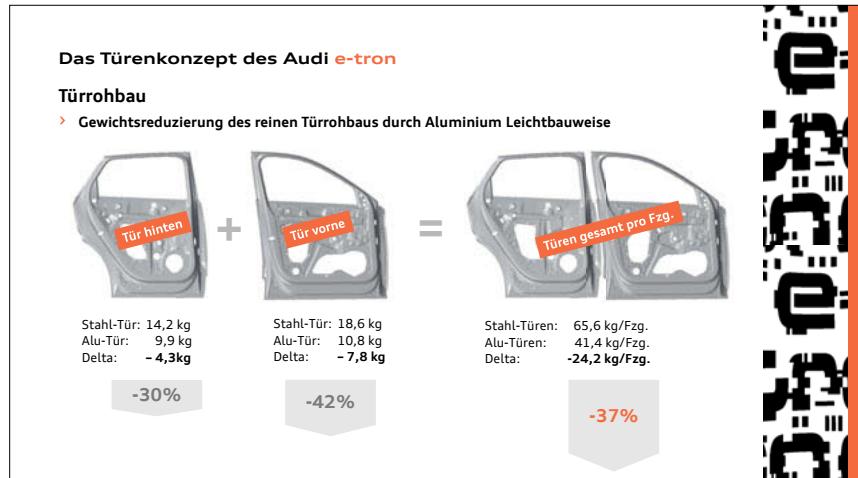
⇒ Innenraumakustik auf deutlich reduziertem Geräuschniveau

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





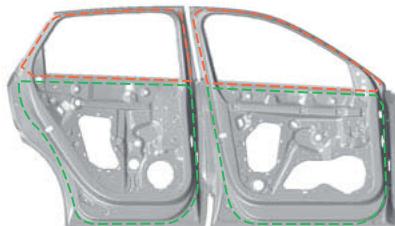


Das Türenkonzept des Audi e-tron

Türrohbau

- Verbindungstechniken haben wesentlichen Beitrag zur Gesamtsteifigkeit

Rahmenbereich Lasern



Türkastenbereich Stanznieten



Das Türenkonzept des Audi e-tron

Türrohbau

- Einfluss Türrohbau auf Akustik
- Auslegung Türrahmensteifigkeit mittels FEM-Simulation

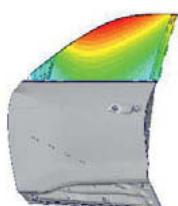
Lastfälle: Mitte A-Säule



Ecke B-Säule



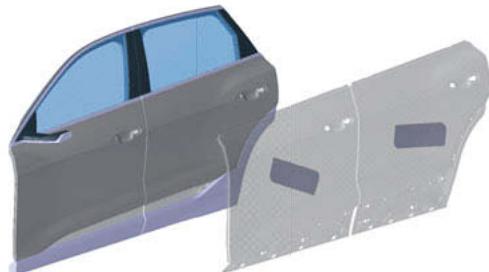
Windlast



Das Türenkonzept des Audi e-tron

Türrohbau

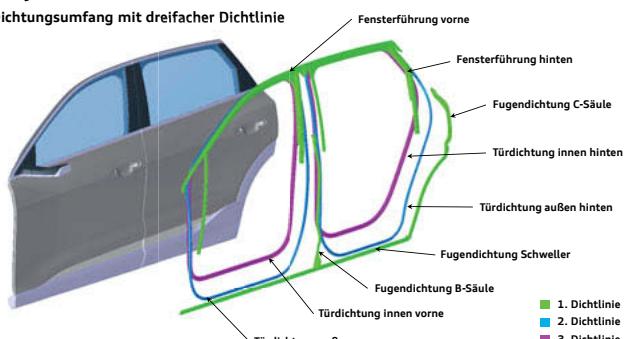
- › Einfluss Türrohbau auf Akustik
- › Dämmmatten



Das Türenkonzept des Audi e-tron

Dichtsystem

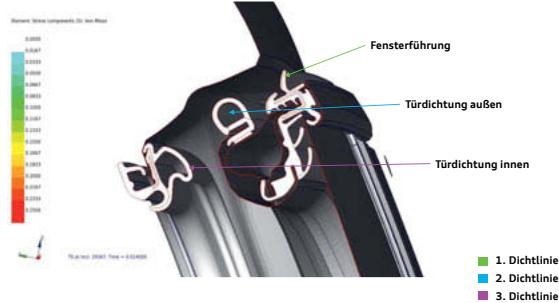
- › Dichtungsumfang mit dreifacher Dichtlinie



Das Türenkonzept des Audi e-tron

Dichtsystem

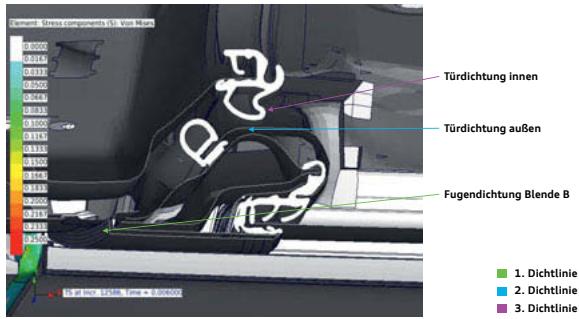
➤ Dachschnitt



Das Türenkonzept des Audi e-tron

Dichtsystem

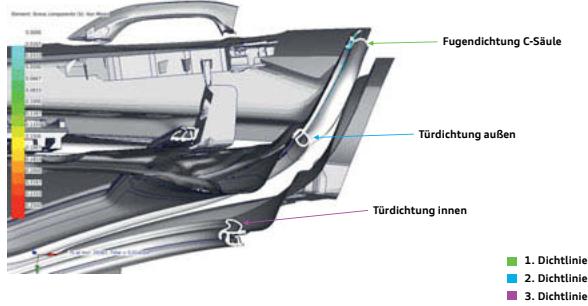
➤ Schnitt B-Säule hinten



Das Türenkonzept des Audi e-tron

Dichtsystem

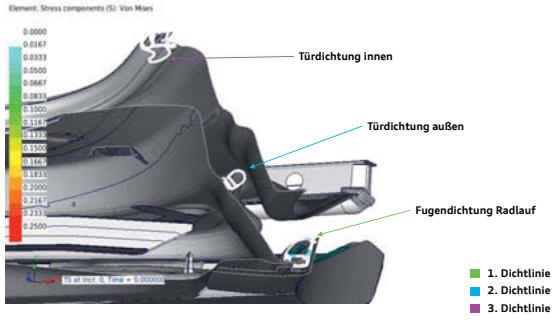
› Schnitt C-Säule unten



Das Türenkonzept des Audi e-tron

Dichtsystem

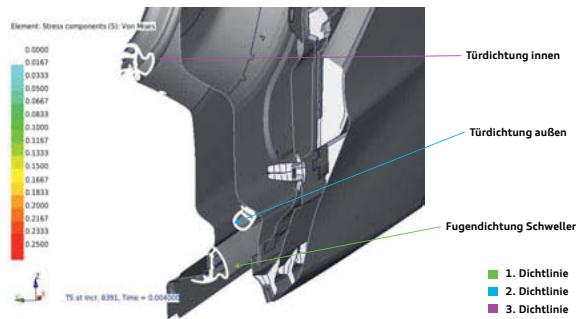
› Schnitt Radlauf



Das Türenkonzept des Audi e-tron

Dichtsystem

- › Schnitt C-Säule unten



Das Türenkonzept des Audi e-tron

Dichtsystem

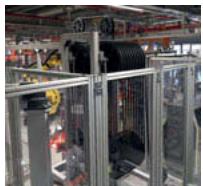
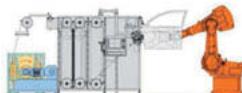
- › Simulation Schließverhalten (Schließkomfort)
- › Berücksichtigung von Entlüftungseinflüssen der Dichtungen und Bauräume



Das Türenkonzept des Audi e-tron

Dichtsystem

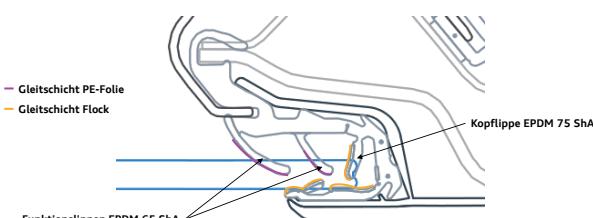
- › Rollkopfapplikation der TDA in Endlosteknik
- › Kosteneinsparung gegenüber Plattentechnik
- › Höhere Flexibilität bei Derivaten und Folgeprojekten



Das Türenkonzept des Audi e-tron

Dichtsystem

- › Fensterführung mit reduziertem Durchschiebemoment



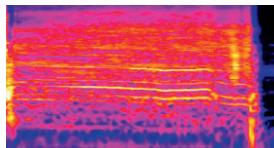
Das Türenkonzept des Audi e-tron

Dichtsystem

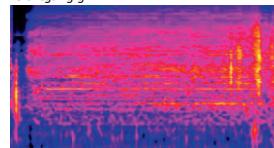
- Fensterführung mit reduziertem Durchschiebemoment hat positiven Einfluss auf die Fensterheberakustik



Schwerfällig:



Leichtfällig:

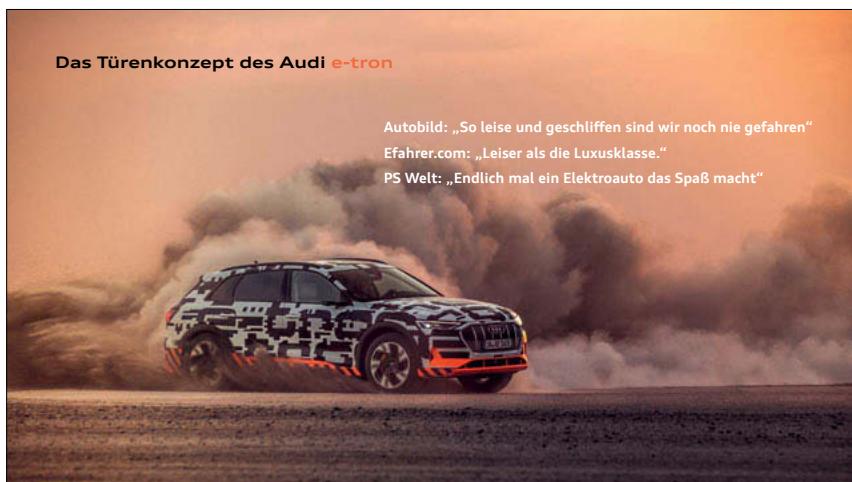
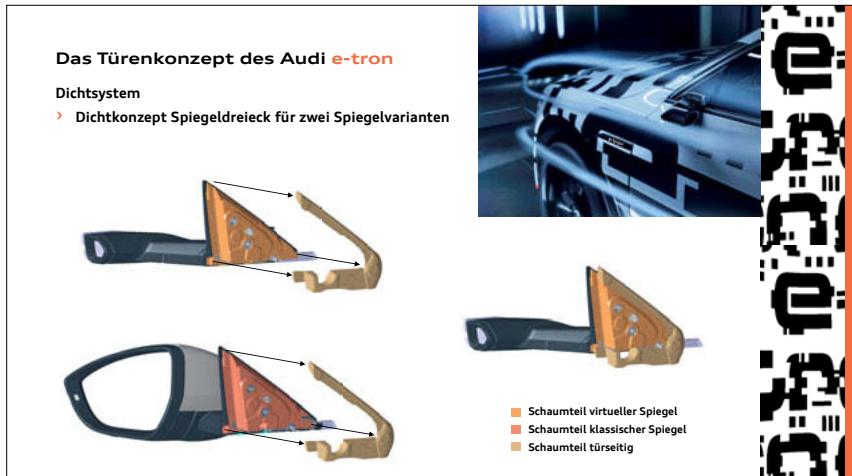


Das Türenkonzept des Audi e-tron

Dichtsystem

- Akustikoptimierung durch Schaumteile





High Volume Thermoplastic Liftgate Production

Dipl.-Ing. (FH) **J. Götzemann**, 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.

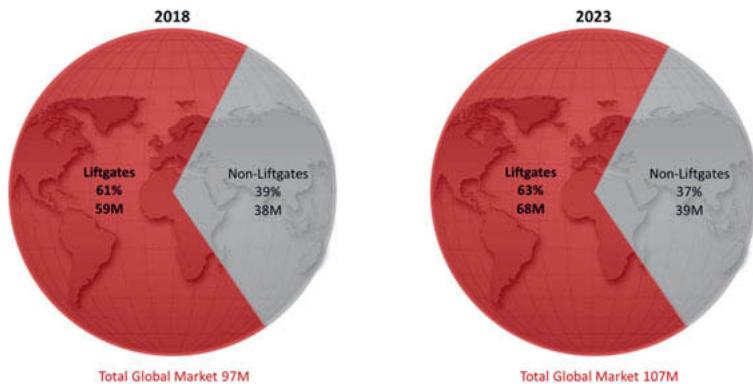


Fig. 1: Liftgate equipped vehicle growth

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%!

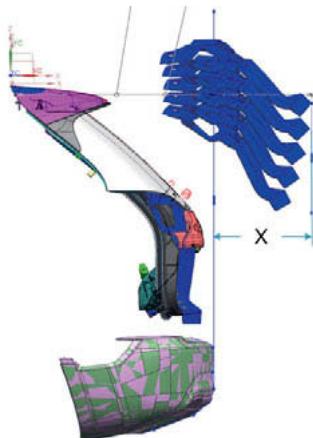


Fig. 4: Reduced overall vehicle length (X)

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

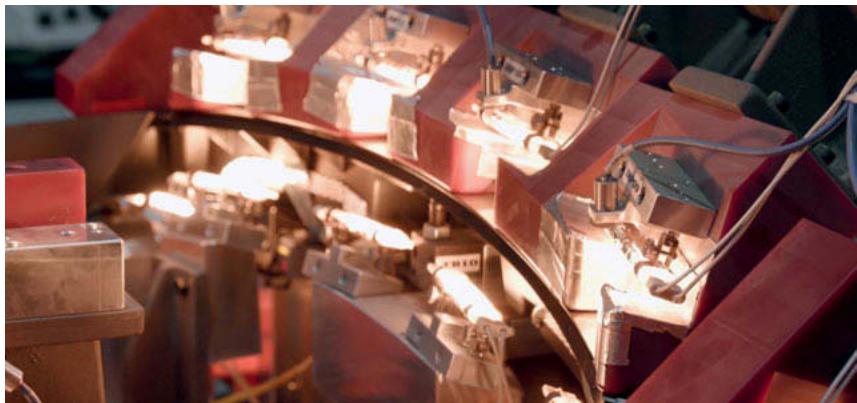


Fig. 7: IR Adhesive curing

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**

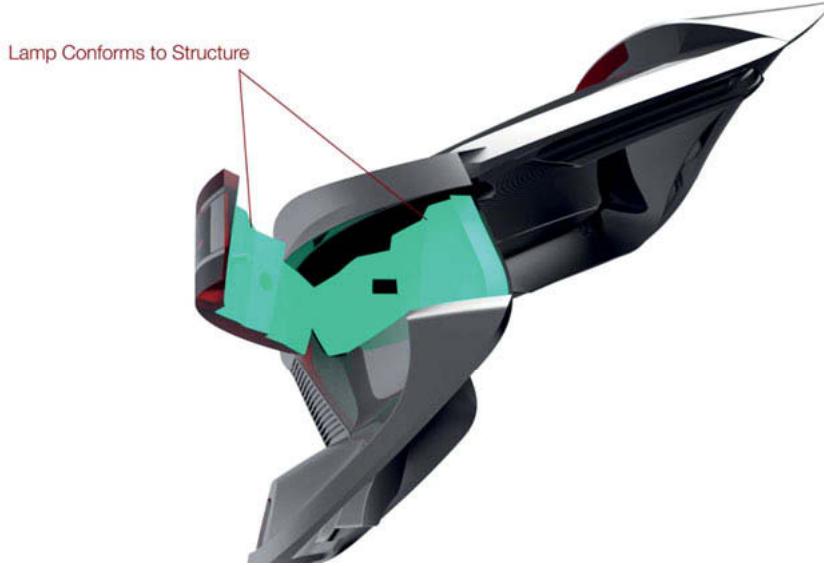


Fig. 9: Potential integration of lamp 'Can' into liftgate structure

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.

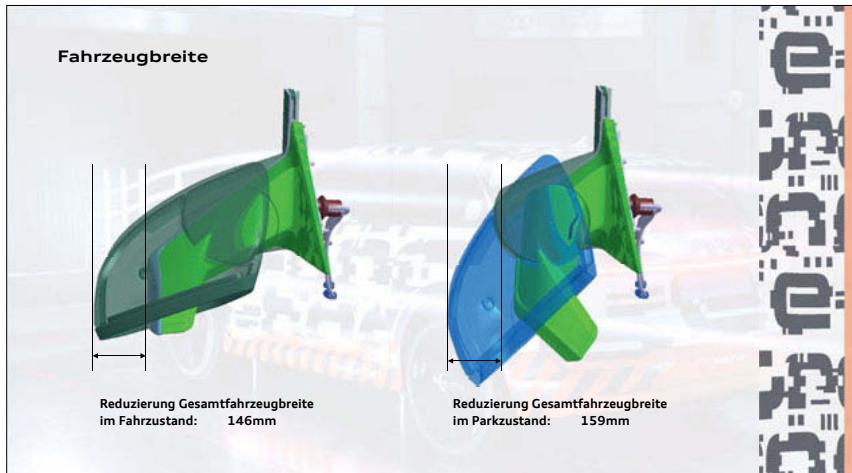
Entwicklung eines virtuellen Außenspiegels

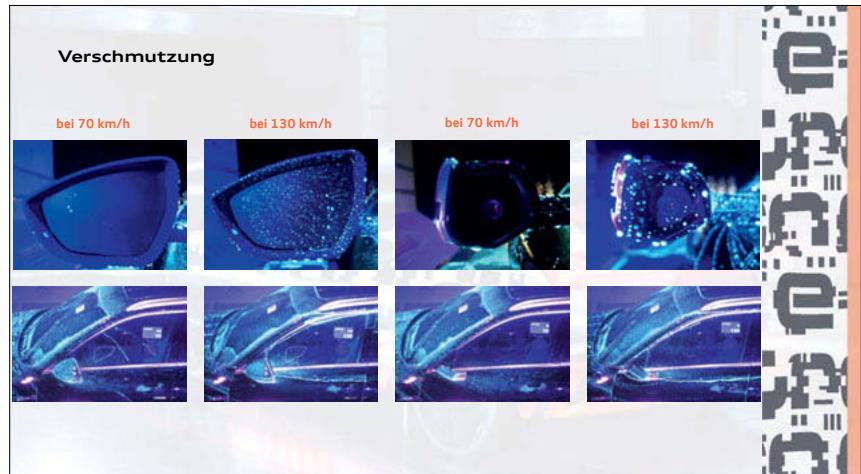
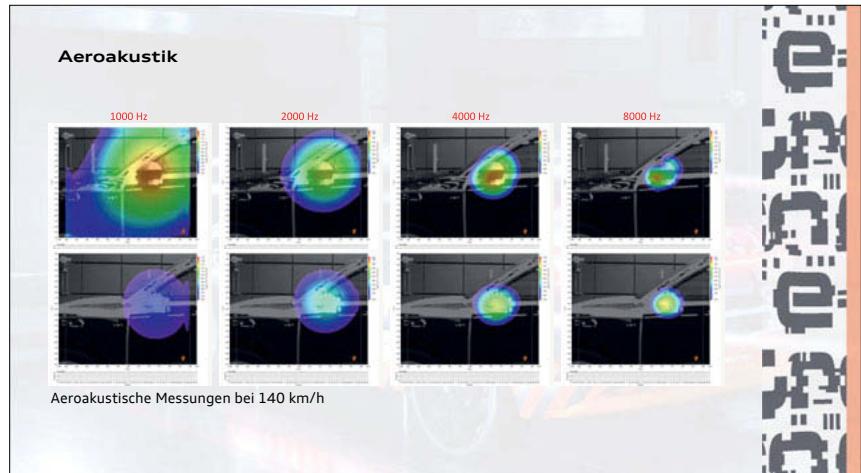
Dipl.-Ing. **Alexander Lorenz**, AUDI AG, Ingolstadt

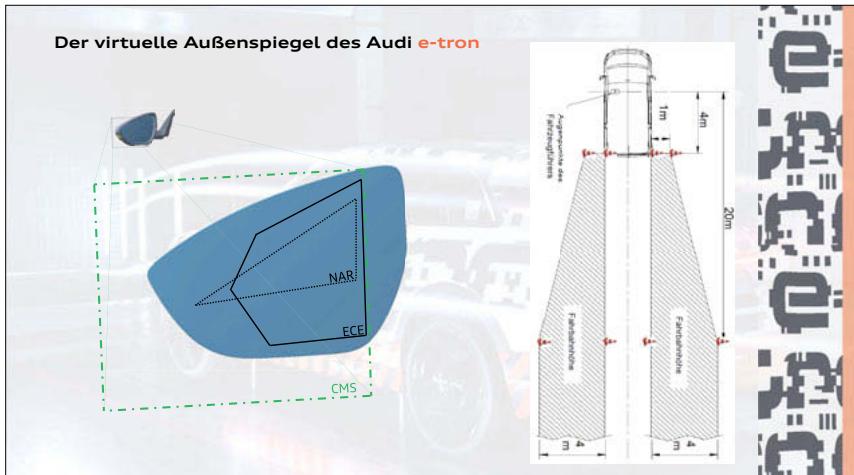
Der virtuelle Außenspiegel des Audi e-tron

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







Der virtuelle Außenspiegel des Audi e-tron

Agenda:

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

Andreas Prücklmeier, I/EE-621

Systemkomponenten Virtueller Außenspiegel



Andreas Prücklmeier, 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 Detailierungsgrad)

Kontrast ist 5-mal höher als beim LCD

- > kein Grauschleier über dem Bild

Farben werden natürlicher dargestellt, größeres Farbspektrum

Höhere Auflösung

Energieeffizienz 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

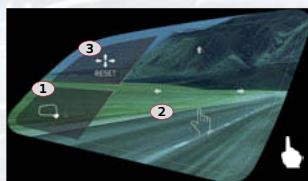
- > 180° Blickwinkelstabilität



Andreas Prücklmeier, I/EE-621

Bedien - Oberfläche

- > Die Bedienoberfläche öffnet sich bei Annäherung an das Display



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

Andreas Prücklmeier, I/EE-621

Übersicht der Zusatzanzeigen

Blinker aktiv



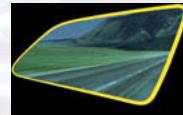
› grünes Overlay blinkende im Takt des Blinkers

SWA Infostufe



› „Transparente Darstellung“ der Infostufe statisch

SWA Warnstufe



› blinkende Darstellung

Andreas Prücklmeier, I/EE-621

Aktivierbare Sichten des Virtuellen Außenspiegels

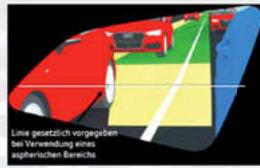
Blinkersicht



Linie gesetzlich vorgegeben bei Verwendung eines asphärischen Bereichs

› Erweiterung des Sichtbereichs nach Außen zur Verringerung des toten Winkels

Bordsteinsicht



Linie gesetzlich vorgegeben bei Verwendung eines asphärischen Bereichs

› 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 Prücklmeier, 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

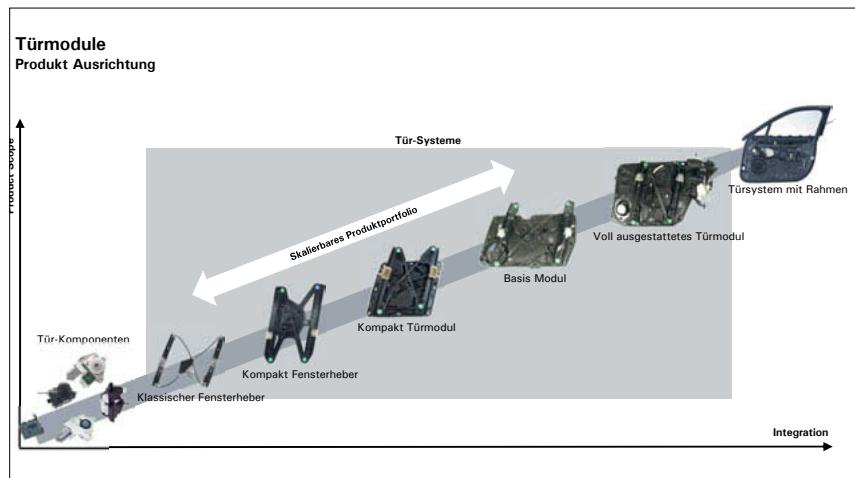
Exterieur Designmerkmal - Signatur eines modernen Fahrzeugs

Andreas Prücklmeier, I/EE-621

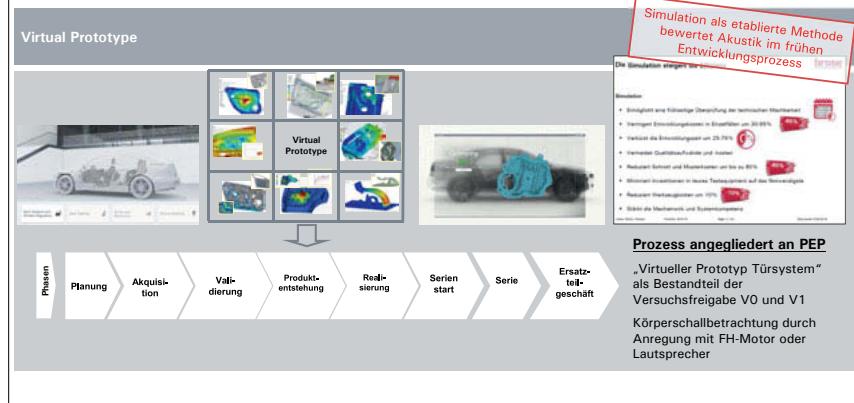
Akustikdesign bei Leichtbautürsystemen

Designprozesse und Herausforderungen

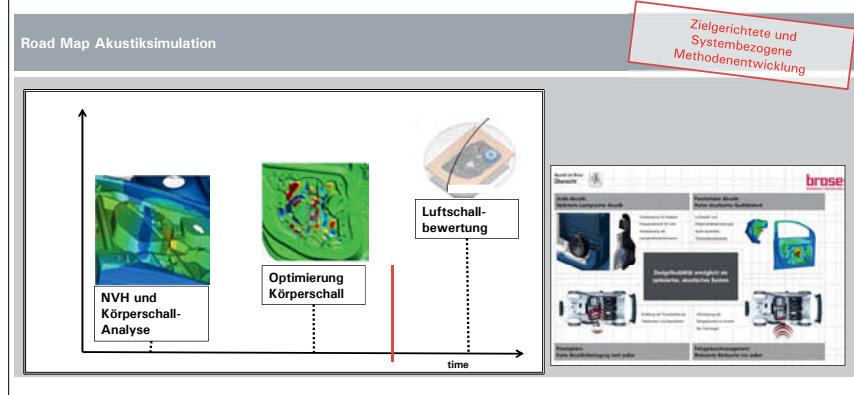
Dipl.-Ing. (FH) **Joachim Müller**, Dipl.-Ing. (FH) **Stephan Starost**,
Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG, Hallstadt



Simulation Türsysteme

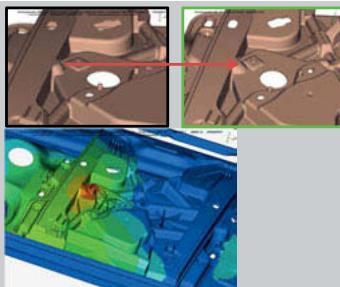


Simulation Türsysteme



Lastfall "Körperschall durch FH-Motoranregung"

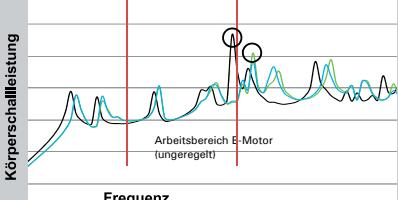
Einfluss lokaler Struktursteifigkeit



Qualifizierte Bewertung von validiertem Material und Modellverhalten des Antriebes

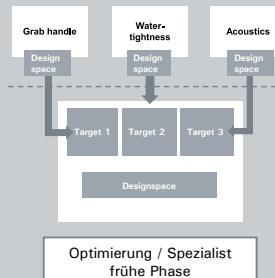
Lokale Geometrieveränderung =>

- Reduzierung Körperschall
- Verschiebung von Maxima

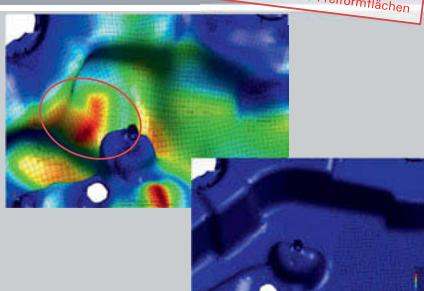


Optimierung

Topographieoptimierung auf mehrere Lastfälle



Frühzeitige Optimierung auf mehrere Zielfunktionen => Rückführung der Freiformflächen



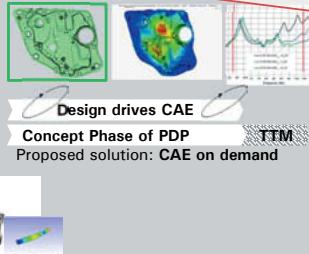
Optimierung

Konstruktionsbegleitende Berechnung

Standardberechnung Körperschall

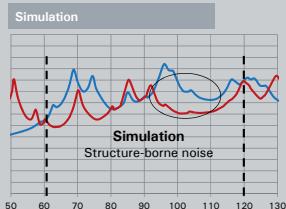
- Automatisierter Lastfall im SimulationsDatenManagement-System(SDM)
- Browserbasierte Anwendung durch Konstruktion
- Autobericht zur Bewertung des aktuellen Designs (Antwortzeit ca. 4 h)

Konstruktionsbegleitende automatisierte Berechnung gewährleistet akustische Ziele im weiteren Entwicklungsprozess



Validierung

3D-Druck / Validierung



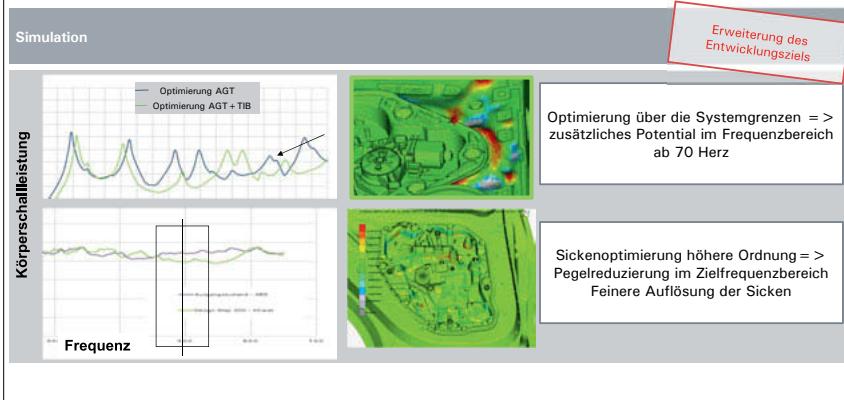
Entwicklung eines 3D-Druckmaterials mit ähnlichen Eigenschaften des Serienmaterials
Schnelle prototypische Umsetzung
Messen und „Erleben“ des Optimierungsvorteils



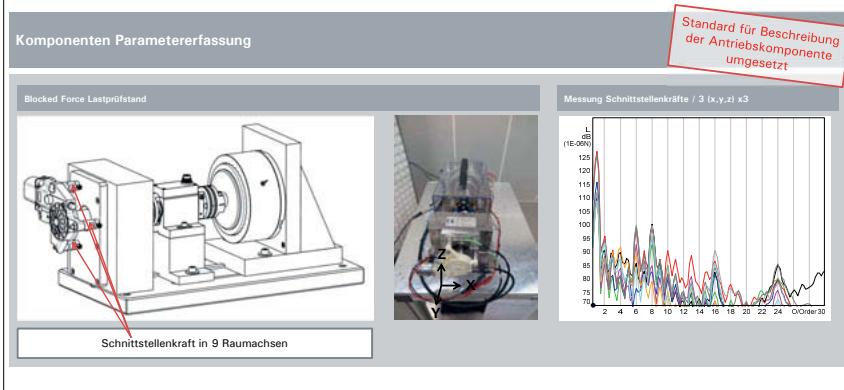
Schnelle wirksame Darstellung von Akustik-Optimierung mittels 3D-Druck



Ausblick



Validierung



Validierung

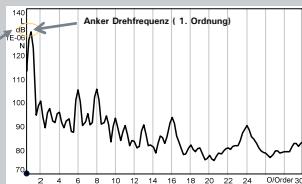
Komponenten Parametererfassung



Simulation der Summenschnittstellenkraft
(A + B + C)

Summenkraft bei (85Hz):
(1,08 + 0,88 + 0,88)N = 2,85N = 129,1dB

Messung Schnittstellenkraft / Summe



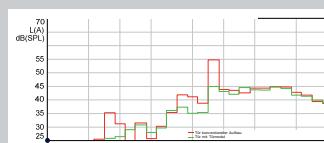
Motorsimulationsmodell
validiert

Validierung

Strukturoptimierung



Terzpeglvergleich konventionelle Tür vs. Türmodul



Verbesserung der
Fensterhebergeräusche
durch Türmodul

Ziel des Akustikdesign, ist
die Verbesserung des
Antriebsgeräusches durch
Türinnenstruktureinfluss

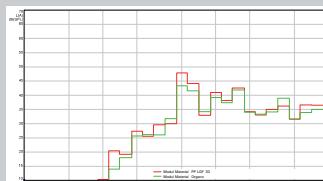
Validierung

Strukturoptimierung

Türsystemvergleich



Terzpegele vergleich Türmodul PPLGF 30 vs. Organo



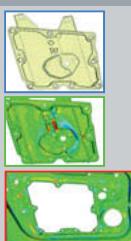
Verbesserung der Fensterhebergeräusche durch Akustikdesign

Die bei dem Organo Material sich ergebenden Designmöglichkeiten erhöhen den Akustikdesignspace

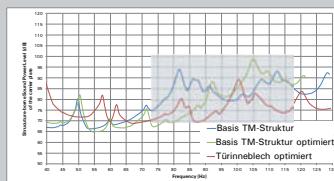
Validierung

Systemgrenzenerweiterung

Akustikdesign in Verbindung mit Tür



Optimierungspotentiale



Gesamtsystembetrachtung zeigt hohes Optimierungspotential

Durch Erweiterung der Systemgrenze zeigt sich ein weiteres hohes Optimierungspotential.

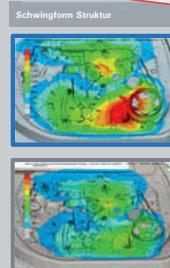
Je größer das Modul desto höher ist die Akustikwirksamkeit

Validierung

Dynamische Steifigkeit



Verbesserung der Strukturperformance durch Akustikdesign



Validierung

Audioperformance

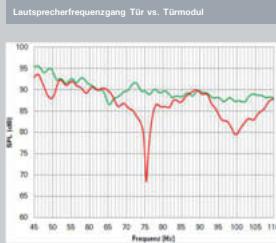


Verbesserung der Audioperformance durch Akustikdesign



Validierung

Audioperformance

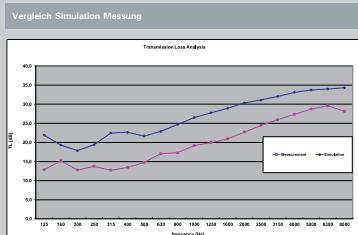
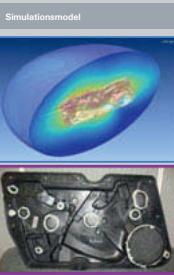


Verbesserung der Lautsprecherperformance durch Türmodul

Identischer Lautsprecher zeigt mit Modulsystem deutliche höhere Pegel und lineareren Frequenzgang

Validierung

Durchschallung



Durchschallungssimulation für Designoptimierung validiert

Simulation und Messung zeigen Übereinstimmung im Verlauf

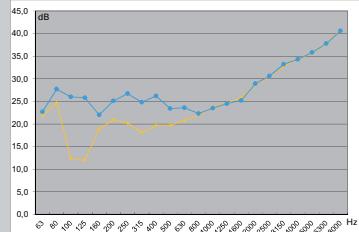
Validierung

Durchschallung

Versuchsaufbau



Vergleich Modul ohne Bauteile und mit Anbauteilen



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 standardisierte 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 kinematics 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 automobile Fertigung unterliegt vielerlei Einflüssen, die sich auf das subjektive Qualitäts-empfinden 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. Grade 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).

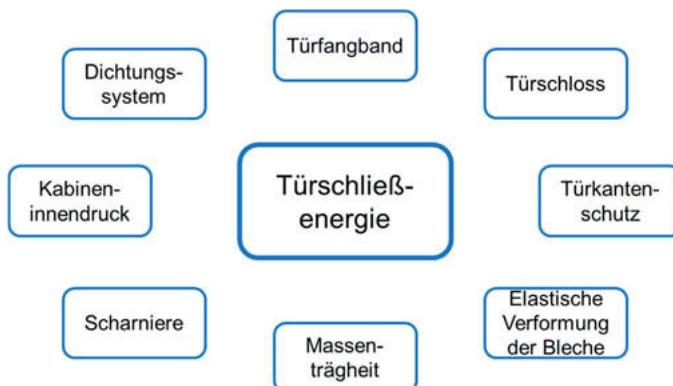


Bild 1: Haupteinflussgrößen auf Türschließenergie

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).

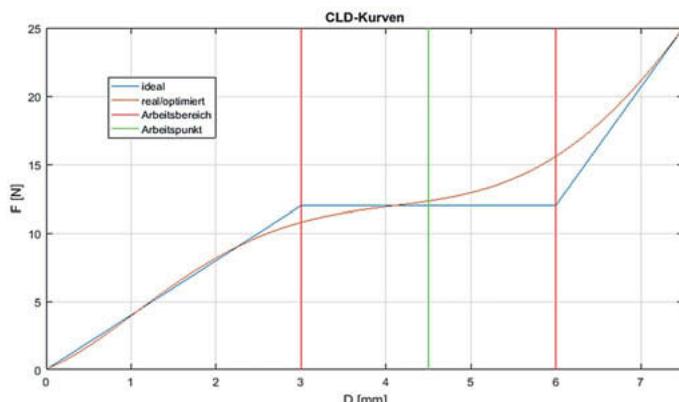


Bild 2: Darstellung einer CLD-Kurve mit Arbeitsbereich (idealisiert und real)

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 annährend 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 Berührpunktes 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 angebracht.

Bei den meisten Fahrzeugen werden Dichtungssysteme zum Einsatz gebracht die aus zwei oder mehr Dichtungsumläufen bestehen. Diese Umläufe können sowohl Tür- als auch Karosserieseitig angebracht sein. Die folgenden Erläuterungen werden anhand einer türseitig montierten Dichtung gemacht, die auf der Karosserie zum Liegen kommt. Die Kontaktfläche der Karosserieseite 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.

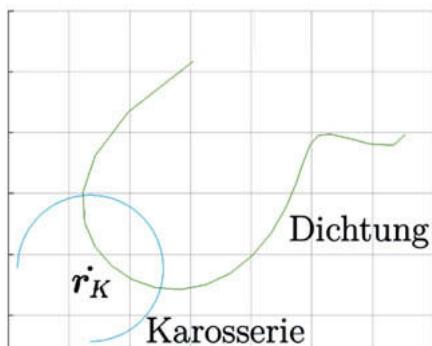


Bild 3: Profilquerschnitt einer Primärdichtung und des Center-Tube im Schweller-Bereich

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 Berührpunkt liegt. Für eine Tür-seitige Dichtung wird die Bahn des Berührpunktes über die Rotation weiterverfolgt. Zur Ermittlung der Berührpunkte 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 Berührpunkt 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. Bild 4). Nachteilig dabei ist, dass im CAD der Berührpunkt 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.

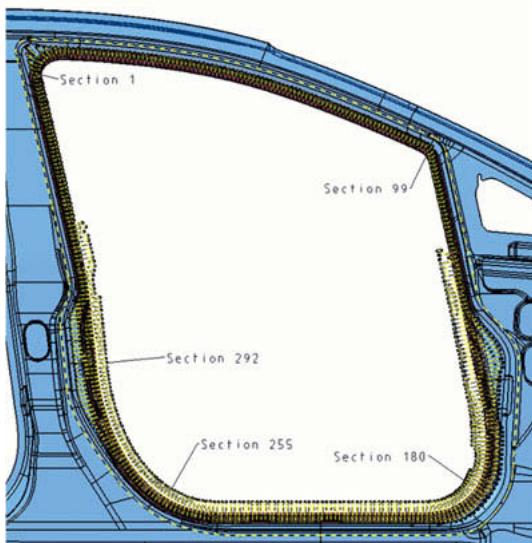


Bild 4: Schnittbildung entlang des Dichtungsumlaufs zur Ermittlung der Berührpunkte

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 Ellipsenzentrumspunkts (bei geschlossener Tür) werden die Berührpunkte 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.

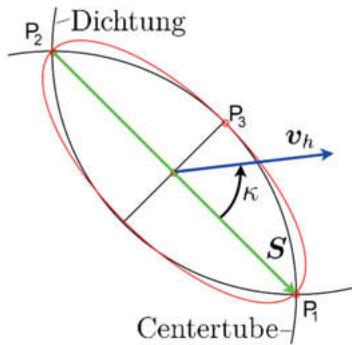


Bild 5: Annäherung der Dichtungsdurchdringung bzw. Kompression als Ellipse

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).

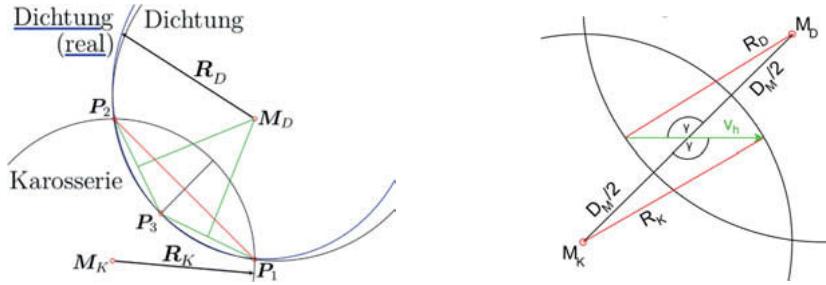


Bild 6: Dual-Tube-Verfahren

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.

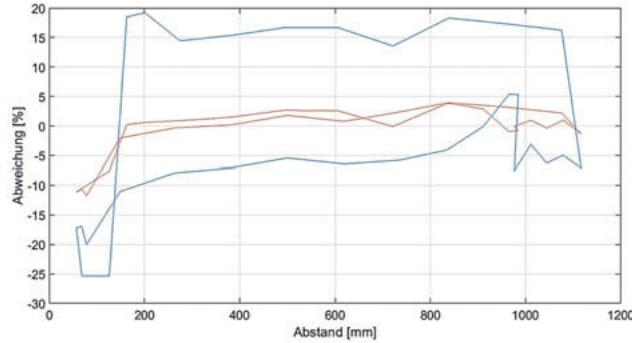


Bild 7: Relative Abweichung von Ellipsen-Verfahren und Dual-Tube-Verfahren

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 Korrekturreverfahrens lässt sich der Fehler weiter reduzieren.

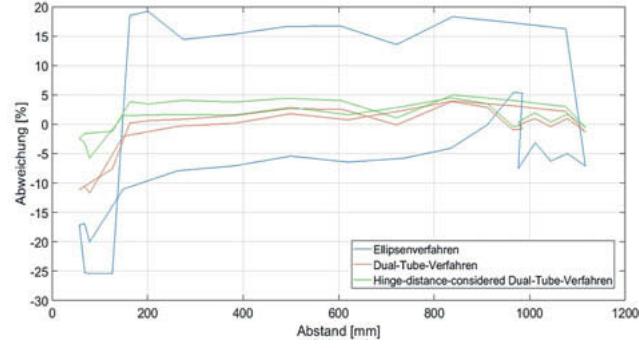


Bild 8: Korrektur des Dual-Tube-Verfahrens

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

Im Anschluss an die Bestimmung der Berührpunkte 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.

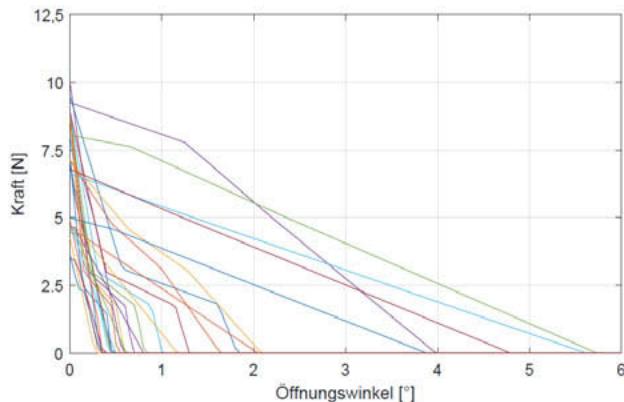


Bild 9: Dichtungsgegenkraftverläufe über Türwinkel für 30 Dichtungssegmente

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).

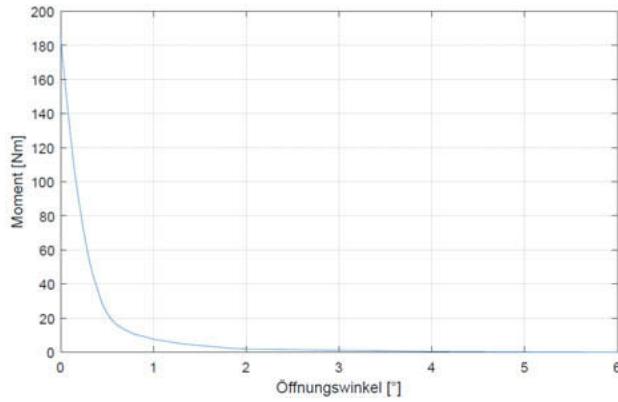


Bild 10: Momentenverlauf eines Dichtungssystems am Ford Fiesta
(Primär- & Sekundärdichtung)

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 grade 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.

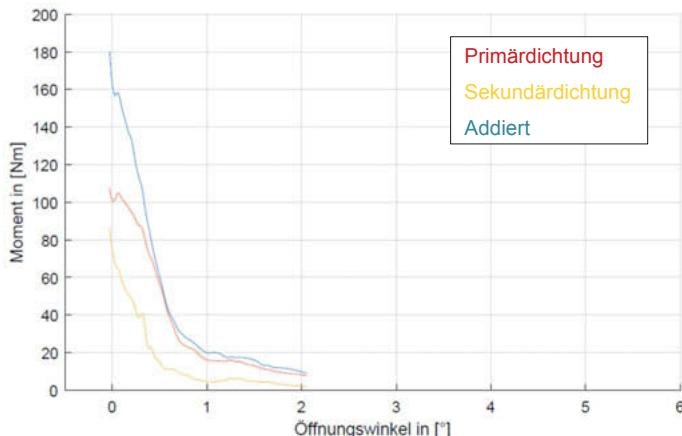


Bild 11: Ergebnis von EZ-Slam Messungen am Ford Fiesta

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. Dichtungsgegendschübe 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 so genannten „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 spritzgegossene 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).

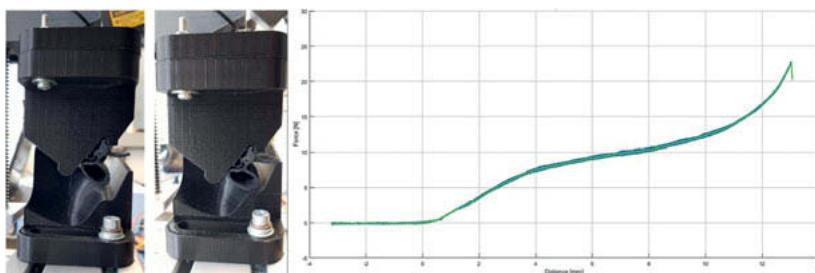


Bild 12: Stempel zu Bestimmung von CLD-Kurve eines In-Molds und Ergebnis

4. Zusammenfassung und Ausblick

Durch die vorgestellte Simulationsmethode lassen sich Fahrzeudichtungen 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 Toleranzeneinflussanalysen 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 vorge definierter 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 Berührpunkte 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, 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.

Motivation



Keine Fahrt mit offenem Zugang



beidseitiger Ladezugang



Komfortable Fernbedienung des Zugangs

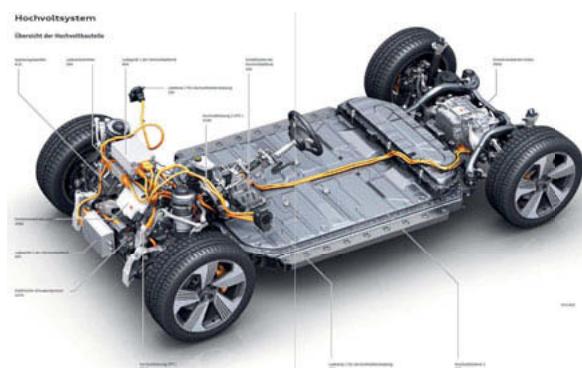


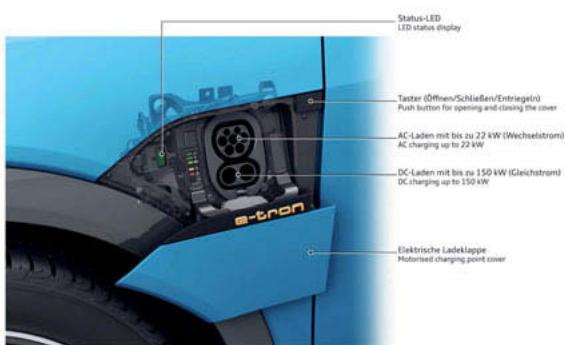
Automatisches Laden per Laderoboter



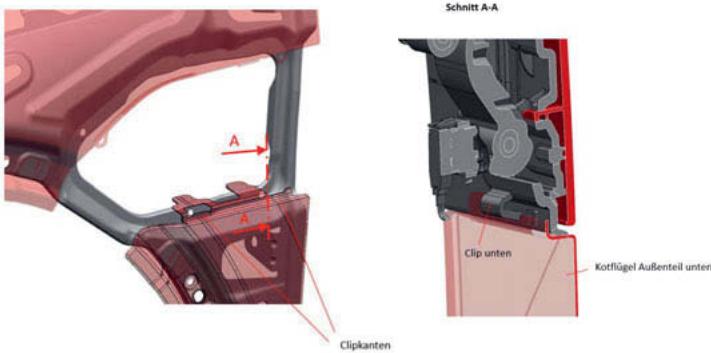
Grundstein für eine voll autonome Fahrzeugnutzung

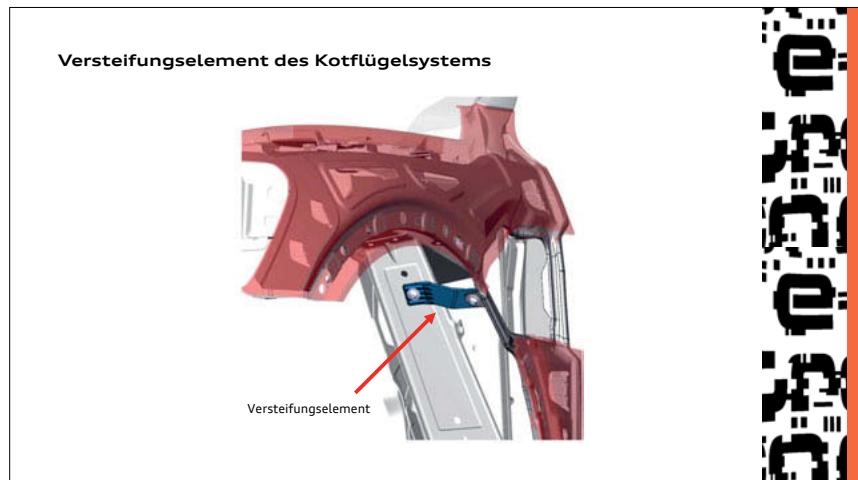
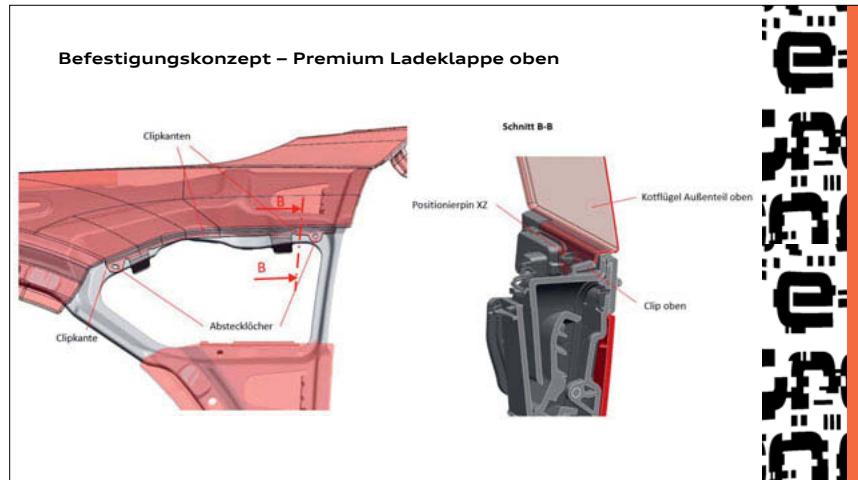
Beidseitiger Ladezugang des Audi e-tron



Position der Premium Ladeklappe im Audi e-tron**Bedienkonzept der Premium Ladeklappe des Audi e-tron**

Explosionsdarstellung – Kotflügelsystem / Premium Ladeklappe**Fertigungsschritte des Kotflügelaußenteils**

Verbindungstechnik – Kotflügelsystem**Befestigungssystem – Premium Ladeklappe unten**







ISBN 978-3-18-092342-0

Bildquelle: © Opel Automobile GmbH