

# OEM Forum Fahrzeugtüren und -klappen 2017



## VDI-Berichte 2297

# VDI-BERICHTE

Herausgeber: VDI Wissensforum GmbH



# OEM Forum Fahrzeugtüren und -klappen 2017

Hamburg, 7. und 8. März 2017



# VDI-Berichte 2297

**Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.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 <http://dnb.ddb.de>.

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2017

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 978-3-18-092297-3

## Inhalt

|         | Seite |
|---------|-------|
| Vorwort | 1     |

### Türsysteme

|                              |  |    |
|------------------------------|--|----|
| G. Frener,<br>P. Lochbrunner | Öffnungs- und Schließkomfort von Seitentüren –<br>Beitragsleiter und Ableitung von Auslegungsstandards                                   | 3  |
| U. Nass,<br>J. Schulz        | Leichtbautürsysteme und Fahrzeugzugangslösungen für<br>zukünftige Fahrzeuggenerationen – Mit Systemkompetenz<br>zu innovativen Produkten | 17 |
| A. Hellweg                   | Türkonzepte der 9. Generation  | 27 |

### Tür- & Klappensysteme + Sicherheit

|                                 |   |    |
|---------------------------------|---|----|
| M. Zimmermann,<br>F. Stablo     | “Higate Access” – Innovative composite tailgate concept<br>targeting A and B segment vehicle applications | 37 |
| T. Unger                        | Tertiäre Sicherheit – Fahrzeugtüren als Nadelöhr bei der<br>technischen Rettung                           | 43 |
| M. Schumilas,<br>T. Ritterbusch | Das Türsystem des neuen Opel Insignia Grand Sport   | 53 |

### Leichtbau, Werkstoffe und Technologien

|   |   |    |
|---|---|----|
| M. Thomitzek,<br>C. Lüdecke,<br>D. Keil | Aufbau einer Aluminiumtür mittels Reibpunktschweißen            | 67 |
| S. Fenske,<br>M. Cetin                  | Door module carriers – Large-scale production with<br>FiberForm | 79 |

|                                     |  |    |
|-------------------------------------|--|----|
| <i>J. Götzemann,<br/>M. Imgrund</i> | Zukünftige Kunststofftechnologien für Leichtbaulösungen im Fahrzeug Exterior am Beispiel Klappen / Türen                         | 87 |
| <i>W. Much,<br/>A. Rath</i>         | Die Türmodule der Mercedes-Benz Heckantriebsarchitektur (MRA) unter Berücksichtigung von Standardisierung und Individualisierung | 97 |

## **Eröffnungsvorträge**

|                  |  |     |
|------------------|--|-----|
| <i>W. Gleine</i> | Akustik in Flugzeugkabinen und der Einfluss von Türen  | 105 |
| <i>D. Kiwus</i>  | Das Türkonzept des Porsche Panamera – Integration von "Flush-Glazing" in eine Rahmentür aus Aluminiumschalenbauweise | 123 |

## **Klappensysteme**

|                                  |   |     |
|----------------------------------|---|-----|
| <i>C. Frömel,<br/>Q. T. Ly</i>   | Integration einer zweiten Öffnungsmöglichkeit in die Rückwandklappe eines Transporters  | 137 |
| <i>M. Rosenbaum</i>              | Huf-Heckschloss Innovationen – Silent Funktion und Ruhigstellungsfunktion   | 149 |
| <i>R. Mensch,<br/>T. Janssen</i> | Moderne Konzepte zum Entriegeln von Heckklappenschließsystemen und zum Ruhigstellen und Zentrieren der Heckklappe mit Hilfe des Schlosses | 155 |
| <i>B. Molnar</i>                 | Das Hecksspoiler- und Heckklappenkonzept des neuen Porsche Panamera – Optimierte Performance und Effizienz                                | 173 |

## Vorwort

Der Alltag der Automobilentwicklung ist von einer großen Modellvielfalt und immer kürzeren Entwicklungszeiten geprägt. Die CO<sub>2</sub>-Optimierung und geringere Stückzahlen, gepaart mit einer hohen Marktdynamik, erfordern immer wieder neue Wege für die Auslegung und Fertigung von Baugruppen. Gleichteilekonzepte, neue Entwicklungswerkzeuge und alternative Fertigungsmethoden sollen gepaart mit einem optimierten Projektmanagement zu Zeit- und Kostenoptimierungen in Verbindung mit sicherem und komfortablem Kundennutzen führen.

Die komplexen Fahrzeugtüren und -klappen bieten durch Form und Funktion der integrierten Systeme und dem Zusammenwirken mit Fahrzeug, Insassen und Verkehrsraum vielfältige Ansätze für Fachthemen und -diskussionen aus Produktentwicklung und Fertigung.

Die Tagung 2017 findet in Hamburg statt. Gastgeber ist diesmal das Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau der HAW Hamburg. Vielen in der Automobilindustrie ist diese Hochschule als Wagenbauschule Hamburg bekannt. 120 Jahre Erfahrung mit der Ausbildung für Produktentwicklung im Fahrzeugbau und eine Vielzahl erfolgreicher Absolventen in der Branche sprechen für die Hochschule.

Ziel der Tagung ist, alle Beteiligten an der Entwicklung und Fertigung von Fahrzeugtüren und -klappen zu einem Erfahrungsaustausch zusammenzuführen und dazu beizutragen, dass die gestellten Aufgaben gemeinsam besser bewältigt werden können.

Beiträge von OEMs, Zulieferer- und Hochschulkooperation mit der Fahrzeugindustrie informieren über aktuelle Entwicklungen und Verfahrensweisen bei der Entwicklung von Fahrzeugtüren und -klappen, über Türkonzepte der Zukunft und Fachthemen zu Werkstoffen, Fertigung und einzelnen Türkomponenten und –modulen.

Nehmen auch Sie die Chance wahr, Ihre neuen Erkenntnisse in die Veranstaltung mit einzubringen, gute aktuelle Erkenntnisse zu gewinnen und Ihr persönliches Netzwerk weiter zu entwickeln. Informieren Sie sich auf dieser besonderen Informations- und Kommunikationsplattform über die neuesten Trends und gestalten Sie die Zukunft mit!

Im Namen des Programmausschusses aller in Deutschland ansässigen OEM

**Gunnar Simon Gäbel    Gerhard Tecklenburg**

## Programmausschuss

**Dipl.-Ing. (FH) Karl-Heinz Adis**, Leiter Abteilung Türen Rohbau/Dichtungen/Zierrat,  
Daimler AG, Sindelfingen

**Dipl.-Ing. Thomas Ellinghaus**, Abteilungsleiter Forschung und Entwicklung Türen,  
Volkswagen AG, Wolfsburg

**Prof. Dr.-Ing. Gunnar Simon Gäbel**, Professur Strukturmechanik im Fahrzeugbau,  
Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg (Wagenbauschule seit 1896)

**Dipl.-Ing. Andreas Kohler**, Leiter Fachgebiet Türen Sportwagen, Entwicklung Karosserie  
Mechanik Türen, Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Weissach

**Dipl.-Ing. Andreas Lock**, Leiter Horizontal Closures, John-Andrews-Entwicklungszentrum,  
Ford-Werke GmbH, Köln

**Dipl.-Ing. Thorsten Lüdtke**, Abteilungsleiter Türsysteme, Adam Opel AG, Rüsselsheim

**Dipl.-Ing. Frank Mauersberger**, Leiter Entwicklung Türen, Technische Entwicklung,  
Audi AG, Ingolstadt

**Dipl.-Ing. Stefan Lutz**, Leitung Entwicklung Türen und Klappen, Volkswagen Nutzfahrzeuge,  
Wolfsburg

**Dipl.-Ing. Christian Rathgeb**, Abteilungsleiter Türsysteme und Einstieg, BMW AG, München

**Prof. Dr. Gerhard Tecklenburg (Vorsitz)**, Professur Karosseriekonstruktion, Hochschule für  
Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg (Wagenbauschule seit 1896)

## Sponsor



...the intelligent  
touch to cars.

# Öffnungs- und Schließkomfort von Seitentüren

## Beitragsleister und Ableitung von Auslegungsstandards

Dipl.-Ing. **Gernot Frener**, Dipl.-Ing. **Peter Lochbrunner**,  
BMW AG, München

### Kurzfassung

Das Öffnen der Tür stellt den ersten Kundenkontakt mit dem Fahrzeug dar und ist somit für den ersten subjektiven Qualitätseindruck des Gesamtfahrzeuges entscheidend. Um diesen Qualitätseindruck zu optimieren, ist es unerlässlich die Kundenerwartungen und Kundensituationen zu kennen und zu analysieren. Nur durch eine gezielte Überleitung der Kundenerwartung in physikalische Größen sowie durch Identifikation und Gewichtung der Beitragsleister ist es möglich, dieses Kundenerlebnis zu optimieren. Durch den Einsatz von Mehrkörpersimulation wurden weiterführende Potentiale entwickelt, welche im Laufe der Serienentwicklung des neuen BMW 5er konsequent umgesetzt wurden. Somit ist es gelungen den Öffnungs- und Schließkomfort der Seitentüren maßgebend zu verbessern.

### Abstract

The first contact with the customer happens at the moment of opening the door, which is therefore critical for the first subjective quality impression of the complete vehicle. To optimize this quality impression, it is essential to recognize and analyze the customer expectations and customer situations. Optimization of the customer experience can be ensured only through a targeted transition of the customer expectations in physical magnitudes as well as through identification and weighting of the contributors. Further potentials have been developed via the use of multiple-body simulation. These potentials have been consequently implemented during the serial development of the new BMW 5 series. This led to a significant improvement of the opening and closing comfort of the side doors.

### 1. Definition Türöffnungs- und Schließkomfort

Die Basis für die Definition des Türöffnungs- und Schließkomforts bilden die Kundensituationen sowie die Kundenerwartungen. Fahrzeugtüren werden je nach Situation zwischen verschiedenen Türöffnungswinkeln bei unterschiedlichen Fahrzeuglagen bedient. Die Bedie-

nung erfolgt von außen oder innen sowie von Personen unterschiedlicher Perzentile. Die dabei entstehenden, vom Kunden formulierten subjektiven Erwartungen (z.B.: „einfach zu öffnen“, „stabiles Halten der Tür in Hanglage“, „einfaches Schließen“) gilt es in physikalische Größen zu überführen. Hierfür werden in erster Linie die Größen Kraft  $F$ , Energie  $E$  und Geschwindigkeit  $v$  herangezogen. (Bild 1)

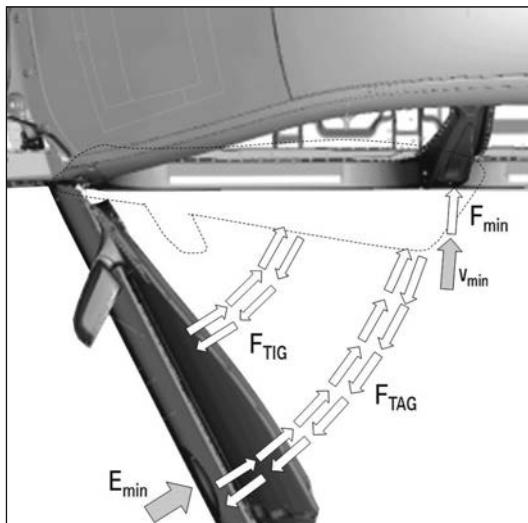


Bild 1: Messgrößen für Türöffnungs- und Schließkomfort

#### *Betätigungsdruck $F_{TIG}, F_{TAG}$ :*

Die Betätigungsdruck beschreibt das Kraftniveau für die quasistatische Türbewegung. Diese wird wahlweise am Türaußengriff (TAG) oder am Türinnengriff (TIG) gemessen. (Bild 2) Die Messung erfolgt in neutraler Position sowie bei definierten Wank- und Nickwinkeln.

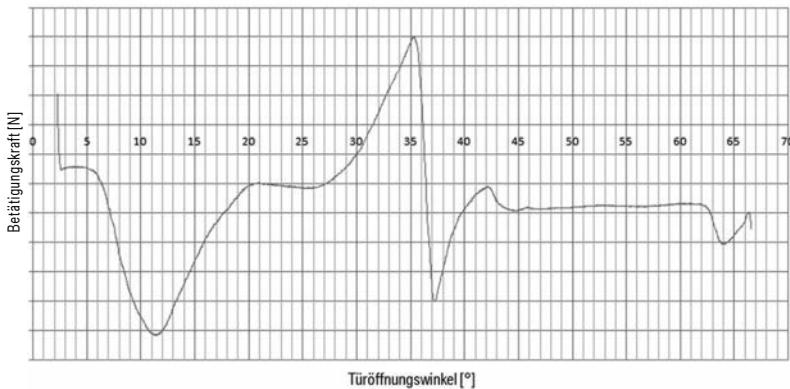


Bild 2: Betätigungs kraft am Türaußengriff  $F_{TAG}$  als Funktion des Türöffnungswinkels

#### *Quasistatische Mindestschließkraft $F_{min}$ :*

Die quasistatische Mindestschließkraft beschreibt das Kraftniveau um die Tür quasistatisch von einer beinahe geschlossenen Position in die komplett geschlossene Position zu drücken. Sie wird in erster Linie durch die Dichtungsgegenkraft bestimmt und wird im Bereich des Schlosses gemessen.

#### *Mindestschließenergie $E_{min}$ :*

Die Mindestschließenergie beschreibt die Energie, die der Kunde aufwenden muss um eine komplett geöffnete Tür dynamisch zu schließen. Das bedeutet, dass im geöffneten Zustand die Tür mittels eines kurzen Kraftstoßes in Bewegung versetzt wird. Aufgrund dieses Kraftstoßes besitzt die Tür ausreichend kinetische Energie, um alle weiteren Widerstände zu überwinden und komplett zu schließen. Der hierfür ausreichende Kraftstoß muss iterativ ermittelt werden. Durch Integration des Kraftverlaufes über den Weg der Kraftaufbringung ergibt sich die benötigte Mindestschließenergie. (Bild 3)

#### *Mindestschließgeschwindigkeit $v_{min}$ :*

Die Mindestschließgeschwindigkeit beschreibt die Geschwindigkeit welche die Tür kurz vor der kompletten Schließung mindestens aufweisen muss um ohne weitere externe Kraft, sicher geschlossen zu werden. Die Mindestschließgeschwindigkeit wird aus dem Geschwindigkeitsverlauf der Tür während der Messung der Mindestschließenergie abgeleitet und benötigt daher keinen weiteren Messaufbau. (Bild 3)

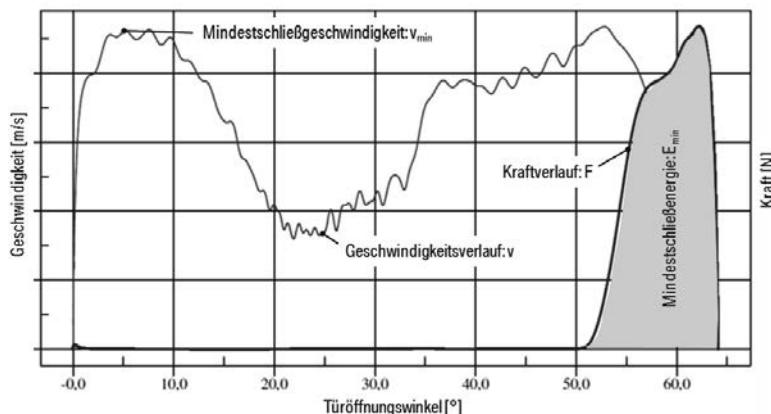


Bild 3: Mindestschließenergie und Mindestschließgeschwindigkeit

Mit Hilfe dieser physikalischen Größen ist es nun möglich den Öffnungs- und Schließkomfort von Seitentüren zu messen, objektiv zu vergleichen und mit den Kundenerwartungen zu referenzieren.

Allerdings repräsentieren diese Messungen ein Gesamtergebnis unterschiedlicher Einflussfaktoren. Die detaillierte Betrachtung dieser Subkomponenten folgt in Kapitel 2.

## 2. Identifikation der Beitragsleister

Für die Auslegung ist die Identifikation der Beitragsleister sowie deren anteiliger Einfluss auf das Gesamtergebnis von zentraler Bedeutung. Die beteiligten Komponenten zeigen unterschiedlichen Einfluss auf die eingangs formulierten physikalischen Größen.

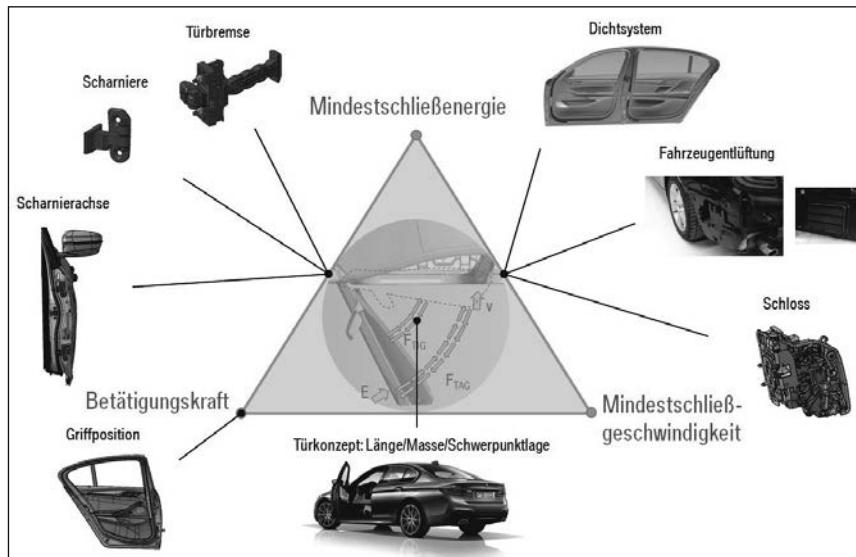


Bild 4: Beitragsleister für Türöffnungs- und Schließkomfort

Unabhängig vom theoretischen Einfluss hat jede Komponente begrenzte Möglichkeiten optimiert zu werden und unterliegt unterschiedlichen Randbedingungen in der Auslegung sowie unterschiedlichen Prozesstoleranzen in der Serienfertigung. Somit ist nicht nur der anteilige Einfluss der Komponente zu betrachten, sondern vor allem der Stellhebel, der sich durch gezielte Auslegung sowie Überwachung des Serienprozesses ergibt.

#### *Türkonzept:*

Das Türkonzept legt bereits wesentliche Parameter für die Funktion „Türöffnungs- und Schließkomfort“ fest. Durch das Exterieur-Design wird die Türgröße und in Kombination mit dem Materialkonzept auch die Türmasse weitestgehend definiert. Die Schwerpunktlage kann ab diesem Zeitpunkt nur noch geringfügig durch das Verschieben bestimmter Komponenten im Inneren der Tür optimiert werden.

#### *Grippoosition:*

Die Türverkleidung wird durch das Interieur-Design maßgeblich beeinflusst. In Abstimmung mit der Fachabteilung für Ergonomie wird die ideale Türinnengriffposition festgelegt.

#### *Scharnierachse:*

Die Lage und die Neigung der Scharnierachse sind Auslegungsinstrumente die den Türöffnungs- und Schließkomfort maßgeblich beeinflussen, da bei einer leichten Schrägstellung bereits ein deutlicher Anteil an potentieller Energie während dem Öffnen gespeichert werden kann, welcher für den Schließvorgang zur Verfügung steht und das Schließen unterstützt. Jedoch ist die Lage und die Neigungsmöglichkeit der Scharnierachse durch das Design sowie durch maximal zulässige Fugenbreiten beschränkt.

#### *Scharniere:*

Die Scharniere erhöhen aufgrund ihres Reibmomentes den Energieaufwand für den Kunden um die Tür zu schließen. Hierbei darf jedoch das Scharnier nicht als Einzelteil betrachtet werden, sondern stets als Baugruppe mit der Karosserie. Somit wirken sich nicht nur Toleranzen innerhalb der Scharniere auf den Öffnungs- und Schließkomfort aus, sondern auch die Toleranzen des Fahrzeugrohbaus, da diese zu einer Verschränkung der Scharnierachse führen können.

#### *Dichtsystem:*

Das Dichtsystem hat einen maßgebenden Einfluss auf die Mindestschließgeschwindigkeit und somit auch auf die Mindestschließenergie. Die Anzahl der Dichtebenen wird meist sehr früh mit der Wahl des Türkonzepts festgelegt. Ebenso wichtig ist jedoch die Auslegung der einzelnen Dichtungsquerschnitte sowie die festgelegte Verformung der Dichtung in Konstruktionslage. Hier gilt es, das Optimum aus Wasserdichtheit, akustischer Dichtheit und Türöffnungs- und schließkomfort umzusetzen.

#### *Fahrzeugentlüftung:*

Die Fahrzeugentlüftung sorgt in erster Linie dafür, dass bei der Bedienung des Gebläses keine unangenehmen Druckspitzen des Fahrzeuginnenraumdrucks für den Kunden spürbar sind. Neben diesem quasistatischen Lastfall muss die Fahrzeugentlüftung jedoch auch im Stande sein, den Druckanstieg aufgrund eines dynamischen Türschließvorganges möglichst gering zu halten, um den Gegendruck, der auf die Tür wirkt und diese somit bremst, bestmöglich zu minimieren. Die Optimierung der Entlüftungsstrecke führt meist zu Zielkonflikten mit Akustikzielen, da größere Querschnitte häufig auch mehr Störgeräusche im Fahrzeuginnenraum zu Folge haben.

**Schloss:**

Das Schloss ist aufgrund der benötigten Energie für die Betätigung der Drehfalle ebenfalls in die Energiebilanz mit aufzunehmen, zeigt jedoch einen untergeordneten Einfluss.

**Türbremse:**

Das letzte und nicht unwesentliche Element für die Auslegung des Türöffnungs- und Schließkomforts ist die Türbremse. Neben der Möglichkeit die Tür in bestimmten Rastpunkten zu halten, bietet die Auslegung des Haltebandes zahlreiche Möglichkeiten die Betätigungs kraft für die quasistatische Türbewegung ebenso zu beeinflussen wie die Mindestschließenergie.

### 3. Simulation des Türöffnungs- und Schließkomforts

Um den Einfluss der einzelnen Beitragsleister auf die einzelnen physikalischen Größen abilden zu können, bedient sich die Türenentwicklung bei BMW der Mehrkörpersimulation. Sämtliche Kennlinien der eingangs erwähnten Einflussfaktoren und Komponenten finden in diese Simulation Eingang. Dadurch ist es bereits in der frühen Phase möglich, den Türöffnungs- und Schließkomfort virtuell zu ermitteln und frühzeitig Konzeptentscheidungen herbei zu führen, um auf diese Funktion gezielt Einfluss zu nehmen.

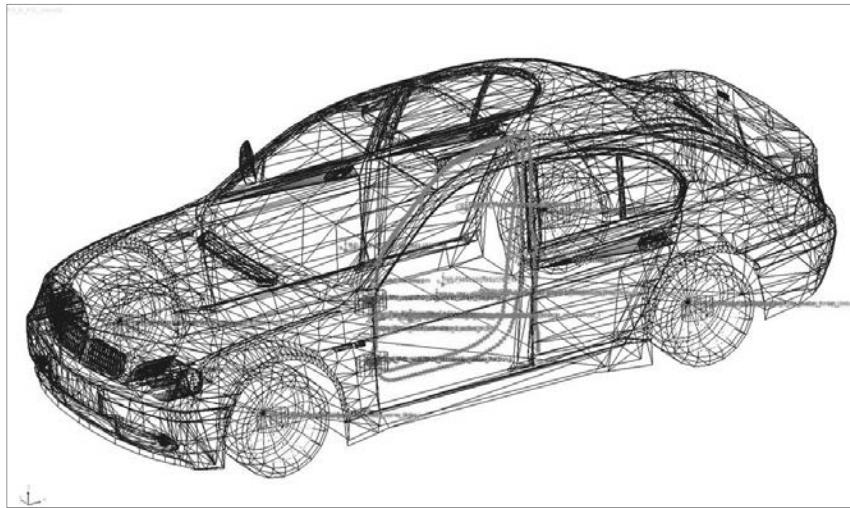


Bild 5: Generisches Mehrkörpersimulationsmodell des Türöffnungs- u. Schließkomforts

Die Ergebnisse der Mehrkörpersimulation reichen von Kraftverläufen während der quasistatischen Türbetätigung (analog Bild 2) bis zur Ausgabe der Energieanteile der einzelnen Komponenten während eines dynamischen Türschließvorgangs. In Bild 6 sind die Energieverläufe der Beitragsleister während des Schließvorganges dargestellt. Anhand des Energieverlaufes der Türbremse sind die Rastpositionen gut erkennbar (lokale Minima bei  $32^\circ$  bzw.  $48^\circ$  Türöffnungswinkel). Des Weiteren sieht man eine deutliche Energieabgabe der Türbremse kurz vor dem Schließen (Türöffnungswinkel  $< 20^\circ$ ). Dies geschieht aufgrund des in diesem Bereich rampenförmig gestalteten Haltebandes der Türbremse. Diese Geometrie wirkt als Zuziehhilfe.

Es ist deutlich zu erkennen, dass die beschriebenen Minima und Energieabgaben der Türbremse sich im Verlauf der kinetischen Energie wiederfinden. Jedoch ist die kinetische Energie bereits das Ergebnis einer Überlagerung mit der potentiellen Energie sowie der Reibenergie der Scharniere.

Kurz vor dem geschlossenen Zustand sieht man einen deutlichen Anstieg der Energie des Innenraumdrucks sowie der Verformungsenergie der Dichtungen.

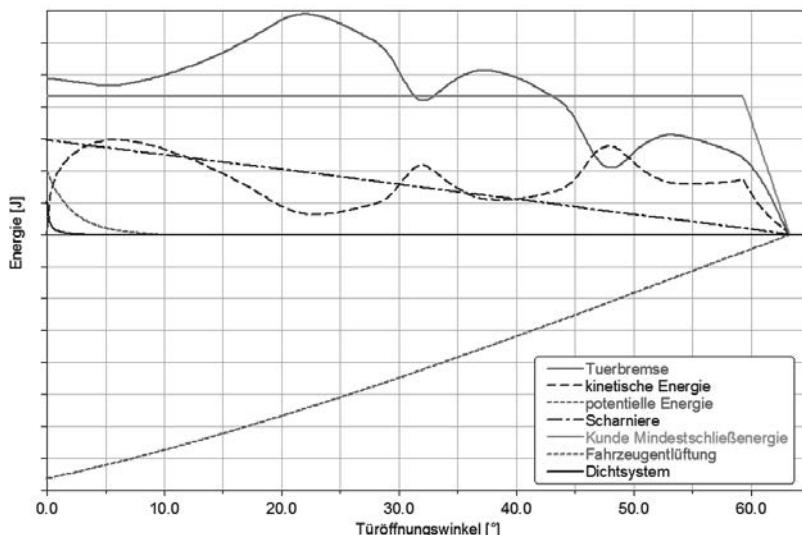


Bild 6: Energieverläufe der Beitragsleister während des Schließens

Teilt man die Beitragsleister in zwei Gruppen, die Energieverbrauchenden und die Energiezuführenden, sieht man gemäß Bild 7, dass die potentielle Energie aufgrund der Scharnierachsneigung und die Schließenergie des Kunden die einzigen Energielieferanten sind und daher die von den anderen Komponenten absorbierte Energie aufwenden müssen.

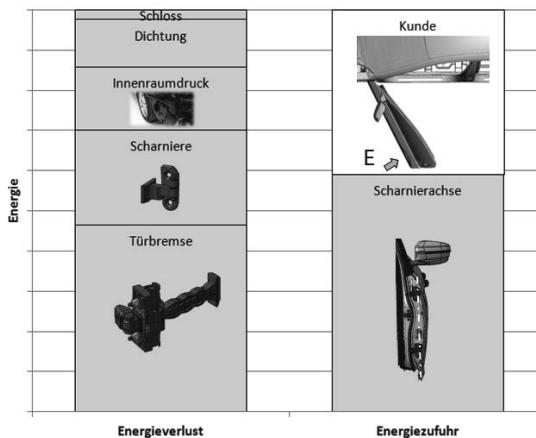


Bild 7: Gegenüberstellung: Energieverbraucher und Energiefreigabe

#### 4. Auslegung Türöffnungs- und Schließkomfort

##### 4.1 Parametervariationen

Auf Basis der oben beschriebenen Mehrkörpersimulation ist es möglich Parametervariationen durchzuführen um die maßgebenden Parameter für die Auslegung zu identifizieren.

Folgende Parameter wurden untersucht:

Masse der Tür, Schwerpunktlage der Tür relativ zur Scharnierachse, Neigung der Scharnierachse, Scharnierreibung und Dichtungsgegenkraft.

Jeder dieser Parameter wurde um 10% variiert und der Einfluss auf die Mindestschließenergie sowie auf die Mindestschließgeschwindigkeit ausgewertet. (Bild 8)

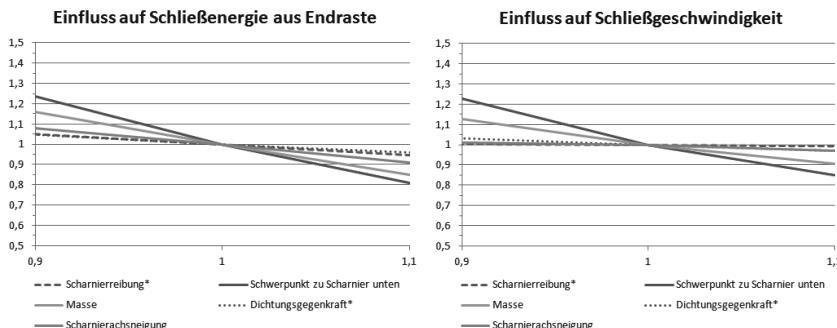


Bild 8: Parametervariationen normiert auf 10%; \*invertiert

Das Ergebnis der Parametervariationen ist, dass der Schwerpunktabstand zur Scharnierachse den größten Einfluss auf den Schließkomfort hat. Wenn der Schwerpunktabstand sich um 10% vergrößert sinkt die Mindestschließenergie um ~20%. Die Mindestschließgeschwindigkeit sinkt dabei um ~16%. Den zweitgrößten Einfluss hat die Masse der Tür. Wird diese um 10% gesteigert sinkt die Mindestschließenergie um ~16% und die Mindestschließgeschwindigkeit um ~10%.

Die Scharnierachsneigung hat hier den drittgrößten Einfluss auf die Mindestschließenergie. Eine vergrößerte Neigung nach Fahrzeuginsen um 10% führt zu einer Verringerung der Mindestschließenergie von ebenfalls ~10%. Bei der Parametervariation ist die Scharnierachse ein entscheidender Parameter, um einen idealen Türöffnungs- und Schließkomfort zu gewährleisten, da die Neigung der Achse in der Auslegungsphase einfacher und in größerem Ausmaß änderbar ist als die Schwerpunktlage oder die Masse der Tür.

Die Dichtungsgegenkraft und die Scharnierreibung zeigen hier untergeordneten Einfluss gegenüber den anderen Parametern. Jedoch ist zu erwähnen dass die Parametervariation stets auf eine Abweichung von 10% normiert ist.

Nimmt man hingegen das Prozessfenster des Serienprozesses der einzelnen Parameter als Referenz, sieht man, dass aufgrund der Prozessschwankungen in Verbindung mit dem relativen Einfluss dieser Parameter auf das Gesamtsystem, auch die Scharnierreibung und die Dichtungsgegenkraft einen maßgebenden Einfluss haben. (Bild 9)

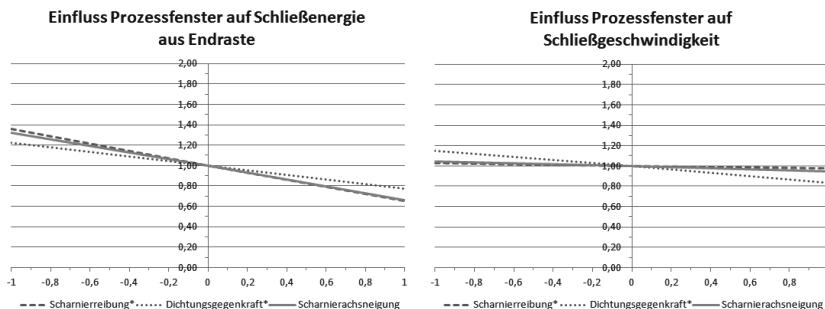


Bild 9: Parametervariationen innerhalb des Prozessfensters; \*invertiert

#### 4.2 Auslegung Türöffnungs- und Schließkomfort am Beispiel des neuen BMW 5er

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde der Türöffnungs- und Schließkomfort für den neuen BMW 5er neu entwickelt. Alle Beitragsleister wurden je nach Einfluss auf die Funktion analysiert und gezielt weiterentwickelt.

##### *Türkonzept:*

Das aus dem neuen BMW 7er bekannte und mit dem *Doors & Closures Innovation Award* 2015 in Bad Nauheim ausgezeichnete Aluminium-Leichtbautüren Konzept kommt auch im neuen BMW 5er zum Einsatz. Mithilfe dieses Leichtbaukonzepts gelang es das Gewicht des Türrohbaus gegenüber dem Vorgängermodell (ebenfalls Aluminiumtür) um weitere 19% zu senken. Diese signifikante Verbesserung hinsichtlich Performance des Gesamtfahrzeuges stellt jedoch den Türschließkomfort wie oben beschrieben vor größere Herausforderungen.

##### *Scharnierachse:*

Dank der Mehrkörpersimulation konnten bereits in der frühen Projektphase die *Scharnierachsenlagen* optimal ausgelegt werden, um für die Aluminium-Leichtbautüren den bestmöglichen Türöffnungs- und Schließkomfort zu bewerkstelligen.

##### *Scharniere:*

Die Toleranzen der Scharniere sowie der Anbindungsflächen an der Karosserie wurden reduziert, um eine verbesserte Fluchtung der Scharnierachsen zwischen dem unteren und dem oberen Scharnier sicherzustellen. Des Weiteren wurde großer Wert auf die Verringerung der Scharnierreibung gelegt.

### Dichtsystem:

Bei der Weiterentwicklung des Dichtsystems lag der Fokus darauf, einen progressiven Anstieg der Dichtungsgegenkraft innerhalb der Toleranzlagen zu vermeiden. Um den bestmöglichen Kompromiss aus den Dichtheitsanforderungen und dem Türschließkomfort zu gewährleisten, wurden beispielsweise entlang der Türdichtung der vorderen Tür acht verschiedene Dichtungsüberdeckungen konstruiert.

### Fahrzeugentlüftung:

Trotz des Zielkonfliktes mit den Akustikanforderungen konnten die Querschnitte und der Verlauf der Entlüftungsstrecke optimiert werden ohne die Akustikanforderungen negativ zu beeinflussen.

### Türbremse:

Durch den Einsatz einer Türbremse mit hohem Halteband und einer ausgeprägten Zuziehrampe kann der ideale Kompromiss aus Türbetätigkraft (öffnen, schließen) und Mindestschließenergie erzielt werden.

Durch die Summe dieser Maßnahmen konnte beim neuen BMW 5er der Öffnungs- und Schließkomfort der Seitentüren deutlich optimiert werden. So gelang es beispielsweise die Mindestschließgeschwindigkeit gegenüber dem Vorgänger um über 20% und die Mindestschließenergie um über 80% zu senken. Die Gegenüberstellung mit dem Vorgängermodell BMW 5er ist in Bild 10 ersichtlich.

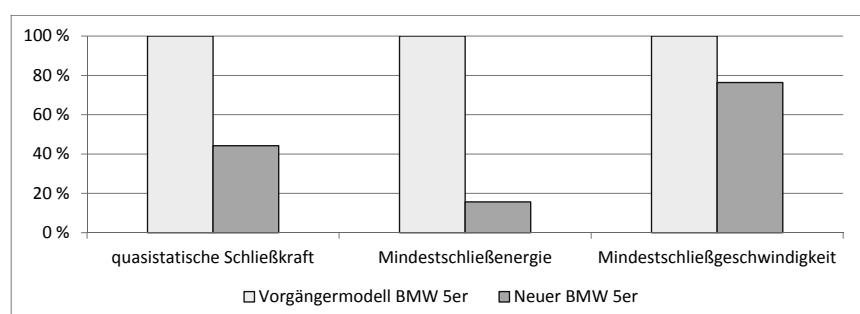


Bild 10: Gegenüberstellung Vorgängermodell BMW 5er vs. Neuer BMW 5er

## 5. Zusammenfassung

Durch die detaillierte Analyse von Türbedienkomfortmessungen sowie dem Einsatz von Mehrkörpersimulation ist es gelungen, die Beitragsleister nicht nur zu identifizieren sondern zugleich auch zu gewichten und deren Potentiale zu ermitteln. Diese Komponenten bzw. Einflussgrößen können nun gezielt ausgelegt und mit Rücksicht auf andere Funktionen bereits in der frühen Phase optimiert werden. Dadurch kann die Erfüllung der Funktion bereits wesentlich früher getestet und bestätigt werden. Teure Änderungen zu späten Entwicklungsphasen werden auf diese Art vermieden.

Somit ist es nun möglich den Türöffnungs- und Schließkomfort mit Hilfe von Auslegungs- und Konzeptmerkmalen fahrzeugspezifisch zu optimieren und dem Kunden den besten ersten Eindruck des Gesamtfahrzeuges zu bieten.



# Leichtbautürsysteme und Fahrzeugzugangslösungen für zukünftige Fahrzeuggenerationen

## Mit Systemkompetenz zu innovativen Produkten

Dr.-Ing. Ulrich Nass,

Brose Schließsysteme GmbH & Co. KG, Wuppertal;

Dipl.-Ing. Johannes Schulz,

Brose Fahrzeugteile GmbH & Co KG, Hallstadt

### Kurzfassung

Leichtbau und innovative Zugangssysteme sind die beiden wesentlichen Herausforderungen bei der Entwicklung von Türsystemen und -komponenten für künftige Fahrzeuggenerationen. Brose verfügt über die entsprechende Systemkompetenz in der Entwicklung derartiger Systeme.

### Abstract

Lightweight solutions and innovative access systems are significant challenges for the development of door components and door systems for future vehicles. Brose has the system knowledge for the development of such systems.

### 1. Einleitung

Betrachtet man den Fahrzeugzugang als Prozess und versteht ihn als Teil des Kundenerlebnisses, so gewinnt dessen Ausgestaltung zukünftig an Bedeutung und wird zu einem Differenzierungsmerkmal für Automobilhersteller. Darüber hinaus werden wir schon in naher Zukunft neue Fahrzeuge auf den Straßen erleben, die voll- oder teilautonom fahren und ganz neue Anforderungen an das Öffnen und Schließen von Fahrzeugtüren und –klappen stellen werden. Angetriebene Türen und Klappen lassen in diesem Zusammenhang neue Nutzungsvisionen Realität werden und sorgen gleichzeitig für mehr Komfort und Sicherheit. Bereits heute gehören Systeme für angetriebene Heckklappen zur Kernkompetenz von Brose. Ein solches System besteht, wie Bild 1 zeigt, aus Antrieben, Schlossern, berührungslosen Sensoren und Steuergeräten, inklusive Einklemmschutz. Nur eine vollumfängliche In-Haus-Kompetenz - von der Einzelkomponente bis zum Gesamtsystemmanagement - ermöglicht

es, den Automobilherstellern ein optimal abgestimmtes mechatronisches Gesamtsystem anbieten zu können.

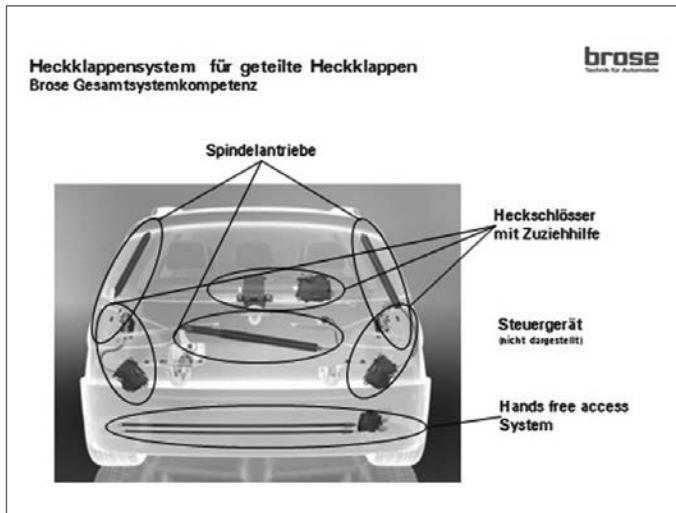


Bild 1: Mechatronisches Öffnungs- und Schließsystem für geteilte Heckklappen

## 2. Komfortabler Fahrzeugzugang mit automatischen Seitentüren

Autonomes Fahren, ein wachsender Car-Sharing Sektor und stetig steigende Komfortansprüche der Autokäufer sind die Vorzeichen für eine wachsende Nachfrage nach automatischen Klappen und Türen. Angetriebene Heckklappen haben sich bereits breit am Markt etabliert und so sind es die Seitentüren, die den nächsten Schritt in Richtung Automatisierung gehen. Diese profitieren insbesondere durch die großen Fortschritte im Bereich ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) der letzten Jahrzehnte. Während es bereits heute vereinzelte Anwendungen für automatische Seitentüren im Markt gibt, sind es die in absehbarer Zeit verfügbar werdenden Sensorsysteme, die vor allem das sichere automatische Öffnen von Seitentüren ermöglichen. Wegbereiter werden zunächst Seitentüren sein, die per Antrieb geschlossen werden können. Dies nicht zuletzt deshalb, weil für das Schließen weniger Sensorik verfügbar sein muss. Im Wesentlichen sind es allerdings zwei Sichtweisen, die für den Einsatz sprechen. Zum einen die Betrachtung als Komfort-Feature in Oberklassefahrzeugen, das das Ein- bzw. Ausstiegserlebnis wirkungsvoll abrundet. Bereits seit 2006 hat

Brose Systeme für solche Anwendungen im Einsatz. Zum anderen ist es der Fokus auf die reine Funktion und, damit verbunden, zukünftige Geschäftsmodelle für autonomes Fahren. Nur ein Fahrzeug, dass in der Lage ist sicherzustellen, dass alle Klappen und Türen geschlossen sind, diesen Zustand selbstständig herbeiführen kann und somit jederzeit betriebsbereit ist, kann autonom am Straßenverkehr teilnehmen.

Weiterentwicklungen in der Sensorik werden in naher Zukunft neue Möglichkeiten schaffen, das sichere automatische Öffnen zu ermöglichen und damit das Erlebnis des Fahrzeugzugangs revolutionieren. Einklemmschutzmechanismen, wie Brose sie beispielsweise schon für Fensterheber und Heckklappen entwickelt hat, gestalten die Schließung von Türen sicher. Neue Sensoriktechnologien, werden auch die Vielzahl komplexer Hindernisse und Situation erkennen können, zu Kosten, die einen Einsatz in Großserie erlauben.

## 2.1 Herausforderungen im Gesamtsystem

So wie der Fahrzeugzugang als Prozess und Erlebnis zu verstehen ist, so müssen automatische schließende und öffnende Türen als Gesamtsystem betrachtet werden. Auf Komponentenebene bedeutet dies, dass zur Realisierung der Gesamtfunktion „automatisches Öffnen und Schließen“ folgende Bestandteile in der Tür erforderlich sind:

- Türantrieb
- Steuergerät
- Seitentürschloß mit elektrischem Öffnen und Betätigungsgeräten (Griffe, Tascher, Sensoren)
- Zziehhilfe
- Sensorik für Einklemmschutz
- Sensorik für Kollisionsschutz

Eine optimale Auslegung und Abstimmung der Gesamtfunktion muss dabei durch einen Systemintegrator erfolgen. Dieser beherrscht nicht nur die einzelnen Komponenten im Detail, sondern auch das Gesamtsystem. Über den Systems-Engineering Ansatz muss sichergestellt werden, dass das Zusammenspiel der Komponenten im Gesamtsystem funktioniert. Speziell die Abstimmung des Einklemmschutzes erfordert beispielsweise eine umfassende Systembetrachtung, da hier alle Komponenten, inklusive dem Türrohbau, den Dichtungen und den Scharnieren, einen Beitrag leisten. Ähnlich wie bei angetriebenen Heckklappen, bietet Brose die gesamte Kompetenz zur Realisierung dieser Funktion. Neben klassischen

indirekt erkennenden Einklemmschutz-Lösungen werden hier in kritischen Bereichen auch taktile oder kapazitive Sensoren eingesetzt.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass Menschen Schwenktüren, angefangen bei der Haustür und nicht zuletzt am KFZ, in ihrem Alltag andauernd und intuitiv zu bedienen gelernt haben. Neben allen denkbaren Türkinematiken ist es doch seit Anbeginn des Automobils die klassische Drehtür, die die unangefochtene Mehrheit der Fahrzeugtüren repräsentiert. Ergonomische, psychologische und technische Aspekte müssen bei der Auslegung einer angetriebenen Tür in Betracht gezogen werden. Da es allerdings bislang keinen etablierten Standard gibt, befindet sich die Industrie hier noch in einer Findungsphase.

Auf technischer Ebene leitet sich daraus außerdem die Herausforderung ab, über möglichst modulare Konzepte eine Gleichteilstrategie zu verfolgen, die eine geeignete Variantenvielfalt zulässt und gleichzeitig schnell Skaleneffekte erreicht. Nur so können angetriebene Türen für die Großserie zu marktfähigen Kosten realisiert werden.

## 2.2 Türantrieb

Die Kernkomponente einer automatischen Seitentür ist der Türantrieb. Er verfährt die Tür elektrisch im Automatikbetrieb und muss gleichzeitig den manuellen Betrieb wie bei heutigen Türen ermöglichen.

Eine Herausforderung ist dabei die gewünschten Funktionen in den Bauraum einer Fahrzeugtür unterzubringen. Ermittelt man die Schnittmenge von verfügbaren Bauräumen unterschiedlicher Türkonzepte, so ist eine OEM übergreifende Lösung schwierig darstellbar. Es ist daher notwendig bereits in der frühen Phase der Fahrzeugentwicklung festzulegen, dass die Funktion im Programm zum Einsatz kommen soll, um somit konsequent benötigten Bauräume von Anfang an berücksichtigen zu können. Ein weiterer Aspekt ist die notwendige Leistung des Antriebs. Ein wie oben genannter modularer Ansatz setzt voraus, dass Leistungsklassen festgelegt werden müssen. Aufgrund der verschiedenen Türgeometrien und -gewichte, ergibt sich ein großes Spektrum, das ein solcher Türantrieb abdecken muss. Speziell in extremen Hanglagen steigt der Leistungsbedarf, da das Türgewicht, im Gegensatz zu Heckklappen, nicht durch Federn kompensiert werden kann.

Die gewünschte Leistung mit einem möglichst kompakten Antrieb zu realisieren und gleichzeitig die Anforderungen an die manuelle Bedienbarkeit beizubehalten, ist die Herausforderung, die an die Entwicklung eines Seitentürantriebs gestellt wird. Dies setzt ein umfangreiches Systemverständnis voraus.

## 2.3 Kollisionsschutz

Der Einsatz von Sensoren zur Verbesserung von Sicherheit und Komfort in Automobilen ist immer mehr verbreitet. Dies gilt auch für die Sicherheit und Komfort im Umgang mit Türen und Klappen. Beispielsweise stellte Brose zum ersten Mal auf der IAA 2009 ein System zum berührungslosen Öffnen und Schließen von Heckklappen vor. Eine durch einen kapazitiven Sensor detektierte, definierte Fußbewegung unter den Stoßfänger, initiiert das Öffnen oder Schließen der Heckklappe. Diese Funktion macht beispielsweise den einfachen Zugang zum Kofferraum trotz voller Hände möglich und wird heute millionenfach von Brose in Serie geliefert.

Neben der grundsätzlichen Frage zur Mensch-Maschine-Schnittstelle ist in Bezug auf Seiten türen davon auszugehen, dass für die Realisierung der Funktion „Automatisches Öffnen“ eine Sensorik zur Kollisionsüberwachung benötigt wird. Im Zuge der ADAS-Entwicklung wurden in den letzten Jahren die verschiedensten Sensortechnologien kontinuierlich weiter entwickelt. Die in naher Zukunft serienmäßig verfügbaren Sensorsysteme werden neue Komfortfunktionen, wie zum Beispiel die hier diskutierte automatische Seitentür, möglich machen.

Die das Fahrzeug umgebende Sensorhülle kann genutzt werden, um Hindernisse zu erkennen und die Bewegung der Tür zuverlässig zu stoppen, ehe es zu einer Berührung kommt. Vor allem in Parkhäusern oder auch beim Parken am Fahrbahnrand wäre dies sehr nützlich. Denn die Sensorik eignet sich auch, um den toten Winkel zu überwachen und so etwa Kollisionen mit Radfahrern zu vermeiden. Mithilfe einer geeigneten ADAS-Sensorik lassen sich diese Komfortfunktionen umsetzen, und zudem wäre dieses Vorgehen günstiger als spezielle Sensoren für diesen Einsatzzweck zu entwickeln und in der Tür einzubauen.

Dennoch ist nicht zu vernachlässigen, dass der Treiber der Sensorik-Weiterentwicklung bei den Fahrzeugherstellern vor allem die ADAS-Funktionalität ist und sich Komfortfunktionen dem unterordnen. Eine Zusammenarbeit mit Zulieferern kann hier sehr wirkungsvoll sein,

denn etablierte Systemanbieter verfügen sowohl über Erfahrung bei der Aktuatorik im Komfortbereich als auch über die Fähigkeiten, die notwendige Mechatronik in Verknüpfung mit den Sensorsystemen als Gesamtlösung aus einer Hand anzubieten. Voraussetzung dafür ist ein intensiver Austausch mit den Automobilherstellern. Gemeinsam mit dem Hersteller müssen die Möglichkeiten der Sensorfusion ausgelotet werden, Datensicherheit und Sicherheits-Level müssen diskutiert werden und die Elektronik-Architektur des Fahrzeugs so gestaltet sein, dass die Entwickler des Zulieferers den entsprechenden Zugriff auf die Sensordaten haben. Eine solche Art der Zusammenarbeit setzt Vertrauen voraus, lohnt sich aber wirtschaftlich und fördert weitere Innovationen. Ist die Kooperation einmal etabliert, lassen sich kostengünstig weitere Funktionen realisieren.

## 2.4 Schließsystem

Die zwei wesentlichen Einflussfaktoren auf die konzeptionelle Auslegung eines Schließsystems sind:

- 1) Innovationsgrad der Bedienschnittstelle
- 2) Innovationsgrad Komfort/Autonomie

Der Innovationsgrad der Bedienschnittstelle Tür lässt sich im Wesentlichen an der Außenbe-tägigung festmachen. Hier unterscheidet man drei Kategorien:

- 1) Manuell bewegbarer Außengriff ggfs. elektr. versenkbar
- 2) Feststehender Außengriff/Handhabe
- 3) Grifflose Tür (Flush Optik)

Der Innovationsgrad Komfort/Autonomie unterteilt sich in folgende Kategorien:

- 1) Manuell bewegte Tür
- 2) Manuell bewegte Tür mit elektrischer Schließhilfe
- 3) Vollelektrische Tür mit stufenloser Feststellfunktion und manueller Bedienbarkeit

Damit ergibt sich ein 3x3 Lösungsraum für das Seitentürschließsystem. Ziel ist es alle 9 er-forderlichen Systemausprägungen möglichst aus skalierbaren Produktbaukästen heraus zu bedienen.

Seitentürschlösser sind heute als Plattformprodukte in verschiedensten Fahrzeuglinien seg-mentübergreifend im Einsatz. Produktionszeiträume von 15-25 Jahren sind heute üblich. Bei der Neuentwicklung einer solchen Plattform ist es von entscheidender Bedeutung zukünftige

Bedienschnittstellen und Komfortanforderungen zu berücksichtigen und als Varianten vorzuhalten. Grundlegend ist dabei welche Varianten Stückzahlträger sind und welche Varianten lediglich als Derivate für kleinere Stückzahlen vorzuhalten sind. Bild 3 zeigt die möglichen Hauptlösungsvarianten.

## Produktmatrix

**brose**  
Technik für Automobile

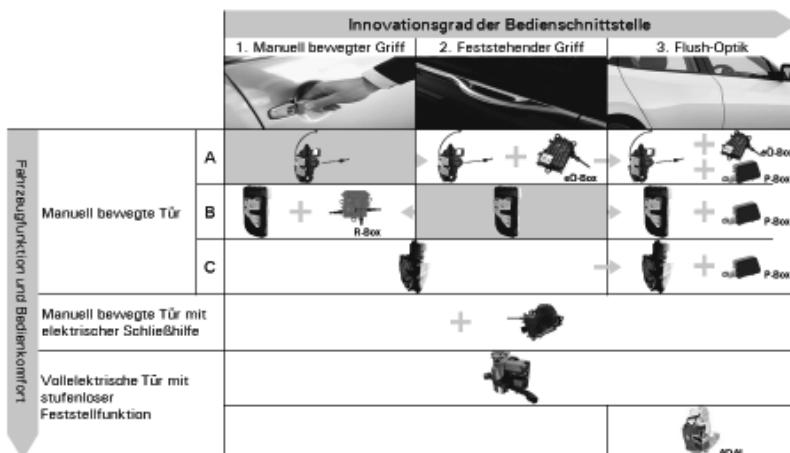


Bild 2: Lösungsmatrix Fahrzeugzugang

Heute werden oftmals Schlossplattformen entwickelt, die auf die heutige Bedienschnittstelle zugeschnitten sind und versuchen sämtliche zukünftigen Markterfordernisse (z.B. elektrisches statt manuellem Öffnen) als integrierte Lösung in einem Produkt abzubilden. Dies führt zu hochkomplexen Produkten, die aufgrund der Vielzahl an Funktionsvorhaltungen kein wirtschaftliches Optimum darstellen.

In Bild 3 sind dazu drei innovative Ansätze dargestellt. Variante A zeigt eine Schlossplattform, die im Schwerpunkt bei Türen mit manuell bewegbarem Griff zum Einsatz kommt. Es handelt sich also um ein konventionelles Schloss mit mechanischer Schnittstelle und Zentralverriegelung, Kindersicherung und ggfs. Diebstahlsicherung. Um zukünftige innovative Bedienschnittstellen (A2, feststehender Griff) abbilden zu können, kann das Schloss mit ei-

nem externer elektrischen Öffnungsaktuator versehen werden. Bei Türen mit Flushoptik (A3) kann dann noch ein externer Push Out Aktuator ergänzt werden, der die Tür aufdrückt und es ermöglicht, dass ein Nutzer die Tür greifen und bewegen kann. Die mechanische Anbindung des Schlosses kann dabei an die Bedienschnittstelle angepasst werden. So ist eine Skalierbarkeit und Zukunftsfähigkeit sichergestellt, ohne die Hauptvariante vorzubelasten.

Variante B zeigt eine Schlossplattform, die im Schwerpunkt bei Türen mit nicht bewegbarem Außengriff (B2) eingesetzt wird. Dieses Schloss hat keine mechanische Außenschnittstelle mehr und einen integrierten elektrischen Öffnungsaktuator. Steuerung und elektrische Redundanz kann ebenfalls integriert sein. Für Anwendungen mit manuell bewegbarem Griff (B1) kann dann eine modulare manuelle Schnittstelle ergänzt werden. Für Türen mit Flushoptik (B3) wird ebenfalls ein externer Push Out Aktuator ergänzt.

Variante C zeigt einen Schlossbaukasten, der für alle Bedienschnittstellen gleichermaßen genutzt werden. Hier hat Brose mit dem Flex-Pol® Schloss eine hochintegrierte Lösung mit einem neuartigen Aktuator entwickelt, der bis zu 3 herkömmliche Gleichstrommotoren ersetzen kann. Damit wird der Schlossaufbau signifikant vereinfacht und Gewicht, Bauraum und Kosten gespart. Ein Premium Schloss mit maximalem Funktionsumfang (Zentralverriegelung, Diebstahlsicherung, elektrische Kindersicherung, elektrisches Öffnen und Anbindung für eine modulare Zuziehhilfe) wiegt dann nur noch 600 g.

Für manuell bewegte Türen mit elektrischer Schließhilfe wird ein modularer Zuziehhilfe Aktuator an das Seitentürschloss A, B oder C angebunden und im Schloss die notwendige Hebelkinematik ergänzt.

Für die vollelektrische Tür muss das Schloss unabhängig von der Bedienschnittstelle über eine elektrische Öffnungsfunktion verfügen.

Für zukünftige Fahrzeuggenerationen, die zu 100% vollelektrische Türen erhalten, ist eine Skalierbarkeit des Schlosses nicht mehr erforderlich. Hier kann das Brose ADAL Schloss als hochintegrierte Lösung eingesetzt werden. Das ADAL Schloss verfügt u.a über eine integrierte Zuziehfunktion, elektrisches Öffnen und Push out Funktion, die mit einem Motor realisiert werden. Externe Aktuatoren sind nicht mehr erforderlich.

### 3. Zusammenfassung / Ausblick

Der Fahrzeugzugang zu Heck und Seitentür stellt in zukünftigen Fahrzeugen ein wesentliches Differenzierungsmerkmal dar. Durch skalierbare Baukastenlösungen, kann der Markteintritt beschleunigt werden. Brose verfügt über das notwendige Know-How für die Entwicklung und Produktion innovativer Zugangs- und Türsysteme für zukünftige Fahrzeuggenerationen.

Um das Gesamtgewicht der Türen durch zusätzliche Komfortfunktionen nicht zu stark zu belasten, sind entsprechende Leichtbaulösungen erforderlich. Brose bietet hier, neben den aufgezeigten Lösungen im Schließsystembereich, auch Lösungen im Bereich der Türstruktur an. Durch Organoblech Träger kann das Türgewicht um bis zu 5kg pro Fahrzeug reduziert werden. Entsprechende Lösungen gehen 2018 in Großserie.



Bild 3: Brose Türsystem aus Organoblech



## Türkonzepte der 9. Generation

Dipl.-Ing. **Aimo Hellweg**, Audi AG, Ingolstadt

### Kurzfassung

Die Türen- und Klappenkonzepte der Audi B9 Familie, wozu der A4 und A5 in allen Varianten und der Q5 gehört, setzten hinsichtlich Akustik neue Maßstäbe. Dabei galt es in der Entwicklung den Premiumanspruch bei der Türschließ- und der Aeroakustik zu untermauern und bewährte Türkonzepte beizubehalten. Ein besonderes Augenmerk lag wieder auf der Entwicklung des Außenspiegels. Mit Rapid Prototyping Teilen wurde die Funktionalität von Brüstungs-, Schacht- und Dreiecksspiegel in Bezug auf Umströmungsgeräusche optimiert. Der Windlast durch die Umströmung des Fahrzeuges und der Tür wurde ab der Auslegungsphase Rechnung getragen. Ein wichtiger Faktor ist die Kraft die auf die Türscheibe wirkt, da dadurch der Türrahmen nach außen gezogen wird und es damit zu Problemen führen kann. Dieser Lastfall wird bereits früh untersucht und mit Hilfe von Simulationen und Versuchen abgesichert.

### Abstract

The concept of doors, engine cover and trunk lid found in the AUDI-B9 family, to which all A4 and A5 varieties and the Q5 belong, set a new standard in regard to acoustics. From the beginning the goal of the development was to substantiate the premium demand concerning the door closing and aero acoustics and to conserve already established door concepts. A special focus was laid again on the development of the side mirror. By using rapid prototyping parts the functionality of shoulder line, shaft and triangle mirror were optimized in regard to noise caused by the air flow. The wind load caused by the streamline of the vehicle and the door was taken into account from the design stage on. Another important factor is the stream force acting on the door window, because through this the door frame might be pulled out and so causing problems. This case is investigated at a very early stage using simulation tools and test procedures.

## 1. Die B-Familie

Die Geschichte der B-Familie begann im Juni 1972 mit dem Audi 80 und bezeichnet seither die Mittelklasse Modellreihe der Audi AG. Zwar gab es vorher schon einen Audi 80, dieser wurde jedoch nach der Motorisierung bezeichnet und erhielt intern den Namen F103. Im Herbst 1994 wurde die Bezeichnung Audi 80 durch die noch immer gültige Bezeichnung Audi A4 ersetzt und ist eines der absatzstärksten Modelle der Audi AG.



Bild 1: Geschichte B-Familie

Mit dem Audi A4 wurde 2015 die 9. Generation der B-Familie auf den Markt gebracht und bis Anfang 2017 auf sieben Derivate erweitert (siehe Abbildung 2). Das jüngste Mitglied der B-Familie ist der Audi Q5.

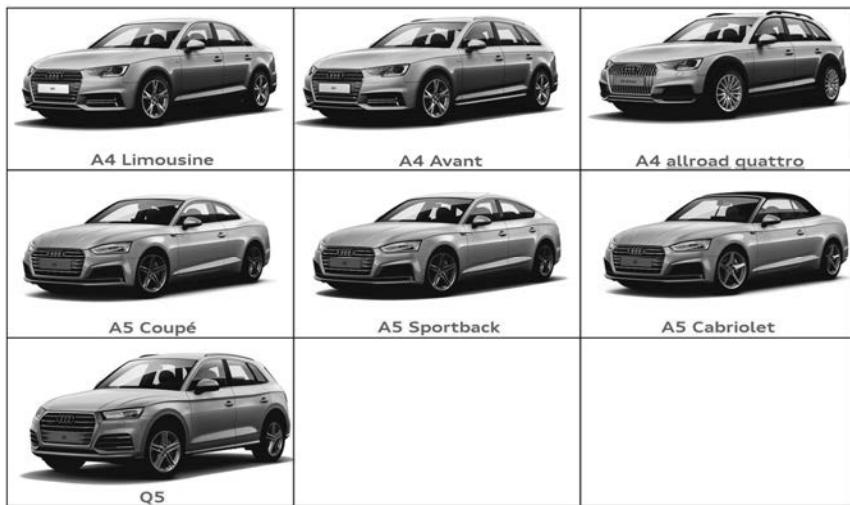


Bild 2: Derivate der B-Familie in der 9. Generation

## 2. Das Türkonzept des Audi Q5

Das Türkonzept des Q5 ist aus technischer und wirtschaftlicher Sicht gänzlich aus kaltumgeformten Stahl ausgeführt (siehe Abbildung 3). Auf Grund der gestiegenen Anforderungen wie zum Beispiel Crashanforderungen verschiedener Märkte und der Anbindung des Außen spiegels an die Türen ist das Gewicht der zusammengebauten Rohbautüren gestiegen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Q5 Bauteilgewichte und Blechdicken Vordertür (Auszug)

| Bauteil                  | Q5 Vorgänger |                 | Q5 Nachfolger |                 |
|--------------------------|--------------|-----------------|---------------|-----------------|
|                          | Gewicht (kg) | Blechdicke (mm) | Gewicht (kg)  | Blechdicke (mm) |
| Türinnenteil             | 6,40         | 0,7             | 6,36          | 0,7             |
| Türaussenteil            | 4,90         | 0,7             | 5,20          | 0,65            |
| Rahmenteil               | 1,57         | 0,8             | 2,16          | 1               |
| Schachtverstärkung außen | 0,91         | 0,6             | 1,32          | 0,8             |

Insbesondere zu nennen sind hier das Rahmenteil und die Schachtverstärkung außen, die auf Grund der Verwendung eines Brüstungsspiegels verstärkt wurde. Der Brüstungsspiegel verhilft einerseits zwar zur deutlichen Reduzierung von Windgeräuschen im inneren und ei-

nem geringeren Cw-Wert, bedingt jedoch auch ein ca. 3,0kg höheres Gewicht der Rohbautüre.

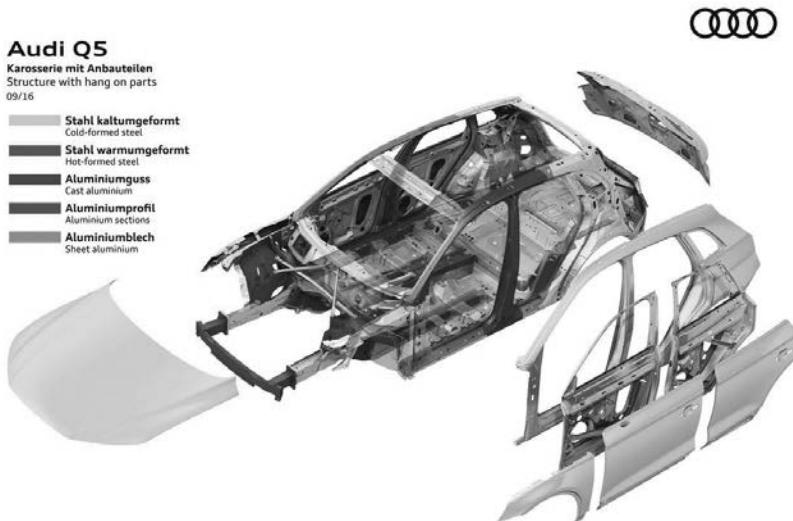


Bild 3: Karosserie mit Anbauteilen Audi Q5

### 3. Anforderungen an die Türentwicklung

Bei der Entwicklung einer Fahrzeugtür müssen eine Vielzahl von Eigenschaften und Anforderungen erfüllt werden, die das Design und Gewicht maßgeblich beeinflussen können. Beispielhaft werden folgend einige erläutert.

#### 3.1 Rahmenvorspannung und -steifigkeit

Durch die Dichtungen und die Umströmung werden auf die Tür Kräfte ausgeübt. Im Bereich des Rahmens oberhalb der Brüstung bietet die Tür durch den Abstand des Knotens A-Säule und des B-Pfostens gegen auftretende Kräfte tendenziell am wenigsten Widerstand. Die Türdichtung innen und außen sorgen bereits bei Stillstand des Fahrzeugs für eine Kraft, die auf die Tür wirken und dafür sorgen können, dass der Rahmen aus der Straklage heraus nach Fahrzeug außen gedrückt werden kann. Bei Bewegung des Fahrzeuges entsteht eine weitere Kraft, die auf die Tür einwirkt (siehe Abbilung 4). Diesen statischen Kräften durch das Dichtsystem und der dynamischen Windlast muss bereits in der frühen Auslegungsphase Rechnung getragen werden.

Daher werden den Bereichen des Anfang des Scheibenausschnittes, der Mitte des Rahmens und des Bereiches des Pfosten B besondere Aufmerksamkeit in Bezug auf Steifigkeit und Vorspannung gelegt.

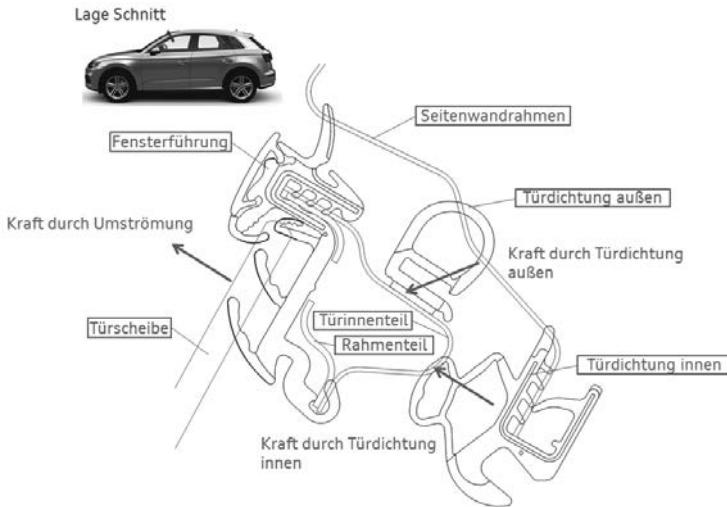


Bild 4: Kräfte auf den Türrahmen

Insbesondere auf die Vordertüren wirkt während der Fahrt im Bereich des Türrahmens ein Unterdruck, der dazu führen kann, dass die Tür nach außen gezogen wird. Es muss verhindert werden, dass mit steigender Geschwindigkeit der Unterdruck so groß wird, dass der Rahmen den Kontakt mit den Dichtungen verliert. In Abbildung 5 links ist die durch die Umströmung des Fahrzeuges resultierende Druckverteilung auf die Vordertür des Q5 bei 250 km/h zu sehen. Bei geschlossener Türscheibe bedeutet das, dass der Rahmen theoretisch um ca. 4,5mm nach Fahrzeug außen gezogen wird (Abbildung 5 rechts).

Messungen im Windkanal bestätigen die Simulation (vgl. Abbildung 6). Zu erkennen ist hier, dass der Rahmenauszug vom Pfosten A zur Mitte hin zunimmt und dann zum Pfosten B wieder ab. Der Rahmenauszug ist allerdings nicht nur von der Fahrgeschwindigkeit bei einem Fahrzeug abhängig sondern ebenfalls von der Anströmrichtung. Bei Schräganströmung des Fahrzeugs wie es zum Beispiel bei Seitenwind vorkommen kann steigt der Unterdruck

auf der windabgewandten Seite (Leeseite), wodurch der Rahmen weiter nach außen gezogen wird.

In der Praxis ist dieser Lastfall deutlich komplexer. Zum einen unterliegen durch die Eigenbewegung des Fahrzeugaufbaus bei der Fahrt die Druckverhältnisse auf die Tür Schwankungen, zum anderen sind die (Seiten-) Windverhältnisse durch die Umgebung des Fahrzeuges wie andere Verkehrsteilnehmer, Bauwerke und Bäume turbulent. Dies führt in der Praxis dazu, dass der Rahmen nicht konstant abhebt sondern beginnt eine Flatterbewegung auszuführen.

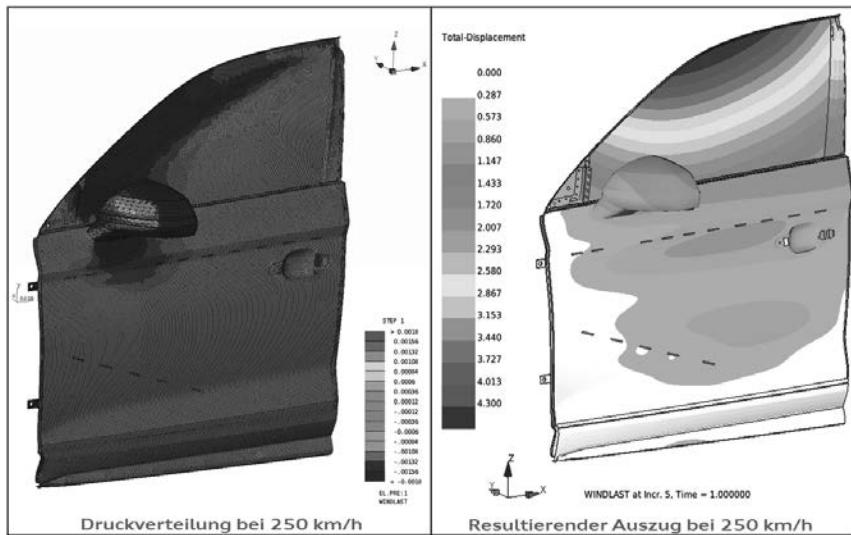


Bild 5: Druckverteilung und resultierende Kraft auf die Tür bei 250 km/h

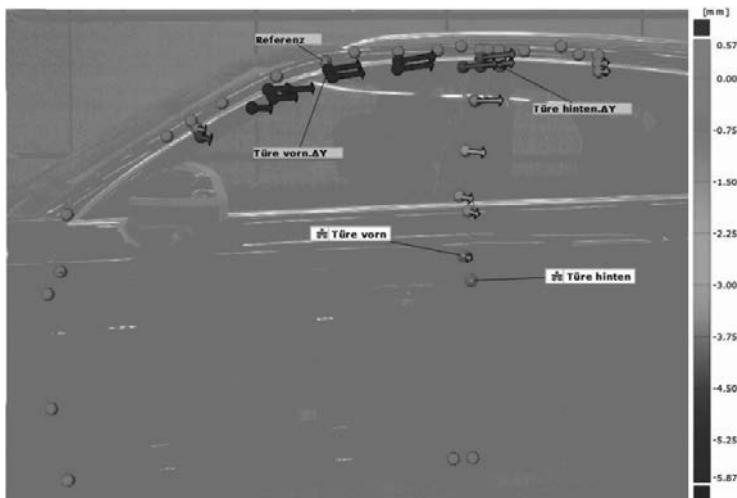


Bild 6: Messung des Rahmenauszuges im Windkanal bei 250 km/h

Die konstruktiv einzubringende Vorspannung in den Rahmen wird definiert durch die Steifigkeit des Rahmens sowie den auftretenden Kräften und muss daher für jedes neue Fahrzeug gesondert berechnet werden. In Abbildung 5 sind die unterschiedlichen Bereiche der Vorspannung und deren fließender Übergang sichtbar. Im Bereich des Anfangs des Scheibenausschnittes liegt die Vorspannung bei ca. 0,5mm und steigt zur Mitte des Rahmens, wo das Maximum liegt auf ca. 2,5mm, um anschließend wieder auf ca. 1,0mm am Pfosten B zurück zu gehen.

### 3.2 Aeroakustikeinfluss des Aussenspiegels

Damit eine Schallquelle im Innenraum des Fahrzeuges hörbar wird, ist eine Reihe von Effekten nötig. So kann eine Vielzahl von Fahrgeräuschen so abgedämpft werden, dass diese entweder nicht mehr hörbar sind oder dessen Quelle nicht ortbar ist.

Im Falle des Aussenspiegels und der A-Säule werden hier besondere Herausforderungen gestellt. Zum einen befinden sich diese umströmten Bauteile sehr nahe am Fahrerohr, zum anderen können die Geräusche nur sehr schwer gedämpft werden. Daher ist der Außen Spiegel die größte und am leichtesten zu ortende Aeroakustische Quelle für die Insassen im Außenbereich. Insbesondere bei laminarer Anströmung können Geräusche entstehen die konstant erzeugt werden. Die Probleme lassen sich in zwei Gruppen unterteilen: zum einen

treten verschiedene Pfeifphänomene auf, zum anderen kann durch laminare Ablösung der Umströmung der Rauschpegel des Spiegels erhöht werden.

Allgemein kann zwischen drei Außenspiegelbauformen unterschieden werden: dem Dreiecksspiegel, dem Schachtspiegel und dem Brüstungsspiegel. Auch bei Verwendung des selben Spiegelkopfes unterscheidet sich die aeroakustische Auffälligkeit durch den Spiegelfuß. In Abbildung 7 ist zu sehen, dass ein Brüstungsspiegel im Vergleich zum Dreiecksspiegel breitbandig ein Potential hat, insbesondere aber bei höheren Frequenzen eine Verbesserung von drei bis vier dB Schalldruckpegel im Innenraum bringt.

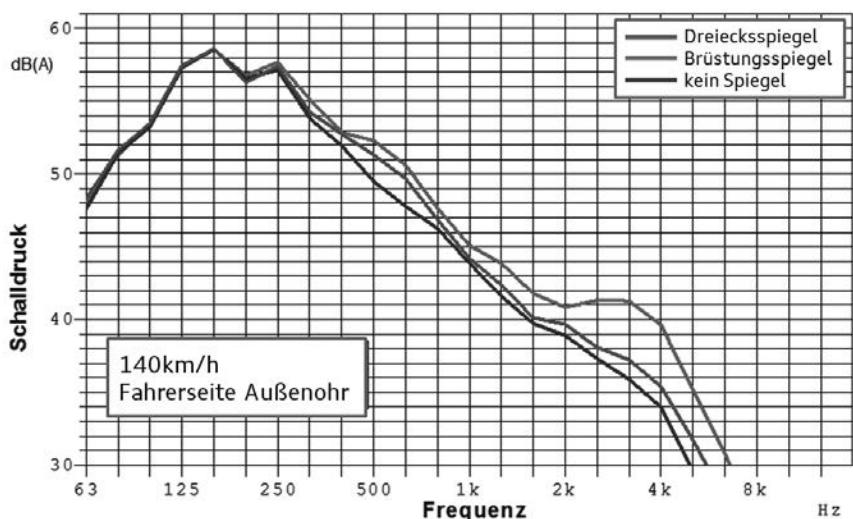


Bild 7: aeroakustischer Vergleich von Spiegelvarianten

Pfeifgeräusche können am Spiegel durch Spalte, Hohlräume, Nuten oder auch Knickkanten ausgelöst werden. Das Pfeifen tritt oft nur in gewissen Geschwindigkeitsbereichen auf und wird auch durch Schräganströmung beeinflusst. Ob ein Spiegel pfeift oder nicht kann häufig nur im Versuch ermittelt werden, da bereits kleinste Änderungen oder Toleranzlagen der Bauteile des Spiegels ein Pfeifen verursachen können. Der Rauschpegel durch laminare Ablösung kann hingegen besser simuliert und durch das Einbringen von Turbulatoren leicht beeinflusst werden.

### 3.3 Schließakustik

Bei der Entwicklung der Eigenschaften eines Fahrzeuges werden schon früh Anforderungen an die Schließakustik gestellt. So wird im Allgemeinen Wert darauf gelegt, dass die Tür „satt ins Schloss“ fällt und keine Klapper-, Quietsch- oder Schabgeräusche auftreten. Insbesondere im Premiumsegment wird durch den Kunden ein gänzlich unauffälliges aber wertiges Schließgeräusch erwartet. Allerdings ist es nicht ganz eindeutig eine Aussage über eine „gute Schließakustik“ zu machen, da die Ansprüche an das Klangbild unterschiedlich sein können.

Wie bei der Aeroakustik existiert auch bei der Schließakustik eine Kette von Effekten, die den Klang beim Türschließen beeinflussen. Grundsätzlich kann an jedem Glied der Kette Einfluss genommen werden (Abbildung 8). Als Beispiel soll hier ein Bowdenzug dienen, der durch das Schließen der Tür gegen das Türinnenblech schlägt und so zu einem Geräusch führt.



Bild 8: Beispiel: Kette von Effekten zur Geräuscherzeugung

Es kann schon beim Schließen der Tür Einfluss auf die Anregung durch die Schließgeschwindigkeit genommen werden. Mit höherer Schließgeschwindigkeit ändert sich auch die Kontaktgeschwindigkeit des Bowenzuges mit dem Türinnenblech und damit das erzeugte Geräusch. Durch den Türkasten ist ein Resonator geschaffen, durch den das Geräusch ins Umfeld abstrahlt. Je nach Umfeldlautstärke wird dieses anders wahrgenommen. Da es in der Regel nicht möglich ist, die Schließgeschwindigkeit des Kunden oder dessen Fahrzeugumfeld zu beeinflussen, muss in der Fahrzeugentwicklung idealerweise die Tonerzeugung verhindert oder der Resonator beeinflusst werden.

Um die Schließakustik zumindest teilweise objektivieren zu können besteht die Möglichkeit, das Schließgeräusch in einem geeigneten Raum aufzuzeichnen und mit Hilfe einer schnellen Fourier Transformation (FFT) die Frequenzen und den Schalldruckpegel über der Zeit darzustellen (Abbildung 9). Bei ca. 0,2s ist der erste Schlag gut zu erkennen bei dem die Tür schließt. Dieser sollte möglichst deutlich sein und schnell Abklingen ohne nachzuklappern wie in Abbildung 9 rechts.

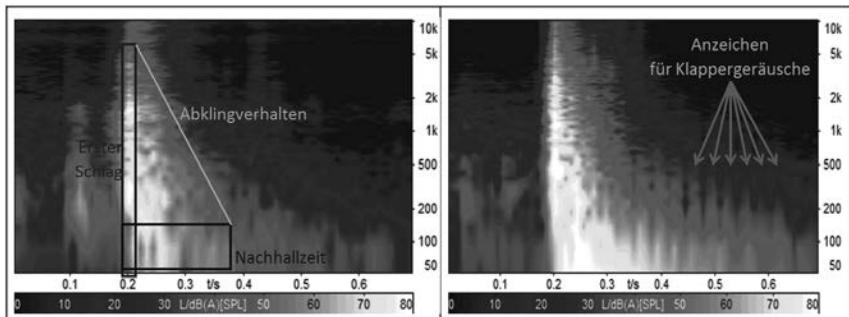


Bild 9: FFT Darstellung der Schließakustik

Sofern ein Nachklappern verhindert werden kann, gibt es mehrere Möglichkeiten die Schließakustik zu beeinflussen, speziell durch das Dichtsystem, die Bedämpfungen und Versteifungen des Bleches. Darüber hinaus ist der Einfluss des Schlosses Hauptbestandteil der Schließakustik und entwickelt die eigene Charakteristik des Geräusches.

## **“Higate Access” – Innovative composite tailgate concept targeting A and B segment vehicle applications**

Dipl.-Ing. **Mark Zimmermann**, Omnium Auto Exterior, München;  
**Frédéric Stablo**, Plastic Omnium Auto Exterior, Lyon, Frankreich

### **1. Abstract**

About 55% of all cars produced worldwide are hatchbacks, station wagons, vans and SUVs equipped with a tailgate. Although composite solutions for tailgates have a high potential in weight saving, function integration and styling freedom, only less than 5% of tailgates are made of composite materials. Sheet metal designs are still the norm in the automobile industry.

While simple sheet metal tailgate designs can be easily scaled up from small to big tailgates and from less to more demanding mechanical performance requirements, more than one composite technology concept is available to cover the same range of tailgate applications. Depending on tailgate size, mechanical performance and complexity, Plastic Omnium currently offers and produces two different composite technologies called “**Higate Hybrid**” and “**Higate Thermoplastic**”.

Furthermore, with the goal of extending the application of composite tailgates, Plastic Omnium is developing the all new “**Higate Access**” technology, a concept specifically directed at A and B segment cars where integration of fuel consumption and exhaust-emissions reducing features such as spoilers and aero-deflectors are increasingly becoming the standard. “Higate Access” takes advantage of the rear window as the “backbone” structure component of the tailgate while integrating the roof spoiler and lateral aero-deflectors more economically than in current metal designs.

## 2. Plastic Omnium's Innovation Strategy

Plastic Omnium's Auto Exterior Division is the worldwide leader in auto body parts and modules, such as bumpers and energy absorption systems, tailgates, fenders, front-end modules and composite BIW structures. With its global operations in key major markets, Plastic Omnium serves the car manufacturers through its capacity for innovation focused on vehicle light weighting, design freedom and emissions reduction.

An important lever for CO<sub>2</sub> reduction is the reduction of the driving resistances by means of lightweight construction and aerodynamic measures. Even at speeds as low as 60 km/h, air resistance becomes the dominant driving resistance. The two important parameters to characterize the aerodynamics of a vehicle are its surface area A and the coefficient of air resistance c<sub>W</sub> which describes the quality of the aerodynamic shape of the vehicle regardless of its size. For example, an improvement of the c<sub>W</sub> value by 0.01 results in savings about one gram CO<sub>2</sub> per kilometer in a standard test cycle with up to five grams reduction of CO<sub>2</sub> per kilometer possible at 150km/h.

An especially important contribution to aerodynamic optimization can be made by adding a roof spoiler and lateral aero deflectors at the rear end of the vehicle. Plastic Omnium's innovative "Higate Access" tailgate concept integrates those functions while enabling an overall narrower body shape without compromising on rear all-around view or the access width for baggage loading.

Aerodynamic simulations show a drag reduction potential of about 3% (c<sub>W</sub>: -0,01) based on the following roof spoiler and lateral aero-deflector profiles:

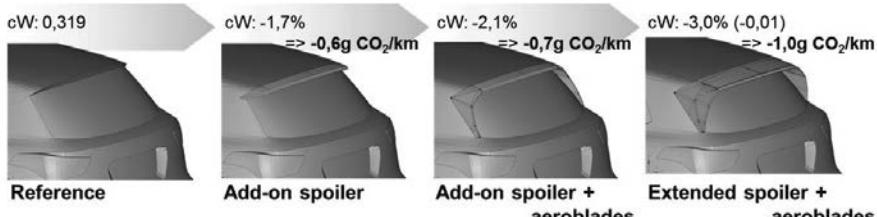


Fig. 2: Drag improvement

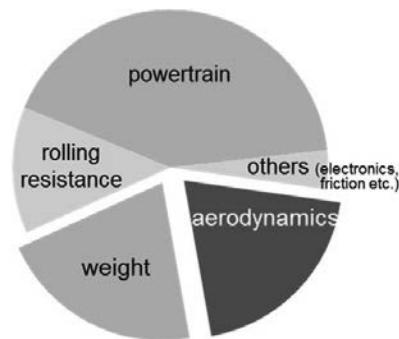


Fig. 1: Fuel consumption allocation

### 3. Current Plastic Omnium Tailgate Production Technologies

With more than 60% market share, Plastic Omnium is the world leader in composite tailgates. In 2016, Plastic Omnium equipped more than 1,2 million vehicles worldwide with tailgates using the following two technologies:

- a) "**Higate Hybrid**" technology combines an inner structural panel of thermoset composite material bonded to thermoplastic exterior panels painted in the body color. It is a technology particularly well suited to SUVs and larger touring cars with production volumes of 500 to 600 vehicles per day.
- b) "**Higate Thermoplastic**" technology is based on an injection moulded Polypropylene structure with 40% glass fiber content (PP-LGF40%) and over-moulded metal reinforcements which bridge the area between the hinge fixation points and the ball studs. The joining technology of the outer panels and the tailgate structure is the same for both Higate Thermoplastic and Higate Hybrid. A continuous bonding path between both shells provides secure sealing, strong mechanical connection, good thermal stability and the possibility to achieve tolerance adjustments in the x, y, and z vehicle directions. With the Higate Thermoplastic technology, up to 1000 parts per day can be produced from a single set of tools.

These technologies are applied in the C-, D- and E-segment, for Vans, as well as for medium to large size SUVs, where an economical advantage over metal can be achieved by lower specific tooling investments, cost reduction through function integration and incentives for CO<sub>2</sub> reduction related to weight saving.

Since those criteria are hardly applicable on Mini-, City-, and small cars, Plastic Omnium is actively developing the all new "**Higate Access**" tailgate concept directed at the A and B segment car markets where the integration of emissions-reducing features such as spoilers and aero-deflectors are driving up costs for current metal designs. Here, the Higate Access concept allows for more economical integration of these features by using the available space in the spoiler and aero-deflector volumes for the actual tailgate support structure and by taking advantage of the rear window as the "backbone" component.

#### 4. The “Higate Access” Tailgate Concept

The whole tailgate assembly concept is built around the rear window (1). The lower tailgate structure (2), the left and right side lateral beams (3) using the volume of the aero-deflectors, and a horizontal beam (4) using the volume of the spoiler, are bolted to the rear window via threaded bushings which are bonded to the glass surface. The structural components are moulded in PP GFL40% material with a grained surface in those areas which are visible from the inside of the car or when the tailgate is opened. A special seal (5) ensures the water tightness between the glass and the lower tailgate structure. The lower outer panel (6) and the spoiler panel (7) are moulded in PP T30 material and are painted in body colour before they are fixed by screws to the tailgate structure. The wire harness (8) is then fitted before the aero-deflectors (9) are clipped on.

Depending on the OEM requirements, other components such as wiper and wiper motor, hinges, latch, inner trim panel (10), etc. can be assembled to the tailgate module before delivery.

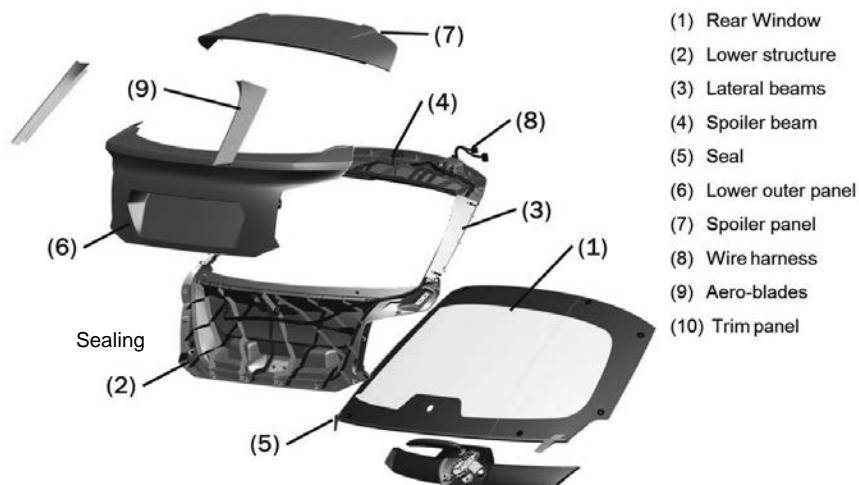


Fig. 3: Higate Access concept

The special characteristic of this new tailgate is that the rear window is directly interfacing the seal to the car body while the tailgate pillar structure is moved to the outside and merged with the aero-deflectors. This allows for slimmer pillars and a reduced overall tailgate width without compromising the access width for baggage loading. It is therefore possible with this design to reduce the black off area of the rear window and provide better rear view.



Fig. 4: Tailgate pillar section and black off reduction

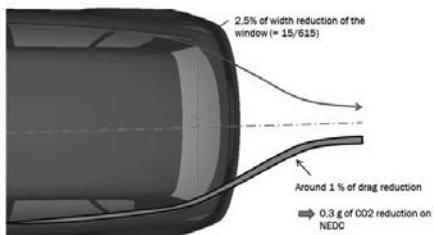


Fig. 5: Aerodynamic effect of rear end width

Although the main target of the Higate Access concept is to meet the part cost benchmark of an equivalently equipped steel tailgate, further positive incentives can also be realized in terms of reduction of CO<sub>2</sub>.

The possibility to narrow the design of the rear end of the car allows for less aerodynamic drag and therefore more CO<sub>2</sub> reduction. Simulations show that a width reduction of 2,5% (15mm per side) improves the cW by about 1% representing 0,3g CO<sub>2</sub> in the NEDC (*New European Driving Cycle*).

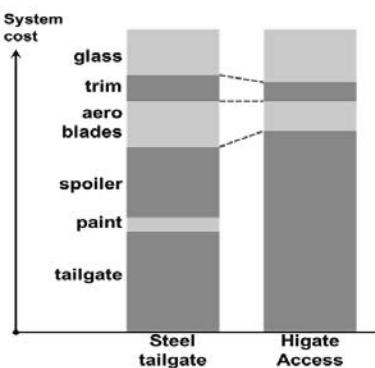


Fig. 6: Higate Access part cost benchmark against equivalent equipped steel tailgate

## 5. Summary of the determining advantages of the Higate Access Concept

The Higate Access is directed to the A and B segment cars where a roof spoiler and lateral aero-deflectors are necessary to achieve the vehicle emission targets. The tailgate technology allows for:

- The integration of the spoiler and aero-deflectors into the tailgate structure
- A narrow rear end shape without compromising the rear loading access width
- Reduction of the rear window black off area for better rear all-around view
- Cost competitiveness versus a steel tailgate at equivalent functionality
- High flexibility in styling variations of the tailgate and the vehicle due to the modular assembly concept.



Fig. 7: One “tailgate backbone” for different vehicle designs

# Tertiäre Sicherheit – Fahrzeugtüren als Nadelöhr bei der technischen Rettung

Dipl.-Ing. Thomas Unger, ADAC e.V., Landsberg am Lech

## 1. Grundlagen der technischen Rettung

Als die Anzahl neu zugelassener Kraftfahrzeuge ab den 1950er und 1960er Jahren rasant anstieg und gleichzeitig aufgrund der noch sehr schwachen passiven Sicherheit der Automobile die Zahl der Verkehrsunfälle und der beteiligten Unfallopfer enorm hoch war, wurde den Feuerwehren die Aufgabe der „Unfallrettung“ übertragen. Die technische Rettung erfolgte zunächst vielerorts mit herkömmlichen Werkzeugen, wie beispielsweise mit Trennschleifern. Erst die Verbreitung hydraulischer Rettungsgeräte (insbesondere Hydraulikschere, -spreizer und Rettungszylinder) ermöglichen eine schnellere, präzise einsetzbare, funkenfreie und lärmarme Rettungstechnik.

Um die Heilung der schwerverletzten Unfallopfer so optimal wie möglich zu gestalten, müssen die Patienten schnellstmöglich in geeigneten Kliniken versorgt werden. Die Zeitspanne zwischen Unfallereignis und Einlieferung in die Klinik soll höchstens 60 Minuten betragen und wird als „**Golden Hour of Shock**“ bezeichnet. Dieses Modell ist in der „**Rettungskette**“ berücksichtigt. Diese Kette gliedert die Zeit nach einem Unfall grob in Zeitintervalle von jeweils 20 Minuten für Alarmierung und Anfahrt, 20 Minuten „Verweildauer“ am Unfallort und 20 Minuten medizinische Versorgung und Transport des Patienten in eine geeignete Klinik. Die Einhaltung dieser 60 Minuten ist für das Überleben der Verletzten essentiell. Sind bei einem Verkehrsunfall innere Organe verletzt, so steigt das Sterblichkeitsrisiko alle drei Minuten (ohne Behandlung) um ein Prozent<sup>1</sup>. Im Umkehrschluss kann die schnelle Rettung das Risiko des Versterbens der Insassen im weiteren Verlauf eines Rettungseinsatzes signifikant senken.

Vorgehensweisen bei einer technischen Rettung

---

<sup>1</sup> Clarke, Journal of Trauma, 2002

Rettungseinsätze sollten immer einem **Ablaufschema** folgen, um die schnelle und sichere Rettung bewerkstelligen zu können. Die Erste Phase eines Einsatzes (nach Eintreffen der Rettungskräfte am Einsatzort) ist die **Sichtung und Lageerkundung**. Hierbei wird festgestellt:

- Wo sind Gefahren für die Einsatzkräfte / Beteiligte?
- Wie viele Beteiligte gibt es?
- Wie schwer sind die Verletzungen?
- Welches Gerät wird benötigt / welche Rettungsmethode angewandt?

Um die Sichtung bzw. die medizinische Erstversorgung des Patienten herzustellen, müssen die Rettungskräfte ins Fahrzeug gelangen. Dieser „**Erstzugang**“ kann durch noch zu öffnende Türen, Klappen oder Dachöffnungen erfolgen.

#### Unfälle mit technischer Rettung in der ADAC Unfallforschung

Die Besonderheit der ADAC Unfallforschung ist, dass ca. 90% der registrierten Fälle mit schweren Verletzungen einhergehen. Häufig treten bei diesen Unfällen hohe Crashenergien und starke Deformationen auf. Aus diesem Grund werden viele Fahrzeuginsassen eingeschlemmt, wodurch die Thematik der technischen Rettung ein wichtiger Bestandteil des Projektes ist. Der Anteil an Unfällen, bei denen Rettungsmaßnahmen zur Versorgung oder Befreiung der Unfallopfer notwendig sind, liegt bei 17 %. Dieser hohe Anteil ist für das Gesamtunfallgeschehen jedoch in Deutschland nicht repräsentativ.

In der ADAC Unfallforschung gehen 15 % der technischen Rettungsaktionen mit Problemen einher, welche die Dauer der Rettung negativ beeinflussen.

#### Erkenntnisse aus den Aufnahmeprotokollen der Feuerwehren

Im Rahmen aktueller Untersuchungen der ADAC Unfallforschung, mit Schwerpunkt technischer Rettung, wurde in Zusammenarbeit mit dem deutschen Feuerwehrverband ein Aufnahmeprotokoll für Rettungskräfte der Feuerwehren erarbeitet. Die Auswertung der Feuerwehrprotokolle zeigt den Trend, dass ca. 65 Prozent der technischen Rettungen länger als 20 Minuten dauern. Zu diesem Zweck wurde die Differenz zwischen der Ankunftszeit der Feuerwehr am Unfallort und der Befreiung des Patienten ermittelt. Die Ergebnisse aus 121 Protokollen sind in Abbildung 1 zusammengefasst.

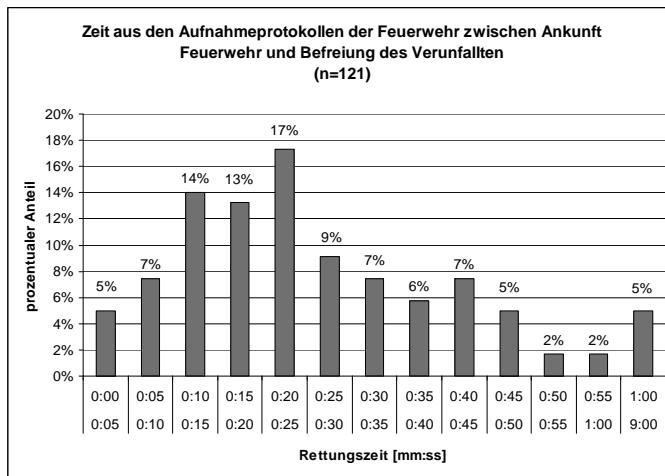


Bild 1: Ermittelte Rettungszeiten aus Feuerwehrprotokollen

Um der Frage auf den Grund zu gehen, welche Maßnahmen die Rettungszeiten verlängern, wurden die auftretenden Probleme genauer untersucht. Die Auswertung ergab, dass die Befreiung und der Zugang zum Patienten, wie in Abbildung 2 ersichtlich, in 39% bzw. 28% der Rettungsproblemen zu finden sind.

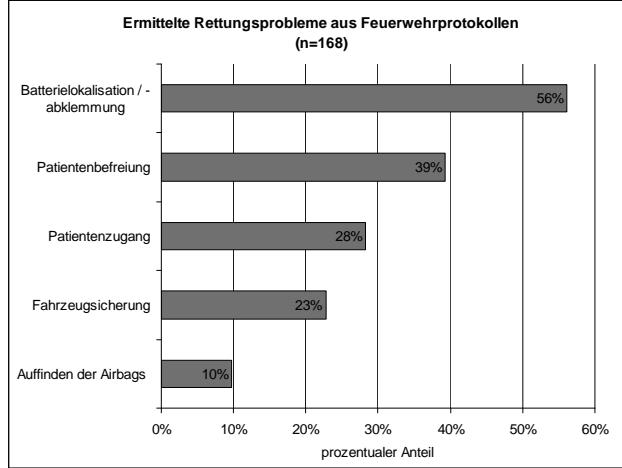


Bild 2: Probleme bei der Rettung

Die analytische Betrachtung der auftretenden Rettungsprobleme beim Patientenzugang (therapeutische Öffnung) zeigt, dass die Hälfte der Probleme mit den Türen begründbar ist. Zudem bereiten die Scharniere in 28% der Probleme bei der Patientenbefreiung Erschwernisse.

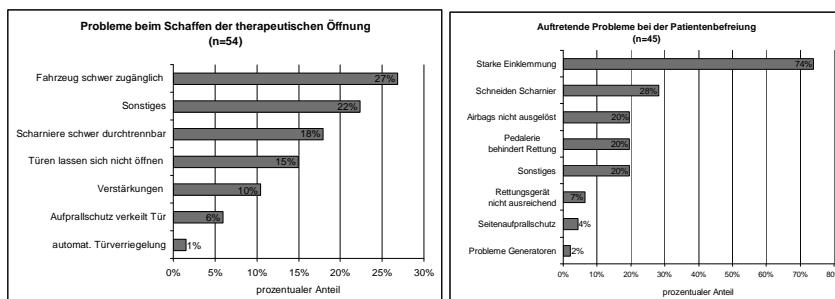


Bild 3: Probleme beim Schaffen der therapeutischen Öffnung/Patientenbefreiung

Die Mehrzahl der Feuerwehren vermerkte in den Protokollen, dass sich die Schneidprobleme hauptsächlich auf das Trennen der Säulen (62 Prozent) beziehen. Mit 23 Prozent jedoch erschwert das Zerteilen der Scharniere die Rettung am zweithäufigsten.

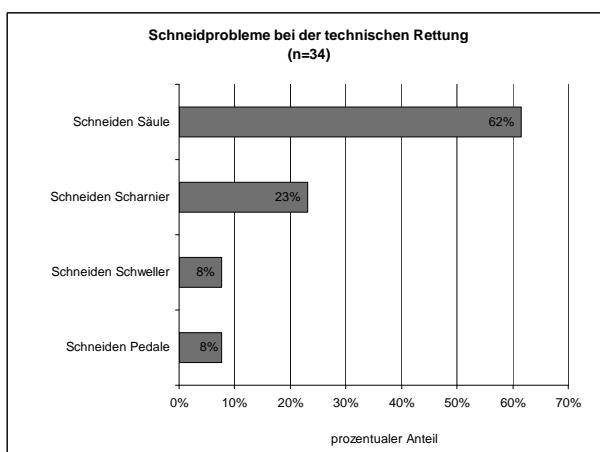


Bild 4: Schneidprobleme bei der technischen Rettung

## 2. Schneidversuche

Die Schneidversuche wurden an Fahrzeugmodellen unterschiedlicher Baujahre und Karosserieformen durchgeführt. Es handelte sich teilweise um Unfall- oder Crashfahrzeuge aus diversen Tests. Der Vorteil dieser Beschädigungen ist, dass sich die Karosse wie bei einem realen Unfall verzogen hat und demzufolge unter Spannung steht. Durch die Deformation der Karosse entstehen neue Herausforderungen bei der technischen Rettung. Um diese Versuche möglichst realitätsnah zu gestalten, verwendeten die Rettungskräfte ihre eigenen Rettungsgeräte. Den Ablauf sollte dabei jede Feuerwehr analog zu ihren realen Einsätzen durchführen.

Die Zeiten der einzelnen Phasen aus der Feuerwehr Checkliste wurden während der Versuche gestoppt oder im Nachhinein mittels Videoanalyse ermittelt. In der Fahrzeuvorbereitung wurden alle Türen über die Türverriegelung verschlossen. Damit sollte eine Verklemmung der Türen simuliert werden. Während des Versuches sollte die Türverriegelung, anders als im realen Einsatz, nicht geöffnet werden. Diese Situation soll zur besseren Vergleichbarkeit der einzelnen Versuche beitragen.

### Untersuchung der Türentfernung

Die im Versuch durchgeführte dritte Phase beinhaltet das Entfernen der Türen. Aus realen Unfallszenarien und Tests ist bekannt, dass sich schon bei mittelschweren Verkehrsunfällen die deformierten Türen nicht mehr ohne Hilfsmittel öffnen lassen. Aus diesem Grund ist die Hilfeleistung beim Entfernen der Türen besonders wichtig. Durch das Entfernen der Türen wird in erster Linie der Erstkontakt des Verunfallten mit den medizinischen Rettungskräften hergestellt. Durch die herausgenommene Tür kann eine therapeutische Versorgung erfolgen. Anders als im realen Unfall war es bei den Versuchen nicht gestattet, die Türen mittels Schloss zu öffnen.

Bei den meisten Fahrzeugen ist es schwierig, nach einem Unfall einen geeigneten Ansatzpunkt zum Entfernen der Türen zu finden. Deshalb ist es nötig, den Türspalt zu erweitern, denn für das erfolgreiche Ansetzen des Spreizers ist ein Spalt ab ca. 1cm nötig. Eine Möglichkeit ist die Verwendung mechanischer Werkzeuge, wie z.B. einer Brechstange. Für die Erweiterung mit Hilfe des hydraulischen Geräts gibt es verschiedene Methoden. Die häufigste Variante ist das Zusammendrücken des Kotflügels. Zu diesem Zweck wird der Kotflügel vertikal neben dem Federbein mit Hilfe des Spreizers zusammengedrückt (Abbildung 5).



Bild 5: Türspalterweiterung

Es zeigt sich, dass diese Variante nur bedingt zum Ziel führt. Handelt es sich bei den Materialien des Kotflügels um Kunststoff, Aluminium oder CFK, dann reißt der Spreizer das Kotflügelblech auseinander und erweiterte den Türspalt nicht. Eine bessere Variante ist das Zusammendrücken der Tür. Zu diesem Zweck wird der Spreizer vertikal nach unten in die Fensteröffnung eingesetzt und anschließend die Tür zusammengedrückt. Bedingt durch das Zusammenstauchen wölbt sich die Tür nach innen und die Außenbereiche drehen sich vom Fahrzeug weg. Durch die entstandenen Spalte kann jetzt das Kotflügelblech nach vorn abgelöst werden.

Dieser Arbeitsschritt ermöglicht, dass die Ansatzpunkte für das Spreizen oder Schneiden der Scharniere ersichtlich sind. Die günstigere Variante, um das Schneiden der Bolzen zu umgehen, ist das Spreisen oder Heraussprengen der Tür. Die freigelegten Scharniere bieten einen guten und massiven Ansatzpunkt. Beim Ansetzen des Spreizers sollte darauf geachtet werden, dass die Kraftrichtung annähernd der natürlichen Türöffnung entspricht. Hierfür bietet sich das Auflegen der Spreizerspitzen auf die Scharniere an. Dadurch wird die Arbeit des Gerätbedieners erleichtert und die Konzentration auf die Eigenbewegung der Tür ist höher.

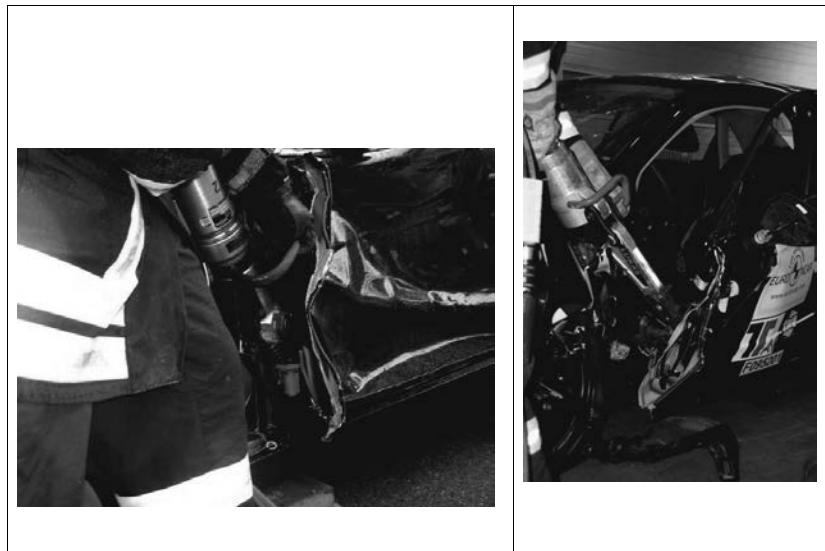


Bild 6: Heraustrennen der Türscharniere (li.:Schneiden; re.:Spreizen)

Durch die gehärteten Bolzen im Scharnier wird die Tür schlagartig herausgesprengt. Dieser Umstand sollte beim Halten oder Gegenlehnen an die Tür beachtet werden. Dazu kommt, dass das Heraussprengen mit einem lauten Knall verbunden ist, weshalb der Gerätebediener dies im Vorfeld verkünden sollte. Das Schneiden der Türscharniere sollte, bedingt durch die große benötigte Kraft, nur mit geeignetem Schneidgerät erfolgen. Zum erfolgreichen Schneiden ist es außerdem nötig, die zweite Druckstufe auszunutzen.

Sobald die Türen an der Scharnierseite getrennt sind, erfolgt das vollständige Entfernen der Tür. Hierfür kann unterschieden werden zwischen Schneiden und Spreisen. Das Schneiden der Schlosser ist ohne vorheriges Spreisen nicht möglich, deshalb wurde in den meisten Fällen versucht, das Schloss aufzuspreizen. Besonders problematisch stellte sich wiederum das Finden eines geeigneten Ansatzpunktes heraus. Einige Fahrzeuge zeigten durch das „Auffleddern“ der Türen besonders große Schwierigkeiten. Wie in den nachfolgenden Abbildungen ersichtlich, schälte sich das Schloss meistens bei den hinteren Türen aus dem Kotflügelblech. Hierdurch entstehen weitere gefährliche Schnittkanten, welche bei der Rettung den Verunfallten sowie die Rettungskräfte gefährden können. Außerdem muss durch das Abschälen der Spreizer mit seinem vollem Öffnungsweg oder mehrmaligen Nachsetzen ange-

wendet werden. Es besteht die Option, die „fleddernden“ Bleche mit der Hydraulikschere zu zerteilen. Dies ist allerdings nur möglich, wenn die Scherenmesser scharf und nicht verbo gen sind. Sind die Scheren nicht gut gewartet, kann es vorkommen, dass sich das Blech in die Schere eindreht und nicht schneidet.

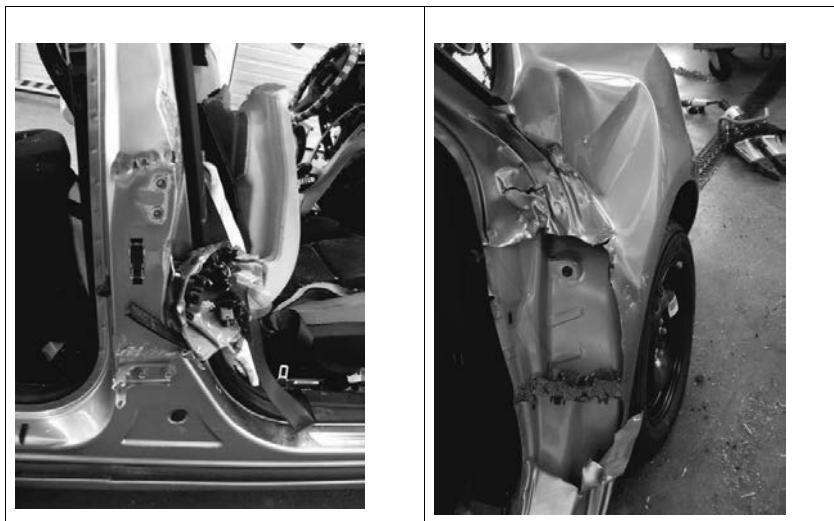


Bild 7: Türentfernung (li.:B-Säule; re.: Hinterer Radkasten)

Bei der Auswertung der Zeiten dieser Phase ist zu erkennen, dass das Spreizen durch schnittlich die schnellere Variante zum Entfernen der Türen ist. Es gab Versuche, bei welchen die Methode des Schneidens versagte und auf das Spreizen zurückgegriffen wurde. Die längere Dauer ist unter anderem darin begründet, dass bei der Schneidtechnik zuvor gespreizt werden musste, um die Ansatzpunkte freizulegen.

Anhand der Dokumentation ist es zeittechnisch gleich ob mit der Scharnier- oder der Schlossseite begonnen wird. Abhängig von der Situation und der Deformation muss der Einsatzleiter an der Unfallstelle die individuell beste und schnellste Möglichkeit wählen, um den Patienten zu befreien.

Um aufzuzeigen wie sich die Rettungszeiten in Abhängigkeit des Fahrzeugalters verhalten, werden im Folgenden die Fahrzeuge der durchgeföhrten Schneidversuche in zwei Alters klassen unterteilt. Die eine Gruppe betrifft die älteren Fahrzeuge der Baujahre 1993 bis 1997. Die zweite Gruppe bilden die aktuellen Fahrzeuge der Baujahre 2007 bis 2010. Aus

den ermittelten Werten der einzelnen Phasen ist ersichtlich, dass alle Zeiten der aktuellen Neufahrzeuge erheblich angestiegen sind. Besonders kritisch sind die Phasen zu sehen, bei denen Säulen zertrennt wurden. Bedingt durch die steigenden Sicherheitsanforderungen verdoppelten sich die Zeitintervalle der Phasen Batterie, Vorderwagen – Spreizermethode, Dachabnahme und die des Entfernens der B-Säule. Bei neueren Fahrzeugen benötigt die Türentfernung rund 20% mehr Zeit.

Im realen Unfallgeschehen werden die einzelnen Arbeitsschritte in der erforderlichen Rettungstaktik zusammengefasst. Hierbei zeigt sich deutlich, dass durch die Verkettung der Einzelzeiten bei Neueren Fahrzeugkonstruktionen eine deutlich längere technische Hilfeleistung nötig ist. Zudem ist ersichtlich, dass je mehr Säulen durchtrennt werden, sich die Rettungsdauer signifikant verlängert.

### 3. Zusammenfassung und Ausblick

Aus den Auswertungen geht die Aussage hervor, dass die Rettungsdauer einer eingeklemmten Person aus einem modernen Fahrzeug länger dauert als aus einem vergleichbaren alten Fahrzeug.

Bei der Rettungstaktik der technischen Hilfskräfte ist eine strukturierte und gleichzeitig flexible Herangehensweise nötig. Die Grundlage einer erfolgreichen Rettung stellt zum Einen der sichere Umgang mit dem erforderlichen Werkzeug dar, zum Anderem müssen die Helfer über den aktuellen Stand der Fahrzeugtechnik und dem Rettungszweck förderliche Arbeitsschritte geschult sein. Beispielsweise können leistungsstarke Rettungsscheren unroutinierte Handhabungen nicht kompensieren.

Die beste Möglichkeit Rettungsgeräte, Fahrzeugtechnik und Einsatztaktik zu erforschen und deren Einsatz zu festigen, ist die Durchführung und anschließende Auswertung von Schneidversuchen.

Türstrukturen uns Scharnier stellen sich hier immer wieder als eine Herausforderung heraus. Dies wird aus Erfahrungsberichten (Fragebogen) heraus durch die Feuerwehren im Einsatzgeschehen bestätigt. Beispielsweise benötigt die Türentfernung bei neueren Modellen rund 20% mehr Zeit (ab Baujahr 2007).

Eine deutliche Verbesserung könnte durch „rettungsfreundliche“ Türstrukturen erreicht werden. So sind die Scharniere, Schlossteile und –einbaustelle und die Fügung der Türstrukturelemente im Wesentlichen für die Verzögerungen bei technischen Rettungsmaßnahmen.



# Das Türsystem des neuen Opel Insignia Grand Sport

## Herausforderungen bei der Türentwicklung eines globalen Programms unter Berücksichtigung der Anforderungen an Styling, Herstellung, Kosten und Gewicht

Dipl.-Ing. (FH) **Martin Schumilas** M.Eng., **Tim Ritterbusch** B.Eng.,  
Adam Opel AG/ ITEZ Rüsselsheim GME Side Closures

### Kurzfassung

Der neue Opel Insignia Grand Sport (GS) löst nach neun Jahren die erste Generation des Opel Flaggschiffs ab. Mit dem Designeinfluss bewusst gewählter Formen der 2013 vorgestellten Konzeptstudie Monza wurde schließlich eine elegante Coupé-ähnliche jedoch alltagstaugliche Limousine für eine großvolumige Produktion geschaffen.

Nach dem Chevrolet Malibu und dem Buick Lacrosse bietet die globale Epsilon II Plattform schließlich auch die Basis für den Opel Insignia GS samt der Versionen für seine Schwestermarken Vauxhall, Holden und Buick.

Das Fahrzeug trägt ein klassisches Frame Under Glass Türsystem in traditioneller Schalenbauweise aus Stahl. Neben der Herausforderung durch konstruktiven Leichtbau eine deutliche Gewichtsreduzierung gegenüber dem Vorgänger zu erzielen wurden zudem auch die Kostenziele deutlich verschärft bei einem gleichzeitig höheren Anspruch an Design und Qualität. Aufgrund einer gezielt gewählten Gleichteilestrategie sowie der Einhaltung global abgestimmter Auslegungsrichtlinien konnten die zueinander konkurrierenden Ziele zum größten Teil übertroffen werden.

### Abstract

With the current Opel Insignia being on the market for nine years by now, finally it is time to launch the new generation, the Opel Insignia Grand Sport (GS). Influenced by the in 2013 presented concept car, the Opel Monza, the designer and engineers created an elegant limousine with a kind of a coupé character but still practicable for the daily use.

After the Chevrolet Malibu and the Buick Lacrosse, the Insignia GS including its versions for Opel's sister brands Vauxhall, Holden and Buick is the third vehicle coming out on the global platform Epsilon II.

The new Insignia carries a Frame Under Glass Doorsystem with a traditional stamped steel door in white. Parallel to the challenge to achieve a weight reduction compared to the previous door also the targets for cost has been tightened. At the same time of course the expectations from the Design center as well as from the Quality department were much higher. By realizing a very strict carry over strategy and following global approved design guidelines all interacting targets could be reached or even exceeded.

### 1. Der Opel Insignia Grand Sport [1]

Mit 900.000 Einheiten und einer Marktpräsenz von neun Jahren wird das aktuelle Erfolgsmodell, der Opel Insignia, schließlich im März 2017 vom Nachfolger Insignia Grand Sport abgelöst. Inspiriert durch die Konzeptstudie Opel Monza aus dem Jahr 2013 verkörpert das Flaggschiff aus Rüsselsheim Opel's Design-Philosophie – skulpturales Design trifft auf deutsche Ingenieurskunst. Insbesondere die Front mit dem tiefer gelegtem Kühlergrill und den schmalen Scheinwerfern stellen den Bezug zum genannten Konzeptfahrzeug dar.



Bild 1: Opel Monza Konzept und der neue Insignia Grand Sport

Ausgeprägte Designkanten mit scharfen Radien, die Opel typische Sichel in den Seitentüren als auch die unter der Dachlinie verlaufenden Chromstreifen verleihen dem Wagen ein in sich harmonisches und anschauliches Design. Die elegant gestreckte Silhouette verleiht dem Wagen einen sportlichen, Coupé ähnlichen Charakter und lässt den Kunden vergessen, dass es sich um ein praktisches Fließheck mit großzügigem Kofferraumvolumen von 490L bis 1450L handelt. Obwohl die neue Generation um 55 auf 4.897 Millimeter gestreckt wurde, konnten dennoch allein bei der Rohkarosserie rund 60 Kilogramm abgespeckt werden und das überwiegend durch geschickte Konstruktionen im traditionellen Stahlblechdesign; insgesamt bringt die Neukonstruktion bis zu 175 Kilogramm weniger auf die Waage. Während sich der Radstand in der komplett neuen Architektur um 92 Millimeter auf 2.829 Millimeter verlängert hat, verfügt der Insignia vorn und hinten nun über deutlich reduzierte Karosserieüberhänge sowie eine um 11 Millimeter breitere Spur.

Das Dach wurde dagegen um 29mm abgesenkt, ein wichtiger Schritt, um den Wagen deutlich sportlicher aussehen zu lassen und zugleich die Aerodynamik auf einen cw-Wert von 0,26 zu optimieren. Insgesamt profitieren die Insassen, denn die Vergrößerung der Außenabmessungen sorgt auch für einen großzügigeren Innenraum. Die Sitzposition wurde zudem um drei Zentimeter abgesenkt was den Kopffreiräumen, aber vor allem auch einem direkterem Fahrgefühl zugutekommt. Neue Hightech-Features wie der Allradantrieb mit Torque-Vectoring – das anspruchsvollste System der Klasse – in Kombination mit der komplett neuen Fünflenker Hinterachse oder die neue Achtstufen-Automatik tragen zusätzlich zur Erhöhung des Fahrspaßes bei. Zwei elektrisch gesteuerte Lamellen-Kupplungen ersetzen das Differenzial und stellen eine präzisere, individuellere Kraftübertragung an jedes Hinterrad sicher – unabhängig von Bodenbelag, Nässe, Eis oder Schnee. In Kurven wird beispielsweise zusätzliches Drehmoment an das äußere Hinterrad geleitet, sodass der Insignia Grand Sport überaus präzise einlenkt und eventuellem Untersteuern entgegengewirkt.

Um möglichst jedes Kundenprofil bedienen zu können, werden zahlreiche turbogeladene Drei – und Vierzylinder Motoren angeboten. Einen Sechs-Zylinder wird man zu einem späteren Zeitpunkt in der OPC Variante wählen können.

Zudem werden in den unterschiedlichen Ausstattungsvarianten zahlreiche innovative Highlights angeboten, die den Wagen in der Liga des oberen Mittelklassensegments mitspielen lassen. Einige Highlights sind unter anderem das IntelliLux LED® Matrix-Licht, das nun mit 32 in Reihe angeordneten LED-Segmenten arbeitet – doppelt so viele wie im Astra, das Head-up-Display, eine 360-Grad-Kamera um eine Vogelperspektive des Wagen im Display darzustellen, oder das adaptive Geschwindigkeitsreglersystem ACC (Adaptive Cruise Control) mit automatischer Gefahrenbremsung, der aktive Spurhalte-Assistent mit automatischer Lenkkorrektur. Die preisgekrönten Aktion Gesunder Rücken (AGR) Sitze mit Heiz-, Belüftungs- und Massagefunktionen, das IntelliLink Infotainment System mit Apple Carplay bzw. Android Auto, der Online- und Service-Assistent Opel OnStar mit einem 4G LTE WLAN-Hotspot und einem Bose-Soundsystem bilden weitere interessante Features im Interieur Bereich.

Mit dem neuen Insignia GS startet Opel im März 2017 sein Top Produkt neu, welchem in naher Zukunft viele weitere Derivate folgen werden.

## 2. Die Epsilon II Familie – Viele Derivate, ein Türsystem

Basis für den neuen Insignia GS 2017 bietet die, für das Segment der Mittelklasse entwickelte globale GM Plattform, Epsilon 2. Das Schwesterfahrzeug, der Chevrolet Malibu, wurde als erstes Derivat in GM's Hauptentwicklungscenter Warren (Michigan USA) entwickelt und läuft seit November 2015 in den USA und China vom Band. Gute sechs Monate später wur-

de im Sommer 2016, ebenfalls für den amerikanischen und asiatischen Markt, die Produktion des Buick Lacrosse gestartet. Für diesen Wagen wurde der Radstand und somit die E2 Plattform um 75mm in die Länge gestreckt. Die Entwicklungsverantwortung hierfür lag im GM Entwicklungszentrum Shanghai.

**Chevrolet Malibu 2015 – Notchback**



Bild 2: Chevrolet Malibu

**Buick Lacrosse 2016 – Notchback, LWB**



Bild 3: Buick Lacrosse

In 2017 ist schließlich die Neuentwicklung aus dem europäischen Entwicklungszentrum ITEZ Rüsselsheim an der Reihe. Während der Chevrolet Malibu als auch der Buick Lacrosse lediglich in der Stufenheckvariante produziert werden, erwartet uns aus der Rüsselsheimer Feder eine weitaus größere Modellvielfalt mit der Opel und seine Schwestermarken Vauxhall, Holden und Buick den ganzen Weltmarkt bedienen werden.

**Opel Insignia GS 2017 – Hatchback**

Vauxhall Insignia GS 2017 – Hatchback

Buick Regal 2017 – Hatchback

Holden 2017 - Hatchback



Bild 4: Insignia Grand Sport

**Opel Insignia GS- Tourer 2017 – Wagon**

Vauxhall Insignia GS- Tourer 2017 – Wagon

Buick Regal - Tourer 2017 – Wagon

Holden- Tourer 2017 - Wagon

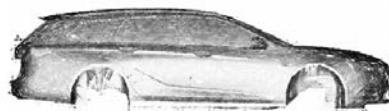


Bild 5: Insignia Grand Sport Tourer

Los geht es im März mit dem Lead Fahrzeug Insignia Grand Sport in der Fließheckvariante als Opel und der Rechtslenker Version der Marke Vauxhall für den britischen Markt. Zwei Monate später fällt der Startschuss für den Opel und ebenfalls Vauxhall Insignia Sport Tourer GS, eine sportliche Weiterentwicklung eines klassischen Kombis. Für den australischen Markt werden beide Modelle, unter der dort sehr bekannten Marke Holden, in Rüsselsheim vom Band laufen. Ebenfalls im Mai geht die Produktion des Buick Regal als Stufenheck mit traditionellem Kofferraumdeckel in China los.

**Buick Regal 2017 – Notchback**

Bild 6: Buick Regal

Dieses Fahrzeug trägt mit Ausnahme kleiner Details im Kühlergrill und dem eigenen Heck das Styling des Insignia GS. Alle vier Türen sind identisch mit denen des Opels worauf im nächsten Kapitel noch eingegangen wird. Ab Herbst wird zudem der Buick Regal für den US-Markt als Fließheck und als Sports Tourer im Stammwerk Rüsselsheim vom Band laufen. Da diese beiden Karosserievarianten in diesem Markt eher untypisch sind wird hier mit einem relativ kleinen Volumen gerechnet und daher nach aktuellem Stand keine eigene Produktion in USA angestrebt.

Jedes der beschriebenen Fahrzeuge sind Unikate. Generell wird jedoch zwischen allen Schwesternfahrzeugen die Strategie eines hohen Standardisierungsgrades verfolgt. Auf das Türsystem heruntergebrochen bedeutet das, dass alle Modelle, wie auch schon u.a. der Opel Astra K, ein Frame Under Glass System der vierten Generation verwenden.

Die globale Entwicklungsverantwortung für Frame Under Glass liegt in Rüsselsheim und wird bei GM durch die Rolle des *BOM Family Owner (BFO)* repräsentiert. Dadurch wird sichergestellt, dass alle Türen unabhängig von der Region nach den gleichen Konzepten entwickelt werden. Probleme und Lessons Learnt werden somit an eine zentrale Stelle kommuniziert und diskutiert. Fehler werden somit kontinuierlich reduziert und die Qualität verbessert. Neben gleichen Konstruktionsrichtlinien tragen alle Türen eine Vielzahl von Gleichteilen. Komponenten wie Scharniere, Schlösser, Innen- und Außengriffe, Lautsprecher aber auch die Außenspiegel sind in den einzelnen Modellen identisch und werden lediglich von ausgewählten global agierenden Zulieferern hergestellt. Dadurch werden zum einen große Volumina und damit verbundene Kostenreduzierungen erreicht und zum anderen durch einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess die Qualität gesteigert. Im Türsystem des neuen Opel Insignia und seinen Modellvarianten wurde eine sehr strenge Gleichteilestrategie verfolgt und mit Erfolg umgesetzt, auch wenn dadurch Kompromisse gemacht werden mussten. Im folgenden Kapitel wird das Türsystem des neuen Flaggschiffs aus Rüsselsheim näher beschrieben.

### 3. Das Türsystem des neuen Opel Insignia

Wie zuvor beschrieben wird der Opel Insignia GS sowie seine Modelvarianten unter verschiedenen Marken des GM Konzerns auf der ganzen Welt verkauft. Für die Entwicklung eines solchen Produkts bedeutet dies eine große Herausforderung für alle Bereiche. Wie kreiert man ein Weltauto welches ein charakteristisches, elegantes Design verkörpert und zugleich qualitativ hochwertig ist, alle gesetzlichen Anforderungen für Safety und Zulassung erfüllt, dennoch möglichst leicht und agil wird und das zu Produktkosten, mit denen man noch einen Business Case erzielt – und zwar mit einem Verkaufspreis der nicht annähernd an die Preise der hoch angesehenen deutschen Hersteller heran kommt? Die Antwort lautet: mit sehr hoher Disziplin, einer starken Zusammenarbeit aller Abteilungen und der Bereitschaft zu Kompromissen bei der Umsetzung der internen Ziele zum Wohle des Gesamtprodukts. Die Senkung der Komplexität durch eine hohe Standardisierung und einer möglichst großen Gleichteilstrategie steht dabei stark im Fokus. Mit der Produktion dieses Fahrzeugs in lediglich zwei Werken, dem Stammwerk in Rüsselsheim sowie in Shanghai, scheinen die Produktionsunterschiede noch überschaubar. Dennoch allein die Tatsache, dass diese Werke auf zwei Kontinenten mit unterschiedlichen Kulturen und Ansichten liegen, führt zu zusätzlichen Herausforderungen ein einheitliches Türsystem für beide Regionen zu entwickeln.

#### 3.1 Gleichteil Strategien

Wenn wir über Gleichteil- oder Carry Over Strategien sprechen, so lassen sich diese in unterschiedliche Bereiche unterteilen. Bei Corporate Common Components (CCC) handelt es sich um weltweit verfügbare, standardisierte Komponenten wie z.B. Schlosser, Innen- und Außengriffe, Scharniere und Stecker. Diese Teile sind programmübergreifend und werden kontinuierlich weiterentwickelt, optimiert und in sogenannten Generationen für den Einsatz freigegeben. Über diese Komponenten hinaus konnte im Insignia GS erreicht werden mehrere Styling abhängige Bauteile gleich zu halten. Eine dieser Komponenten ist der Außenspiegel. Mit dem Corporate Mirror ist es der Fachabteilung Türen in Rüsselsheim gelungen einen Einheitsspiegelkopf für die europäischen Programme zu entwickeln und in der Organisation zu platzieren. Während der Außenspiegel im Astra K bereits als schultermontierte Version auf dem Markt existiert, geht der gleiche Spiegelkopf nun als Dreiecksspiegel mit dem Insignia in Produktion. Mit der Freigabe des Corporate Mirrors auch für weitere Modelle werden hohe Volumina erzeugt und somit sowohl Produkt- als auch Werkzeugkosten reduziert. Ein weiteres besonderes Highlight ist der hohe Gleichheitsgrad der Türsysteme zwischen den drei Modelvarianten. Während es nicht unüblich ist, dass die Vordertüren identisch sind für Fließheck, Stufenheck und Caravan gelang es auch hier die Hintertüren bis auf Höhe der

Brüstung unverändert zu lassen. Anders als im auslaufenden Insignia verwenden nun alle Karosserievarianten die gleiche Fensterstegposition. Das ist die erste minimale Voraussetzung um sich sowohl den Fensterheber als auch die inneren Schachteile teilen zu können. Darüber hinaus tragen alle Modelle die gleiche Türverkleidung und Außenschachteile. Letzteres ist nicht einfach umzusetzen, da durch die verschiedenen Neigungswinkel der türseitigen C-Säule Unterschiede in der Fuge beim Übergang in die karosserieseitige Hochglanzblende zu sehen sind. Die Anpassung der Dachlinie für den Sports Tourer erfolgte erst nach der B-Säulenblende wodurch diese ebenfalls lediglich eine Teilenummer benötigt. Abbildung 7 verdeutlicht wie klein der Bereich der Modifikationen der Türsysteme ist.

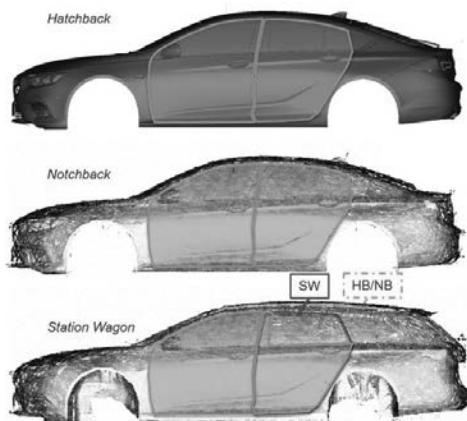


Bild 7: Gleichteilstrategie zwischen den Türsystemen des Insignia GS

### 3.2 Der Türrohbau

Der aktuell auslaufende Insignia verfügt über ein Frame Under Glass System der ersten globalen Generation. Kernstück ist der Rohbau in Tailor Welded Blank Bauweise mit einem mehrteiligen Fensterrahmen und einem Gesamtgewicht von 17,66kg in der Vordertür und 13,15kg in der Hintertür. Seither wurde dieses Türsystem stetig weiterentwickelt, so dass die Komplexität deutlich vereinfacht werden konnte. Beim Rohbau des neuen Insignia GS handelt es sich ebenfalls um eine Stahltür in Schalenbauweise inzwischen jedoch mit einem Gerippe mit einer konstanten Materialstärke von 0,7mm und lokalen Türbrems- bzw. Scharnierverstärkungen. Kennzeichnend für die aktuelle Frame Under Glass Generation ist der einteilige Rahmen mit einer Wandstärke von lediglich 0,65mm. Trotz der im Vergleich zum Vorgänger teilweise stark reduzierten Wandstärken konnten alle Anforderungen wie z.B. Rah-

mensteifigkeit, Überzug oder Absenkung erreicht werden. Mit einem Rohbaugewicht von jetzt nur noch 15,36kg in der Vordertür und 12,24kg in der Hintertür konnte somit eine Gewichtsreduzierung von etwa 13% bzw. 7% erzielt werden.

Beim Fügeverfahren setzt GM weiterhin auf traditionelles Widerstandspunktschweißen und nutzt somit weiterhin die bestehende aber optimierte Schweißzelle.

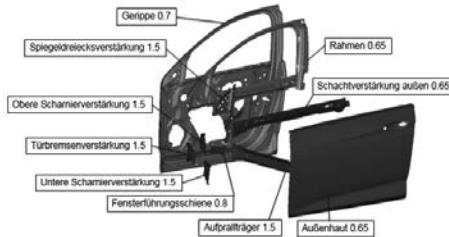


Bild 8: Insignia Rohbau Vordertür

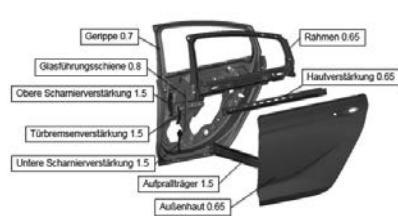


Bild 9: Insignia Rohbau Hintertür

Ein weiterer großer Vorteil vom mehrteiligen zum einteiligen Fensterrahmen ist die Reduzierung von konstruktionsbedingten Spalten zwischen den Blechen. Während es beim Insignia I Probleme mit Windgeräuschen im Spiegelbereich gab ist die Konstruktion der neuen Generation deutlich besser in Bezug auf Luftdurchlässigkeit.

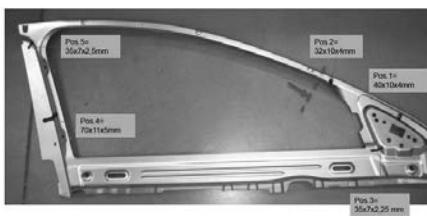


Bild 10: Akustik Tapes am Fensterrahmen



Bild 11: Ausgeschäumtes Rahmenprofil

Durch expandierende Schäume werden zudem die Hohlräume der Rahmenquerschnitte akustisch abgedichtet um den hohen Anforderungen an ein geringes Windgeräuschverhalten gerecht zu werden.

### 3.3 Das Frame Under Glass GEN4 Türkonzept

Wie bereits der Astra K und die zuvor beschriebenen Modelle der Epsilon 2 Familie verwenden auch die Türen des Opel Insignia GS das Frame Under Glass System der vierten Generation. Neben dem einteiligen Rahmen ist der Dachrahmenschnitt ein weiteres Hauptmerkmal dieses Türsystems. Durch den nach innen gelegten Flansch wurde eine wichtige Voraussetzung für einen optimalen Sichtwinkel geschaffen, industrielweit auch ohne kurze Schweißflansche für Lasernähte überaus konkurrenzfähig, siehe Abb. 12.

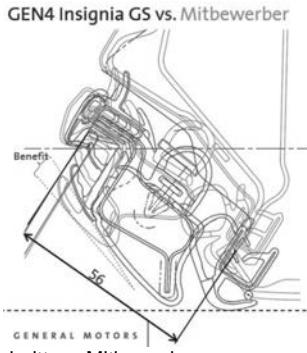


Bild 12: GM Dachrahmenschnitt vs. Mitbewerber

Ebenfalls typisch für das Frame Under Glass Konzept ist die Rahmenverkleidung, die geklappte türseitige Primärabdichtung und eine karosserieseitige Sekundärabdichtung. Die Fensterführungen sind Hybridteile aus EPDM und TPV und werden in der Basis als schwarz matt und in den höheren Ausstattungsvarianten mit montierten Aluminium Hochglanz Zierleisten angeboten. Die Kunststoffblenden sind über ein patentiertes Steckkonzept zur Fensterführung referenziert und verschraubt, so dass trotz einfacher und robuster Zusammenbauweise stets ein optimales Fugenbild zwischen Blende und Fensterführung garantiert wird. Die Vordertürblende verfügt über einen verlängerten Fensterführungskanal durch den auf eine separate Führungsschiene im Türkörper verzichtet werden kann, ohne negativen Effekt auf den Türschließklang. Die Blenden werden ebenfalls in zwei Varianten, einmal in ASA genarbt und in Hochglanz ABS+PMMA, angeboten.

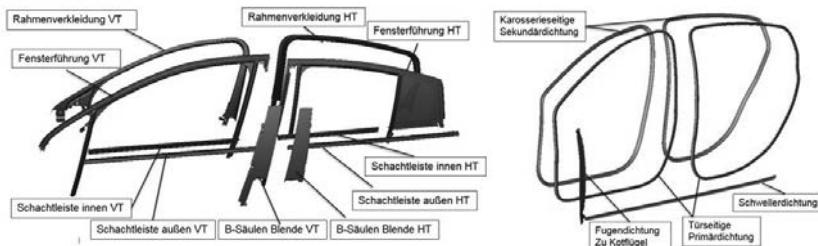


Bild 13: Insignia GS Übersicht der Dichtungsteile und Blenden

### 3.4 Sekundärflächen – Stilistisch statt technisch

Eine für den Ingenieur oft sehr unbeliebte und mühsame jedoch sehr kosteneffiziente Möglichkeit die Qualität eines Fahrzeugs zu steigern, bietet Design Quality. Bei Design Quality geht es darum, technisch wichtige Bereiche nicht nur nach funktionalen und herstellungsrelevanten Kriterien auszulegen, sondern zudem auch nach ästhetischen. Die Harmonisierung von Radien, Vermeidung von unterschiedlichen Materialien oder die weitgehend Vereinheitlichung von Fugengrößen sind nur einige Beispiele. Zeigt man hier gezielt auf einzelne Bereiche und fragt potentielle Kunden nach der Wichtigkeit dieser Details so wird man oft die Antwort bekommen, dass es keine Rolle spielt ob Fugen 3,5mm oder 5mm breit sind, sondern vielmehr das Gesamterscheinungsbild zählt. Bei Design Quality geht es um die unbewusste Wahrnehmung die man nicht oder nur sehr schwer objektiv bewerten kann. Eine in sich stimmige und harmonische Exekution erhöht die wahrgenommene Qualität, die Perceived Quality eines Produktes. Im Insignia GS wurde großer Wert auf Sekundärflächen gelegt, also Bereiche die man erst auf den zweiten Blick entdeckt. Beispielhaft wird in Abb. 14 die Gestaltung der B-Säule dargestellt. Vergleicht man die Ausführung dieses Bereichs im Vectra C, mit geraden technischen Flächenstücken verbunden durch einfache Radien, über die deutliche Verbesserung im ersten Insignia bis hin zum neuen Insignia GS so erscheint das Gesamtbild deutlich hochwertiger.

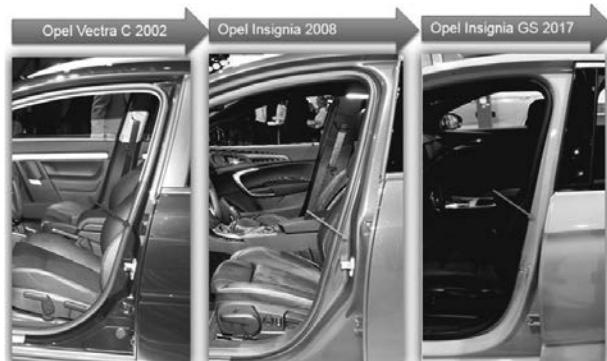


Bild 14: Fortschritt der Sekundärlächenqualität vom Vectra zum Insignia GS

#### 4. Herausforderungen bei der Entwicklung und Herstellung globaler Programme

Betrachtet man sich das Türsystem des neuen Insignia GS so stellt man schnell fest, dass es sich um eine sehr traditionelle Schalenbauweise aus Stahlblech handelt, mit den Highlights im Detail. Ist man im Entstehungsprozess nicht involviert so stellt man sich die Frage wo eigentlich die Herausforderungen liegen eine Fahrzeugtür zu konstruieren und zu bauen, die nach außen über Jahrzehnte praktisch unverändert erscheint.

Es sind in der Tat die zahlreichen Anforderungen und Ziele die im größten Teil in starken Wechselwirkungen zueinander stehen. Nur wenn es gelingt Kosten, Gewicht, Performance, Package, Design, Herstellung und strategische Ziele bestmöglich untereinander auszubalancieren, der bekommt am Ende ein gutes Produkt welches auch wirtschaftlich sinnvoll ist. Ein gutes Beispiel dafür vor welche Herausforderung das Entwicklungsteam im ITEZ Rüsselsheim gestellt wurde um für das Fahrzeug wichtige Designanforderungen zu realisieren und dennoch den Bezug zum Schwesterfahrzeug Chevrolet Malibu nicht zu verlieren lässt sich an der Vordertür beschreiben.

Stoltz beschreibt Mark Adams, Vice President GM Design, in seinem Insignia Grand Sport Präsentationsvideo die lang gestreckten Proportionen des Vorderwagen mit einer schönen in der Tür verlaufenden Linienführung bis hin zum Heck. Um diese lang erscheinende Front zu erreichen musste der Kotflügel möglichst gestreckt werden.



Bild 15: Herausfordernde Designlinien

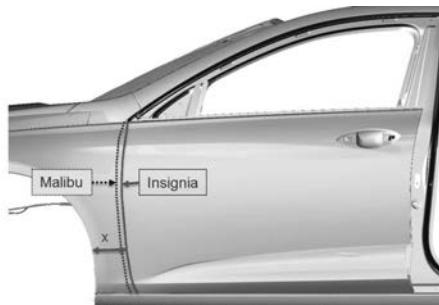


Bild 16: Verlagerung der Fuge Vordertür

Demnach war der Wunsch groß den Abstand zwischen Radlauf und der vorderen Türfuge zu maximieren, in Abb. 15 & 16 mit x angedeutet. Um die Fuge möglichst weit nach hinten zu legen musste die Scharnierachse, ausgehend vom Basisfahrzeug Malibu, um 22mm nach hinten verschoben werden. Da gewisse Bereiche im Vorderwagen/ Seitenteil Stirnwand übernommen werden sollten und vor allem das Einstiegsmaß nicht verschlechtert werden sollte, durfte der karosserieseitige Dichtungsflansch nicht mitverschoben werden. Folglich ergab sich daraus ein deutlich schärferes Verhältnis von Gerippe Grundfläche zur Fuge wodurch die Konstrukteure gezwungen waren die Stirnflächen mit deutlich steileren Ziehschrägen auszulegen.

Um den Insignia GS sportlicher und agiler im Vergleich zum Chevrolet Malibu aussehen zu lassen wurde zudem die Scheibentonne um die Brüstungslinie im oberen Bereich nach innen geschwenkt. Der Scheibenablauf und somit auch der Rammschutzträger wurden im Türkörper um ca. 14mm nach außen getrieben, siehe Y-Schnitt A-A in Abb 18.

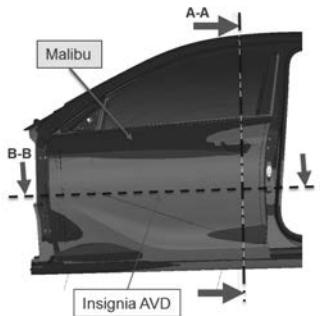


Bild 17: Vergleich Türflächen Insignia vs. Malibu

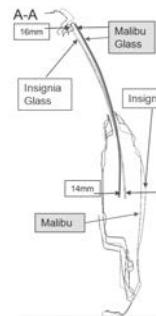


Bild 18: X-Schnitt Insignia vs. Malibu

Zu all dem kamen noch die wichtigen Designelemente mit scharfen Radien, wie insbesondere die berühmte Sichel im unteren Bereich der Außenhaut, siehe Abb. 15, mit den Pfeilen angedeutet. All diese Einflüsse führten in der frühen Entwicklungsphase (AVD-Phase) zu einer Türtiefe von etwa 170mm. Mit den zuvor beschriebenen deutlich steileren Ziehschrägen in Verbindung mit den markanten Formen in der Außenhaut und einer Blechstärke von 0,7mm ist ein Türgerippe mit dieser Ziehtiefe nicht herstellbar. Um eine robuste und kosten-effiziente Herstellung in allen GM Presswerken zu garantieren werden alle Stahl-Türgerippe auf eine Fertigung in vier Operationen ausgelegt, wovon nur eine formgebend ist. Nach etlichen Besprechungen einigten sich schließlich alle betreffenden Parteien, dass das Endprodukt analog zur Tür des Schwesternfahrzeugs eine maximale Ziehtiefe von 154mm nicht überschreiten darf.

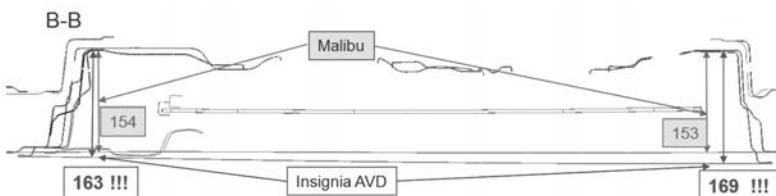


Bild 19: Vergleich Türflächen Insignia vs. Malibu

Insbesondere die Stirnseite bereitete im Bereich der Scharnierflächen, die mit lediglich 3° Grad zur Ziehrichtung geöffnet sind, große Probleme. Das Öffnen dieser Flächen würde den gewollten Kraftfluss in die Tür beim Türüberzug stark beeinflussen und ist somit seitens der Fachabteilung unerwünscht. Um eine herstellbare Tür zu erreichen und dennoch das Designthema zu realisieren wurde das Türpackage stark ausgereizt in dem man die Tiefe von innen abbaute. Ausgehend von den Carry Over Dichtungsflanschen des Malibu wurde dieser schließlich um mehrere Millimeter nach außen verlagert. Wie auch schon im VDI Beitrag von 2015 zum Thema *Schlank Türen* präsentiert handelt es sich dabei um eine für den Kunden sehr nützliche Weise zur Reduzierung der Türtiefe da man so den Innenraum vergrößert.



Bild 20: Ziehprobleme im Scharnierbereich

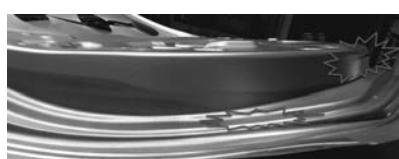


Bild 21: Risse im Gerippe bei Herstellung

Schritt für Schritt zeigten die Simulationen immer bessere Ergebnisse für die Ziehfähigkeit des Gerippes. Eine weitere entscheidende Rolle spielte zudem die Qualität der eingesetzten Stahlblech Coils in den Werken. Während in Europa überwiegend geölte Bleche in die Presswerke geliefert werden, kommen in dem betreffenden chinesischen Werk, in dem der Stufenheck Buick gebaut werden soll, ungeölte Coils zum Einsatz. Daraus ergibt sich ein wesentlich schlechterer Reibwert zwischen dem Presswerkzeug und dem Blech, der die Ziehfähigkeit erheblich verschlechtert. Entsprechend musste dieser schlechtere Faktor in der Simulation berücksichtigt werden. Solche und andere regionalen Unterschiede führen im letzten Detail immer wieder zu unterschiedlichen Problemen in der Fertigung und Montage. Was im einen Werk problemlos funktioniert verursacht in einem anderen Werk große Probleme auch wenn es sich um exakt die gleiche Konstruktion handelt. Die Herausforderung für den Projektgenieur ist es dabei mit allen Werken zu kommunizieren und das Optimum für alle zu schaffen. Zusammen fassend bleibt eine globale Entwicklung eine große Herausforderung, die Gründe weichen von einer hoch technologischen Entwicklung ab, jedoch ist es nicht weniger spannend ein solches Programm zu begleiten.

[1] Interner Opel Bericht zum Insignia Grand Sport

# Aufbau einer Aluminiumtür mittels Reibpunktschweißen

M.Sc. **Markus Thomitzek**, Dipl.-Ing. **Christoph Lüdecke**,  
Dr.-Ing. **Daniel Keil**, Volkswagen AG, Wolfsburg

## Kurzfassung

Aluminium ist in der Automobilindustrie immer mehr die bevorzugte Lösung, wenn es darum geht den Leichtbau im Premium-Segment voranzutreiben. Fügeverfahren wie das Halbhohlstanznieten, welches zurzeit zur Verbindung von Aluminiumblechen eingesetzt wird, schränken den Konstrukteur in seiner gestalterischen Freiheit ein. Dazu kommt der Mehraufwand durch zusätzliche Fügeelemente in der Produktion und Logistik.

In diesem Beitrag wird das Reibpunktschweißen vorgestellt. Dabei handelt es sich um ein elementloses Fügeverfahren auf Basis des Rührreibsenschweißens.

## Abstract

Aluminum is the go-to-material for the automotive industry to improve lightweight design for premium class cars. However, freedom of design can be limited by current joining technologies for aluminum parts such as self-piercing riveting. Furthermore, additional resources are needed to handle the rivets in production and transportation. This article introduces a more flexible joining technology: Friction spot welding.

## 1. Einleitung

Mit dem neuen Touareg macht Volkswagen seinen Premium-SUV fit für die Zukunft. Das Thema „Leichtbau“ wurde bei der Entwicklung der Karosserie konsequent verfolgt, um den gestiegenen Anforderungen an die neue Generation gerecht zu werden. Das Resultat ist eine Karosserie in Multimaterialbauweise basierend auf dem modularen Längsbaukasten. Als konstruktive Neuheit werden die Türen des Touareg erstmals ausschließlich aus Aluminium aufgebaut. Dies stellte die Entwicklung vor neue Herausforderungen. Trotz des reduzierten Gewichts, sollte diese Tür alle Anforderungen an eine Tür erfüllen, die sich durch Langlebigkeit, guten Funktionalitäten auch durch ein hohes Maß an Komfort auszeichnet. Aufgrund der Fahrzeuggröße, und damit der Größe der Türen, wurde neben dem Öffnungs-

und Schließkomfort ein Fokus auf die Aeroakustik gelegt. Insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten bleibt der Geräuschpegel für die Fahrzeuginsassen daher stets niedrig. In der Konstruktionsphase mussten im Vergleich zu den Stahltürnen zwei wesentliche Faktoren neu bedacht bzw. berücksichtigt werden. Das war zum einen die Herstellbarkeit der Aluminiumpressteile. Aufgrund der geringeren Ziehfähigkeit von Aluminium verglichen mit den bisher eingesetzten Stählen musste die Formgebung der Teile mehrfach optimiert werden. Letztlich gelang es, das markante Design des neuen Touareg in Verbindung mit hohen Ziehtiefen umzusetzen. Bild 1 liefert einen Blick auf das Design des neuen Volkswagen Touareg.



Bild 1: Volkswagen T-Prime Concept GTE - Designgrundlage für den neuen Touareg

Zum anderen musste das Fügeverfahren im Vergleich zum Vorgänger geändert werden. Während die Türen der Vorgängermodelle des Touareg aus verschiedenen Stahlwerkstoffen bestehen, werden für die kommende Serie Türen aus Aluminium präferiert. Der Werkstoffwechsel hat zur Folge, dass das sonst aus wirtschaftlichen Gründen bevorzugte Widerstandsschweißen nicht eingesetzt wird, da es im Bereich des Widerstandsschweißens (RP-Schweißen) von Aluminium in der Großserie immer noch Herausforderungen gibt. Wesentliche Herausforderungen des RP-Schweißens von Aluminium sind der erhöhte Kappenverschleiß durch Anlegierung und mögliche Korrosionseffekte durch Kupferrückstände auf dem Schweißpunkt bedingt durch die Elektrodenkappe. Vor diesem Hintergrund kommen in der neuen Generation der Touareg Tür drei unterschiedliche Fügeverfahren und deren Kombina-

tion zum Einsatz: mechanisches Fügen (Halbhohlstanznieten), meist in Kombination mit struktureller Klebtechnik und das Laserstrahlschweißen.

Der Hauptteil der Verbindungen wird durch das Halbhohlstanznieten in Kombination mit Klebstoff realisiert. Hierbei handelt es sich nach DIN 8593 um Fügen durch Umformen und im speziellen um Fügen durch Nietverfahren. Wie in Bild 2 dargestellt, werden während des Fügevorgangs die zu fügenden Blechwerkstoffe als auch das Hilfsfügeelement, der Halbhohlstanzniet, plastisch verformt. Die formschlüssige Verbindung ergibt sich somit aus der Ausbildung des Hinterschnitts im matrizenseitigen Blech und aus der Kopfform des Hilfsfügeelementes.

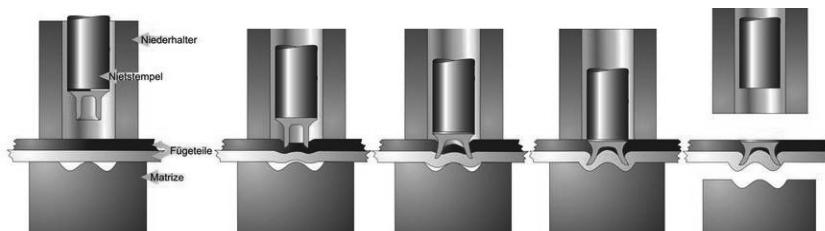


Bild 2: Prozessdarstellung des Halbhohlstanznietens nach [1]

Einschränkend ist zu bemerken, dass für das Halbhohlstanznieten aufgrund des Hilfsfügeelementes eine Blechdickenabhängigkeit besteht. Des Weiteren gibt es Einschränkungen im Bereich der Fügerichtung, da in sehr dünnen matrizenseitigen Blechen der für die Verbindungsfestigkeit notwendige Hinterschnitt nicht ausreichend ausgebildet werden kann.

Neben dem Halbhohlstanznieten als mechanisches Fügeverfahren besteht auch die Möglichkeit mithilfe eines Reibschweißprozesses eine stoffschlüssige Verbindung zwischen den Aluminiumblechen herzustellen. Reibschweißen zählt zu den Pressschweißverfahren. Die nötige Energie wird in Form von Druck und Reibungswärme eingebracht. Im Folgenden wird das Reibpunktschweißen als punktförmige Variante des Rührreibschweißens näher betrachtet. Der Prozessablauf ist in Bild 3 dargestellt. Es handelt sich um eine punktförmige Variante des Rührreibschweißens, bei dem ein modulares Werkzeugkonzept genutzt wird, um nach Abschluss der Schweißung eine ebene Blechoberfläche zu erhalten. Das Werkzeug besteht aus einem Niederhalter, einer Hülse und einem Stift. Zu Beginn des Prozess werden die Bleche mit dem Niederhalter eingespannt. Hülse und Stift fahren dann rotierend auf die Blechoberfläche und erzeugen dort Reibungswärme. Durch die Erwärmung nimmt die Fließgrenze des Materials ab. Es plastifiziert und lässt sich somit leichter verformen. Die Bildung einer

schmelzflüssigen Phase findet über den gesamten Prozessablauf nicht statt. Durch die Plastifizierung des Materials kann die Hülse im zweiten Prozessschritt in die Bleche eindringen und die Materialien miteinander verrühren. Gleichzeitig fährt der Stift zurück, um das dabei verdrängte Material aufzunehmen. Im letzten Schritt wird die Hülse aus dem Material zurückgezogen und der Stift füllt den Hohlraum mit dem zuvor aufgenommenen Material wieder blecheben auf. Während des gesamten Prozesses wird eine Gegenlage benötigt, die den auftretenden Kräften entgegenwirkt.

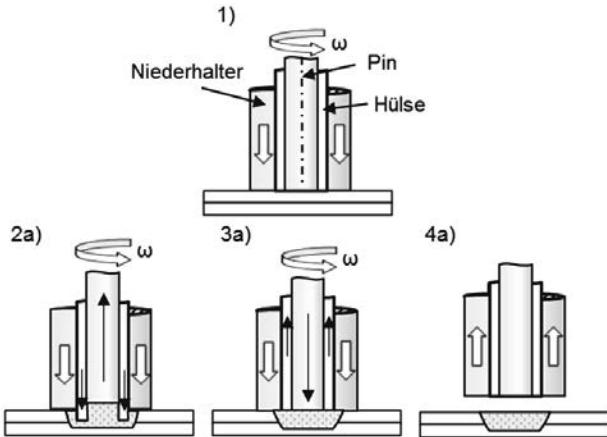


Bild 3: Schematischer Prozessablauf des Reibpunktschweißens von zwei Blechen nach [2]

## 2. Experimentelle Untersuchungen

Im Zuge einer Machbarkeitsuntersuchung wurde das Reibpunktschweißen zum Aufbau eines Prototypenbauteils für ein in Großserie gefertigtes Fahrzeugs eingesetzt. Im Fokus der Untersuchung stand dabei die Einhaltung der geforderten mechanisch-technologischen Eigenschaften. Im ersten Schritt wurden daher im Labormaßstab Schweißungen von Probeblechen hergestellt. Anschließend erfolgten die Prüfung der Verbindungsfestigkeiten und die Analysen der Materialmikrostruktur im Fügebereich.

### 2.1 Versuchswerkstoffe

Die Touareg Tür wird vollständig aus Aluminiumlegierungen aufgebaut die nach DIN EN 573 einer Knetlegierung mit den Hauptlegierungselementen Magnesium und Silizium (6000er Serie) entsprechen. Es handelt sich hierbei um aushärtbare Aluminiumlegierungen, die für den Automobilbau besonders geeignet sind. Im Anlieferungszustand besitzt der Werkstoff

eine gute Umformbarkeit aufgrund geringer Festigkeit und hoher Bruchdehnung und kann somit besser in Form gebracht werden. Nach einer Wärmebehandlung, wie sie im Lackierprozess stattfindet, kommt es zur Ausscheidungshärtung. Diese geht mit einer Festigkeitssteigerung einher.

In der Tür kommen zwei verschiedene Varianten dieser Legierung zum Einsatz. Diese werden im Folgenden mit Werkstoff a und Werkstoff b bezeichnet. Die chemische Zusammensetzung der Werkstoffe und die mechanischen Kennwerte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung und mechanisch-technologische Kennwerte der Versuchswerkstoffe

| Werkstoff   | Chemische Analyse [%] |      |       |       |          |       |       |       |      | R <sub>p0,2</sub> | R <sub>m</sub> | A <sub>80mm</sub> |
|-------------|-----------------------|------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|------|-------------------|----------------|-------------------|
|             | Si                    | Fe   | Cu    | Mn    | Mg       | Cr    | Zn    | Ti    | Al   | [MPa]             | [MPa]          | [%]               |
| Werkstoff a | ≤1,50                 | ≤0,5 | ≤0,25 | ≤0,80 | ≤1,00    | ≤0,15 | ≤0,30 | ≤0,20 | Rest | ≥160              | ≥220           | ≥14               |
| Werkstoff b | 0,5-1,5               | ≤0,5 | ≤0,25 | ≤0,20 | 0,25-0,8 | ≤0,20 | ≤0,30 | ≤0,15 | Rest | ≥200              | ≥240           | ≥12               |

## 2.2 Versuchsdurchführung

Sowohl die Vorversuche als auch der Aufbau der Tür erfolgen auf der Reibpunktschweißmaschine RPS100 des Herstellers Harms & Wende.

Zurzeit existiert keine Norm zur Prüfung reibpunktgeschweißter Verbindungen. Ersatzweise wird die Probengeometrie aus der DIN EN ISO 14273 zur Prüfung widerstandspunktgeschweißter Verbindungen verwendet [3]. Die Bleche werden daher auf eine Geometrie von 45 mm x 105 mm geschnitten und mit 35 mm Überlappung geschweißt. Jede Schweißung wird mit drei Replikationen durchgeführt. Von den insgesamt vier Verbindungen werden anschließend jeweils drei einer Scherzugprüfung unterzogen, um die Reproduzierbarkeit der Verbindung abzubilden. Die verbleibende Probe wird als Mikroschliff präpariert und analysiert.

Die Parameter für die Durchführung der Versuche werden so gewählt, dass neben einer anforderungsgerechten Verbindung zwischen den Blechen ebenfalls die Schweißzeit berücksichtigt wird. Die Auswahl der verbleibenden Parameter wie Drehzahl und Einschweißtiefe werden auf Basis vorangegangener Untersuchungen zum Reibpunktschweißen von Aluminium festgelegt. Von den in der Tür vorkommenden Verbindungen werden vier Verbindungen ausgewählt, von denen jeweils Scherzugproben und Mikroschliffe erstellt werden. Die Schliffe dienen zur Überprüfung der Anbindung und sollen eventuelle Fehler im Gefüge sichtbar machen. Nach der Optimierung der Schweißparameter für die ausgewählten Verbindungen der Tür liegen die Schweißzeiten zwischen 1,4 und 1,9 Sekunden.

Tabelle 2: Übersicht der geprüften Fügeverbindungen

| # | Blechdicke 1 | Blechdicke 2 | geschweißt | geprüft |
|---|--------------|--------------|------------|---------|
| 1 | 1,2          | 2,2          | ✓          | ✓       |
| 2 | 1,2          | 1,2          | ✓          | ✓       |
| 3 | 1,5          | 2,2          | ✓          | ✓       |
| 4 | 1,5          | 1,5          | ✓          | ✓       |

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Zur Einschätzung der Verbindungen werden zunächst die Ergebnisse der mechanischen Prüfungen betrachtet, die an Proben im Labormaßstab durchgeführt wurden. Die Resultate der Scherzugprüfung an verschiedenen Blechdickenkombinationen sind in Bild 4 dargestellt. Die Ergebnisse sind abhängig von den verwendeten Blechdicken und liegen bereits bei der Kombination aus zwei 1,2 mm dicken Blechen durchgängig oberhalb von 4,5 kN. Bei Verbindung #3 werden 1,5 mm Bleche mit 2,2 mm Blechen gefügt. Die erreichten Festigkeiten liegen im Bereich von 6,5 kN.

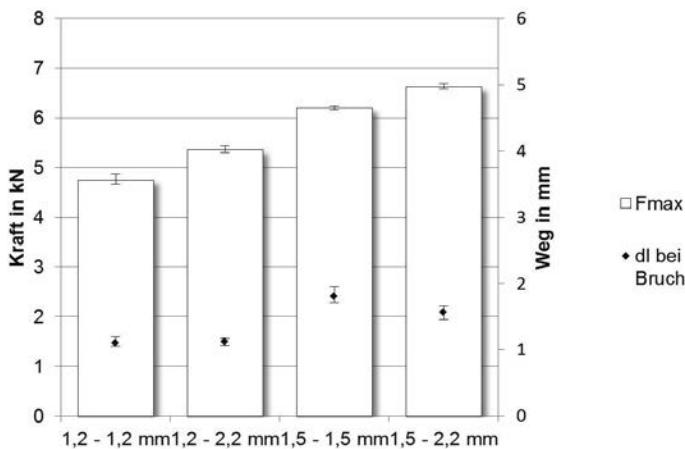


Bild 4: Scherzugfestigkeiten und Traversenweg bis zum Bruch für reibpunktgeschweißte Verbindungen an Blechdickenkombinationen der Touareg Tür

Der Weg bis zum Bruch der Probe liegt zwischen 1,5 und 2 mm, was für ein sehr duktiles Versagen der Verbindung spricht. Die Bruchbilder bestätigen diese Annahme. Die Auswer-

tung der Bruchbilder ergibt, dass die Verbindungen ausnahmslos ausgeknöpft sind und der Bruch somit im Grundwerkstoff lag. Bei Kombination unterschiedlicher Blechdicken knöpfte immer das dünneren Blech aus, während der Bruch bei Schweißungen identischer Blechdicken sowohl im Oberblech oder im Unterblech auftrat. Die Fehlerindikatoren in der Grafik zeigen die Spannweite zwischen höchstem und geringstem erreichten Festigkeitswert einer Verbindung an. Da diese über alle Kombinationen hinweg sehr gering ist, kann somit eine hohe Reproduzierbarkeit für reibpunktgeschweißte Proben nachgewiesen werden.

Die Anbindung zwischen den Blechen wird im Querschliff durch den Schweißpunkt untersucht. Ein typischer Querschliff einer Reibpunktenschweißung von zwei Aluminiumblechen ist in Bild 5 dargestellt. Es handelt sich um Blechdickenkombination #4, in der ein 1,5 mm Blech mit einem 2,2 mm Blech gefügt ist. Im Schliff lassen sich an der Oberfläche der Schweißung zwei kleine Einkerbungen erkennen. Diese können zwischen Hülse und Niederhalter entstehen und markieren somit den linken und rechten Rand des Schweißpunktes. Unterhalb dieser Einkerbungen lässt sich ebenfalls der Übergang erkennen, zwischen dem Bereich der von der Hülse verrührt wurde und der sich anschließenden thermomechanisch beeinflussten Zone. In der Detailansicht ist zu erkennen, dass der Werkstoff des Unterbleches in diesem Bereich hakenförmig in das Oberblech gerührt wurde. Dieser Effekt entsteht durch das geringfügige Eintauchen der Hülse in das Unterblech und das anschließende zurückziehen. Die ursprüngliche Trennungsebene zwischen den Werkstoffen ist im Schweißpunkt als gezackte Linie im Einflussbereich von Hülse und Stift zu erkennen. Bei hoher Vergrößerung lässt sich erkennen, dass es sich dabei um Mikroporositäten sowie Reste der Oxydschicht im Gefüge handelt. Ein negativer Einfluss auf die Festigkeit der Verbindung ließ sich nicht nachweisen.

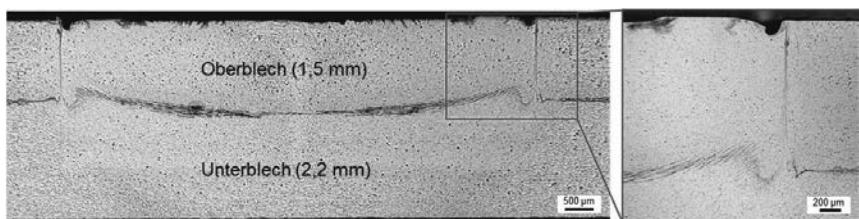


Bild 5: Schliffbild der Verbindung #4 mit der Blechkombination 2,2 mm (Unterblech) und 1,5 mm (Oberblech)

Die im Scherzugversuch ermittelten Festigkeiten entsprechen den geforderten Werten. Im Schliffbild können keine Anbindungs- oder Plastifizierungsfehler identifiziert werden. Die genutzten Parameterkombinationen werden daher beibehalten und zum Aufbau der Tür ge-

nutzt. In Bild 6 ist eine Detailansicht der Türstruktur dargestellt. Auf dem Ausschnitt ist neben Punktoberfläche und Punktrückseite auch der Klebstoffauflager zwischen den geschweißten Bauteilen zu erkennen. Der Klebstoff wurde im gesamten Aufbau zusätzlich zu den Schweißpunkten aufgetragen. Die Punktoberfläche ist annähernd blechbeben. Die Rückseite der Schweißpunkte weist in der hier dargestellten Verbindung keinerlei Beeinflussungen durch den Schweißprozess auf. Dies resultiert aus der hohen Blechdicke (2,2 mm) des Unterbleches. Bei einer Blechdicke des Unterbleches von 2 mm oder mehr ist daher nur eine sehr geringfügige bis gar keine Beeinflussung der Schweißpunkttrückseite festzustellen.

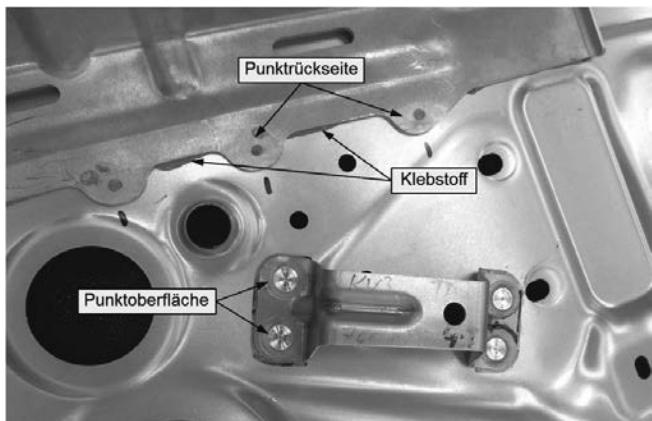


Bild 6: Ausschnitt der mittels Reibpunktschweißen aufgebauten Touareg Tür

Nach dem Aufbau wurde die Türstruktur der gleichen Untersuchung zur Türabsenkung und der Rahmensteifigkeit unterzogen die standardmäßig auch an der Serientür durchgeführt wird. Wie bereits aus den Festigkeitsuntersuchungen zu schließen ist, liegen die Ergebnisse dabei auf einem leicht verbesserten Niveau (vgl. Bild 7).

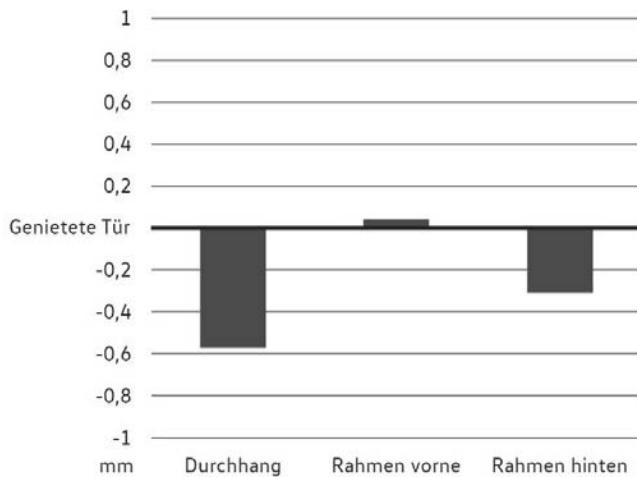


Bild 7: Vergleich zwischen Halbhohlstanznieten und Reibpunktschweißen. Die Nulllinie beschreibt das Niveau der genieteten Tür. Die Säulen beschreiben den Unterschied zur reibpunktgeschweißten Tür.

### 3. Gestalterische Potenziale

Der Aufbau der Prototypentür mittels Reibpunktschweißen und die anschließenden Versuche haben gezeigt, dass die Funktionalität der Tür mindestens gleichwertig mit der mechanisch gefügten Tür ist.

Zur Bewertung der konstruktiven Potenziale wurde ein angepasstes Berechnungsmodell aufgebaut, welches die konstruktiven Vorteile des Reibpunktschweißverfahrens berücksichtigt. Durch den Einsatz von Dreiblechverbindungen konnte die Funktionalität der Tür verbessert werden. Als Beispiel wird im Folgenden die Anbindung des Rahmenteils an das Türinnenteil im B-Säulenbereich beschrieben.

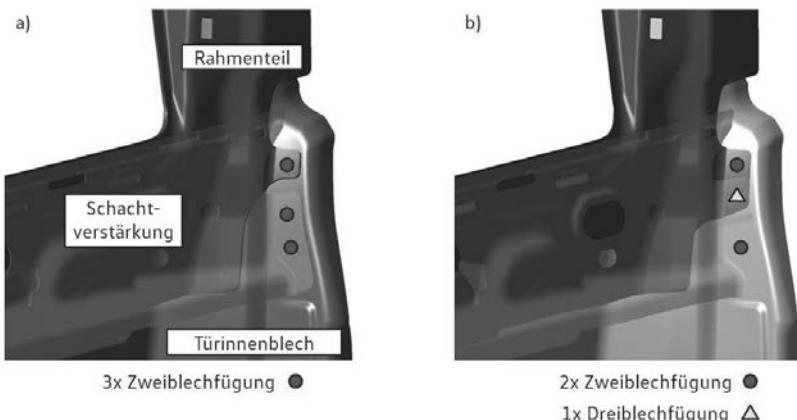


Bild 8: Rahmenteilanbindung mittels Hohlstanznieten a) und Reibpunktschweißen b)

In Bild 8 sind die Anordnung der Bauteile sowie die Fügepunkte dargestellt. Durch das Hohlstanznieten werden drei Zweiblechverbindungen benötigt (siehe Bild 8a). Wobei die zur Verfügung stehende Anbindungsfläche auf dem Türinnenteil zwischen dem Rahmenteil und der Schachtverstärkung aufgrund des Nietverfahrens aufgeteilt werden muss. Der Zugang für die Anbindungslasche des Rahmenteils muss durch einen vergrößerten Ausschnitt in der Schachtverstärkung realisiert werden. Dies beeinträchtigt zum einen die Steifigkeit der Verstärkung. Zum anderen ist nur wenig Platz für die Lasche des Rahmenteils, sodass diese relativ kompakt ausgeführt werden muss. Durch diese filigrane Geometrie und die engen Beschnitte können bei Belastung höhere Spannungsspitzen auftreten als bei der in Bild 8b) gezeigten Variante mit Reibschweißpunkten. Durch das Reibpunktschweißen ist es möglich für das Rahmenteil einen zusätzlichen Fügepunkt zu generieren. Dafür wird die Fügefläche des Rahmenteils in z-Richtung nach unten erweitert. Eine lokale Erhöhung und Erweiterung der Fügefläche in der Schachtverstärkung erzeugt dann eine Überlappung mit dem Rahmen teil. An dieser Stelle zeigen sich klar die Vorteile des Reibpunktschweißens: Mehrblechver bindung bei freier Materialdickenkombination. Das Ergebnis ist eine Verringerung der Deformation um 3,2 % im hinteren Fensterrahmen.

Darüber hinaus führt eine weitere Dreiblechpunktverbindung zwischen Scharnierverstärkung, Schachtverstärkung und Türinnenteil zu einer Reduzierung des Türdurchhangs um 4,9 %. Die jeweiligen Vergrößerungen der Fügeflächen in den Bauteilen für die Dreiblechverbindungen werden durch den Wegfall der Niete in der gesamten Tür kompensiert.

Des Weiteren ermöglichte es die funktionsgerechte Wahl der Materialdickenkombination die Wandstärken der Schachtverstärkung und einer weiteren Strebe um 0,3 mm bzw. 0,2 mm zu reduzieren. Am Ende kann das Türgewicht durch die beschriebenen Maßnahmen bei gleichzeitiger Verbesserung der Türeigenschaften um 2,2 % gesenkt werden.

#### **4. Zusammenfassung und Ausblick**

In den vorangegangenen Abschnitten wurde das Reibpunktschweißen als alternatives Fügeverfahren zum Aufbau einer Aluminiumtür vorgestellt. Verglichen mit dem Halbhohlstanznieten bietet diese Technologie dem Konstrukteur größere gestalterische Freiheiten bei der Entwicklung im Karosseriebau. Der Aufbau einer Touareg Tür mit diesem Verfahren zeigt, dass das Reibpunktschweißen eine Alternative zum Hohlstanznieten darstellt. Die Eigenschaften der Tür liegen trotz unterschiedlicher Fügeverfahren auf ähnlichem Niveau. Der Aufbau eines angepassten Berechnungsmodells zeigt, dass die zusätzlichen konstruktiven Freiheiten es ermöglichen sowohl Funktion als auch Gewicht der Tür zu verbessern. Darüber hinaus bringt die Reduzierung der Fügeparameter und der Nietzangenvarianten prozessuale Vorteile mit sich.

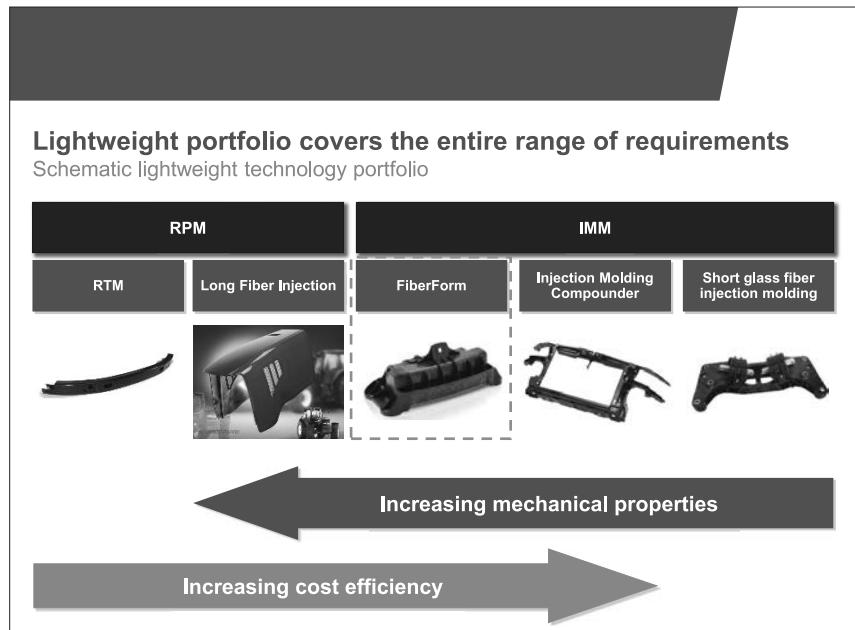
Die Schwerpunkte der Weiterentwicklung des Fügeverfahrens sollten sich auf die Großserientauglichkeit des Verfahrens konzentrieren. Hierbei spielt unter anderem die Standzeit des Werkzeugs eine entscheidende Rolle. Nur wenn es gelingt, die Reibsenschweißwerkzeuge kostengerecht zu betreiben, können die Potentiale des Verfahrens genutzt werden.

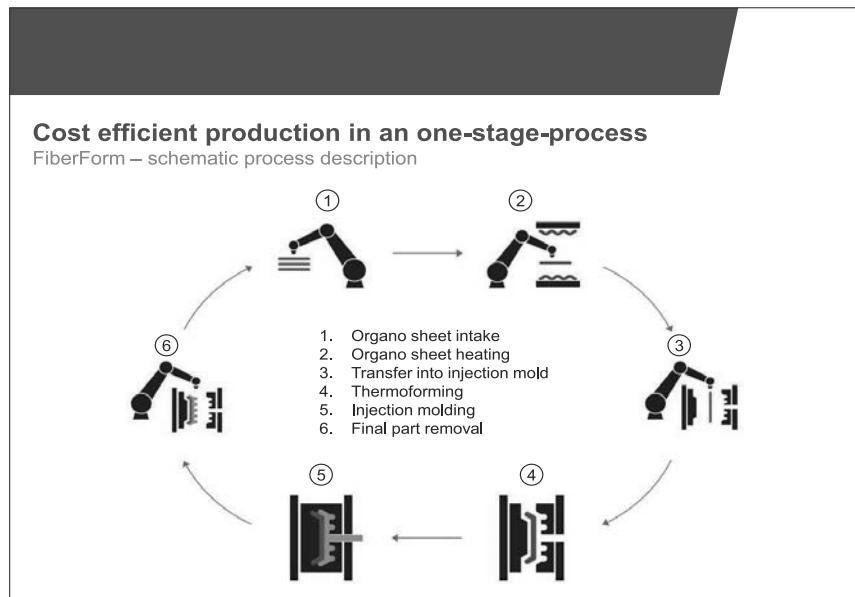
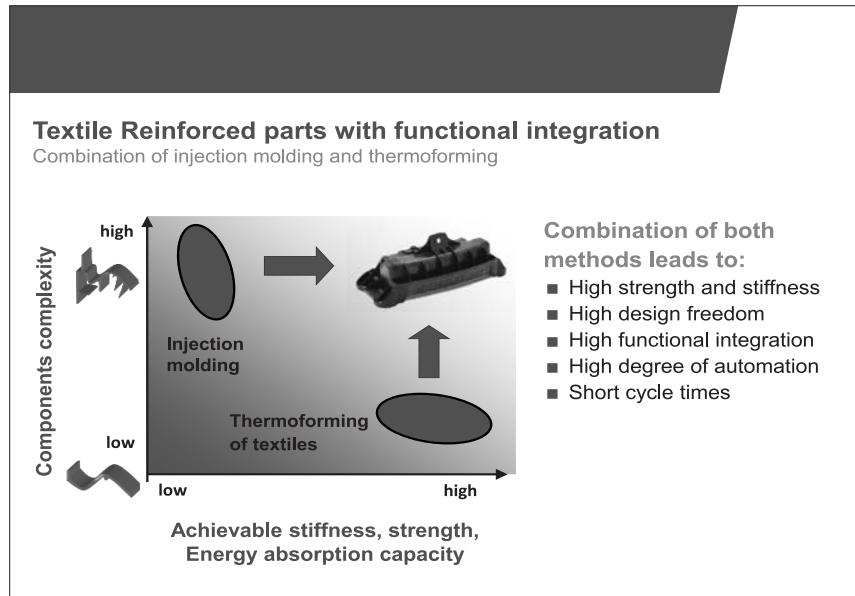
## Literaturverzeichnis

- [1] Steinhilper, W.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 1 – Grundlagen der Berechnung und Gestaltung von Maschinenelementen. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag 2008
- [2] Campanelli, L. C.; Suhuddin, U. F. H.; Antonialli, A. I. S.; dos Santos, J. F.; Alcântara, N. G. de; Bolfarini, C.: Metallurgy and mechanical performance of AZ31 magnesium alloy friction spot welds. Journal of Materials Processing Technology. S. 515–521 (2013)
- [3] Deutsche Institut für Normung e.V.: EN ISO 14273: Probenmaße und Verfahren für die Scherzugprüfung an Widerstandspunkt-, Rollennaht- und Buckelschweißungen mit geprägten Buckeln (März 2002)

## Door module carriers – Large-scale production with FiberForm

**Stefan Fenske**, KraussMaffei Technologies GmbH, München;  
**Dr. Mesut Cetin**, KraussMaffei Automation GmbH, Schwaig

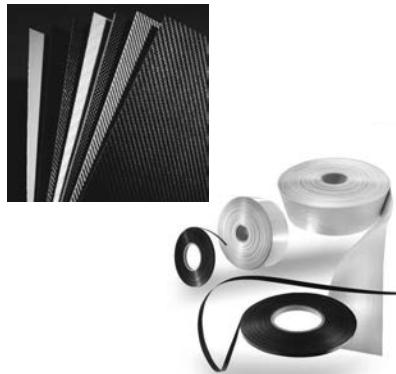




## Thermoplastic laminates offer many opportunities

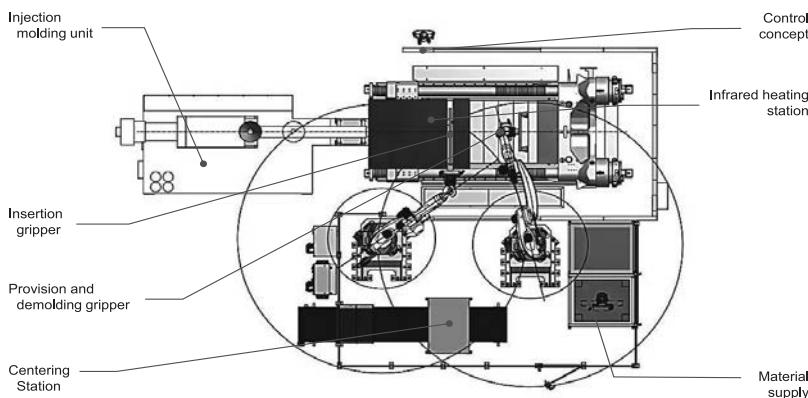
Materials and set-up

- Composite sheet based on a thermoplastic matrix
- Reinforcement is a...
  - woven fabric (organo sheets)
  - or an unidirectional fabric (UD-Tape)
- Local or continuous fiber reinforcement
- Various thermoplastic matrix systems (PP, PA, PPS, PEI, PEEK, ...)
- Different fibrous reinforcements (glass, carbon, aramid or mixed forms)
- optimized design for each specific application (fiber orientation, layer structure, ...)



Source: left: Bond-Laminates GmbH, right: Sabic

## Door module carrier – Tour around the production cell



## Infrared heating station

Simplified FiberForm process: the new generation of heating up

### ■ Reduced rejects

Preheating program for shortened start-up processes

### ■ Uniform heating up

Synchronous heating up of the individual heating zones by using a control algorithm developed in-house

### ■ Highest component quality

Highly dynamic controller prevents the set temperature from being exceeded

### ■ Process transparency

Quality monitoring of the entire heating curve graphically displayed in the MC6



Infrared heating station

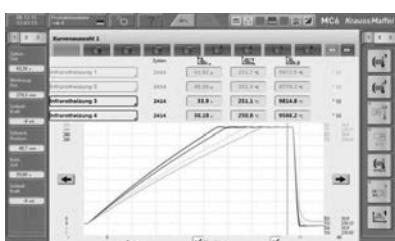
Control and regulation of infrared heating system

## Infrared heating station

Control and regulation of infrared heating system

### Initial, standard regulation

- Different heating zones don't reach target temperature at the same time
- Material damages due to increased holding times



### New, intelligent KM regulation

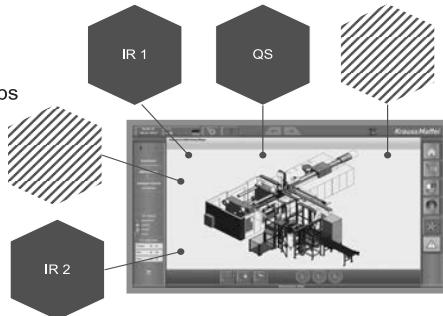
- Heating algorithm adapts the different heating zones -> Reach of target temperature at the same time
- No material damages due to uniform heating
- Reduction of heating time



## Control concept

MC6 + HighEnd PLC Controlling

- Optionally upgradable
  - Quality assurance systems
  - QR-Code printer
  - Additional further processing steps
  - Additional automation systems



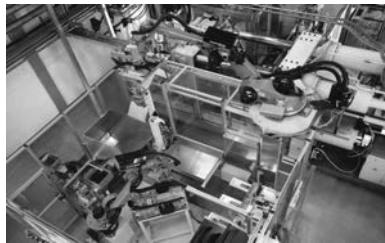
## Your possibilities

- Quick intervention in process
- MC6 Look & Feel
- Industry 4.0 (OPC) possible
- Any extension possible without additional programming

## Handling

The application specified the position

- 2 industry robots
  - Mounted on consoles
  - Transfer of the organo sheet
- 2 gripper for 3 processes
  - Insertion
  - Provision
  - Demolding



Industry robots for handling processes

## Your benefits

- Compact design and flexible use
- Ensuring short cycle times
- Easy controlling

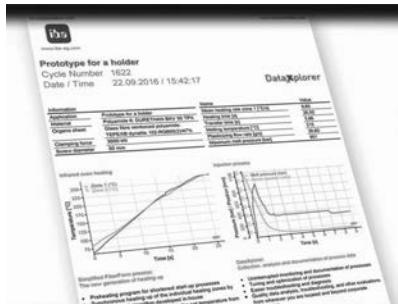
## Final part on conveyor belt and QR-Code scan operation

Plastics 4.0 with QR-Code



## Scan result and summary in pdf-document

Plastics 4.0 with QR-Code



## KraussMaffei delivers complete production lines for a global lightweight-project from ElringKlinger

- KraussMaffei obtains order for the manufacturing of fully-automated production lines for the FiberForm technology
- The production lines enable the manufacturing of complex structural parts, like door module carriers out of organo sheets, in large-scale production
- Production plants in Hungary, China and Mexico
- Start of production of the production lines end of 2016
- Start of the serial parts at ElringKlinger planned for end of 2017

Source: <https://www.elringklinger.de/de/presse/pressefotos/tuermodul-traeger-mit-integriertem-organoblech-als-leichtbaubesetzung-in-tuersystemen-o-brose>



# Zukünftige Kunststofftechnologien für Leichtbaulösungen im Fahrzeug Exterior am Beispiel Klappen / Türen

Dipl.-Ing. Johannes Götzemann, Magna Exteriors, D-Sailauf

Dipl.-Ing. Martin Imgrund, Magna Exteriors, CZ-Liberec

## Abstrakt

Das Thema Gewichtsreduzierung im Gesamtfahrzeug wird im Zuge der Fahrzeug-Elektrifizierung sowie der CO<sub>2</sub>-Diskussion global immer wichtiger. Die einzelnen Gewichtsoptimierungsthemen werden immer mehr auf die Komponenten und Exteriormodule heruntergebrochen und neue Werkstoffe gewinnen Einzug in Komponenten, die klassischerweise momentan in Stahl oder Aluminium hergestellt werden. Auch spielt das Thema Variantenvielfalt und Individualisierung eine immer größere Rolle bei den Fahrzeugherstellern und wird natürlich durch ein extern gefertigtes, komplett montiertes Modul gefördert.

## Einführung

### 1. Historie der Kunststoffheckklappen bei Magna

Schon in den 90er Jahren hat man sich bei Magna global mit dem Thema Kunststoffheckklappen beschäftigt und dies auf thermoplastische Werkstoffe fokussiert.

Durch Entwicklungskooperationen in Asien mit der Firma Hitachi Chemical, die bereits für asiatische Hersteller von Fahrzeugen zu dieser Zeit an dem Thema Kunststoffheckklappen arbeitete, sowie durch einen Produktionsauftrag eines deutschen Premium-OEMs in Südamerika, hat man sich bereits in dieser Zeit Entwicklungs- und Produktions-Know How im Bereich der Herstellung von thermoplastischen Heckklappensystemen erarbeitet. Waren damalige Verklebefprozesse und verschiedene Herstellungsschritte noch weniger für die Großserie geeignet, so lassen sich in der Zwischenzeit Kunststoffheckkappen durchaus auch in Serien > 100.000 Stück/Jahr wirtschaftlich herstellen.

Auf Grund dieser höhervolumigen Anforderungen sowie der gesteigerten Vorgaben an die Steifigkeit der Heckklappen hat man bei Magna konsequent an dem Thema Materialentwicklung für spritzgießfähige höher steife Materialien gearbeitet sowie Klebstoffsysteme mitentwi-

ckelt, die extrem kurze Zykluszeiten und Handlingsoperationen unterstützen. Für die Verstärkungen der Klappen in Punktost Steifigkeit hat man sich von klassischen Stahlverstärkungen in Richtung alternativer Verstärkungsmaßnahmen wie Composites weiterentwickelt und bringt diese in zukünftigen Heckklappen in die Großserie.

Weiterentwickelte Werkstoffe bieten hier in Zukunft selbst gegenüber Aluminiumlösungen noch Potential zur Gewichtsreduzierung und werden langfristig den Kunststofftechnologien den Einzug in weitere Module am Fahrzeug wie z.B. Seitentüren, etc. eröffnen.

## 2. Globale Anforderungen der OEM an Kunststoff Heckklappen

Fasst man die globalen Anforderungen unserer Kunden in Stichpunkten zusammen, lassen sich diese wie folgt benennen:

- Steifigkeitslastfälle der unterschiedlichsten Arten
- Leichtbaupotentiale im Vergleich zu Stahlheckklappen aber auch zu Aluminium
- Mehr Designfreiheit bezüglich scharfer Kanten und Tiefen (vor allem verglichen zu Aluminium)
- Mehr Individualität: Durch Offlinelackierung einfachere Möglichkeiten zur Darstellung von Kontrastfarben
- Höhere Flexibilität am Fertigungsband des OEMs durch komplett vormontierte Module
- Kosteneinsparpotentiale durch Outsourcing und niedrigeres Werkzeuginvestment im Vergleich zu Stahlumformwerkzeugen
- Integrationspotentiale von Sensoren und Funktionalitäten im Vergleich zu metallischen Heckklappen mit geringerer Durchlässigkeit elektromagnetischer Wellen
- Austauschbarkeit der Außenhaut bei leichten Beschädigungen

Vergleicht man alleine die von Kunde zu Kunde unterschiedlichen Anforderungen an Steifigkeiten, zeigen sich Potentiale zur Einsparung von Gewicht und Kosten bei gleicher Performance auf.

## Globale Anforderungen der OEM an Kunststoff Heckklappen

- Vergleich Torsionssteifigkeit**

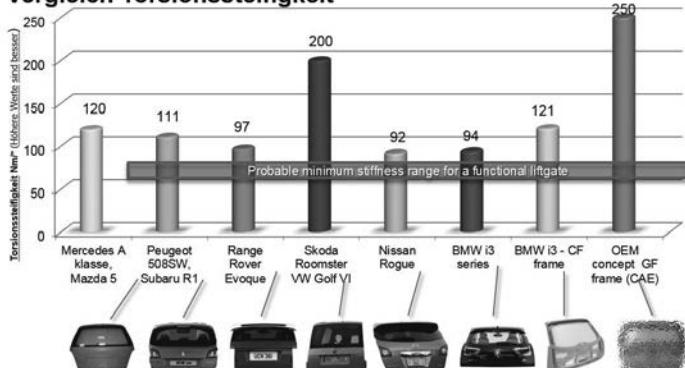


Bild 1: Unterschiedliche Steifigkeitsperformance verschiedener Kunststoffheckklappen im Benchmark

Da unterschiedlichste Fahrzeugtypen und Hersteller zum Teil völlig unterschiedliche Steifigkeitsanforderungen haben und dies nur teilweise auf die unterschiedlichen Designs zurück zu führen ist, lässt dies vermuten, dass auch beim Endkunden kein Unterschied zum Thema Performance und Anmutung bemerkbar ist. Aus diesem Grund lassen sich hier Einsparpotentiale der Fahrzeughersteller für die Zukunft vermuten.

### 3. Technologie-Roadmap für alle Fertigungsschritte einer thermoplastischen Heckklappe

#### Lackierte Außenhaut aus Polypropylen (PP) talkumverstärkt

Hier wurde in der Vergangenheit sehr viel in Richtung niedrig ausdehnende (CLTE optimierte) Werkstoffe getan. Um Anforderungen unserer Kunden nach minimalen Radien und Spaltverläufen zu erfüllen, wurden hier Materialien entwickelt, die an die Performance von Aluminium im Verhalten bei Wärme annähernd herankommen.

Auch wurden höher steife und gleichzeitig gut spritzgießbare PP-Typen entwickelt, die auch dünnerne Wandstärken < 2,8mm für eine noch bessere Leichtbauperformance ermöglichen.

Natürlich wurde hierbei ein gesteigerter Fokus auf Lackhaftung deutscher Premium-OEMs gelegt, um deren Anforderung weiterhin zu erfüllen.

| Hersteller   | Material | OEM 1<br>Steinigkeit test |     | OEM 1<br>Steinigkeit test<br>after climate |     | OEM 2<br>Steinigkeit test |     | OEM 3<br>Steinigkeit test |     | OEM 4<br>Steinigkeit test |     | OEM 1<br>multi resulfat test |     | OEM 2<br>multi resulfat test |     | OEM 1<br>multi resulfat test a few |     |
|--------------|----------|---------------------------|-----|--|-----|---------------------------|-----|---------------------------|-----|---------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------------|-----|
|              |          | ppm                       | g/g | ppm  | g/g | ppm                       | g/g | ppm                       | g/g | ppm                       | g/g | ppm                          | g/g | ppm                          | g/g | ppm                                | g/g |
| Hersteller A |          | 30                        | 0   | 10   | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 0                            | 0   | 0                            | 0   | 0                                  | 0   |
| Hersteller A |          | 30                        | 0   | 10   | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 0                            | 0   | 0                            | 0   | 0                                  | 0   |
| Hersteller A |          | 30                        | 0   | 10   | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 0                            | 0   | 0                            | 0   | 0                                  | 0   |
| Hersteller A |          | 30                        | 0   | 10   | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 0                            | 0   | 0                            | 0   | 0                                  | 0   |
| Hersteller B |          | 30                        | 0   | 10   | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 0                            | 0   | 0                            | 0   | 0                                  | 0   |
| Hersteller B |          | 30                        | 0   | 10   | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 0                            | 0   | 0                            | 0   | 0                                  | 0   |
| Hersteller B |          | 30                        | 0   | 10   | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 0                            | 0   | 0                            | 0   | 0                                  | 0   |
| Hersteller C |          | 30                        | 0   | 10   | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 0                            | 0   | 0                            | 0   | 0                                  | 0   |
| Hersteller C |          | 30                        | 0   | 10   | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 0                            | 0   | 0                            | 0   | 0                                  | 0   |
| Hersteller D |          | 30                        | 0   | 10   | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 0                            | 0   | 0                            | 0   | 0                                  | 0   |
| Hersteller E |          | 30                        | 0   | 10   | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 0                            | 0   | 0                            | 0   | 0                                  | 0   |
| Hersteller F |          | 30                        | 0   | 10   | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 0                            | 0   | 0                            | 0   | 0                                  | 0   |
| Hersteller G |          | 30                        | 0   | 10   | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 0                            | 0   | 0                            | 0   | 0                                  | 0   |
| Hersteller H |          | 30                        | 0   | 10   | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 30                        | 0   | 0                            | 0   | 0                            | 0   | 0                                  | 0   |

Bild 2: Unterschiedliche Material-Lackhaftungsergebnisse von Dünwandmaterialien

### Innenteil aus faserverstärkten PP Typen

Bezüglich dem sichtbar, meist genarbten Innenteil der Kunststoffheckklappe haben sich in den vergangenen Jahren die Entwicklungen vor allem auf PP-Glasfaser-Spritzgusstypen fokussiert und dort die Steifigkeitsperformance kontinuierlich gesteigert. Gleichzeitig wurde die Class A-Performance für eine Innenraumnarbe im Fokus behalten, wodurch die Kunststoffheckklappensysteme meistens ohne Interior-Trim und zusätzliche Bauteile auskommen. Die Einzelteilanzahl verglichen zur metallischen Klappe kann damit bei einer Kunststoffheckklappe deutlich reduziert werden.

Auch Entwicklungen mit anderen Fasertypen, wie z.B. Carbon, befinden sich bei Magna im Test und werden in der Zukunft den Weg in die Kunststoffheckklappen finden.

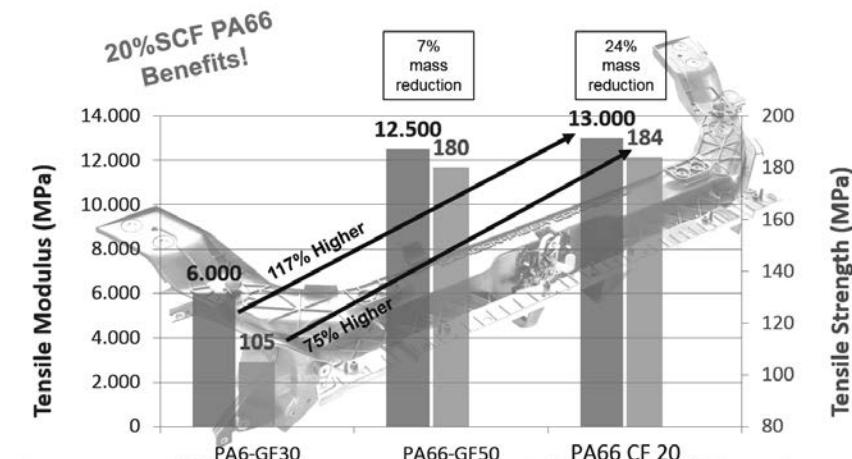


Bild 3: Materialperformance unterschiedlicher Fasertypen im Vergleich

### Verstärkungsmaßnahmen zur Erhöhung der Steifigkeit

Zum Thema Steifigkeitserhöhung stellt Magna Exteriors einen „Bauchladen“ von Materialien, Technologien und Maßnahmen im Portfolio zur Verfügung, die je nach Anforderung und gewünschter Performance auch kombinierbar sind. Auch lässt sich durch die geeignete Wahl an Materialien die Anzahl der Montageschritte erheblich reduzieren, worauf im nächsten Absatz eingegangen wird.

Materialseitig sind klassische Stahl-/Aluminiumverstärkungen denkbar, sowie Composite-Materialien mit Glas- oder Carbonfaserverstärkungen die sowohl eingeklebt, eingelegt und umspritzt oder eingeschweißt werden können.

Auch gibt es in der Technologie der Composite-Verstärkungen sowohl duroplastische Matrixmaterialien und Verfahren wie SMC, Polyurethan oder Epoxy-RTM sowie thermoplastische Materialien wie Organobleche, UD Tapeverstärkungen und faserverstärkte Spritzgusstypen, die zum Einsatz kommen.

Welche Technologie ausgewählt wird definiert sich immer durch die angefragte Stückzahl, die geforderte Steifigkeitsperformance sowie die Gewichts- und Kostenziele.

## Tailgate Technology Versus Design Space

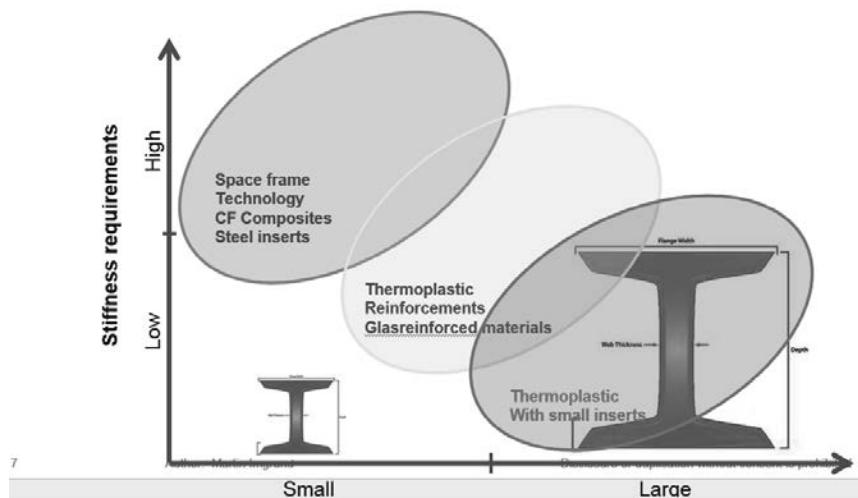


Bild 4: Verstärkungstechnologien im Vergleich zum Designspace

### Verbindungstechnologien der Einzelkomponenten

Klassischer Weise kommt als Fügeverfahren bei einem Großteil der Kunststoffheckklappen die Klebetechnologie als Verbindung von Innenteil, Außenteil, Verstärkungsmaterialien und Heckscheibe zum Einsatz. Während für die Heckscheibe klassische 1K PolyUrethan-Scheibenklebstoffe zum Einsatz kommen, sind für Verstärkungsbauteile auch höhere steife Klebstoffsysteme auf anderer chemischer Basis denkbar.

An diesen Technologien arbeitet Magna Exteriors immer im Fokus der Wirtschaftlichkeit vor allem an den Themen Rohstoff-/Materialpreisreduzierung und Aushärtezeitverkürzung. Beides ist auf chemischer Basis optimierbar.

Für die Aushärtezeit lassen sich Optimierungen aber auch über zusätzlich Prozesse steuern.

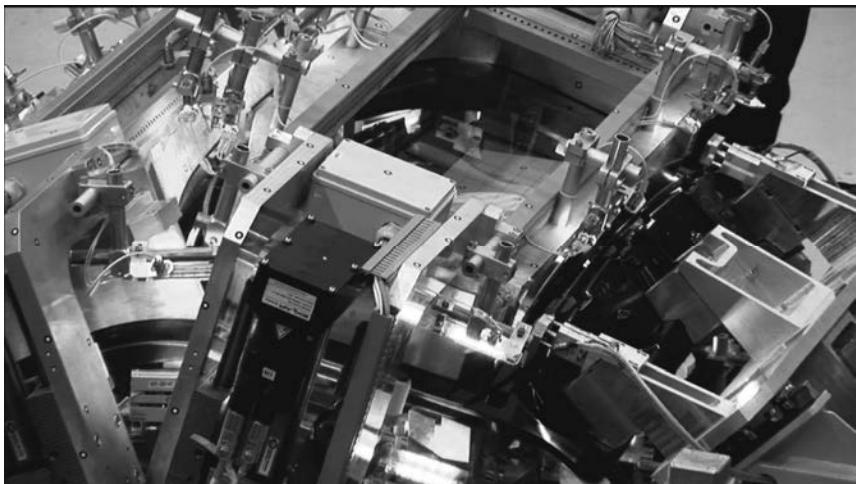


Bild 5: Verkleben von Heckklappen mit Infrarotunterstützung

Des Weiteren lassen sich für das Fügen von lackierten Außenpanels sowie thermoplastischen Verstärkungsmaßnahmen unter Umständen auch alternative Prozesse zum Kleben einsetzen. Hier arbeitet man bei Magna Exteriors vor allem im direkten Umspritzen von Inserts sowie im nachträglichen Verschweißen von zwei thermoplastischen Komponenten.



Bild 6: Heckklappen Innenteil mit hinterspritzter Blech- bzw Organoblechverstärkung

Wieder ist der Einsatz der richtigen Technologie sowohl von der Stückzahl als auch von der Designfreiheit der jeweiligen Klappe abhängig.

#### 4. Ausblick

Nachdem die Zukunft der Automobile nach verschiedenen Megatrend-Analysen immer mehr in das Thema „Autonome Fahrzeuge“, höherer Elektrifizierungsgrad und damit deutlich mehr Leichtbau im Gesamtfahrzeug entwickelt, bleibt der erhöhte Einsatz von Kunststoffen im Fahrzeug keine haltlose Prognose mehr.

Kunststoffe haben bereits den Einzug in den verschiedenen Bereichen des Fahrzeugs erfahren und ihre Eigenschaften, ihren Einsatz zigfach positiv bestätigt. Dadurch werden diese auch in sämtliche Module im Exterior in den nächsten Jahrzehnten integriert werden. Dabei sind Heckklappen sicherlich der naheliegende Einstieg und Module wie Seitentüren, Fronthauben und Dächer werden folgen.

Schaut man in verschiedene Designkonzepte und Showcars lassen sich die futuristischen Designs der Fahrzeughersteller mit kaum anderen Werkstoffen außer Kunststoffen realisieren, wofür Magna Exteriors der kontinuierlichen Entwicklung neuer Werkstoffe und Verfahren auch in Zukunft eine Vorreiterrolle einnehmen und dem Trend folgen wird.

Anbei drei Auszüge neuer Fahrzeugkonzepte, die von Magna Exteriors mit Designstudenten in einer Semesterarbeit erstellt wurden.

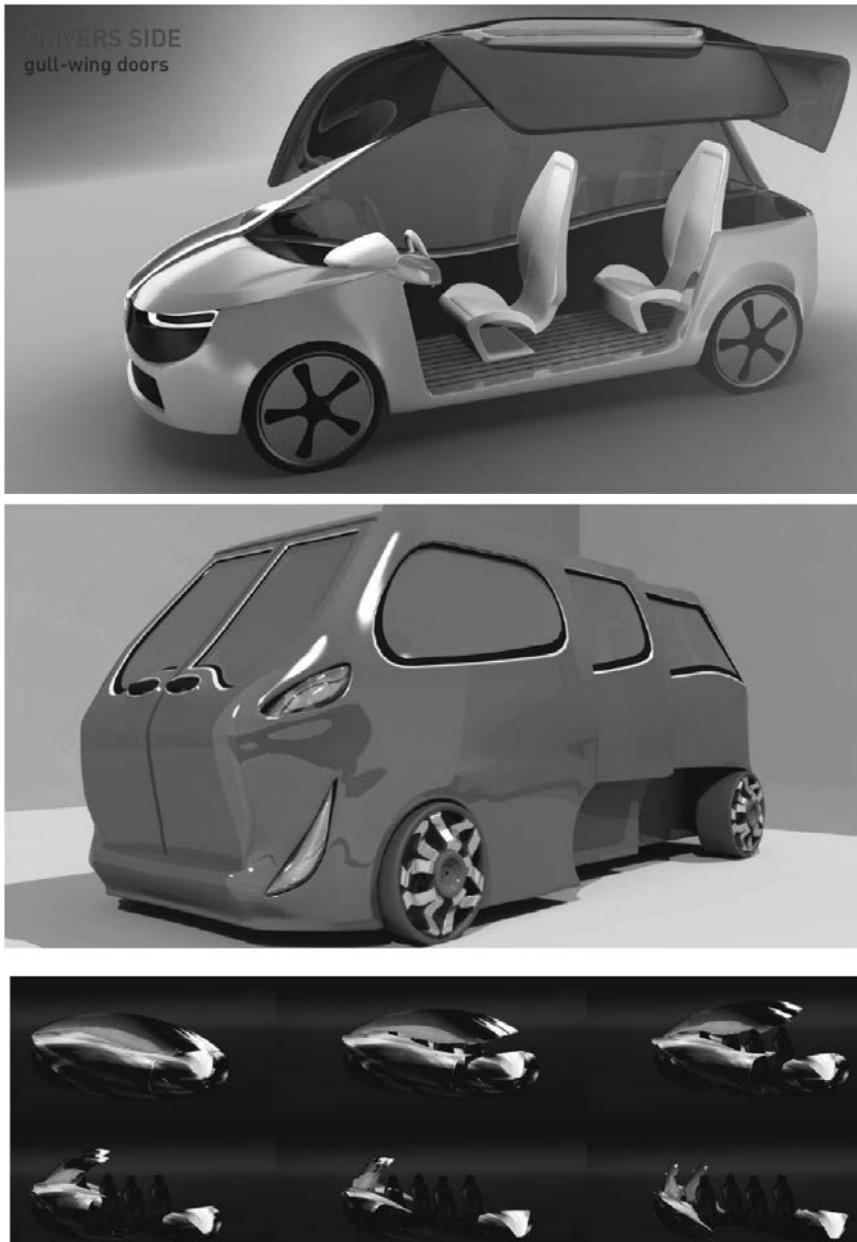


Bild 7/8/9: Konzeptstudie „Future of the Car“ – Kooperationsprojekt zwischen Magna Exteriors und Hochschule Anhalt, Fachbereich Design Dessau



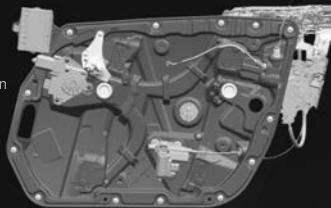
# Die Türmodule der Mercedes-Benz Heckantriebsarchitektur (MRA) unter Berücksichtigung von Standardisierung und Individualisierung

Dipl.-Ing. Wolfgang Much, Dipl.-Ing. Andreas Rath,  
Daimler AG, Sindelfingen

## Inhalt

Die Türmodule der Mercedes-Benz Heckantriebsarchitektur (MRA)  
unter Berücksichtigung von  
Standardisierung und Individualisierung

- ▶ Türmodulhistorie
- ▶ Übersicht Setzteile
- ▶ Türmodul mit einstellbaren Führungsschienen
- ▶ Wirtschaftlichkeit
- ▶ Gewichtspotenzial
- ▶ Verblockung
- ▶ Package Warenkorb



### Historie

#### Türmodulhistorie

- Seit fast 15 Jahren werden Türmodule für Mercedes-Benz eingesetzt.
- In mehreren Schritten fand eine Optimierung bzgl. Gewicht und Kosten statt.

Das Diagramm zeigt die Entwicklung der Türmodultechnik:

- Rahmentür A-Klasse BR169 2004-2012:** Eine kleine Limousine mit einem sichtbaren Rahmen.
- Rahmentür S-Klasse BR221 2005-2013:** Eine Limousine mit einem sichtbaren Rahmen.
- Rahmenlose Tür CLS-Klasse BR218 Seit 2011:** Eine Limousine ohne sichtbaren Rahmen.
- Rahmenlose Tür M-Klasse BR166 Seit 2011:** Ein SUV ohne sichtbaren Rahmen.
- Rahmenlose Tür CLA-Klasse BR117 Seit 2013:** Eine Limousine ohne sichtbaren Rahmen.

Unter den Modulen sind Bilder von den mechanischen Konstruktionen dargestellt:

- Stahl:** Ein Bild eines Stahlrahmens.
- Aluminium:** Ein Bild eines Aluminiumrahmens.
- Kunststoff:** Ein Bild eines Kunststoffrahmens.

### Übersicht Setzteile

#### Türmodul inkl. Setzteile bei einer Rahmentür E-Klasse Limousine W213

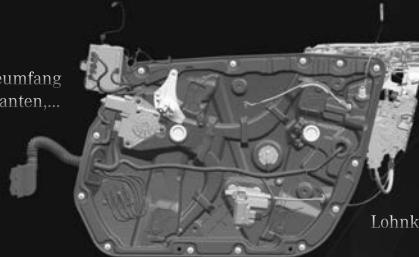
Die Komponenten des Türmoduls sind wie folgt beschriftet:

- Fensterheber:** Ein mechanischer Heber am Fenster.
- Leitungssatz:** Ein Kabelbaum.
- Steuergerät:** Ein elektronisches Steuergerät.
- Konsole für Armauflage:** Eine Konsole am unteren Rand des Türrahmens.
- Innenbetätigungsbowden:** Ein Bowdenzug im Inneren des Türrahmens.
- Grundträger inkl. Setzteile:** Der Hauptträger des Türrahmens.
- Drucksensor:** Ein Sensor am Boden des Türrahmens.
- Sicherungsstange:** Eine Stange am unteren Rand des Türrahmens.
- Lagerbügel:** Ein Bügel am oberen Rand des Türrahmens.
- Zziehhilfe:** Eine mechanische Hilfsvorrichtung.
- Schlosshalter:** Ein Halter für das Schloss.
- Lagerbügelhalter:** Ein Halter am unteren Rand des Türrahmens.
- Schloss:** Das eigentliche Schlossmechanismus.

## Übersicht Setzteile

**Türmodul inkl. Setzteile bei einer Rahmentür  
E-Klasse Limousine W213**

Je größer der Montageumfang  
beim Türmodul-Lieferanten,...



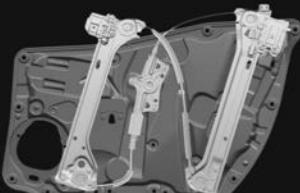
...desto größer sind die  
Lohnkostenvorteile pro Modul.

Zurückzuführen auf die geringen Löhne beim Lieferanten.

## Türmodul mit einstellbaren Führungsschienen

**Türmodul bei einer rahmenlosen Tür  
CLA-Klasse Coupé C117**

- ▶ Auf Grund einstellbarer Führungsschienen bei rahmenlosen Türen
- ▶ werden diese Türmodule nur fahrzeugspezifisch eingesetzt.



Grundträger mit verstellbaren Führungsschienen



- ▶ Der Montageumfang kann mit der Modulbauweise deutlich reduziert werden,
- ▶ deshalb ist besonders bei großen Stückzahlen das Türmodul auch für rahmenlose Fahrzeuge wirtschaftlich.

## Wirtschaftlichkeit

### Kostenvergleich Türmodultür zu einer konventionellen Tür Türmodul C-Klasse W/S205 (Hochlohnland)



## Gewichtspotenzial

### Gewichtsvergleich Türmodultür zu einer konventionellen Tür E-Klasse Limousine W213 Fahrertür konventionelle Tür





### Package Warenkorb

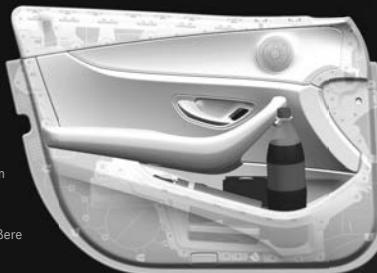
Warenkorb Vorgänger E-Klasse W212



- ▶ Das Package einer Tür kann nur so weit optimiert werden,
- ▶ wie die Ziehbedingung eines Innensteils oder Türmoduls, aus Stahl- oder Aluminiumblech, dies zulassen.

### Package Warenkorb

Warenkorb aktuelle E-Klasse W213



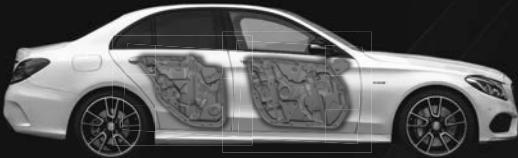
- ▶ Erst der Schritt zu einem gespritzten Kunststoffgrundträger,
- ▶ erlaubt es in der Tür größere Ablagen zu schaffen.

Verblockung

### Verblockung über Derivate einer Baureihe

Trotz unterschiedlichem Greenhouse der MRA Derivate...

...kann der Grundträger in **9** Karosserien eingesetzt werden.



Dies wird ermöglicht durch einfache Änderungen an Führungsschienen und Haltern.

Verblockung

### Verblockung über Derivate einer Baureihe

C-Klasse



Limousine      T-Modell

E-Klasse

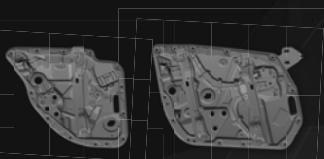


Limousine      T-Modell      All-Terrain      Limousine Langversion

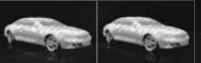
GLC-Klasse



SUV      Coupé



Wird fortgesetzt...



Zusammenfassung

Verblockung über Derivate

Gewichtspotenzial

Das Türmodul bietet...

Wirtschaftlichkeit

Packagevorteile

# Akustik in Flugzeugkabinen und der Einfluss von Türen

Prof. Dr. Wolfgang Gleine,  
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau  
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

## Kurzfassung

Schall von Triebwerken und der Strömungsgrenzschicht an der Flugzeugrumpfoberfläche sind die wesentlichen, sogenannten äußeren Schallquellen bei Passagierflugzeugen im Reiseflug. Der hiervon ausgehende Schall dringt auf verschiedenen Schallpfaden in die Flugzeugkabine ein und erzeugt in Abhängigkeit der Übertragungsweg-Eigenschaften und der Schallabsorption im Inneren der Kabine einen bestimmten Schallpegel, der als Lärm empfunden und daher den Passagierkomfort erheblich beeinflussen kann. Zusätzlich können auch noch Flugzeugprimär- und Kabinensysteme störende Schalleinflüsse hinzufügen. Daher sind insbesondere leichtgewichtige, passive Schallminderungsmaßnahmen, die eine Vielzahl weiterer Randbedingungen erfüllen müssen, bei der Auslegung von Flugzeugkabinen erforderlich, um ein wettbewerbstaugliches Zieldesign einer Flugzeugkabine erfüllen zu können. Zu den vielzähligen Detailauslegungen, die die Primärstruktur, die Kabinenisolation, die Kabinenausstattung, den Fußboden und eine Vielzahl der Flugzeugsysteme umfassen, sind ebenso die Türen akustisch hinreichend zu gestalten, damit auch die Einstiegsbereiche mit angrenzenden Sitzreihen einen für die Flugzeugkabine garantierten maximalen Schallpegel unterschreiten können.

## 1. Einleitung

Reisen mit modernen Verkehrsmitteln zeichnen sich heutzutage durch einen hohen Komfort aus, der neben Kosten, Effizienz und Umweltverträglichkeit ein entscheidender Wettbewerbsfaktor geworden ist. Dabei trägt die akustische Umgebung der Reisenden ganz wesentlich zur Akzeptanz der Verkehrsmittel bei. Ganz besonders komfortabel sind die akustischen Eigenschaften bei modernen Automobilen, die neben geringen Betriebsschallpegeln psychoakustisch abgestimmte Geräuschkulissen bestimmter Systeme und Fahrzeugkomponenten aufweisen und somit eine hohe Werthaltigkeit, Sportlichkeit und Solidität der Fahr-

zeuge suggerieren. Für moderne Verkehrsflugzeuge – Ausnahme VIP-Flugzeuge – wurden diese hohen Qualitätsmerkmale nicht entwickelt, da diese aus Marktanforderungen und Wettbewerbsgründen bisher nicht erforderlich sind.

Die akustischen Eigenschaften heutiger Passagierkabinen sind darauf ausgelegt, dass eine gleichmäßige, bezüglich Schallpegel und Frequenzbereich akzeptable Geräuschkulisse herrscht, die Gespräche weiter entfernt sitzender Nachbarn überdeckt, wohl aber eine gut verständliche Kommunikation zwischen Flugbegleiter und Passagier und zwischen Passagieren in der unmittelbaren Umgebung möglich macht. Darüber hinaus sollen die Sitzplätze in einer Kabinenklasse möglichst vergleichbare Schallumgebungen aufweisen, was insbesondere in der Nähe von Flugzeugtüren zu besonderen Auslegungsaufwänden führt.

## **2. Schallquellen bei Verkehrsflugzeugen**

Fast alle Schallereignisse bei Verkehrsflugzeugen stammen von aeroakustischen Schallquellen. Diese können sowohl Töne als auch breitbandige Geräusche unterschiedlich hoher Pegel in sehr verschiedenen Frequenzbereichen ausstrahlen. Bezogen auf die Passagierkabine unterscheidet man zwischen äußeren Schallquellen, die bei Triebwerken, grenzschichtangeregten Rumpfstrukturen sowie Antennen, ausgefahrenen Hochauftriebsklappen und Fahrwerken identifiziert werden können und zwischen inneren Schallquellen, die bei eingebauten Komponenten verschiedener strömungsmechanischer Systeme Schallwellen ausstrahlen. Letztere umfassen vor allem die Klimaanlage, das Vakuumtoilettensystem sowie das Hydrauliksystem. Aber auch zusätzliche Kühlsysteme in der Bordelektronik und Bordküche oder Treibstoffpumpen zählen zu den Komponenten, für die akustische Auslegungsarbeiten mit Blick auf Schallerzeugung oder Schallweiterleitung bedingt durch die Einbausituation notwendig sind.

Wegen der im Allgemeinen extrem hohen Anforderungen an ein minimal mögliches Gesamtgewicht eines Flugzeugs, sind tieffrequente, insbesondere Töne aussendende Schallquellen besonders problematisch, wenn nicht die Quelle selbst, sondern nur der Übertragungsweg einer akustischen Auslegung zugänglich ist. Aber auch tieffrequente, breitbandig Schall ausstrahlende Schallquellen sind unter den scharfen Gewichtsanforderungen und vielen weiteren, einen günstigen Parameterraum einschränkenden Randbedingungen nur sehr schwierig akustisch zu isolieren. Zu diesen Quellen zählen insbesondere die äußeren Schallquellen wie Triebwerke und grenzschichtangeregter Schall in der Rumpfstruktur, die im Folgenden näher betrachtet werden.

## 2.1. Triebwerksschall

Gegenwärtige Passagierflugzeuge ab 100 Sitzplätzen sind mit Mantelstromtriebwerken ausgestattet, deren Nebenstromverhältnis zwecks höherer Effizienz und steigenden Lärmvorschriften an den Flughäfen durch Triebwerke neuester Generation immer weiter gesteigert wird (z.B. Triebwerk von Pratt & Whitney, PW 1100 G – 12:1). Diese Triebwerke besitzen unterschiedliche innere Schallquellen (z.B. im Bereich von Fan, Verdichter, Brennkammer, Turbine) und verursachen den durch den Triebwerksstrahl erzeugten Strahl lärm. Die Eigenschaften dieser Schallquellen variieren in ihrer Ausprägung bei unterschiedlichen Triebwerken je nach ihren Nebenstromverhältnissen. Typische spektrale Charakteristiken beinhalten z.B. viele Einzeltöne, die durch aerodynamische Fan-Stator-Wechselwirkungen oder auch durch ungleichförmige Anströmung am Fan selbst entstehen und in der Steigflugphase ein kreissägenartiges Geräusch (engl. buzz-saw noise) erzeugen, aber auch breitbandige Schallspektren im unteren Frequenzbereich (etwa 100 – 500 Hz), die z.B. im Strahl lärm zu identifizieren sind /1/. In Bezug auf den Schalleintrag in die Flugzeugkabine spielt die Richtcharakteristik des vom Triebwerk abgestrahlten Schalls eine zentrale Rolle. Dabei werden vor allem die tonalen Schallwellen des kreissägenartigen Fan-Geräusches nach vorn abgestrahlt und sind daher im vorderen Kabinenbereich wahrnehmbar, der niederfrequente Breitbandschall des Triebwerkstrahls dringt hingegen in den hinteren Kabinenbereich ein. Während bei Triebwerken bisheriger Nebenstromverhältnisse (< 10) der nach vorn abgestrahlte tonale Schall nur in der Steigflugphase in der Kabine wahrnehmbar ist, dringt der Strahl lärm des Triebwerks während der gesamten Flugphase merkbar in die hintere Kabine ein, dessen abgestrahlte Schallleistung  $P$  bei normierter Schubkraft allerdings mit zunehmendem Nebenstromverhältnis und damit reduzierter Strahlgeschwindigkeit  $u$  deutlich abnimmt ( $P \sim u^8$ , für den Strahlgeschwindigkeits-bereich  $0,7 < M < 1,6$  mit Machzahl  $M = u/c$ , vgl. /2/) und eine ausgeprägte Richtungsabhängigkeit zeigt.

Bezogen auf die Kabine wird im Reiseflug auf den vorderen Kabinenbereich nur sehr wenig Triebwerksschall abgestrahlt, während der hintere Kabinenbereich Schallwellen erheblich höherer Pegel empfängt.

## 2.2. Grenzschichtangeregter Schall in der Rumpfstruktur

Die flugbedingte Umströmung eines Flugzeugrumpfes führt zur Ausprägung einer turbulenten Grenzschicht, deren Dicke an der Rumpfspitze mit unter 1mm beginnt und bis zu etwa 0,5 m am Rumpfende anwächst. Bei der turbulenten Strömung entlang der Wand eines Flugzeugrumpfes im Bereich der Kabine treten in der Grenzschicht sehr hohe Wechseldrücke auf. Diese Eigenschaft lässt sich mit einem Modell beschreiben, in dem in der Grenz-

schicht Turbulenzballen entstehen, die eine kurze Wegstrecke an der Rumpfwand entlang wandern, um dann schlagartig aufzuplatzen. Die Dimensionen der Turbulenzballen sind vergleichbar mit der lokalen Grenzschichtdicke, was sich in den Schallspektren an unterschiedlichen Rumpfpositionen zeigt: Im vorderen Bereich des Rumpfes, wo die Grenzschichtdicke noch relativ gering ist, ist das Maximum des Spektrums vergleichsweise höher frequent als das im hinteren Rumpfbereich, wo die Grenzschichtdicke am größten ist. In der Grenzschicht entstehen örtlich unterschiedlich ständig neue Turbulenzballen, die schnell wieder zerplatzen. Diese Schallquellen sind daher nur sehr lokal korreliert. Die Korrelation nimmt mit zunehmendem Wirbelabstand sehr schnell ab und erreicht bereits ab einer Distanz, welche der ca. 20-fachen lokalen Grenzschichtdicke entspricht, den Wert Null /2/. Aufgrund der sehr geringen Wirbel-Korrelationslängen liegen Gebiete verschiedenen Drucks in der Grenzschicht sehr dicht beieinander, so dass eine Schallabstrahlung aus der Grenzschicht aufgrund gegenseitigen Druckausgleichs nur sehr gering sein sollte. Eine angrenzende Flugzeugwand ist aber eine schallweiche Wand mit Versteifungen wie Stringer und Spante, in die durch die Grenzschichtwechselräcke Schallwellen eingebracht werden, die als freie Wellen an den genannten strukturellen Unstetigkeiten akustisch abgestrahlt werden /2/.

### 3. Schalltransmissionspfade

Die in Bezug auf die Flugzeugkabine beschriebenen äußeren Schallquellen sind durch Schallleitungsmechanismen im Kabinenbereich in lokal unterschiedlicher Ausprägung wahrnehmbar. Ihre Schallwellen werden durch Luft- und Körperschallpfade in die Kabine unter frequenzabhängiger Abschwächung transportiert und tragen je nach Bauweise und ausgewählten Materialien des Kabinenaufbaus zum Gesamtschallpegel in der Kabine bei, der auch noch durch Schallabsorptionseigenschaften der Kabinenausstattung beeinflusst wird.

#### 3.1. Luftschallpfad

Schallwellen, die über den Luftschallpfad in die Kabine gelangen, queren unter Reflexionsverlusten die aus Rumpfstruktur und Kabinenverkleidung bestehende Doppelwand, in die zur thermischen Isolation und Schallabsorption Glaswollpakete eingebaut sind. Dabei erfüllt eine feinfaserige Glaswolle mit Faserdurchmesser um ca. 1µm von allen bisher untersuchten Alternativmaterialien alle erforderlichen Eigenschaften am besten. Sie wird je nach Isolationsbedarf in unterschiedlichen Dichten und Dicken abschnittsweise in eine Umhüllung aus Kunststofffolie eingeschlossen, um eine bessere Montierbarkeit und Handhabung zu erreichen und damit abbrechende feine Faserteile aus der Glaswolle nicht umherfliegen können.

Leider ist das Schallabsorptionsvermögen im unteren Frequenzbereich bis ca. 700 Hz nur unzureichend gering, so dass, einhergehend mit der im unteren Frequenzbereich geringeren Schalldämmung der beschriebenen Kabinendoppelwand, tieffrequenter Triebwerksschall (100 – 500 Hz) oder tieffrequente Anteile des grenzschichtangeregten Schalls vergleichsweise stark in die Kabine einstrahlen können. Da aus Gewichtsgründen nur sehr begrenzt zusätzliche Masse für eine verbesserte Schalldämmung eingesetzt werden kann, müssen noch andere gewichtsneutrale Maßnahmen wie steifigkeitsoptimierte Kabinenwandverkleidungselemente eingesetzt werden, deren Koinzidenzfrequenz möglichst deutlich oberhalb des genannten unteren Frequenzbereichs liegt. Im höheren Frequenzbereich ist die Schallabsorption der Glaswolle in der Kabinenwand sehr viel wirksamer als bei niedrigen Frequenzen und kompensiert so einen Teil des koinzidenzbedingten Schalldämmmaßeinbruchs.

In der Behandlung der Flugzeugkabinenakustik ist es gebräuchlich, den Teil der Luftschallübertragung, der durch entstehende Lücken zwischen benachbarten Kabinenausstattungselementen hindurch führt, als Leckschall zu bezeichnen. Unverschlossene Spalte können den Gesamtschallpegel in der Kabine um bis zu 3 dB erhöhen. Daher werden Spalte, wo immer es möglich ist, mit speziellen Dichtungen verschlossen.

### 3.2. Körperschallpfad

Die von äußeren Schallquellen zu Schwingungen angeregte Flugzeugrumpfstruktur kann die hiervon ausgehenden Schallwellen auch über strukturelle Verbindungselemente, die zur Befestigung der Kabinenausstattung dienen, weiterleiten und damit eine Schallabstrahlung über die Oberflächen der Kabinenwandelemente in den Innenraum der Kabine bewirken.

Eine wichtige Maßnahme zur Minderung der Körperschallübertragung ist, eine über Befestigungselemente starre Verbindung der Kabinenausstattung mit der Rumpfstruktur durch eine elastische Aufhängung zu ergänzen. Die hierfür eingesetzten elastischen Aufhängungselemente (shock mounts) übertragen die erforderlichen Haltekräfte zur Befestigung der Innenausstattung über Elastomere, deren Federsteifigkeit (Shore-Härte) individuell auf die entsprechenden Massen und Anzahl der Befestigungspunkte eines jeden Ausstattungselements abgestimmt sein muss. Die Elastomere sind in den Verbindungselementen derart gelagert, dass im Fall einer übergroßen Beschleunigung des Flugzeugs, etwa durch Böen oder harten Landungen, größere Kraftübertragen über einen mechanischen Anschlag in dem Verbindungselement erfolgen können.

#### 4. Das Schallfeld in der Passagierkabine

Die Komforteigenschaften einer Passagierkabine sind ein wichtiges Qualitätsmerkmal eines Verkehrsflugzeugs und tragen dann wesentlich zur Beliebtheit einer betreffenden Fluggesellschaft bei, wenn eine besonders comfortable Ausstattung auch noch kostengünstig angeboten wird. Das Schallfeld in der Passagierkabine unterliegt deshalb besonderen Anforderungen, die einerseits konkurrenzfähige Eigenschaften definieren, andererseits aber zusätzliches Gewicht, Einbauvolumen und Kosten minimal halten.

Generell wird für das Schallfeld in der Kabine gefordert:

- Nicht zu große Pegel für ein leises Schallempfinden, aber hinreichend hohe Pegel zur Einhaltung einer akustischen Privatsphäre
  - Störende Gespräche von entfernten Sitznachbarn sollen durch Kabinenschall-maskierung nicht wahrnehmbar sein
  - Ein maximaler A-bewertete Schalldruckpegel ist eine Qualitätseigenschaft, die Flugzeugherstellern ihren Kunden garantieren
- Gleichmäßige Schallpegelverteilung in einer Passagierklasse, Klassenunterschiede dürfen auftreten
  - Generell sollen die Sitzplätze einer Passagierklasse in etwa gleichwertige Eigenschaften aufweisen, wobei in der ersten Klasse besonders geringe Schallpegel erwartet werden. Sie ist in allen Verkehrsflugzeugen im vorderen Kabinenbereich angeordnet, dort wo wie zuvor beschrieben, der Triebwerksschall im Reiseflug deutlich weniger auf den vorderen Rumpf gerichtet ist und damit weniger zum vorderen Kabinenschallpegel beiträgt als in der hinteren Kabine.
- Keine tonalen Schallanteile
  - Töne stören mehr als gleichlauter Breitbandschall
- Gute Sprachverständlichkeit
  - Kompromiss zwischen Einhaltung der Privatsphäre und Kommunikation mit unmittelbaren Nachbarn oder Flugbegleiter
  - Garantiertes Qualitätsmerkmal ist der sog. Speech Interference Level SIL 3, (Abb.1)
- Erfüllung von Lärmschutzverschriften
- Schutzbestimmungen für den Bordarbeitsplatz gemäß Directive 2003/10/EC , 6th Feb 2003, Europäisches Gesetz

### Sprachverständlichkeit – ein Qualitätsmerkmal der Kabinenakustik

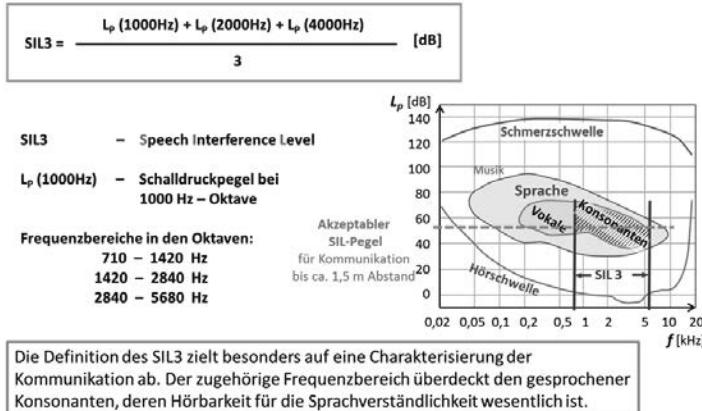


Bild 1: Definition der Sprachverständlichkeit bei Verkehrsflugzeugen mit Jet-Triebwerken.

Wie durch die Betrachtung der äußeren Schallquellen zu erwarten ist, steigt im Allgemeinen der Schallpegel entlang der Kabinenlänge von vergleichsweise niedrigen Schallpegeln in der vorderen Kabine zu höheren Pegeln im hinteren Kabinenbereich an. Die absoluten Werte sind abhängig von jeweiligen Flugzeugtypen und verwendeten Triebwerken. In vielen Flugzeugen findet man, dass im Bereich der Flugzeugtüren der Schallpegel deutlich über dem mittleren Niveau der angrenzenden Sitzbereiche liegt. Ein Beispiel eines verbreiteten Flugzeugtyps zeigt Abb. 2. Hintergrund der erhöhten Pegel im Türbereich ist, dass einerseits eine sehr gute akustische Isolation von Flugzeugtüren sehr viele Detailauslegungen erforderlich macht und andererseits die Schallabsorption im Türbereich entsprechend angepasst sein muss, was bei früheren Flugzeugentwürfen noch nicht den heutigen Stellenwert erreicht hat.

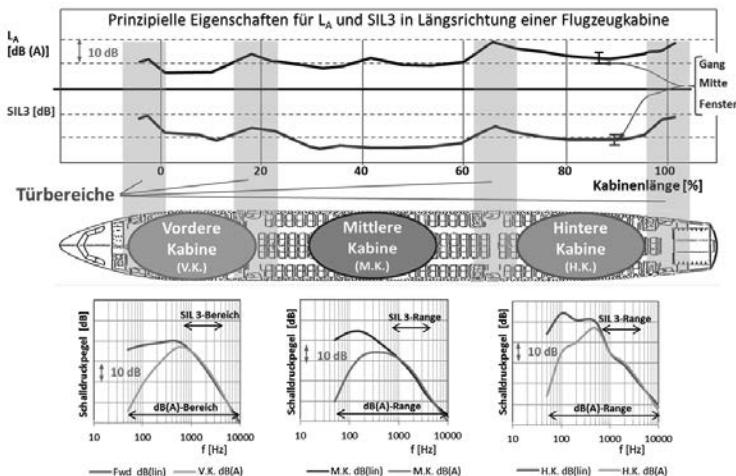


Bild 2: Prinzipielle Schallfeldeigenschaften in der Kabine eines Verkehrsflugzeugs und der Einfluss der Kabinetturen.

## 5. Flugzeugtüren

### 5.1. Aufbau

Der Aufbau von Flugzeugtüren unterliegt einer sehr großen Liste unterschiedlicher Anforderungen, deren Realisierungen es sehr oft schwierig machen, für eine gute akustische Isolation einfache Lösungen zu entwerfen. Mechanisch muss die Tür druckdicht schließen, während der Flugbetriebsphase zuverlässig geschlossen bleiben und muss z.B. im Reiseflug einer Druckdifferenz von etwa 0,58 bar mindestens standhalten (Auslegung für die doppelte max. auftretende Druckdifferenz). Dabei darf sie sich nur sehr wenig verformen. Sie muss bei Vereisung am Boden und Windgeschwindigkeiten bis zu 25 kn ( $\approx$  46 km/h) zu öffnen sein und im geöffneten Zustand Windlasten bei bis zu 60 kn ( $\approx$  111 km/h) Windgeschwindigkeit standhalten. Eine aufwendige, bauraumintensive Mechanik, eingebaut innerhalb des Türvolumens, ist erforderlich, um die Tür manuell öffnen und schließen und seitlich verschwenken zu können. Der Schließzustand aller Flugzeugtüren wird mit Sensoren erfasst und über eine Systemsteuerung des Türen- und Notrutschensystems (Doors & Slides Management System, DSMS) überwacht und im Cockpit zur Anzeige gebracht. Bei den meisten Türen ist ein Notrutschensystem integriert vgl. Abb.3.

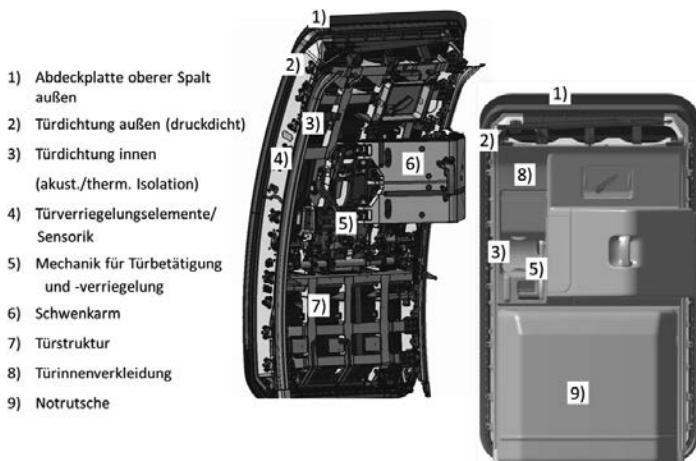


Bild 3: Prinzipieller Aufbau von Flugzeugkabinentüren.

## 5.2. Schallquellen und Minderungsmaßnahmen

Einen Überblick über die Schallquellen im Bereich der Flugzeuggürtel gibt Abb. 4. Dabei können sowohl tief- und hochfrequente Töne als auch breitbandige Geräusche mit Maxima bei unterschiedlichen Frequenzen erzeugt und in den Türbereich der Kabine eingestrahlt werden. Akustische Flugmessungen an Messpositionen in der Kabine in Türnähe (1,6 m über Fußboden, 0,5 m Türabstand) ergaben unterschiedliche charakteristische Schallspektren der verschiedenen Schallquellen, die im Folgenden beschrieben sind.

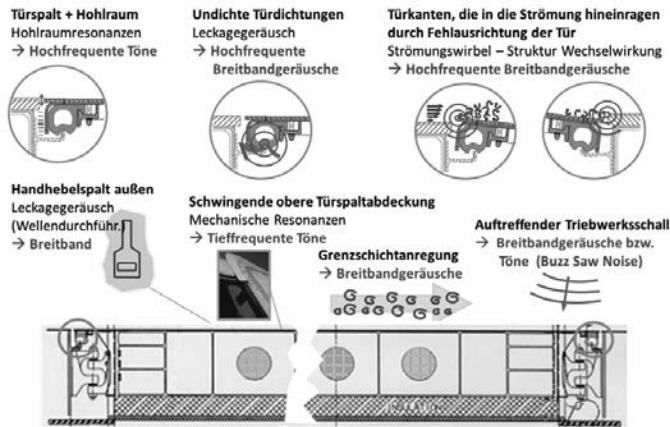


Bild 4: Schallquellenübersicht an einer Flugzeugkabinentür.

#### Hohlräumresonanzen an Türspalten

Überströmungen von Türspalten können zu Hohlräumresonanzen führen, die sehr hochfrequente Töne i.a. zwischen 8 – 12 kHz abstrahlen können. Dabei variieren die Spektren bei verschiedenen Türen wegen kleiner unterschiedlicher geometrischer Verhältnisse der Hohlräume und Spalte. Zur Schallminderung dieses Schallquellentyps können die Volumina der Hohlräume durch geeignete zusätzliche Dichtelemente oder durch angepasste Türdichtungen, die bei geschlossener Tür den Hohlräumbereich besser ausfüllen, deutlich verkleinert werden (Abb. 5).

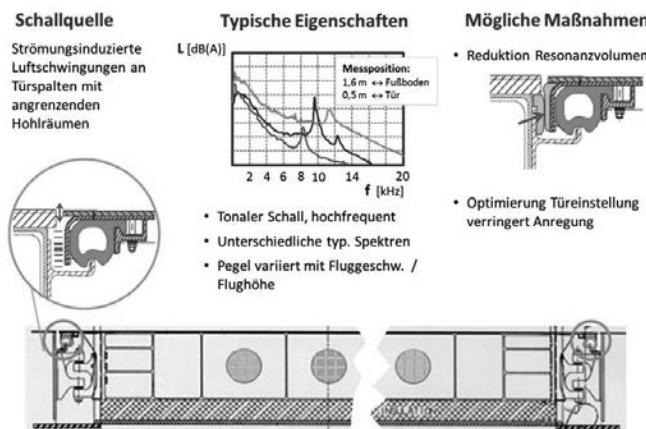


Bild 5: Schallentstehung an Türspalten mit angrenzenden Hohlräumen und Maßnahmen zur Schallminderung.

### Schall durch undichte Türdichtungen

Defekte Dichtungen oder auch kleine Unstetigkeiten bei Dichtungsanschlagprofilen können dazu führen, das während des Reiseflugs in großen Höhen, bedingt durch die dort herrschenden hohen Druckdifferenzen zwischen Kabine und Außenbereich, Leckagen auftreten, die hochfrequente Breitbandgeräusche erzeugen und in den Türbereich der Kabine einstrahlen. Es konnten während einiger Messflüge unterschiedliche typische Spektren an unterschiedlichen Türpositionen festgestellt werden. Abhilfe lässt sich durch Austausch defekter Türdichtungen bzw. durch Einbau ebener Türanschlagsprofile erreichen (Abb. 6).

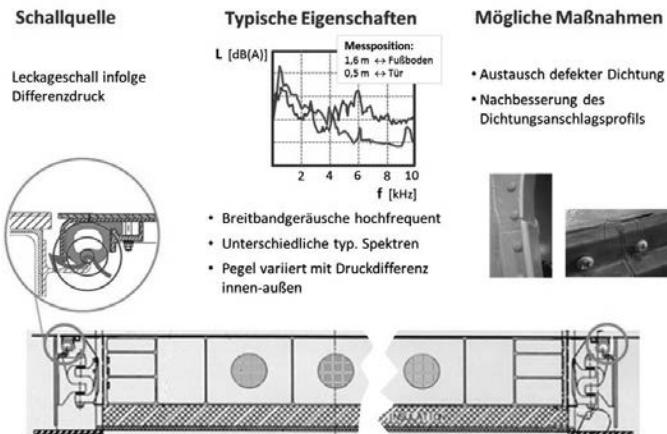


Bild 6: Leckageschall an Türdichtungen sowie Schallminderungsmaßnahmen.

#### Schwingungen der oberen Türspaltabdeckung

Bei dieser Türschallquelle liegt deren Ursache bei strömungsinduzierten Schwingungen der oberen Türspaltabdeckung, die tieffrequente tonhaltige Schallspektren in Türnähe der Kabine wahrnehmbar macht. Die abgestrahlte Schallleistung variiert mit der Fluggeschwindigkeit und der jeweiligen Flughöhe. Zur Reduktion/Ausschalten der Schallleistung dieser Quelle existieren eine Reihe verschiedener Vorschläge, z.B. Druckausgleichsbohrungen, Verwendung steiferer Materialien, Strömungsabweiser, zusätzliche Abdichtungen, geänderte Formgebung. Eine andere Lösung, die auf einer rumpfseitigen zusätzlichen Abdichtung basiert, wurde inzwischen erfolgreich umgesetzt (Abb. 7).

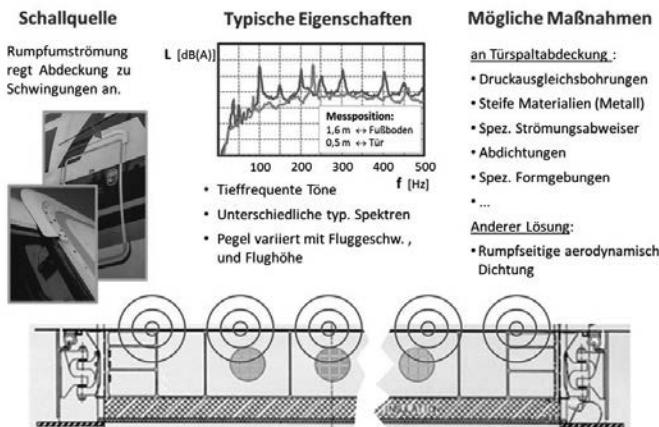


Bild 7: Schallanregung durch eine schwingende obere Türspaltabdeckung und mögliche Maßnahmen zur Vermeidung des Schallproblems.

#### Überströmte, nach außen springende Türkanten

Bedingt durch leichte Abweichungen von der idealen Schließposition der Tür in ihrem Rahmen kann es vorkommen, dass seitliche Türkanten in die Rumpfumströmung hineinragen. Die physikalische Ursache dieser in die Strömung exponierten Türkante liegt gemäß /3/ darin, dass das anströmende Druckwechselfeld beim Überströmen der Stufe schlagartig hohe lokale Geschwindigkeitsgradienten erfährt, die zur Abstrahlung von hochfrequentem Breitbandschall führen. Dabei entstehen Dipolschallquellen, deren axiale Ausrichtung in Strömungsrichtung nachgewiesen werden konnte. Neben einer Reduktion/Vermeidung von Türfehlstellungen ist es zusätzlich hilfreich, die Türkantenecken abzurunden und so für eine Verkleinerung der Geschwindigkeitsgradienten der turbulenten Anströmung im Kantenbereich zu sorgen (Abb. 8).

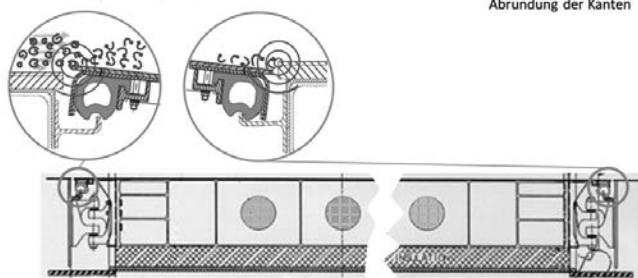
| Schallquelle   | Typische Eigenschaften  | Mögliche Maßnahmen   |
|--|---|--|
| <p><b>Schallquelle</b></p> <p>Strömendes Wanddruckwechselsefeld vor Stufe in Kombination mit hohen Geschwindigkeitsgradienten beim Erreichen der Stufenkante<br/>↔ breitbandige Schallquelle</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Breitbandschall (außen: Dipol in Strömungsrichtung)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Verbesserte Türausrichtung</li> <li>Vermeidung hoher Geschwindigkeitsgradienten in der an der Kante entstehenden Scherschicht → Abrundung der Kanten</li> </ul> |

Bild 8: Aerodynamisch erzeugter Schall an Türkanten, die in die Strömung hineinragen.

#### Schallanregung durch Grenzschicht und Triebwerksschall

Diese schon beschriebenen externen Schallquellen lassen sich durch Maßnahmen wie Einbau von Dämpfungsmaterialien, die auch bei tiefen Temperaturen (bis ca. -30 °C) wirksam sind, bzw. Herstellung einer vollständig geschlossene Doppelwand, die im Zwischenraum möglichst vollständig mit Glaswolle ausgefüllt ist, reduzieren. Wie durch den dargestellten Türaufbau ersichtlich ist, kann letztere Maßnahme aufgrund komplexer mechanischer Tür-einbauten und komplizierter Bewegungsabläufe bei Öffnung und Schließung der Tür nur unvollkommen realisiert werden. Die Wirkung des eingebauten Dämpfungsmaterials ist hier nur gering (Abb. 9).

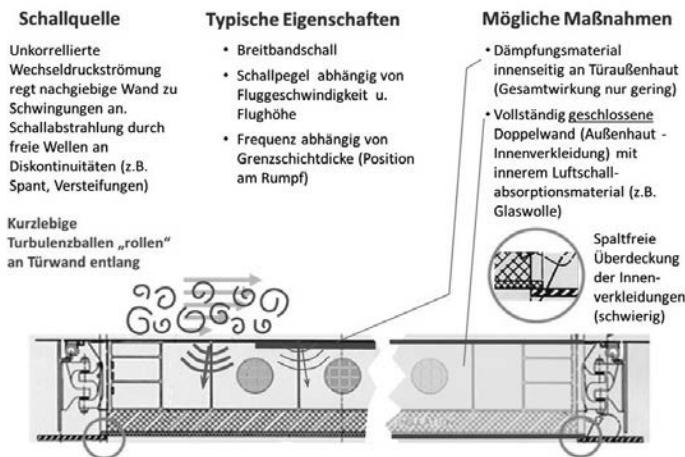


Bild 9: Grenzschichtangeregter Schall an der Türaußenseite und Schallminderungsmaßnahmen.

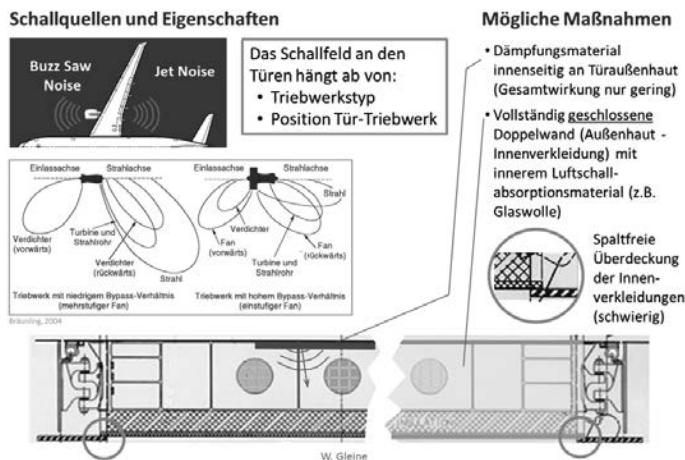


Bild 10: Schallanregung durch Triebwerksschall und Maßnahmen zur Schallminderung.

## 6. Ausblick - Neue Herausforderungen bei der Flugzeugkabinenakustik

Ein wesentlicher Schwerpunkt bei der Weiterentwicklung der heutigen Luftfahrt ist darauf ausgerichtet, Verkehrsflugzeuge noch wirtschaftlicher und umweltfreundlicher betreiben zu können. Dabei spielt die Entwicklung effizienterer Flugantriebe eine besondere Rolle, bei der erkannt wurde, dass u.a. eine weitere Steigerung des Nebenstromverhältnisses einhergehend mit der Einführung eines Getriebefans noch nicht ausgeschöpfte Potenziale in der Treibstoffeinsparung sowie Reduktionen von CO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> bietet. So hat man vorhandene Verkehrsflugzeugtypen vor kurzem durch neue Mantelstromtriebwerke größeren Durchmessers mit einem Getriebefan und einem Nebenstromverhältnis von 12:1 modernisiert (Zusatzbezeichnung „neo“ – new engine option) und erreicht damit deutliche Verbesserungen in der Leistungsfähigkeit und Umweltverträglichkeit gegenüber den Vorgängermodellen. Dabei konnte vor allem auch der durch den Freistrahl erzeugte niederfrequente Breitbandschall deutlich reduziert werden. Angestrebte weitere Steigerungen des Triebwerk-nebenstromverhältnisses > 12:1 etwa bei den sog. UHBR-Triebwerken (UHBR – ultra high bypass ratio) oder Gegenlaufpropeller-Antrieben sind theoretisch noch sehr viel effizienter. Gemäß /4/ werden in dem europäischen Forschungsprogramm LEMCOTEC Gegenlaufpropeller-Antriebe untersucht, die bei einem Nebenstromverhältnis von etwa 53:1 eine Verbrauchsreduzierung von bis zu 48% gegenüber einem CFM 56 Triebwerk (Nebenstromverhältnis 6,5:1) aufweisen sollen. Jedoch entstehen bei zwar weiter abgeschwächtem Freistrahlsschall deutlich gesteigerte tonhaltige Schallwellen im Bereich des Fans bzw. bei den Gegenlaufpropellern. Trotz vieler Entwicklungserfolge zur Schallreduktion, etwa bei der Ausgestaltung der Fanblatt- bzw. Propellerblattgeometrie und Einführung unterschiedlicher, fein abgestimmter Drehzahlen bei den Gegenlaufpropellern, werden immer noch auf den Flugzeugrumpf auftreffende Schallwellen sehr hoher Schallpegel erwartet.

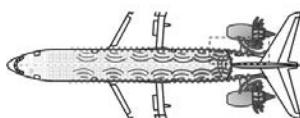
Hier setzen gegenwärtige und geplante Forschungsprojekte an, den niederfrequenten tonhaltigen Schalleintrag in die Flugzeugkabine erheblich zu reduzieren, der sonst bei einer akustischen Standardauslegung der Schallisolation mit erheblichen Komforteinbußen viel zu deutlich wahrnehmbar wäre. In einem ersten Teil dieser technischen Herausforderung wurden bereits kabinenschallrelevante, primärstrukturbedingte Schallübertragungswege studiert und Lösungskonzepte erarbeitet (Abb. 11). In einem zweiten Teil wird eine deutliche Reduktion kabinenisolationsbedingter Schallübertragungswege niederfrequenter tonaler Schallwellen in die Kabine angestrebt. Die dabei zu entwickelnden Lösungen müssen leichtgewichtig, bauraumeffizient, installationsfreundlich, passiv wirksam und kostengünstig sein und darüber hinaus eine hinreichende thermische und feuchtetolerante Isolation gewährleisten sowie zu-

lassungsrelevante Anforderungen wie z.B. Unentzündbarkeit bei Feuer und eine hinreichend hohe Durchbrandsicherheit garantieren.

### Gegenlaufpropeller-Triebwerke

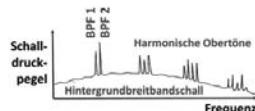
#### Herausforderung Teil 1:

Deutliche Reduktion *primärstrukturbedingter* Übertragungswege tonaler Schallwellen in die Passagierkabine.



#### Studienbeispiel:

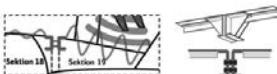
Generisches Passagierflugzeug in sog. „Pusher-Konfiguration“ mit Gegenlaufpropeller-Antrieb



#### Lösungsansätze:



Schallschutzschilde mit Membran-Metamaterialien



Entkopplung Körperschallpfad zwischen Rumpfsektionen

Für einen guten Komfort in der Kabine sollten die Schallpegel der Propellertöne deutlich unterhalb des gewohnten mittleren Kabinenschallpegels liegen.

Bild 11: Lösungsansätze zur Minderung primärstrukturbedingter Schallübertragungswege bei tonaler Schallanregung durch Gegenlaufpropeller.

## 7. Zusammenfassung

Bei der akustischen Auslegung einer Flugzeugkabine sind vier Betrachtungsfelder wesentlich:

Schallquellen, Transmissionspfade, Abstrahlungseigenschaften von Bauteilen und Schallabsorption.

Das Fachgebiet Akustik ist ein Querschnittsthema mit einem hohen Maß an Interdisziplinarität bei der Auslegung von Primär-Struktur, Systemen, Kabinenausstattungen, Flugantrieben, Hochauftriebsklappen und Fahrwerken.

An den Details einzelner Bauelemente, z.B. bei Flugzeugtüren, entscheidet sich, ob ein Verkehrs-Flugzeug insgesamt eine gute akustische Kabineneigenschaft aufweist, bzw. Schallwellen geringer Leistung in die äußere Umgebung abstrahlt. Die Bedeutung der Akustik als Entwurfsdisziplin wächst stetig, was besonders durch die Entwicklung hocheffizienter Flugantriebe deutlich wird.

## Literatur

- /1/ Michel,U., Abschlussbericht zum DLR-Projekt Leiser Verkehr, Kap.4 *Minderung des Triebwerkslärms*, Juli 2004
- /2/ Müller, G., Möser, M., Taschenbuch der Technischen Akustik, 3. Aufl. Springer, 2004, S. 683 ff
- /3/ Hahn, C., Experimentelle Analyse und Reduktion aeroakustischer Schallquellen an einfachen Modellstrukturen, Dissertation an der Uni Erlangen-Nürnberg, Jan. 2008
- /4/ Hoeveler, P., *Europäischer Kraftakt, Fortschritte beim Forschungsprogramm LEMCO-TEC*, Flug Revue, Feb. 2014, S. 81

# Das Türkonzept des Porsche Panamera – Integration von "Flush-Glazing" in eine Rahmentür aus Aluminiumschalenbauweise

B. Eng. **David Kiwus**, Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Weissach

## Kurzfassung

Mut verändert alles.

So wurde der Panamera zur schnellsten Luxuslimousine der Welt. Der Maßstab für Performance ist wie bei jedem Porscheprojekt die Nordschleife. Wer hier Rekorde mit viertürigen Limousinen aufstellen will, macht das mit einem Panamera Turbo.

Das Ergebnis 7:38 – Maximale Dynamik.

Auch bei den Türen des Panamera G2 brauchte es Mut zur Veränderung. Mit dem Ziel die einzigartige Optik des Flush-Glazing Designs verbunden mit der leichtesten Tür in seiner Klasse zu realisieren, wurde für den Panamera eine Tür entwickelt, welche bisherige Grenzen überschreitet.

## Weiterentwicklung des Flush-Glazing Konzeptes

Ein besonderes Designmerkmal bei der Panamera Tür der 1. Generation war das Flush-Glazing Konzept bei Rahmentüren in Modulbauweise. Eine große Herausforderung der 2. Generation war es nun, dieses Design in eine Tür aus Aluminium-Blechschalenbauweise in Verbindung mit Einzelteilmontage, weiter zu entwickeln.

## Das Türrohbaukonzept

Eine Blechschalenkonstruktion die Aluminiumdruckguss-, -profile und -tiefziehkomponenten ohne sichtbare Fügetechnik vereint.

## Das Dichtungskonzept

Drei geschlossene Dichtlinien, welche in das „clean“ Design der Tür integriert sind.

### 1. Der Ursprung

Im Januar 2009 präsentierte Porsche seinen ersten Gran Turismo - den Porsche Panamera. Der Sportwagen mit vier Türen, vier Sitzen sowie der unverkennbaren Porsche Design DNA hat für Europa gesorgt und ist bis heute im Luxussegment nicht mehr wegzudenken.

Die einzigartige Seitengrafik eingefasst zwischen hochglänzenden Aluminiumzierleisten erforderte eine spezielle Türkonstruktion. Nur so konnte die flächenbündige Seitenverglasung - das sogenannte „Flush-Glazing“ - in einer Rahmentür möglich gemacht werden. Der hierfür notwendige Türenaufbau bestand im Wesentlichen aus zwei Hauptkomponenten: dem Türrohbau und dem Türmodul. Dieses Konzept entsprach seiner Zeit dem Modulgedanken, mit geringerer Montagetiefe, im Porsche Werk Leipzig. Dazu wurde eine fertiglackierte Rohkarosse inkl. rahmenlosem Türrohbau aus Aluminiumdruckguss und Aluminium Außenblech von der Volkswagentochter VWN beigesteuert. Diese wurde dann im Werk Leipzig zum fertigen Fahrzeug aufgebaut. Für die Türen bedeutete es, dass bis auf wenige Türvormontageumfänge wie Schlösser, Griffe, Türfeststeller und Schachtleisten, komplett vormontierte Türmodule als „just in sequence“-Umfänge bereitgestellt wurden. Diese Türmodule sind dann über ihre Hauptaufnahmepunkte mit dem Türrohbau in der Türenvormontage komplettiert worden. Damit im Gesamtfahrzeug die hohen Anforderungen an die Fugen und Bündigkeiten der Türen zu einander erfüllt werden konnten, mussten die Türmodule über aufwendigen Vorrichtungen und Lehren präzise vormontiert werden. Zum Montageumfang gehörten nahezu alle Dichtungen, der Fensterheber, Elektrik Komponenten, Türscheiben, B-Säulenblenden und Dachzierleisten sowie das Fügen des Magnesium Fensterrahmens mit dem Türinnenblech.

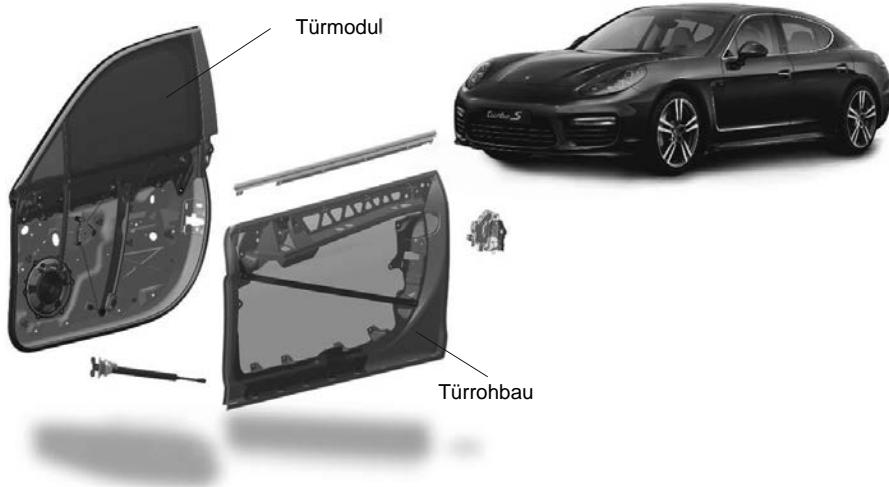


Bild 1: Türkonzept des Panamera G1

## 2. Die Panamera Türe der 2. Generation

Im Juni 2016 war es dann soweit, der Panamera der zweiten Generation stand in den Startlöchern und wurde in Berlin mit dem Slogan „Mut verändert alles“ erstmals der Öffentlichkeit präsentiert. Dies trifft auch auf das neue Türkonzept zu. Auf den ersten Blick fallen die wesentlichen optischen Änderungen wie die flachere Dachlinie, die zusätzliche Seitenscheibe und die neue Seitengrafik auf, welche stärker an den „911er“ erinnert, auf.



Bild 2: Seitenansicht Panamera G2

Doch spätestens wenn man die Tür öffnet, erkennt man, dass bis auf das Porsche Wappen alles neu entwickelt worden ist.

Eine der Hauptanforderungen war die Fertigungszeiten der Türen von Panamera und Macan über dasselbe Vormontageband zu vereinheitlichen. Dies erforderte wiederum eine produktionstechnische Harmonisierung und deutliche Erhöhung der Fertigungstiefe der Panamera Tür. Auch diese Anforderung wurde aus Produktionssicht sehr gut im Panamera G2 umgesetzt. Unter Berücksichtigung und Integration vieler ergonomischer Montagedetails während der Türenentwicklung, besteht nun die Fertigung wie beim Macan aus einem kompletten Türrohbau (inkl. Fensterrahmen und Türinnenblech) sowie aller Montageumfänge, welche einzeln in den Takten sequenziell verbaut werden. Das Türmodul ist damit komplett entfallen.

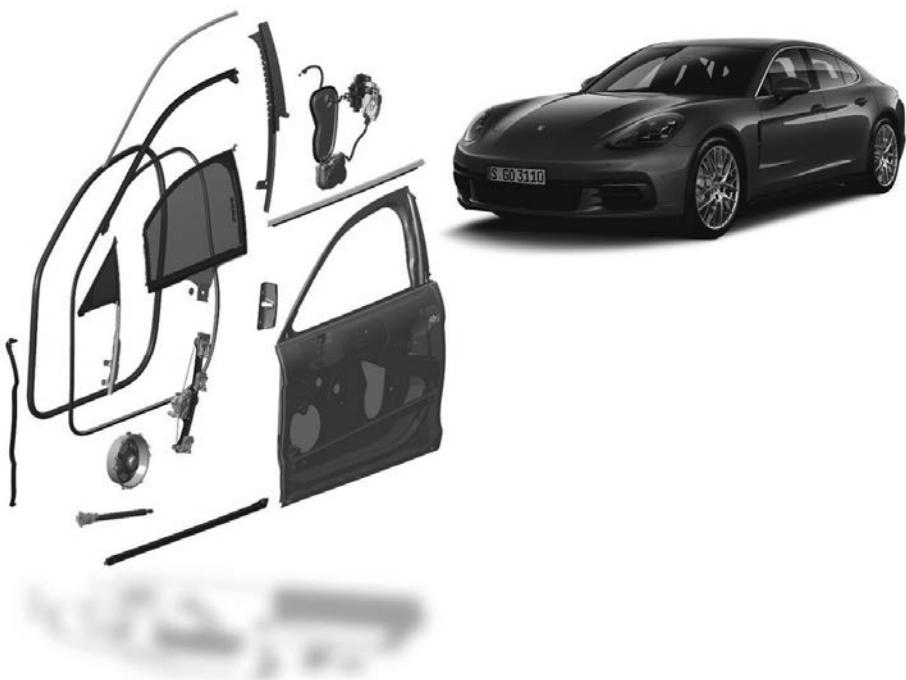


Bild 3: Türkonzept des Panamera G2

### 3. Die Ziele und Herausforderungen

Man könnte annehmen, wenn es bei einer Fahrzeugentwicklung ein Vorgängermodell gibt, dass man schnell darauf aufsetzen und mit überschaubarem Aufwand einen Nachfolger entwickeln kann. Das Panamera Projekt zeigte: dem ist nicht so. Der Nachfolger ist das erste Fahrzeug auf der von Porsche entwickelten MSB-Plattform (Modularer Standartantriebsbaukasten). Folglich blieb hier gegenüber dem Vorgänger nicht ein Stein auf dem andern, auch bei den Türen nicht.

So wurden auch in diesem Projekt die Ziele hoch gesteckt. Die Türen mussten eine Gewichtsreduzierung von 4,5% erreichen und das bei Einzelteilmontage, reduziertem Bauraum (Türpackage), verschärften Gesetzesanforderungen, robuster Performance bei Vmax von 330km/h und Beibehalten des für den Panamera typischen Flush-Glazing Designs. Durch eine optimale Auslegung der Struktur, Anwendung innovativer Fertigungsverfahren, das Ausreizen der Grenzen einzelner Werkstoffe und der engen Abstimmung zum Gesamtfahrzeug sowie der Produktion wurde es möglich.

### 4. Das Flush-Glazing

Eine flächenbündige Seitenverglasung „Flush-Glazing“ bietet neben der hochwertigen Optik auch aeroakustische und aerodynamische Vorteile. Die Schwierigkeit bei diesem Konzept besteht darin die Toleranzen für Türscheiben, Dreieckscheiben und B-Säulenblenden auf ein absolutes Minimum zu reduzieren. Nur ein speziell dafür entwickeltes Fensterheber-, Scheibenführungs- und Dichtsystem kann die Erfüllung dieser Anforderungen realisieren.



Bild 4: Flush-Glazing

Das Konzept beruht auf wenigen spezifischen Montageumfängen:

- Z-Dreieckscheibe mit Führungsschiene: sie besteht aus einem TPE-umspritzten Glas und einer aus Hochglasfaser-gefüllten Kunststoffschiene, welche die Führung der Türscheibe im vorderen Bereich in Y-Richtung übernimmt.
- Einstrang-Fensterheber mit integriertem Motor: das ermöglicht eine einfache Montage im Naßraum der Tür.
- Türscheibe mit Aufnehmer und Kunststoff-Gleitelementen: als zentrales Element des Konzeptes führen sie die Scheibe in der Schiene der Dreieckscheibe und B-Säulenblende. Der hierfür benötigte Bauraum ist sehr gering.
- Halter Blende: er wird am Türschloß verrastet und ermöglicht über seine spezielle Konstruktion eine Blindmontage der B-Säulenblende im Türinneren, die zum Schluss mit dem Halter verschraubt wird.
- B-Säulenblende aus kratzfestbeschichtetem PC mit integrierter glasfasergefüllten Kunststoffführungsschiene und vormontierter Dichtung: sie bildet den flächenbündigen Übergang zur Türscheibe und führt diese in X- und Y-Richtung

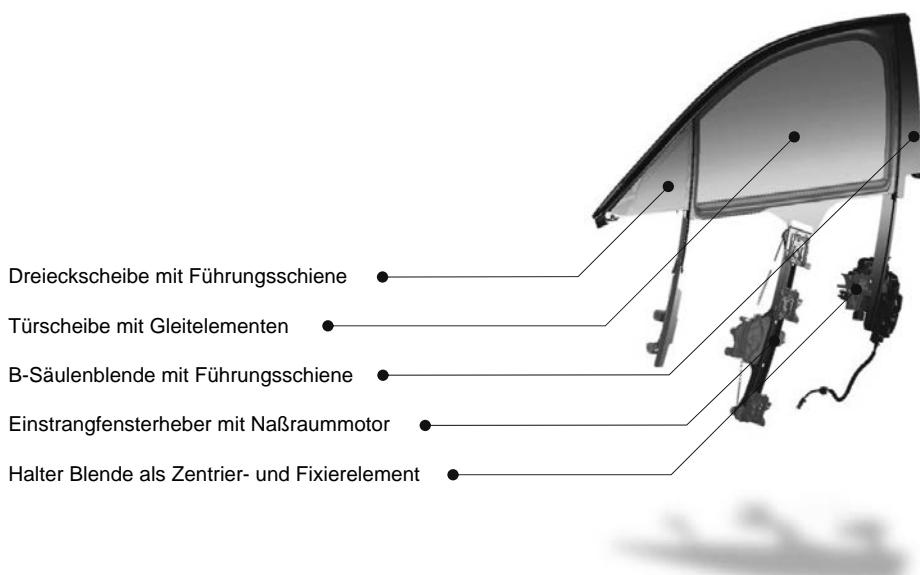


Bild 5: Systemspezifische Montageumfänge

## 5. Flush-Glazing im Detail

Die technischen Unterschiede von einer Tür mit Flush-Glazing gegenüber einer Tür mit konventionellem Aufbau, lassen sich anhand der vier folgenden Schnitten erläutern.

Im Schnitt 1, dem Dachrahmenquerschnitt wird verdeutlicht, wie im Speziellen die umlaufende 2K Dichtung Fensterführung (in sich geschlossener „Dichtring“) unter die Dichtung Zierleiste oben hinterhakt und somit eine geschlossene Dichtlinie bildet. Das ermöglicht eine einfachere und schnellere Montage. Die Dichtung Fensterführung bietet gleichzeitig eine Verrastung für Fensterrahmen Verkleidung.

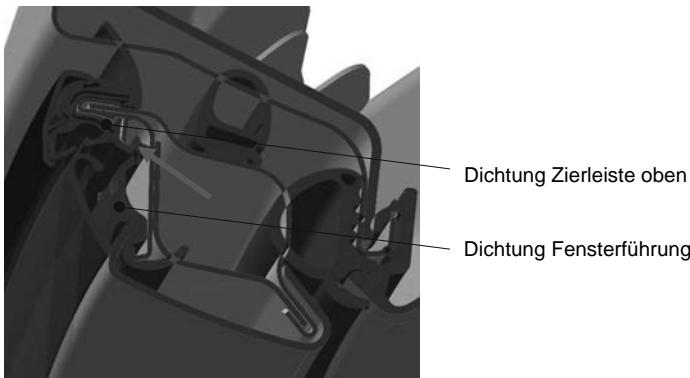


Bild 6: X-Schnitt Dachrahmen

In diesem Schnitt, im Bereich der B-Säule, wird verdeutlicht wie das einheitliche Y-Niveau von Türscheibe und B-Säulen Blende technisch umgesetzt wurde. Die Türscheibe wird hier über den Scheibengleiter in der B-Säulenblende in X- und Y-Richtung geführt.

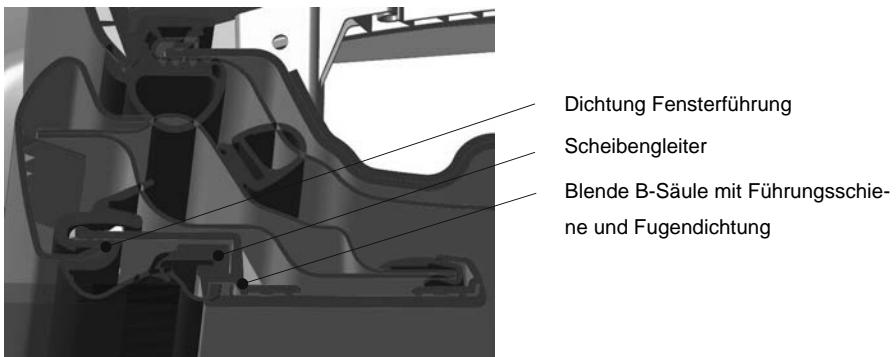


Bild 7: Z-Schnitt B-Säule

Der Schnitt durch den Steg der Dreieckscheibe zeigt die Führung der Türscheibe in Y-Richtung und den Toleranzausgleich in X-Richtung, sowie den Flächenübergang der Türscheibe zur Dreieckscheibe. Der Spalt zwischen den Scheiben wird durch eine aufgeklebte PE-coextrudierte Dichtung (Dichtung Steg) analog der B-Säulenblende geschlossen.

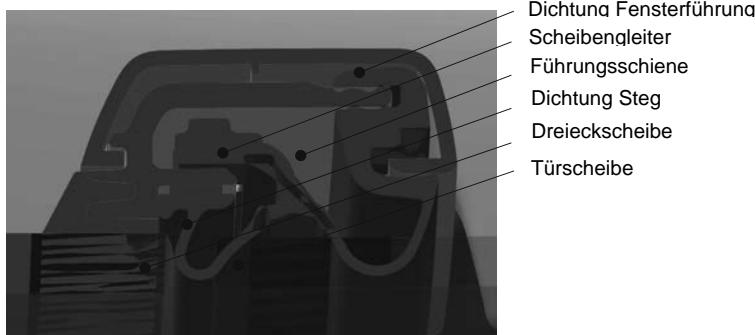


Bild 8: Z-Schnitt Steg A-Säule

Der Schnitt, der einem konventionellen Türaufbau am nächsten kommt, liegt im Schachtbereich. Das Spezielle hier ist die Hinterrastung der Dichtung Fensterführung im Türrohbau.



Bild 9: Schnitt Türschacht

## 6. Dichtungskonzept mit drei Dictebenen

Auch der neue Panamera, ist wie es in diesem Fahrzeugsegment üblich ist, mit drei Dichtebenen zur maximalen Geräuschminimierung und Reduzierung von Verschmutzungen ausgestattet. Hierzu zählen die Türdichtungen innen, Türdichtungen außen und die Fugendichtung als äußerste Ebene. Für das Flush-Glazing sind nur wenige davon systemspezifisch:

- Dichtung Zierleiste oben(1): das EPDM-Profil bildet zum Einen die Fuge zur Seitenwand und zum Anderen über einen Formschluss eine Dichtlinie zur Dichtung Fensterführung. Für die Dachrahmenzierleiste bildet sie das Trägerprofil.
- Dichtung Fensterführung (2): ist ein komplexes 2K TPE-PP-GF20 Formteil, das als zentrales Dichtelement das Flush-Glazing kennzeichnet. Durch die in sich geschlossene Dichtlinie (ohne Stoßstellen) wird eine maximale Dichtheit bzgl. Aeroakustik und Medieneintrag sichergestellt. Durch ein spezielles Verrast- und Steckprinzip kann hier auf Klebeänder wie in der ersten Panamera Generation verzichtet werden, was gleichzeitig einer einfachen Montage führt.
- Dichtung Steg (3) und Dichtung Blende (4): sind EPDM-PE Co-Extrusionsprofile, die die Fugen zwischen den Scheiben und zur Blende schließen.

Es gibt keine speziellen Dichtungen für die unterschiedlichen Glasvarianten (ESG/VSG). Die notwendige konstruktive Anpassung der Montageumfänge inkl. Dichtsystem an die Einzelteilmontage, hat keinen Einfluss auf das hohe aeroakustische Niveau.

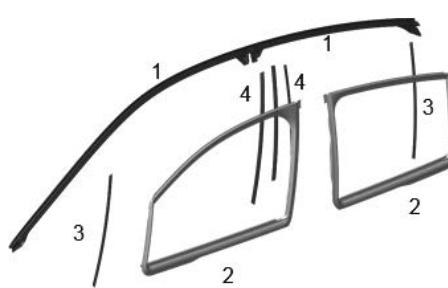


Bild 10: Systemspezifische Dichtungen

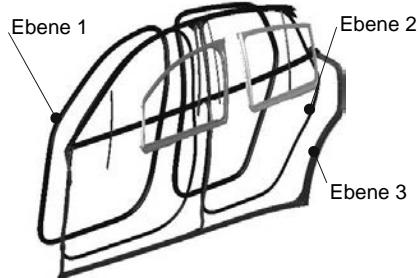


Bild 11: Drei Dictebenen

## 7. Leichtbaukonzept im Türrohbau

Das Türkonzept der ersten Panamera Generation mit einer Türrahmenkonstruktion aus Aluminium-Magnesium-Druckguss bzgl. Gewicht und Performance zu unterbieten war eine der größten Herausforderungen. Sehr früh stand ein Konstruktionsentwurf in Aluminiumblechschalenbauweise fest. Stand der Technik für diesen Aufbau (in kompakter Bauweise) bedeutet den Einsatz von thermischen Fügeverfahren wie das Laserschweißen. Ein großer Nachteil hierbei ist der Wärmeeintrag in den Bauteilen, der zum unerwünschten geometrischen Verzug führen kann. Auch der komplex zu steuernde, sowie kostenintensive Fertigungsprozess musste hier betrachtet werden. Ziel war es nun, die kompakten Geometrien (sehr kurze Fügefansche), welche mit Laserschweißen realisiert werden können, auch mit „kalten“ Fügeverfahren umzusetzen. Nur so lassen sich kleinste Sichtverdeckungswinkel im A-Säulenbereich und ein größtmöglicher Einstiegskomfort im Dachbereich erzielen. Das Ergebnis ist ein neuer Rollfalteprozess, der ein Aluminiumstrangpressprofil mit zwei geclinchten Blechen den Fensterrahmenquerschnitt bildet. Das in Verbindung mit dem Einsatz von Strukturkleber gibt erst die Möglichkeit die Fügetechniken Stanznieten und Clinchen in einen nicht einsehbaren Bereich zu bringen und somit ein ideales Flächendesign umzusetzen.

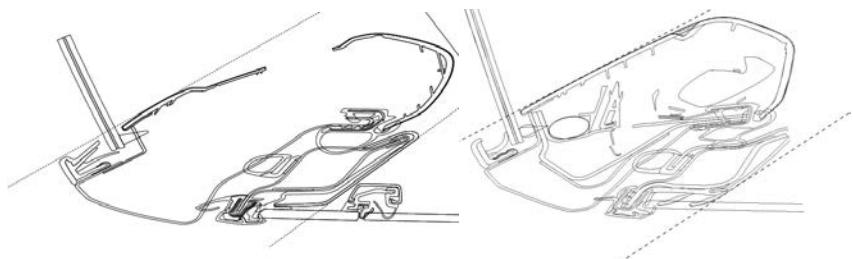


Bild 12: Schnitt Sichtverdeckungswinkel Panamera G2 (li.) und Wettbewerb (re.)

Einen großen Beitrag zur Gewichtsreduzierung bringen die extrem dünnen Blechwandstärken des Türinnenteils (1,0mm) und der Außenhaut (0,9mm). Neue Grenzen wurden auch beim Tiefziehen (kalt) der Türinnenteile (einteilig) gesetzt. Hier wurde bei der Tür hinten eine Ziehtiefe von 190mm und bei der Tür vorn 145mm umgesetzt. Durch die sehr frühe Unterstützung der FEM-Simulation konnte eine optimierte Türstruktur aus Blech, Profilen und einem Aluminium-Druckgußknoten entwickelt werden, die maximale Performance bei minimalstem Gewicht bietet.



Bild 13: ZSB Tür

Die Flush-Glazing relevante Technik befindet sich überwiegend im Bereich des Fensterrahmens. Über das rollgefalte Profil wird die Dichtung Fensterführung aufgenommen und die Dichtung Zierleiste oben über die Falzkante fixiert. Das Rahmenelement nimmt die B-Säulenblende auf und bildet die Hauptdichtfläche für die Dichtung Fensterführung. Zusammen mit dem Aluminium-Gußknoten ergibt das einen extrem steifen Rahmen, der auch bei Geschwindigkeiten von 330km/h kein Outbarding und somit keine unerwünschten Windgeräusche zulässt. Gegenüber dem Panamera G1 ist das eine Steifigkeitserhöhung von ca. 10%.

**Aluminium-Materialmix**

- Al-Blech 5000er und 6000er Legierungen
- Al-Strangpressprofile
- Al-Druckguß

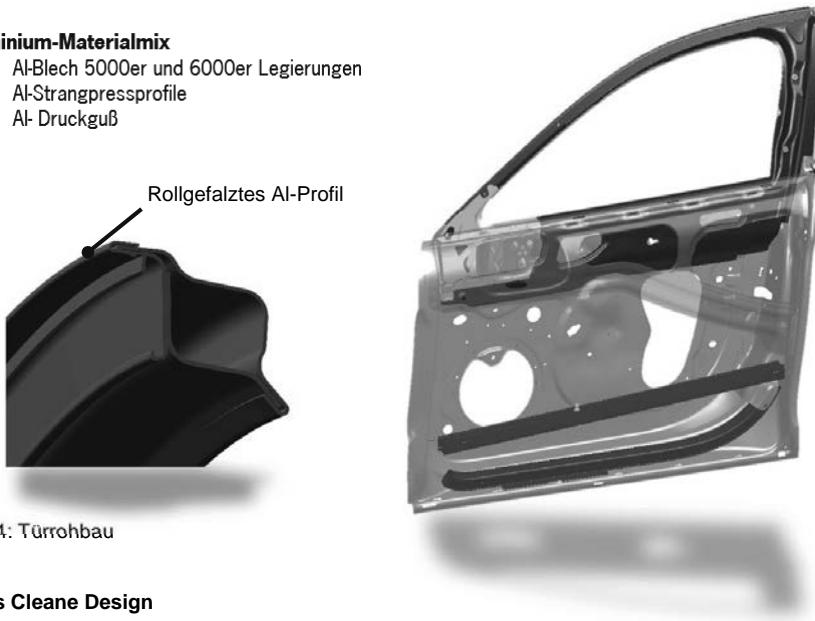


Bild 14: Türrohbau

## 8. Das Cleane Design

Trotz der technischen Grenzen bei der Blechumformung konnte in enger Abstimmung zwischen Styling, Strak und Produktion ein Türrohbau umgesetzt werden, der ähnlich wie bei der ersten Panamera Tür cleane und harmonische Flächenverläufe zeigt. Notwendige Fügepunkte und Löcher wurden an nicht direkt einsehbaren Stellen platziert und durch Abdækungen, die auch als Stylingelemente fungieren, kaschiert und verdeckt. Auch die Dichtungsverläufe wurden in die Rohbaustrakflächen integriert.



Bild 15: Ansichten Tür vorn



Bild 16: Ansichten Tür hinten

## 9. Gewicht und Fazit

Mut verändert alles. Fast alles. Das einzigartige panameratypische Design der Seitengrafik wurde „nur“ verfeinert aber in ein zukunftweisendes Türsystem integriert.

Das Gesamtergebnis kann sich sehen lassen. Trotz der enormen Anforderungen an das neue Türkonzept konnten die Ziele sogar übertroffen werden. Beim Gewicht wurde das Ziel deutlich unterschritten. Das Gewichtsziel einer Reduktion von 4,5% gegenüber der ersten Panamera Tür, konnte mit gut 10% mehr als verdoppelt werden. Die technischen Grenzen einer Türkonstruktion wurden hier neu definiert.

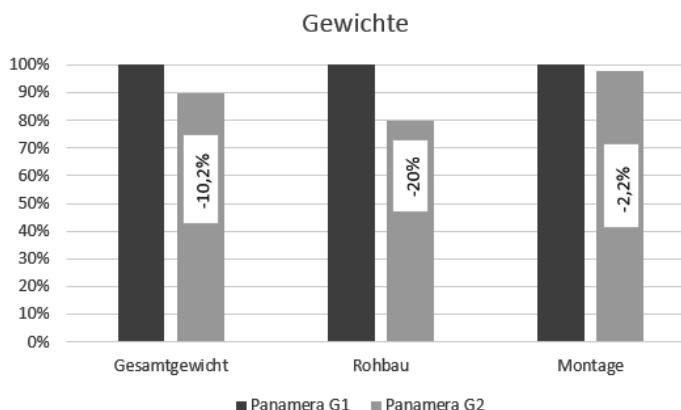


Bild 17: Gewichtsvergleich Panamera G1 zu Panamera G2

# Integration einer zweiten Öffnungsmöglichkeit in die Rückwandklappe eines Transporters

**Studentisches Projekt der HAW Hamburg in Kooperation mit der Volkswagen AG zur Konzepterarbeitung „Klappe in Klappe“**

**M.Sc. Christian Frömel, M.Sc. Quoc Thuan Ly,**  
HAW Hamburg, Hamburg;

## Kurzfassung

Eine zusätzliche Öffnungsmöglichkeit innerhalb der Rückwandklappe des VW Transporters bietet dem Kunden gegenüber der Öffnung der gesamten Rückwandklappe Vorteile hinsichtlich des Handlings, der Ergonomie und des Be- und Entladekomforts. Ein entsprechender Konzeptentwurf ist im Rahmen der Vorlesung KOB entstanden und stellt den Kern dieses Beitrags dar. Es erfolgt diesbezüglich eine Vorstellung der Randbedingungen, Konzeptansätze und -definition, sowie der Darstellung des Konzeptentwurfs. Ein besonderer Schwerpunkt wird auf die Vorgehensweise während der kinematischen Auslegung, unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen, gelegt. Die Punkte Fugenverlauf, Scharnierachsenposition und Scharnieranbindung haben die Definition des Kinematikmodells besonders geprägt und werden daher einer näheren Betrachtung unterzogen.

## Abstract

An additional opening possibility within the rear panel of the VW Transporter provides the customer with advantages regarding handling, ergonomics and loading and unloading comfort as opposed to the opening of the entire rear panel. Such a concept had been developed within the framework of the course KOB and is the core of this contribution. In this respect the conditions, concept approaches and definitions, as well as the conceptual design, is presented. The focus lies on the procedure during the kinematic design, taking into account the defined conditions. The points of joint run, the position of the hinge axis and hinge connection had a significant impact on the definition of the kinematic model and are therefore subjected to a closer examination.

## 0. Vorwort

Dieses Projekt ist im Rahmen der Vorlesung „Konstruktion von Baugruppen“ (kurz: KOB) des Master-Studiengangs Fahrzeugbau an der HAW Hamburg, in Zusammenarbeit mit der Volkswagen AG entstanden. Hochschulseitig wurde es durch Prof. Dr. Gerhard Tecklenburg und seitens Volkswagen durch Herrn Dipl. Ing. Stefan Lutz (NE-KT) betreut. Das Ziel des Projekts war die Konzeptauslegung einer integrierten Öffnungsmöglichkeit in die aktuelle T6-Rückwandklappe zur komfortablen Be- und Entladung.

Die Konzeptentwicklung zur Integration einer zweiten Öffnungsmöglichkeit in die Rückwandklappe eines Transporters, umfasst die Schwerpunktbereiche von der Konzeptdefinition mit der kinematischen Auslegung, über die konstruktive Umsetzung, bis hin zur Berechnung des Konzeptes. Die Konzepterarbeitung erfolgte anhand verteilter Aufgabenstellungen, die im Team simultan erarbeitet worden sind.

Das Projektteam bestand aus den im Folgenden aufgeführten Masterstudenten der HAW Hamburg der Fachrichtung Fahrzeugbau:

- Jana Büttner
- Lucas Claus
- Christian Frömel
- Quoc Thuan Ly
- Maximilian Mackerodt
- Roman Rübel
- Christina Ruhsamer

Unser besonderer Dank gilt unseren Betreuern Prof. Dr. Gerhard Tecklenburg, Dipl. Ing. Stefan Lutz, sowie Dipl. Ing. Christian Wenke, die durch Ihre Praxiserfahrung und kritischen Diskussionen wertvolle Denkanstöße und Sichtweisen angeregt und damit einen wesentlichen Beitrag zur Erarbeitung des Konzeptes geleistet haben.

## 1. Einleitung

Mit der zusätzlichen Öffnungsmöglichkeit soll der Komfort für den Kunden beim Be- und Entladen erhöht werden. Eine mögliche Lösung für den VW Transporter T6 wird innerhalb eines Teams aus sieben Studenten über einen Zeitraum von sechs Monaten entwickelt und konstruiert. Dabei werden die in **Bild 1** dargestellten Projektschritte durchlaufen.

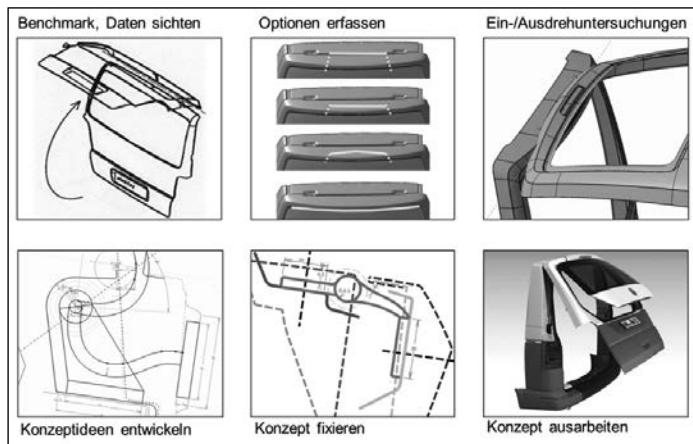


Bild 1: Projektschritte [3]

Im Rahmen des Vortrags werden zunächst die Anforderungen an das System erläutert, ehe auf die verschiedenen Varianten inklusive Ein-/Ausrehuntersuchungen eingegangen wird. Abschließend wird das ausgewählte Konzept zusammengefasst.

## 2. Systemanalyse

An ein System wie die zweigeteilte Heckklappe werden verschiedenste Anforderungen gestellt. Bevor die einzelnen Konzeptvarianten herausgearbeitet werden, ist es erforderlich, alle Anforderungen zu kennen. Dabei wird zwischen den Hard-Points und den Soft-Points unterschieden.

Hard-Points:

Hard-Points sind Anforderungen, die zwangsläufig eingehalten werden müssen. Ohne Einhaltung dieser Punkte entfällt das Konzept vollständig.

Da es den VW T6 bereits in Serie gibt, durfte der Exterieur-Strak nicht verändert werden. Zudem musste die Dichtlinie zwischen Rohbau und Heckklappe gehalten werden, da der Rohbau unabhängig von der Ausstattung immer gleich ist. Außerdem muss die Trennung zwischen der Rückwandklappe (RWK) und der komfortablen Rückwandklappe (kRWK) muss im unteren Bereich an der Laserlötnaht entlanglaufen. (**Bild 2**)



Bild 2: Lage der Trennfuge [1]

Neben diesen Anforderungen gibt es noch einige technische Punkte, die in Tabelle 1 aufgeführt sind.

Tabelle 1: Technische Anforderungen [i. Anl. [2]]

| Art                                       | Maß                       |
|---|---------------------------|
| <b>Fuge (umlaufend)</b>                   | $\geq 7 \text{ mm}$       |
| <b>Max. Öffnungswinkel (kRWK und RWK)</b> | $86^\circ$                |
| <b>Scharnierverstellbarkeit</b>           | 2 mm (in alle Richtungen) |
| <b>Overslam (untere Kante)</b>            | 7 mm                      |
| <b>Freigang zw. Klappe und Strak</b>      | $\geq 3 \text{ mm}$       |

In Hinblick auf eine mögliche Serienumsetzung müssen alle Bauteile den Kriterien der Herstellbarkeit genügen.

#### Soft-Points:

Soft-Points sind Anforderungen, die wünschenswert für die konzeptionelle Auslegung sind, jedoch kein Ausschlusskriterium bei Nichterfüllung darstellen. **Bild 3** stellt eine Übersicht der relevanten Soft-Points dar.

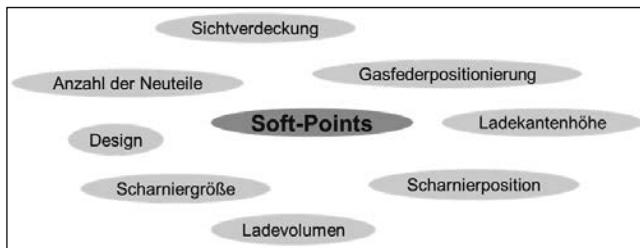


Bild 3: Übersicht der Soft-Points [i. Anl. a. [2]]

Während der Auslegung wurde insbesondere eine niedrige Ladekante angestrebt, um den Beladekomfort zu steigern. Zudem ist beim Schließen- und Öffnungsvorgang auf ein ergonomisch günstiges Handkraftdiagramm zu achten. Dieses wird durch die Scharnierachs- und Gasfederposition bestimmt.

### 3. Konzeptentwicklung

Zur Integration einer weiteren Öffnungsmöglichkeit in die Rückwandklappe des Transporters haben, neben den zuvor definierten Anforderungen, weitere Faktoren Einfluss auf die Konzeptentwicklung. Insbesondere die kinematische Auslegung, der Fugenverlauf, die Positionierung der Scharnierachse und die Integration zusätzlicher Komponenten, wie Scharnier und Gasfeder, sind für die Konzeptauslegung maßgebend.

Voruntersuchung:

Zur Definition des Zielkonzeptes sind im Vorfeld Konzeptvarianten anhand von ersten kinematischen Untersuchungen bewertet und auf Berücksichtigung der definierten Anforderungen geprüft worden. Für die kinematische Auslegung ist der obere Bereich der Klappe (Scharnieranbindung) näher zu betrachten.

**Bild 4** stellt eine Vorauswahl der erarbeiteten Konzeptvarianten anhand unterschiedlicher Fugenverläufe dar.

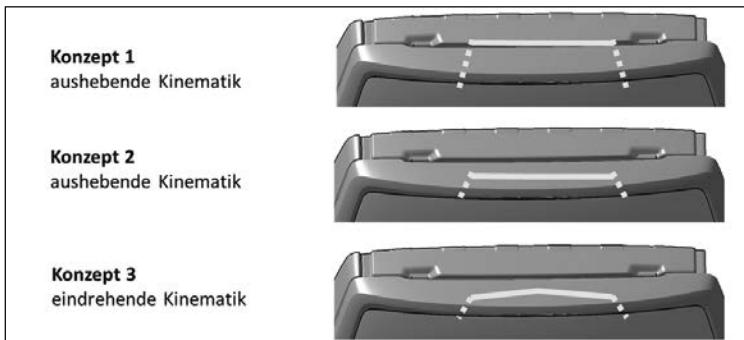


Bild 4: Gegenüberstellung der Fugenverläufe im oberen Bereich der RWK [i. Anl. a. [2]]

Das erste Konzept beschreibt einen Fugenverlauf der kRWK, der eine Trennung zwischen der RWK und der kRWK im oberen Bereich unter Verwendung der vorhandenen Fuge zum Rohbau vornimmt. Diese Variante weist eine aushebende Öffnungskinematik auf.

Der Fugenverlauf des zweiten und dritten Konzeptes trennt die kRWK von der RWK lediglich anhand eines Ausschnitts im ursprünglichen Strak. Dabei wird das Konzept 2 durch eine aushebende und das Konzept 3 mittels einer eindrehenden Kinematik beschrieben.

Zur Festlegung eines Konzeptes ist eine genaue kinematische Untersuchung unter Berücksichtigung der definierten Anforderungen durchzuführen. Die Positionierung der Scharnierachse spielt dabei eine zentrale Rolle. Sie hat Einfluss auf die Position, die Gestaltung, sowie die Integration des Scharniers. Zudem definiert sie die Positionierung der Gasfeder und des Klappenschlosses und übt entsprechend Einfluss auf die Gestaltung der Strukturteile aus.

Zur Definition der Scharnierachsposition werden für die bereits beschriebenen Konzeptmöglichkeiten Grenzkurven im oberen Bereich ermittelt. Diese Grenzkurven beschreiben Bereiche, in denen eine Positionierung der Scharnierachse den kinematischen Anforderungen gerecht wird. In Bild 5 werden diese Grenzkurven (rot) und die Positionierungskorridore (grün) der Scharnierachse dargestellt.

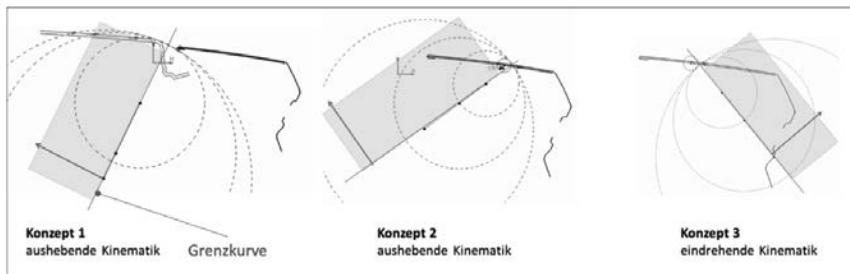


Bild 5: Grenzkurvendarstellung der Konzepte [i.Anl. a. [2]]

Auf Basis der vorangegangenen Definition der Positionierungskorridore ist für alle drei Fugenkonzepte in Abhängigkeit der Scharnierachse die Öffnungskinematik, sowie die Integration in die vorhandene Geometrie mittels Ein- und Ausdrehuntersuchungen analysiert worden. Im Folgenden wird eine Auswahl der erarbeiteten Konzepte vorgestellt.

**Bild 6** folgt dem Fugenverlauf von Konzept 1. Die Position der Scharnierachse (SA) entspricht dabei der ursprünglichen RWK Scharnierachse. Wie zu erkennen ist, wird die kRWK im Y0 Schnitt durch den gesamten Querschnitt der ursprünglichen RWK beschrieben.

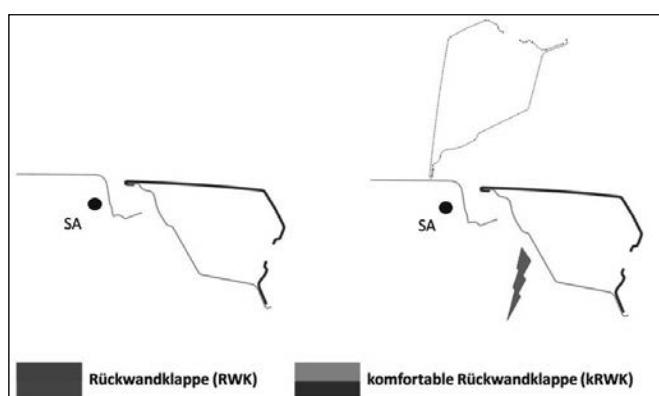


Bild 6: Ausdrehung des Konzepts 1

Der Vorteil dieses Konzeptes liegt in der Nutzung der bereits vorhandenen Fuge, sowie eine weitgehende Übernahme des ursprünglichen kinematischen Modells. Kritisch hingegen ist jedoch die Tatsache, dass die RWK durch die kRWK im oberen mittleren Bereich vollständig

durchtrennt wird. Die Folge ist, dass die RWK somit den Steifigkeitsanforderungen nicht gerecht werden kann.

Das Konzept 2 beschreibt einen Fugenverlauf auf der Strukturgeometrie der RWK. Wie in **Bild 7** dargestellt, wird die kRWK durch einen Ausschnitt der ursprünglichen RWK beschrieben. Mit der aushebenden Kinematik und der dargestellten Scharnieranbindung erfüllt dieses Konzept die kinematischen Anforderungen. Die gewählte platzsparende Scharnieranordnung ermöglicht der RWK und der kRWK einen größeren Querschnitt, jedoch ist das Scharnier von oben einsehbar.

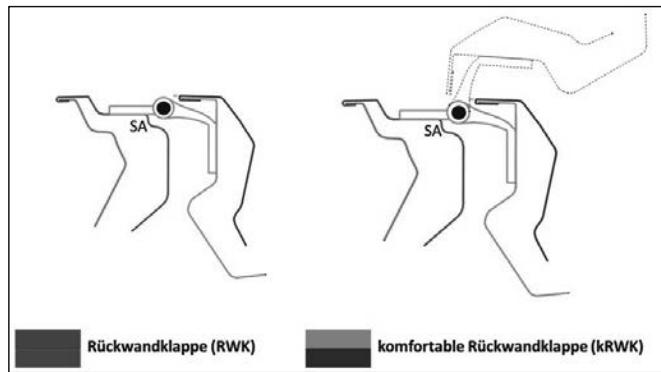


Bild 7: Ausdrehung des Konzepts 2

Das in **Bild 8** dargestellte Konzept 3 beschreibt im Gegensatz zum zweiten Konzept eine eindrehende Öffnungskinematik der kRWK. Mit der Eindrehung der kRWK und der Definition des benötigten Freigangs um die Scharnierachse herum, ist ersichtlich, dass bei diesem Konzept die RWK keinen ausreichenden Querschnitt bilden kann.

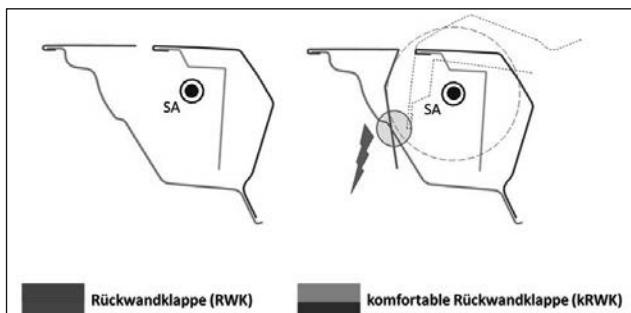


Bild 8: Eindrehung des Konzepts 3

Aus dieser Gegenüberstellung der drei vorgestellten Varianten, wird das Konzept 2 als Zielkonzept weiterverfolgt. Konzept 1 und 3 erfüllen nicht alle Hard-Points, insbesondere den Anforderungen bezüglich der Steifigkeit können sie nicht gerecht werden.

#### Konzeptionelle Umsetzung:

Mit der Festlegung des Konzeptes erfolgte die konstruktive Gestaltung der RWK und kRWK. Dazu ist auf die Methode der bereichsweisen Konstruktionsweise zurückgegriffen worden, die die Heckklappe, wie in **Bild 9** dargestellt, in unterschiedliche Bereiche untergliedert. Diese Arbeitsweise ermöglicht eine hohe Anzahl an parallel am Konzept arbeitenden Konstrukteuren, erfordert jedoch eine enge strukturelle und methodische Abstimmung zwischen den einzelnen Bereichen.

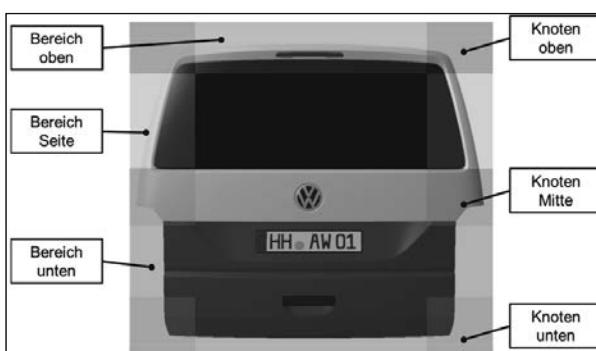


Bild 9: Bereichsweise Unterteilung der Rückwandklappe (RWK) [3]

Jeder der in **Bild 9** dargestellten Bereiche weist einen eigenen Schwerpunktbereich auf. Der Bereich oben ist insbesondere für die kinematische Auslegung, mit der Definition der Scharnierachse und der Integration des Scharniers zuständig. In Abhängigkeit zu der Scharnierachse befasst sich der Bereich Seite insbesondere mit der Integration der zusätzlichen Gasfedern. Dazu wird mit dem oberen Bereich, sowie mit der Gasfederauslegung die Umsetzung der kinematischen und ergonomischen Anforderungen abgestimmt. Im unteren Bereich erfolgen die Integration des Schlosses, des Wischermotors, sowie die Positionierung des Tasters.

**Bild 10** zeigt das erarbeitete Konzept anhand von bereichsbezogenen Schnitten.

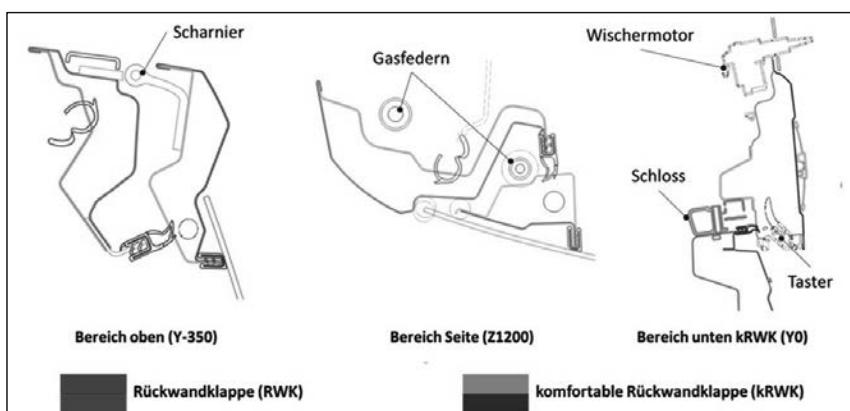


Bild 10: Konzeptschnitte der Hauptbereiche [i. Anl. a [3]]

Im Bereich oben sind das Scharnier und die Fuge zu erkennen, die eine Trennung zwischen der RWK und der kRWK anhand eines Strakausschnitts definiert. Der weitere Fugenverlauf im Bereich Seite wird durch die Scheibenkante beschrieben. Des Weiteren ist die zusätzliche Gasfeder, sowie der Rahmen der kRWK zur Unterstützung der Scheibe zu erkennen. Im Konzeptschnitt des unteren Bereichs ist die Trennung entlang der Laserlötnaht dargestellt.

Ein ganzheitlicher Überblick und die Betrachtung des Gesamtergebnisses erfolgen in der Zusammenfassung.

#### 4. Zusammenfassung

Abschließend soll das Ergebnis der Projektarbeit zusammengefasst werden. Dabei wird auf einige Kenngrößen eingegangen und der aktuelle Serienstand mit der einteiligen Heckklappe mit dem Konzept der zweiteiligen Klappe verglichen. **Bild 11** zeigt eine Zusammenfassung mit dem Vergleich der beiden Konzepte.

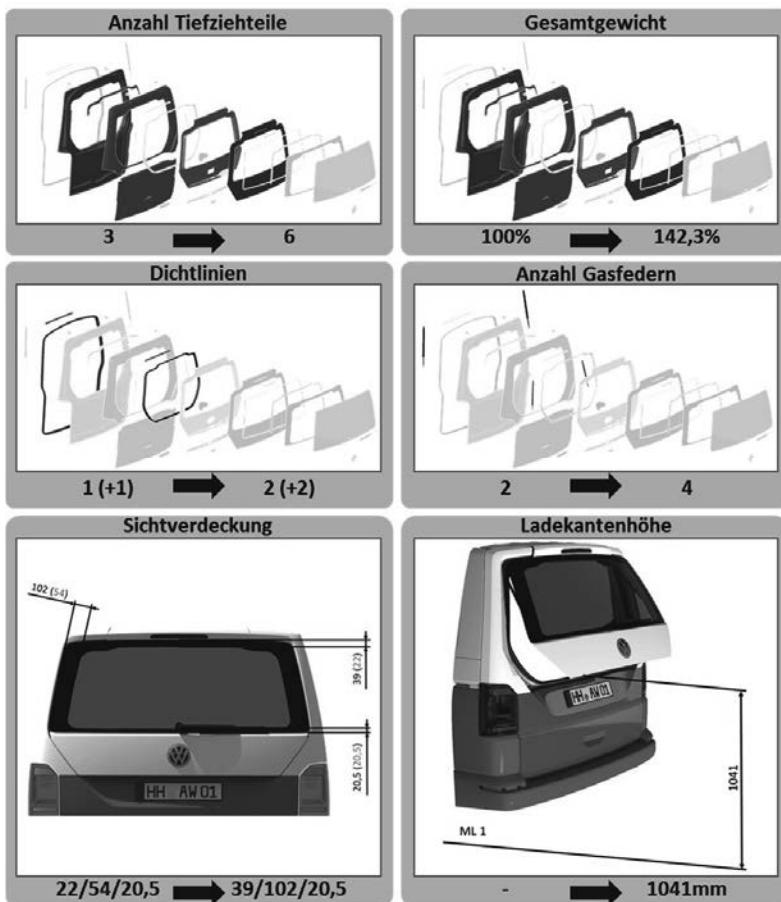


Bild 11: Zusammenfassung inklusive Konzeptvergleich mit Serienstand [i. Anl. a. [3]]

Zur Ergebnisdarstellung werden die beiden Baugruppen RWK und kRWK in leicht geöffneter Lage in **Bild 12** dargestellt. Als Ergebnis einer ergonomischen Untersuchung ist die Elektrifizierung der kRWK empfehlenswert, da die Erreichbarkeit durch das 5. Perzentil Frau in geöffneter Lage nicht gegeben ist.



Bild 12: Baugruppen kRWK und RWK (leicht geöffnet) [3]

## Literaturverzeichnis

- [1] Internetadresse: <http://www.autobild.de/Bilder/vw-t6-multivan-2015-preise-5673264.html#Bild9> (aufgerufen am 09.01.2017)
- [2] Jana Büttner, Lucas Claus, Christian Frömel, Quoc Thuan Ly, Maximilian Mackerodt, Roman Rübel, Christina Ruhsamer, Abschlussbericht: „Integration einer zweiten Öffnungsmöglichkeit in die Rückwandklappe eines Transporters“, HAW Hamburg, 2016
- [3] Jana Büttner, Lucas Claus, Christian Frömel, Quoc Thuan Ly, Maximilian Mackerodt, Roman Rübel, Christina Ruhsamer, Abschlusspräsentation 04.05.2016: „Integration einer zweiten Öffnungsmöglichkeit in die Rückwandklappe eines Transporters“, HAW Hamburg, 2016

# Huf-Heckschloss Innovationen

## Silent Funktion und Ruhigstellungsfunktion

Dipl.-Ing. **Marco Rosenbaum**,  
Huf Hülsbeck & Fürst GmbH & Co.KG, Velbert

### Kurzfassung

Kann man ein Produkt, das eigentlich schon als optimal angesehen wird, noch weiter verbessern? Man kann! Mit diesem Vorsatz ging das Huf-Entwicklungsteam daran, ein Heckschloss, das als modulares Baukastensystem angeboten wird, noch attraktiver zu machen. Im Rahmen einer Weiterentwicklung wurden zwei innovative Funktionen integriert: Die Silent Funktion und die Ruhigstellungsfunktion. Mit diesen Funktionen, die singulär oder kombiniert im Heckschloss zum Einsatz kommen können, ergeben sich für Automobilhersteller Vermarktungsvorteile. Der Autofahrer erhält neue Annehmlichkeiten. So wird ein sofortiges Öffnen der Heckklappe ermöglicht, wobei die jetzt deutlich leiseren Öffnungsgeräusche bei der manuellen wie auch bei der elektrisch angetriebenen Heckklappe einen ausgesprochen hochwertigen Eindruck vermitteln. Unabhängig von der Lebensdauer wird die hochfrequente Schwingung der Rückwandtür reduziert, indem man den Schließbügel mit der Drehfalle nicht nur einfängt, sondern fixiert. Auf diese Weise werden auch als unangenehm empfundene Geräusche eliminiert.

Das Zusammenspiel dieser beiden Funktionen im Heckschloss löst damit bisher geglaubte Gegensätze auf: Es wirkt bei sehr hohen als auch bei niedrigeren Dichtungsgegandrücken der Heckklappe. Den Endverbraucher wird es freuen, da er ein Premiumprodukt bekommt und dies unabhängig von Witterung und Lebensdauer.

### Abstract

Can improvements be made to what is already considered to be an optimal product? Yes, it is possible!

With this attitude, the Huf development team started to make the tailgate latch even more attractive by offering modular construction. Two innovative features were integrated by Huf during that phase of further development: The Silent Function and the Immobilization Function.

With these features, which can also be combined in the same latch, new possibilities are available for the carmakers. The car driver gets more comfort.

The Silent Function ensures that pleasantly sounding, smooth opening of the tailgate is achieved regardless of the door seal back pressure. Combined with low latch release noise, it gives the impression of very high quality, not only for the manual, but also electrically powered tailgates.

Furthermore, due to Immobilization Function, high frequency vibration of the tailgate is reduced, if not completely eliminated, since the striker is not only engaged by the claw but additionally blocked. Unpleasant rattling noises are eliminated that way.

Regardless of high or low seal pressure, weather or vehicle age, those two features complement each other and provide the customer with high end, luxury feel.

### 1. Die Grundlage : Modularer Baukasten Huf-Heckschloss

Seit über 30 Jahren entwickelt und produziert Huf Hülsbeck & Fürst (Velbert) Heckschlösser. Ende der 1990er Jahre entstand ein innovatives Produkt für den Kunden Daimler. Es wurde ein pneumatisch angetriebenes Heckschloss entwickelt und zur Serienreife in der S-Klasse gebracht. Dieses Schloss öffnet und schließt pneumatisch, gesteuert durch ein elektromagnetisches Ventil. Die Entlüftung findet direkt am Bauteil (siehe Bild 01) statt. Diese Kunststoffkonstruktion wiegt nur 556g (ohne das Gewicht des Kompressors zu berücksichtigen).

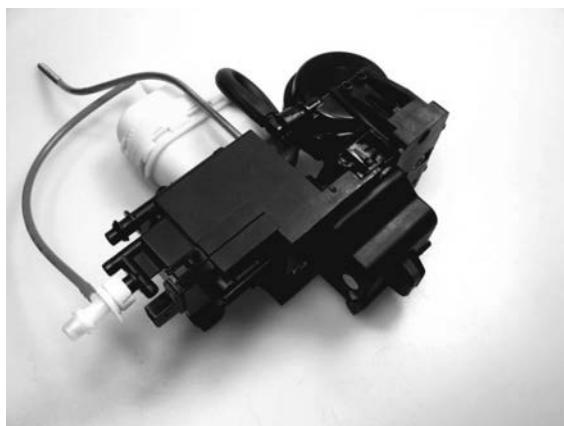


Bild 01: Wie alles begann:

Pneumatisches Heckschloss von Huf für die Mercedes S-Klasse (ab 1998)

Im Jahr 2000 ging dann das erste elektrisch öffnende Heckschloss in Serie. Zwei Jahre später präsentierte Huf ein Heckschloss, das – wie sein pneumatischer Vorgänger – sowohl

elektrisch geöffnet als auch zugezogen werden konnte und dies mit nur einem Motor. Es folgten weitere Generationen, die für verschiedene Kunden in Serie gefertigt werden. Aufbauend auf diesem großen Erfahrungsschatz des Huf-Entwicklungsteams wurde vor einigen Jahren ein modularer Baukasten für Heckschlösser aufgebaut. Das Baukastenkonzept bietet Preisvorteile bei gleichbleibender Qualität und Funktion. Heute bietet Huf mit dem modularen Baukasten ein wettbewerbsfähiges Produkt an, das – angepasst an die Anforderungen – sowohl für Basisausstattungen bis hin zum Premiumbereich den Kundenwünschen noch besser entsprechen kann.

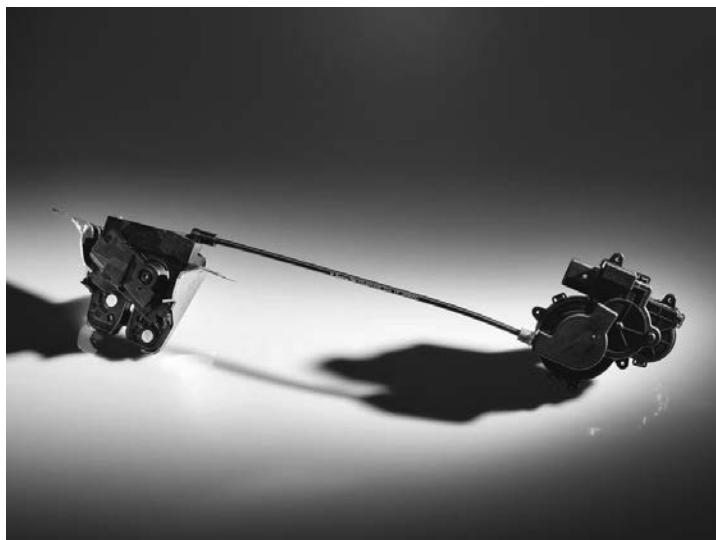


Bild 02:Leichtgewichte unter sich:

Huf-Heckschloss für den Porsche Panamera G2 (400g, Zerreißkräfte > 20kN ) mit Aktuator (200g)

Mit dem Baukastenkonzept, aufbauend auf dem Produkt in Bild 02 dargestellt, verfolgt Huf mit Hilfe von bewährten Teilen eine Gleichteilstrategie, die je nach Kundenwunsch erweiterbar ist.

## 2. Das Highlight: Silent-Funktion

Die Grundidee der Silent-Funktion besteht darin, möglichst viel Spannung aus dem Hecksystem zu nehmen, bevor die Drehfalle den Schließbügel freigibt. Auf diese Weise wird ein plötzliches Aufspringen der Heckklappe verhindert. Die das Aufspringen begleitenden Geräusche werden eliminiert und der Öffnungsvorgang bzw. die Öffnungsgeschwindigkeit wird homogenisiert, was vom Benutzer als ausgesprochen hochwertig wahrgenommen wird. Ein Vorteil ist, dass das verlangsame Öffnen, also die langsame Freigabe des Schließbügels, unbemerkt bleibt und nicht wahrgenommen wird. Das Gegenteil ist der Fall. Da nach Überwindung einer Übertotpunktllage der Öffnungsvorgang unmittelbar beginnt, erhält der Endkunde den Eindruck, dass sich die Heckklappe sogar schneller öffnet. Unabhängig vom Dichtungsgegendruck und von Witterungsbedingungen wird das Öffnen der Heckklappe als angenehm, konstant und kontrolliert empfunden. Dies bringt nicht nur die genannten Vorteile bei der manuellen Betätigung, sondern führt auch zu einem gleichförmigeren Ablauf bei elektrisch angetriebenen Systemen.

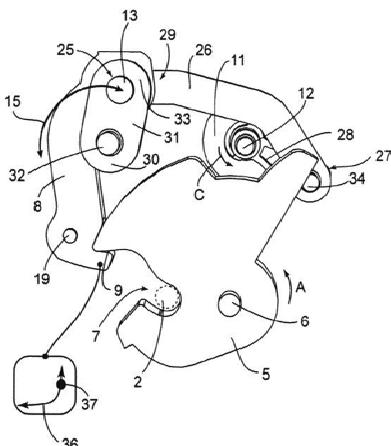


Bild 03: Huf-Heckschloss mit patentiertem Know-how [1].

Darstellung der Silent Funktion

In Bild 03 ist das Heckschloss mit Silent Funktion in der Verriegelungsstellung dargestellt. Zum Öffnen des Heckschlusses wird das Antriebselement (11) um die Rotationsachse (12), angedeutet durch den Pfeil C, gedreht, wodurch das Verbindungselement (13) mit der Sperrklinke (8) über die Schubstange (26) gemäß der Bewegungskurve (15) bewegt wird. Die Be-

wegungsbahn der Sperrklinke wird durch den Steuerzapfen (19) definiert, der in der Führungsausnehmung eines Führungselements (hier nicht dargestellt) geführt wird. Die Offenstellung erfolgt entlang der Bewegungsbahn (36), die schematisch in dem Kästchen seitlich des Heckschlusses gezeigt ist, wobei der Punkt (37) die aktuelle Stellung (Eingriffsstellung) des Rastabschnitts (9) auf der Bewegungsbahn (36) kennzeichnet. Die Bewegung des Rastabschnitts (9) aus der Eingriffsstellung in Richtung Freigabestellung ist in einem ersten Bewegungsabschnitt eine in Bezug auf die Drehfalle (5) im Wesentlichen tangentiale Bewegung, was durch den anfänglichen senkrechten Verlauf der Bewegungsbahn (36) gekennzeichnet ist. Die Sperrklinke (8) steht weiterhin mit der Drehfalle (5) in Eingriff, wobei durch die Drehung der Drehfalle (5) in Richtung des Pfeils A die Vorspannung, die bei geschlossenem Heckschluss in der Hauptraste vorherrscht, abgebaut wird, ohne dass die Sperrklinke (8) die Drehfalle (5) freigibt. In einem zweiten Bewegungsabschnitt des Rastabschnitts (9) wird dieser dann radial von der Drehfalle (5) weg bewegt.

### **3. Das Plus: Die Ruhigstellungsfunktion**

In einem weiteren Schritt untersuchte das Huf-Entwicklungsteam den Überhubpuffer, da die Pufferlösung im Laufe der Zeit verstärkt Geräusche hervorruft und auch ein Schwingen der Heckklappe nicht verhindert kann.

Zunächst galt es einen technischen Widerspruch zu überwinden: Zum einen benötigt ein sicheres und leichtes Schließen einen gewissen Überhub und zum anderen soll der Überhub gering ausfallen, um eine möglichst hohe Verspannung zwischen Heckschluss und Schließbügel zu gewährleisten, da dies Fahrgeräusche und Schwingungen der Heckklappe verhindert.

Das Team focussierte sich auf die Auswirkungen eines abgenutzten Überhubpuffers. Eine Bewegung des Schließbügels im geschlossenen Zustand des Heckschlusses verursacht ein unschönes metallisches Klackern zwischen Drehfalle und Sperrklinke.

Es entstand die Idee, die Drehfalle im geschlossenen Zustand, also in der Hauptraste, zusätzlich bzw. nachträglich nach dem Schließvorgang zu fixieren, damit keine Bewegung des Schließbügels relativ zum Heckschluss mehr möglich ist. In Fahrversuchen wurde die Wirksamkeit dieser Lösung bestätigt.

In Bild 04 ist eine Ansicht des in Hauptraste befindlichen Sperrwerks aufgezeigt mit einer möglichen Lösung für die Ruhigstellungsfunktion.

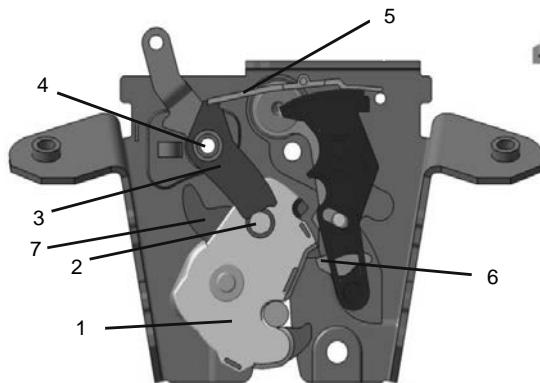


Bild 04: Huf-Heckschloss optimiert:  
Darstellung der Ruhigstellungsfunktion

Der grüne Ruhigstellungshebel (3), welcher auf den gelben Bolzen (2) der Drehfalle (1) wirkt und über die Achse (4) des Zuziehhebels gelagert ist, wird beim Fallen der Sperrklinke (6) in die Hauptraste durch den Auslösehebel (5) freigegeben. Hierdurch entsteht eine lineare Krafteinwirkung auf den Rastzahn der Sperrklinke, wodurch die Drehfalle fixiert ist und eine Bewegung des Schließbügels mitsamt der Drehfalle in den Überhubpuffer nicht mehr möglich ist.

Der Drehfallenzuziehzahn (7) wirkt beim Öffnen über die Drehung der Drehfalle auf den Ruhigstellungshebel, der dann nach rechts ausschenkt. Durch die Öffnung der Sperrklinke wird der Auslösehebel (5) nach unten gedrückt und blockiert auf diese Weise den Ruhigstellungshebel bis zum nächsten Erreichen der Hauptraste.

[1] DE 10 2012 102 723 A1

# Moderne Konzepte zum Entriegeln von Heckklappenschließsystemen und zum Ruhigstellen und Zentrieren der Heckklappe mit Hilfe des Schlosses

**Reinaldo Mensch, Dipl.-Ing. Thorsten Janssen,**  
WITTE Automotive GmbH, Velbert

## Kurzfassung

Das akustische Verhalten beweglicher Bauteile an Kraftfahrzeugen, sowohl während der Fahrt als auch während der Funktionalität und der Bewegung selbst, spielt auch hinsichtlich der elektrischen Mobilität und den daraus resultierenden Akustikveränderungen, eine immer größere Rolle in der Entwicklung dieser Bauteile.

In dem hier betrachteten Fall stellen daraus folgend, die stetig steigenden Anforderungen an das akustische Verhalten von Heckklappen- und –deckelsystemen während der Fahrt, sowie während des Öffnens und Schließens der Heckklappen/Heckdeckel selbst, für alle beteiligten Entwicklungsteams neue Herausforderungen dar.

Das akustische Gesamtverhalten ist hier abhängig von verschiedenen Faktoren: Bauraum, Klappendesign, Klappenmaterial, Dichtungsgegendruck, Puffer, Scharniere, Schloss und Schließbügel, natürlich auch der Einsatz zusätzlicher Dämmmittel zur Akustikoptimierung.

In dieser Abhandlung wird speziell der Beitragsteiler „Schloss“ betrachtet und drei Konzepte vorgestellt, mit denen schlossseitig das Akustikverhalten des Gesamtsystems Heckklappe/Karosserie verbessert werden kann.

Bei der Entwicklung dieser Konzepte wurde besonders auf ein Einhalten der bereits vorgegebenen Bauräume, auf eine möglichst kleine Anzahl von zusätzlichen Komponenten und den Einsatz von möglichst wenig zusätzlichen Teilen Wert gelegt.

## Abstract

The acoustic behavior of moving components on motor vehicles, both during the journey and also during the functionality and the movement itself, plays a permanently increasing role in the development of these components, especially in terms of electrical mobility and the resulting acoustic changes.

In the case considered here, the constantly increasing demands on the acoustic behavior of tailgate- and decklidsystems during the driving, as well as during the opening and closing process of the tailgates/decklids themselves, pose new challenges for all involved development teams.

The overall acoustical behavior is dependent on various factors: installation space, tailgate design, tailgate material, seal pressure, buffers, hinges, latch and striker, of course also the use of additional insulation for acoustics optimization.

In this pamphlet we will have a close look to the contribution provider component "latch" and will show three concepts which can be used to improve the acoustic behavior of the tailgate/carbody system as a whole.

During the development of these concepts, particular attention was paid to keep inside the pre-defined packaging space, the smallest number of additional components, and the use of as few additional parts as possible.

## 1. Einsatz der Zweisperrklinkentechnologie

Herkömmliche Schlosser sind üblicher Weise mit Sperrwerken ausgerüstet, die aus einer Drehfalle zum Halten des Schließbügels in geschlossener Stellung und einer Sperrklinke, die die Drehfalle gegen das Öffnen sichern, bestehen.

Durch das Aufschwenken der Sperrklinke kann die Drehfalle und der Schließbügel nutzergesteuert freigegeben werden.

Die Sperrfläche zwischen Drehfalle und Sperrklinke ist in der Regel neutral bis leicht negativ ausgelegt, d.h. die Sperrklinkensperrfläche liegt auf einem Radius um ihren Drehpunkt oder leicht negativ versetzt, so dass in allen Toleranzlagen die in Öffnungsrichtung wirkenden Kräfte während Normalbetrieb und im Crashfall maximal in den Achsenmittelpunkt der Sperrklinke wirken.

Ein Sperrwerk solcher Bauart zeigt Bild 1.

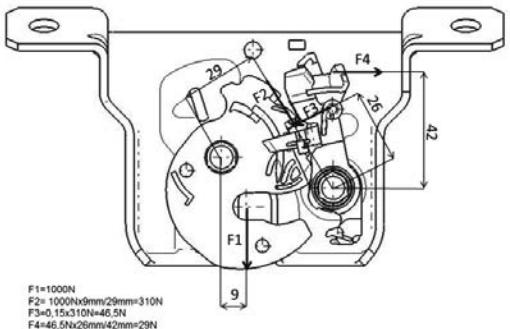


Bild 1: Standardssperrwerk mit Wirkkräften (schematisch)

Ein Nachteil dieser Bauart ist, dass zum Öffnen des Schlosses gegen die Reibkräfte zwischen den Sperrflächen von Drehfalle und Sperrlinke gearbeitet werden muss, welche im Normalbetrieb hauptsächlich vom Dichtungsgegendruck bestimmt wird, der in ungünstigen Fällen mit bis zu 1000N am Schließbügel wirkend definiert wird.

Der Dichtungsgegendruck, der bei einem geschlossenen Schloss in Öffnungsrichtung der Klappe wirkt ist notwendig, um Wassereintritt in das Fahrzeuginnere zu vermeiden. Zusätzlich dient er zu anderen, in der Regel ebenfalls nachgiebigen Medien, wie z.B. Puffer oder Federn, zum Ruhigstellen der Heckklappe/des Heckdeckels im geschlossenen Zustand.

Um nun, wie am Beispiel aus Bild 1, die Sperrlinke am Ansatzpunkt öffnen zu wollen, ist eine Sperrung unter 1000N Dichtungsgegendruck und einem Reibfaktor von 0,15 zwischen den Sperrflächen nur mit einer Öffnungskraft von 29N aufzuheben.

Um solche Öffnungskräfte mit den herkömmlich eingesetzten Elektromotoren zu erreichen, müssen zur notwendigen Untersetzung entweder lange Zusatzhebel mit entsprechend großen Öffnungswege und/oder z.B. Zahnräder zwischen Motor und Sperrwerk geschaltet werden.

Hebelgetriebe sind häufig aufgrund der kleinen zur Verfügung stehenden Bauräume nur beschränkt oder gar nicht möglich, auch ist hier in der Regel kostenseitig und gewichtstechnisch mit Mehrbelastung zu rechnen.

Verzahnungsgtriebe haben meist den Nachteil, akustisch auffällig zu sein. Dies führt nicht zuletzt zum Einsatz hochpräziser Bauteile mit enggesteckten Toleranzen. Auch kommt es bei Schlossausführungen, bei denen eine kurze Auslösezeit (< 40ms) Priorität genießt, zu mehr oder minder gut zu dämpfenden Anschlaggeräuschen nach Auslösung des Schlosses.

Es liegt daher auf der Hand, den Grund für die Notwendigkeit von Getrieben, nämlich die Auslösekraft am Sperrelement selbst, zu reduzieren.

Eine Lösung zur Reduzierung der Auslösekräfte bietet das sogenannte Zweispekklinkensperrwerk, siehe Bild 2.

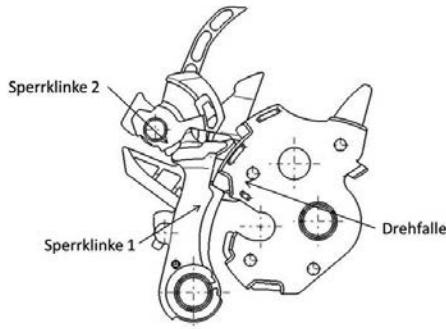
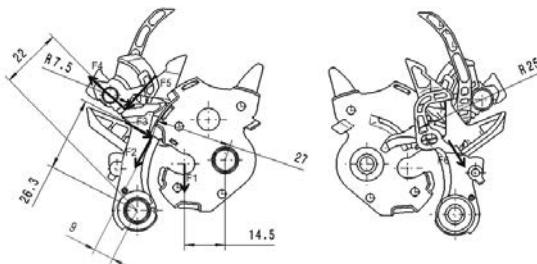


Bild 2: Zweispekklinkensperrwerk (schematisch)

Das Zweispekklinkenkonzept besteht aus einer Drehfalle zum Halten des Schließbügels in geschlossener Stellung und zwei Sperrklinken, die die Drehfalle gegen das Öffnen sichern. Hierbei ist die erste Sperrklinke mit einer positiven Rastkontur ausgestattet, d.h. der Radiusmittelpunkt der Sperrfläche weicht bedeutend von dem Drehpunkt der Sperrklinke ab, und zwar in die Richtung, dass bei Kraftbeaufschlagung auf die Sperrfläche ein öffnendes Moment auf die Sperrklinke ausgeübt wird, welchem hauptsächlich die entstehende Reibkraft zwischen den Sperrflächen entgegenwirkt.

Somit würde das Schloss unterhalb der Selbsthemmung selbst öffnen. Um das zu verhindern wird eine zweite Sperrklinke eingesetzt, welche die erste Sperrklinke neutral verrastend sichert.

Aus Bild 3 geht hervor, wie sich die Kräfte über die Kontaktpunkte der beteiligten Bauteile aufteilen.



$$\begin{aligned}
 F_1 &= 1000N \\
 F_2 &= 1000N \cdot \sin(15^\circ) = 537N \\
 F_3 &= 537N \cdot \tan(15^\circ) = 123.5N \\
 F_4 &= (537N \cdot \cos(15^\circ)) \cdot 22mm = 10,56N \cdot 22.3mm / 22mm = 123.5N \\
 F_5 &= 123.5N \cdot \tan(15^\circ) = 18.5N \\
 F_6 &= 18.5N \cdot 7.5mm / 25mm = 5.6N
 \end{aligned}$$

Bild 3: Zweispecklinkensperrwerk mit Wirkkräften

An dieser Ausführung mit einem positiven Sperrwinkel zwischen Drehfalle und Sperrlinke von  $15^\circ$  und einem Reibungskoeffizienten von 0,15 zeigt sich, dass die Auslösekräfte bei einem Dichtungsgegendiffdruck von 1000N auf 6N reduziert werden konnten (vergleiche: 29 N bei einem herkömmlichen Einspecklinkenkonzept).

Somit können die notwendigen Auslösekräfte im Vergleich zu einem klassischen Ein-Sperrlinkenprinzip um den Faktor 5 reduziert werden.

Zusammenfassend werden durch das Zweispecklinkenprinzip also folgende Vorteile generiert:

- Geringere Öffnungskräfte => geringere Öffnungsenergie => verbesserte Öffnungsakustik
- Verzicht auf Zahnräder => Vermeidung der typischen Getriebegeräusche
- Geringere Reibkräfte auf den Sperrflächen => optimierte Verschleißeigenschaften
- Vielfältige Anwendungsmöglichkeiten bezüglich verschiedenster Antriebstechniken

WITTE Automotive setzt das Zweispecklinkenprinzip bereits seit 2014 in Serie ein. Dort ist dieses kombiniert mit dem Auslösekonzept Bandspule (Smart Drive 1. Generation).

## 2. Einsatz des neuen, innovativen WITTE Raupenbandantriebs

In Kombination mit dem Zweispecklinkenprinzip setzt WITTE Automotive in Zukunft auf seinen neuen Raupenbandantrieb, vornehmlich bei Schlossanwendungen, in denen sehr schnelle Öffnungszeiten verlangt werden.

Der Raupenbandantrieb besteht vornehmlich aus zwei Bauteilen, der Nadelrolle und dem flexiblen Raupenband selbst, siehe Bild 4.



Bild 4: Raupenband, Nadelrolle und Motor

Die direkt auf der Motorachse gesteckte Nadelrolle transportiert das Raupenband bei Motorwellendrehung analog dem Filmtransport in Analogkameras, so dass der in das Raupenband eingehängte Auslösehebel oder die direkt verbundene Sperrlinke in Öffnungsrichtung bewegt wird und somit die Drehfalle und den Schließbügel freigeben.

Die Rückstellung erfolgt federgetrieben.

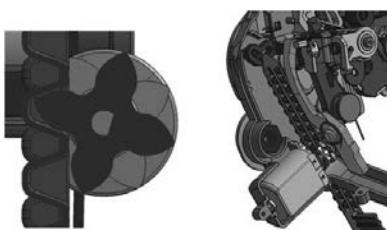


Bild 5: Funktionsweise Raupenantrieb

Mit einer für Heckklappenschlössern üblichen Motorisierung kann das Schloss unter 80°C und mit 9V Motorspannung gegen 1200N Dichtungsgegendruck geöffnet werden.

Da die meisten Heckklappenschlosssysteme mit deutlich niedrigeren Anforderungen an die minimal zu überwindende Öffnungskraft definiert werden, ist insofern auch ein Downsizing des Motortyps bezüglich Drehmoment, Größe, Gewicht und Stromaufnahme denkbar.

Diese Option ist vor allem auch attraktiv hinsichtlich der zunehmenden Elektrifizierung der Komponenten und des Fahrzeugantriebs als solches.

Die Versuchsergebnisse bestätigen diese Erkenntnisse:

Tabelle 1 zeigt den Auslösestrom, den Blockstrom und die Auslösezeiten bei konstanter Spannung von 9V und Dichtungsdrücken zwischen 100N und 1200N.

Tabelle 1: Schlossöffnung bei 9V unter verschiedenen Dichtungsdrücken

Test 1 Prüfspannung konstant 9 V / test voltage constant 9 V

| Spannung / voltage<br>[V] | Dichtungsdruck / seal force<br>[N] | Auslösestrom / release current<br>[A] | Blockstrom / stall current<br>[A] | Auslösezeit / release time<br>[ms] |
|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 9,0                       | 100,2                              | 1,1                                   | 3,5                               | 26                                 |
| 9,0                       | 195,6                              | 1,2                                   | 3,5                               | 24                                 |
| 9,0                       | 299,7                              | 1,1                                   | 2,9                               | 27                                 |
| 9,0                       | 401,0                              | 1,1                                   | 2,8                               | 27                                 |
| 9,0                       | 505,5                              | 1,0                                   | 2,9                               | 34                                 |
| 9,0                       | 602,4                              | 1,1                                   | 2,9                               | 27                                 |
| 9,0                       | 706,7                              | 1,3                                   | 2,9                               | 31                                 |
| 9,0                       | 809,7                              | 1,0                                   | 3,0                               | 36                                 |
| 9,0                       | 891,5                              | 1,2                                   | 3,0                               | 37                                 |
| 9,0                       | 994,9                              | 1,5                                   | 2,9                               | 30                                 |
| 9,0                       | 1118,9                             | 1,2                                   | 2,9                               | 43                                 |
| 9,0                       | 1183,8                             | 1,5                                   | 3,0                               | 29                                 |

Die Ergebnisse aus Tabelle 2 bestätigen, dass selbst bei 5V Spannung am Motor eine Schlossauslösung geben ist.

Tabelle 2: Schlossöffnung bei niedriger Spannung und konstantem Dichtungsdruck von 1200N

Test 2 Dichtungsdruck konstant 1200 N / seal force constant 1200 N

| Spannung / voltage<br>[V] | Dichtungsdruck / seal force<br>[N] | Auslösestrom / release current<br>[A] | Blockstrom / stall current<br>[A] | Auslösezeit / release time<br>[ms] |
|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 6,0                       | 1198,3                             | 1,3                                   | 1,9                               | 38                                 |
| 5,0                       | 1195,5                             | 1,4                                   | 1,8                               | 48                                 |
| 5,0                       | 1155,5                             | 1,8                                   | 1,7                               | 48                                 |

Tabelle 3 verdeutlicht die Auslösezeit unter Standardbedingungen

Tabelle 3: Schlossöffnung bei konstanter Spannung von 13,1 V und Dichtungsdrücken von ca. 310N

| Spannung /<br>Voltage<br>[V] | Dichtungsdruck /<br>seal force<br>[N] | Auslöststrom /<br>release current<br>[A] | Blockstrom /<br>stall current<br>[A] | Auslösezeit /<br>release time<br>[ms] |
|------------------------------|---------------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 13,1                         | 302                                   | 1,8                                      | 3,0                                  | 23                                    |
| 13,1                         | 302                                   | 1,8                                      | 3,0                                  | 24                                    |
| 13,1                         | 322                                   | 1,7                                      | 3,0                                  | 22                                    |
| 13,1                         | 322                                   | 1,8                                      | 3,0                                  | 23                                    |
| 13,1                         | 322                                   | 1,8                                      | 3,0                                  | 23                                    |

Eine weitere optional abbildbare Funktionalität des WITTE Raupenantriebes ist die Möglichkeit der Notentriegelung nach Crash durch Reversieren des Motors. Diese Funktionalität verbindet die mechanische Schnittstelle zwischen Schloss und Türaußengriff nach einem Crash und ist vor allem interessant für Türen, die als Rettungszugänge definiert sind.

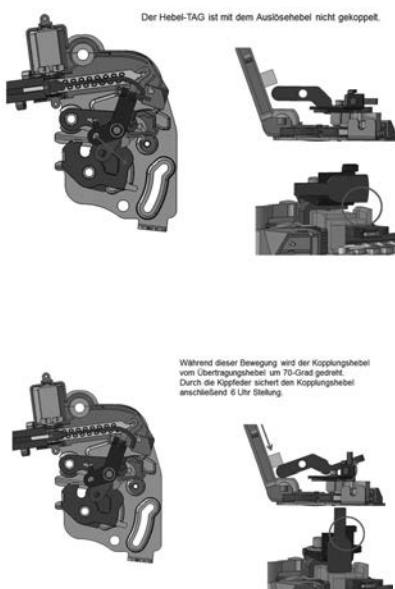


Bild 6: Notentriegelung mittels Raupenantrieb

Zusammenfassend werden durch das Zweispekklinkenprinzip in Verbindung mit dem Raupenantrieb also folgende Vorteile generiert:

- Geringere Öffnungskräfte => geringere Öffnungsenergie => verbesserte Öffnungsakustik
- Verzicht auf Zahnräder => Vermeidung der typischen Getriebegeräusche
- Geringere Reibkräfte auf den Sperrflächen => optimierte Verschleißeigenschaften
- Einsatz von kleineren Motoren möglich bei Standarddichtungsgegendarßen von 800N
- Sehr kurze Auslösezeit von ca. 20ms
- Sehr einfache und robuste Mechanik, toleranzunempfindlich
- Notentriegelung nach Crash abbildbar

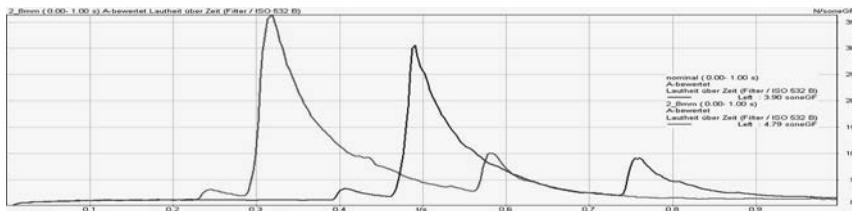
### **3. Konzept zum gesteuerten, zeitlich gebremsten Öffnen der Drehfalle zur Reduktion des Öffnungsknalls.**

Wie schon in den vorderen Kapiteln beschrieben, werden Heckklappen und Heckdeckel im geschlossenen Zustand in Öffnungsrichtung durch verschiedene, in der Regel nachgiebige Medien, z.B. Dichtung, Puffer, Federn o.ä. verspannt.

Beim Öffnen des Schlosses wird die gespeicherte Energie zum Zeitpunkt des Abrisses der Sperrflächen voneinander schlagartig freigesetzt und es kommt zum sogenannten Öffnungsknall.

Dieses störende Geräusch ist abhängig von der Höhe des Dichtungsgegendorcks, den weiteren in Öffnungsrichtung wirkenden Komponenten, von der Karosserie, der Heckklappe und den Verschlusskomponenten.

Ein Beispiel für den Einfluss der in Öffnungswirkung wirkenden Kräfte auf die Geräuschentwicklung zeigt Grafik 1:



Grafik 1: Lautheit über Zeit während eines Öffnungsevents mit (rot) und ohne (blau) Dichtungsdruck

Die Messungen wurden an einem Serienfahrzeug durchgeführt. Es wurde der Lautheitspegel in Sone über die Zeit aufgenommen. Die rote Kurve zeigt hier den Öffnungsprozess **mit** und die blaue **ohne** Gegendruck.

In diesem Fall machte der Dichtungsgegendruck also ein Lautheitsdelta von 5 Sone aus.



Bild 7: Beispiel einer definierten Akustikmessung

Ziel des in diesem Kapitel beschriebenen Konzepts soll es nun sein, den Einfluss des Dichtungsgegendruckes so weit wie möglich zu minimieren und somit das Öffnungsgeräusch auf den Idealzustand ohne Dichtungsgegendruck zu minimieren.

Der Öffnungsknall entsteht durch das schlagartige Öffnen der Drehfalle, sobald sich die Sperrflächen von Drehfalle und Sperrklinke während des Aufschwenkens der Sperrklinke trennen.

Es liegt daher auf der Hand einen Weg zu finden, das Öffnen der Drehfalle zu bremsen, ihr sozusagen ein sanftes Aufschwingen zu ermöglichen, so dass die gespeicherte Energie gleichmäßig über einen definierten Zeitraum abgebaut wird.

Um dies zu erreichen sind verschiedene Konzepte denkbar.

Eine Möglichkeit zum Abbilden dieser Funktionalität besteht darin, das Zweisperrklinkenprinzip weiter zu entwickeln. Man mache sich zu Nutze, dass die positiv verrastete Paarung Drehfalle/ erste Sperrklinke schon in der Zeit, in der die Sperrflächen der beiden Komponenten während des Aufschwenkens der Sperrklinke noch im Eingriff sind, die Drehfalle und der Schließbügel bereits in Öffnungsrichtung drehen können.

Idealerweise beträgt der positive Sperrwinkel hier mehr als 30°.

Bild 8 zeigt ein solches Sperrwerk.

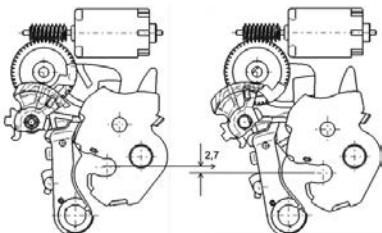


Bild 8: Sperrwerk 1. komplett geschlossen und 2. Hauptaste entriegelt

Es zeigt sich, dass von Beginn der Sperrklinkenbewegung bis zu dem Zeitpunkt des Abrisses der Sperrflächen voneinander die Drehfalle und der Schließbügel bereits 2,7mm Weg in Öffnungsrichtung zurückgelegt haben. In dieser Position ist der Großteil des Dichtungsgegendruckes bereits abgebaut.

Da im klassisch bekannten Fall ohne zusätzliche Maßnahmen die Sperrklinke durch den motorischen Antrieb geöffnet wird und der Dichtungsdruck gleichzeitig die Drehfalle öffnet, würde dieses Design alleine keine gravierende Verbesserung erzielen.

Eine zusätzliche Maßnahme kann sein, den eigentlichen Antrieb gleichzeitig als Bremse für Sperrklinke und Drehfalle während der reinen Öffnungszeit des Schlosses zu nutzen.

In der hier beschriebenen Ausführung weist das vom Motor angetriebene Zahnrad verschiedene Öffnungs- und Steuernocken auf, die während des Öffnungsprozesses jeweils mit der ersten bzw. zweiten Sperrklinke in Eingriff gebracht werden.

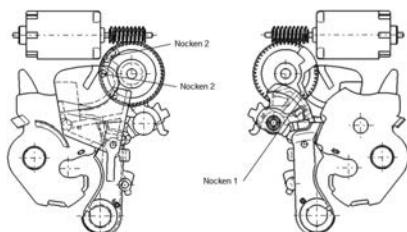


Bild 9: Sperrwerk mit vorgeschaltetem Steuergetriebe

Bei Bestromung des Motors wird das Antriebsrad in Bewegung gesetzt und öffnet mit Nocken 1 zuerst die zweite Sperrklinke. Zum gleichen Zeitpunkt kämmt der sich bis dato im Freilauf befindende Nocken 2 in die Sperrklinke ein und hindert diese am Aufspringen.

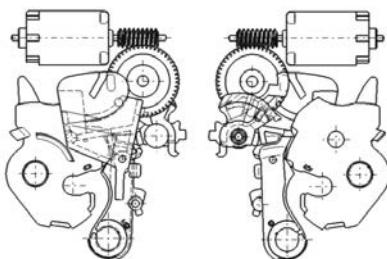


Bild 10: Sperrwerk mit geöffneter zweiter Sperrklinke

Die Sperrklinke wird nun vom Nocken 2 in Öffnungsrichtung blockiert und folgt diesem analog einer definierten Aussteuerungskontur.

Mit anderen Worten: die Sperrklinke kann nur so schnell öffnen wie es die Drehzahl des Antriebsrads zulässt.

Somit ist die Öffnungszeit von Sperrklinke und somit auch Drehfalle durch die Antriebsrad-drehzahl steuerbar.

Nach ca.  $90^\circ$  Antriebsradumdrehung sind die Sperrflächen von Drehfalle und Sperrklinke getrennt, der Schließbügel hat sich um 2,7mm in Öffnungsrichtung bewegt, und der Dichtungsgegendruck ist weitgehend oder ganz abgebaut.

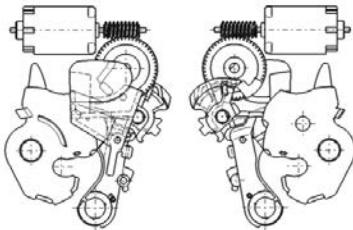


Bild 11: Sperrwerk kurz vor Abriss von erster Sperrklinke und Drehfalle

Ab hier wird der Nocken 2 zum Antriebsnocken für die erste Sperrklinke und drückt diese weiter in den Überhub, wo sie zwecks Vorrastenunterdrückung fixiert wird.

Das Antriebsrad dreht dann frei weiter bis es nach 360 Grad Drehung durch die geöffnete Sperrklinke mittels Nocken 3 gestoppt wird.

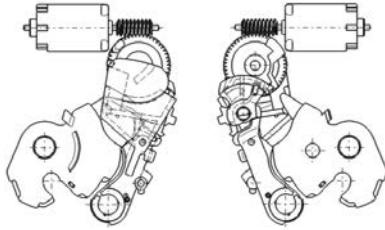


Bild 12: Sperrwerk komplett geöffnet

Da man mit der Antriebsraddrehzahl die Öffnungszeit von Sperrklinke und Drehfalle steuern kann, sind es folglich der Motortyp und die vorgeschalteten Getriebebauteile, die man als Steuergrößen verwenden kann.

Ein Beispiel für ein verwendetes Getriebe und die sich daraus ergebenden jeweiligen Zyklenzeiten während des Öffnungsvorganges zeigt folgende Berechnung:

|  |                                      |  |   |                                      |  |  |  |  |
|--|--------------------------------------|--|---|--------------------------------------|--|--|--|--|
| Gelenkstufe_1<br>Zahnzahl Schnecke z1<br>Zahnzahl Abtriebsrad z2   | 28<br>1<br>28                        |  |   |                                      |  |  |  |  |
| <b>Event 1</b>   |                                      |  | <b>Event 3</b>  |                                      |  |  |  |  |
| Motordrehzahl: Freilauf plus Bremsfehler über 2,8mm Schließbügelweg n in U/min<br>Verstellwinkel am Rad (Freilauf plus Bremsfehler über 2,8mm Schließbügelweg) in Grad | 6000<br>85                           |  | Motordrehzahl Transport SPK in Überhub und Speicherposition n in U/min<br>Verstellwinkel am Rad (Transport SPK in Überhub und Speicherposition) in Grad | 6000<br>12                           |  |  |  |  |
| <b>Berechnung Auslösezeit t1 für Winkel</b>  | 85                                   |  | <b>Berechnung Auslösezeit t3 für Winkel</b>   | 12                                   |  |  |  |  |
| Faktor anteiliger Winkel   | 0,29611111                           |  | Faktor anteiliger Winkel  | 0,03333333                           |  |  |  |  |
| 3,571428571 Umdrehungen / sec<br>t1 in [ms]  | 1285,71429 Grad / sec<br>66,11111111 |  | 3,571428571 Umdrehungen / sec<br>t2 in [ms]   | 1285,71429 Grad / sec<br>9,333333333 |  |  |  |  |
| <b>Event 2</b>   |                                      |  | <b>Event 4</b>  |                                      |  |  |  |  |
| Motordrehzahl nach Absetzen bis Drehfalle frei in U/min<br>Verstellwinkel am Rad (nach Absetzen bis Drehfalle frei) in Grad  | 6000<br>18                           |  | Motordrehzahl Transport SPK in Überhub und Speicherposition n in U/min<br>Verstellwinkel am Rad (Transport SPK in Überhub und Speicherposition) in Grad | 8000<br>245                          |  |  |  |  |
| <b>Berechnung Auslösezeit t2 für Winkel</b>  | 18                                   |  | <b>Berechnung Auslösezeit t4 für Winkel</b>   | 245                                  |  |  |  |  |
| Faktor anteiliger Winkel   | 0,05                                 |  | Faktor anteiliger Winkel  | 0,6805556                            |  |  |  |  |
| 3,571428571 Umdrehungen / sec<br>t2 in [ms]  | 1285,71429 Grad / sec<br>18          |  | 4,761904162 Umdrehungen / sec<br>142,9566667  | 1714,28571 Grad / sec                |  |  |  |  |
| Öffnungszeit [ms]  | 80,11111111                          |  |   |                                      |  |  |  |  |
| Gesamzykluszeit [ms]   | 232,36111111                         |  |   |                                      |  |  |  |  |

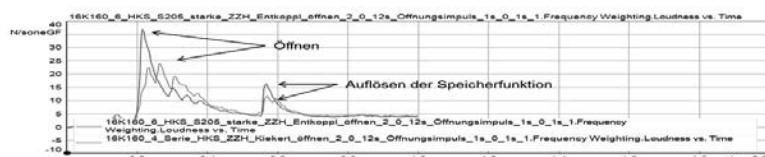
Bild 13: Berechnung des Zeitintervalls einzelner Auslösephasen eines akustisch optimierten Heckschlusses

In einer solchen Anordnung werden die Drehfalle und der Schließbügel also während der ersten 66ms des Öffnungsvorganges und über einen Schließbügelweg von 2,7mm abgebremst.

Bezüglich der Wirksamkeit der Maßnahme wurde das Öffnen der Heckklappe an einem Serienfahrzeug mit Serienteilen im Akustiklabor von WITTE Automotive akustisch analog Bild X vermessen.

Danach wurde das Serenschloss durch ein mit den Maßnahmen ausgerüsteten Muster ersetzt und ebenfalls unter gleichen Bedingungen akustisch vermessen.

Es wurden wieder die Lautheitskurven in Sone über die Zeit aufgenommen.

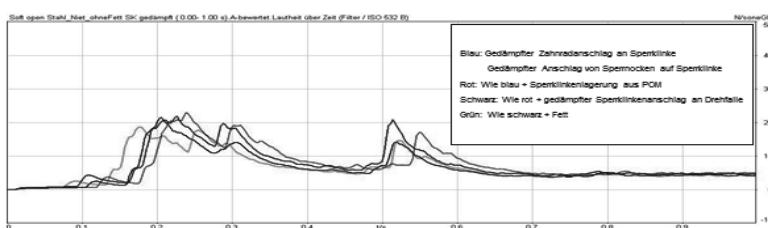


Grafik 2: Lautheit über Zeit mit verschiedenen Schlosskonzepten  
(Rot: Serie vs. Grün: modifiziert)

Die rote Kurve zeigt hier den Öffnungsprozess bei Einsatz des Serenschlosses, die grüne Kurve den Öffnungsprozess des modifizierten Musterschlusses.

Eine deutliche Reduzierung des eigentlichen Öffnungsgeräusches von 37 Sone auf 25 Sone konnte erreicht werden.

Hauptsächlich besteht dieses Soundevent noch aus Restentspannungsgeräuschen und mechanischen Anschlaggeräuschen der beteiligten beweglichen Bauteile. Durch weitere akustische Entkopplungsmaßnahmen letzterer konnte die Lautheit des Öffnungsevents um weitere weitere 5 Sone auf unter 20 Sone gesenkt werden.



Grafik 3: Lautheit über Zeit mit zusätzlichen akustischen Entkoppelungsmaßnahmen.

#### 4. Konzept zum Fixieren des Schließbügels in der Drehfalle mit Hilfe einer Verkeilung beider Bauteile

In Heckklappenschlössern tritt besonders bei niedrigen Dichtungsdrücken das Phänomen auf, dass während des Fahrens die Hecklappe durch ihr Eigengewicht aufgrund von Schwingungen in den Überhub gedrückt wird und es zu einem metallischen Kontakt zwischen Sperrlinke und Drehfalle beim Rebound kommt.

Dieser Bewegung wirken bis dato lediglich weiche nachgiebige Medien wie Puffer, Federn und die Dichtung entgegen, die zusätzlich in ihrem elastischen Verhalten stark temperaturabhängig sind.

Im hier beschriebenen Konzept wird der Schließbügel durch einen Hebel mit Exzenterkontur mittels Verkeilung in Schließrichtung „ruhiggestellt“. Dieser Hebel besteht z.B. aus einem federbelasteten und kunststoffummantelten Stahlteil. Er ersetzt den bis dahin üblichen Schlosspuffer.

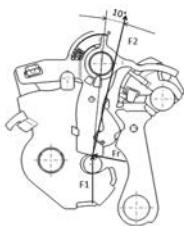


Bild 14: Wirkweise Ruhigstellungshebel

Somit wird das stark von der Temperatur abhängige elastische Verhalten der zur Ruhigstellung der Heckklappe genutzten Komponenten durch das eines temperaturunabhängigen soliden Bauteils ersetzt.

Ähnliche Ruhigstellungssysteme sind bereits seit Jahren aus Rückenlehnenenschlössern bekannt.

Der Ruhigstellungshebel ist in Öffnungsrichtung mit der Sperrklinke gekoppelt und wird im Öffnungsvorgang mit dieser aus dem Eingriff gezogen.

Aus der Erfahrung weiß man, dass ein solches System unter Fahrbedingungen durch Vibrierungen und Schwingungen zum Verklemmen neigt. Um ein Öffnen auch unter verspannten Bedingungen zu gewährleisten, wird der Ruhigstellungshebel zweiteilig als Keilhebel und Auslösehebel ausgeführt, wobei beide Bauteile auf einer Achse gelagert und über eine Kupplungsfeder miteinander verbunden sind.

Bei einem verspannten Schloss werden dann Sperrklinke und Auslösehebel angehoben. Sobald die Sperrklinke die Drehfalle freigibt entspannt sich das System und der Ruhigstellungshebel kann dem Auslösehebel federangetrieben folgen.

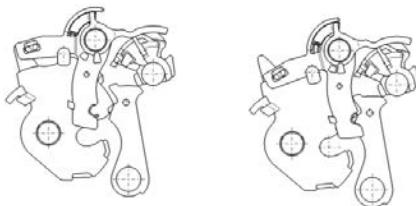


Bild 15: Ruhigstellungshebel verriegelt und geöffnet

Nach Erreichen des Überhubposition wird die Baugruppe Ruhigstellungshebel vorzugsweise durch die zweite Sperrlinke in Offenposition verrastet.

Diese Verrastung ist notwendig, damit die Baugruppe Ruhigstellungshebel im Schließvorgang immer zwingend dem Einfallen der Sperrlinken nacheilt. Sollte dies nicht der Fall sein, könnte ein bereits eingefallener Keil eine Schließung des Schlosses durch Blockieren des Schließbügels verhindern.

## 5. Schlusswort

Die immer dominierender werdenden Ansprüche an die beweglichen Bauteile von Heckklappenschließsystemen in Hinsicht auf Geräuschemissionen während der Fahrt und während der Benutzung machen eine permanente Weiterentwicklung der Schließkomponenten an sich notwendig.

Wichtig hierbei ist die richtige Balance aus Funktion, Akustikverhalten, Gewicht und Teilepreis zu generieren.

Auch Modularität bezüglich der Abbildung verschiedener Varianten in einer Schlossfamilie spielt eine immer grösser werdende Rolle.

Die Integration der geräuschmindernden Maßnahmen in diese Zielsetzung wird auch weiterhin eine der großen Herausforderungen für die an der Entwicklung beteiligten Personen sein.



# Das Heckspoiler- und Heckklappenkonzept des neuen Porsche Panamera – Optimierte Performance und Effizienz

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

## Kurzfassung

Beim neuen Panamera wurden markante Designelemente aus der Porsche Produktfamilie in die Heckklappe integriert und die Porsche-DNA konsequent weitergegeben.

Der Heckspoiler wurde innerhalb der Heckklappe anders angeordnet und hat eine völlig neue Geometrie erhalten, um den gestiegenen aerodynamischen Anforderungen gerecht zu werden. Das Antriebsprinzip wurde grundlegend überarbeitet, das vorteilhafte, beim Vorgänger bewährte Kinematikkonzept übernommen und an die geometrischen Gegebenheiten angepasst.

Die Kombination aus neuem Styling und aerodynamischen Anforderungen machte eine grundlegende Neuauslegung der Heckklappe erforderlich. Durch den frühen Einsatz von Simulationsmethoden zur Steifigkeitsoptimierung, konnte trotz eines stylinginduzierten Querschnittsverlustes sowie den durch die zusätzlichen, in die Heckklappe implementierten Bauteile, das Rohbaugewicht beibehalten und zugleich die Steifigkeit erheblich verbessert werden.

Die stylingorientierte Umsetzung von technischen Anforderungen hat bei Porsche Tradition. So konnten die aerodynamischen Ziele in die Designsprache integriert werden und ergeben mit den neuen Designelementen das formschöne Heck des neuen Panamera.

## 1. Entwicklungsziele

Als Entwicklungsziele wurden u.a. folgende priorisierten Punkte definiert:

- Steigerung der Effizienz:  
Unter Effizienz ist bei einem Heckspoiler minimaler Hinterachsauftrieb bei minimalem Luftwiderstand zu verstehen.
- Formschöne Integration von Leuchtenband mit Schriftzugblende und adaptivem Heckspoiler in die Heckklappe



Bild 1: Heckansicht des neuen Panamera Turbo

## 2. Einfluss der Grundform

Der langjährigen Porschetradition folgend, Fahrdynamik und Effizienz zu einer Einheit zu verschmelzen, kommt auch beim Panamera der neuen Generation ein adaptiver Heckspoiler zum Einsatz. Dieser ändert die Umströmung im Heckbereich bedarfsgerecht, so dass je nach Fahrzustand und Fahrmodus Luftwiderstand und Auftrieb optimiert werden.

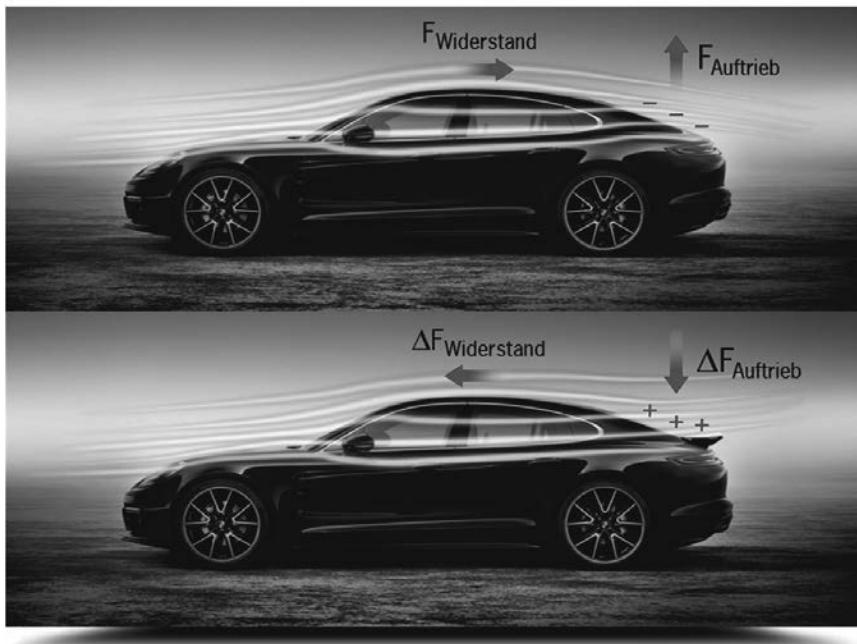


Bild 2: Optimierung von Luftwiderstand und Auftrieb durch Beeinflussung der Umströmung

Wie auch schon bei seinem Vorgänger der 1. Generation, kommen beim neuen Panamera zwei Varianten des Heckspoilers zum Einsatz. Der sich seitlich verbreiternde 4-Wege – Spoiler ist den fahrdynamischsten Derivaten Turbo und GTS vorbehalten, bei denen der Hinterachsauftrieb der Grundform völlig kompensiert wird. Bei den anderen Derivaten wird der 2-Wege – Spoiler ohne Mittelfuge und Verbreiterung verbaut.

2-Wege - Spoiler



4-Wege - Spoiler



Bild 3: Spoilervarianten des neuen Panamera im ausgefahrenen Zustand

Die Fläche des eingefahrenen Panamera-Heckspoilers wurde mehr als verdoppelt, ausgefahren sogar um 123% (2-Wege) bzw. 106% (4-Wege) vergrößert. Seine Abrisskante bildet den hinteren Abschluss der Heckklappe. Dadurch erhöht sich der wirksame Hebelarm des Druckpunktes zur Senkung des Hinterachsauftriebes. Durch diese Maßnahmen konnte attraktives Design und gesteigerte Performance kombiniert werden.



Bild 4: Einfluss des 4-Wege – Spoilers auf die Druckverteilung beim neuen Panamera und seinem Vorgänger (Performancestellung)

Durch das Ausfahren des Heckspoilers bildet sich sowohl auf seiner Stirn- und Oberfläche als auch vor dem Spoiler ein Überdruckgebiet, das sich weit nach vorne auf der Heckscheibe und bis in die Seitenteile des Fahrzeuges fortsetzt. Der resultierende Kraftvektor erzeugt Abtrieb und reduziert den Widerstand.

### 3. Performance- und Effizienzsteigerung

Der Luftwiderstand erhöht sich mit steigender Geschwindigkeit quadratisch. Daher werden aktive Heckspoiler erst ab einer für Verbrauch und Fahrdynamik relevanten Geschwindigkeitsschwelle ausgefahren.

Der Spoiler des neuen Panamera kann bis zu einem maximalen Winkel von  $6,5^\circ$  zur Horizontalen in jede beliebige Ausfahrposition verfahren werden und ist aufgrund der Selbsthemmung innerhalb seines Doppelschneckengetriebes im Hauptantrieb in der Lage, trotz der hohen vorherrschenden Kräfte die Position zu halten.

Im mittleren Geschwindigkeitsbereich steht die Minimierung des Luftwiderstandes im Vordergrund. Hierfür fährt der Spoiler in diejenige Anstellposition bzw. in denjenigen Anstellwinkel, der die Umströmung des Fahrzeuges zugunsten des minimal erreichbaren Luftwiderstandes ändert. Diese luftwiderstands- /  $c_w$ -Wert – optimierte Position bezeichnen wir als Eco-Stellung.

Im oberen Geschwindigkeitsbereich steht bei Porsche nicht das Erreichen einer möglichst hohen Endgeschwindigkeit, sondern Sicherheit und Fahrdynamik im Vordergrund. Dazu fährt der Spoiler in eine Position, die den Hinterachsauflauf optimiert. Beim 4-Wege – Spoiler entsteht sogar ein leichter Abtrieb, der sonst nur von sehr wenigen Sport-, sondern Supersportwagen erreicht wird. Diese hinterachsauflaufsoptimierte /  $c_{AH}$ -Wert – optimierte Position bezeichnen wir als Performance-Stellung.

Es ergeben sich bei Höchstgeschwindigkeit folgende Gesamtauftriebsverringerungen:

- 4-Wege – Spoiler: 205 kg (bei 308 km/h =  $v_{max}$  des Panamera Turbo)
- 2-Wege – Spoiler: 141 kg (bei 289 km/h =  $v_{max}$  des Panamera 4S)

Bei geöffnetem Panoramadach ist die Anströmung auf den Heckspoiler reduziert. Durch die entsprechende Erhöhung des Anstellwinkels kann der entstandene Verlust an Abtrieb voll kompensiert werden.

Das Spoilerkonzept des neuen Panamera ist in der Lage, bedarfsgerecht Luftwiderstand und Hinterachsauflauf anzupassen – eine optimierte Spreizung zwischen Performance- und Effizienz.

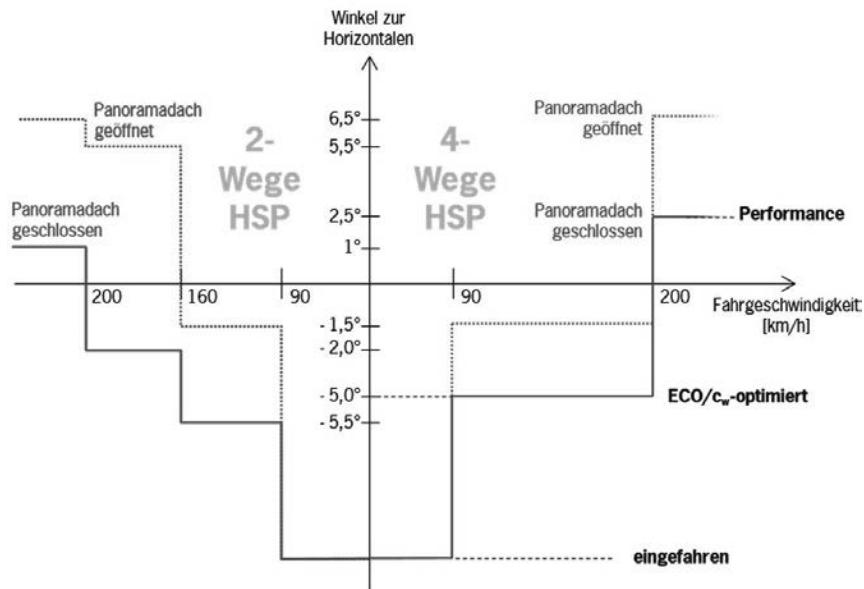


Bild 5: Ausfahrdiagramm der Panamera Spoilervarianten

Beim 2-Wege – Spoiler werden die Anstellwinkel ebenso geschwindigkeitsabhängig angefahren, jedoch ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Spoilergeometrien sowie der etwas anderen aerodynamischen Gegebenheiten bei den entsprechenden Fahrzeugderivationen, in denen er eingesetzt wird (Grundform, Fahrzeughöhe, Reifenbreite, Kühlluftbedarf etc.), andere optimale Winkel und Geschwindigkeitsschwellen.

Der 4-Wege – Spoiler hat im Vergleich zum 2-Wege – Spoiler zwei wesentliche Vorteile:

- Aufgrund seiner Breite bildet sich bei gleichem Anstellwinkel ein größeres Überdruckgebiet aus. Daher erreicht er bereits bei einem geringeren Anstellwinkel dieselbe Auftriebsreduzierung und arbeitet so erheblich widerstandsgünstiger.
- Andererseits ist er in der Lage, bei gleichem Luftwiderstand mehr Abtrieb zu generieren.

Dieser Sachverhalt ist im nachfolgenden Polarendiagramm aufgezeigt.

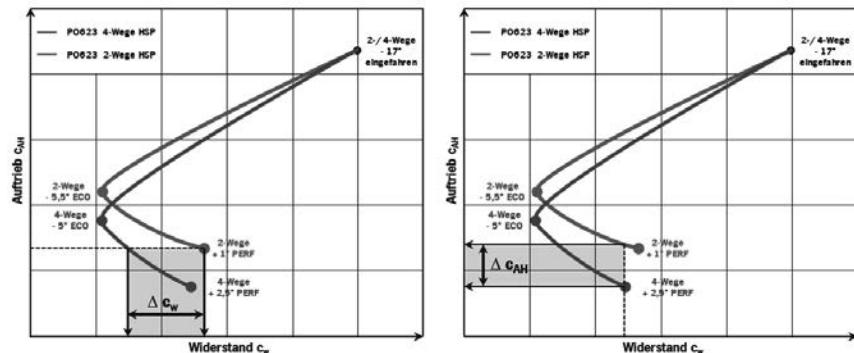


Bild 6: Optimierung von Luftwiderstandsbeiwert  $c_w$  und Hinterachsauftriebsbeiwert  $c_{AH}$  im Polarendiagramm

Beim 4-Wege – Spoiler des neuen Panamera verschlechtert sich der Luftwiderstand beim Wechsel von der Eco- in die Performancestellung um weniger als 1/3 im Vergleich zu seinem Vorgänger, was auf den wesentlich geringeren Anstellwinkel zurückzuführen ist. So kann nun bei hohen Geschwindigkeiten trotz der völligen Auftriebseliminierung auf der Hinterachse verbrauchseffizienter gefahren werden.

Konsequent fortgeführt beim neuen Panamera wurde der modulare Aufbau der beiden Heckspoilervarianten. Gleichteile sind der Montageträger aus Aluminiumdruckguss, auf dem sich die Hauptkinematik samt neu konzipierter Motor- und Getriebeeinheit befindet. Das mit der Hauptkinematik gekoppelte sog. Schließteil verhindert weitestgehend die Unterströmung des Spoilers und verbessert somit seine Effizienz.



Bild 7: Modularer Aufbau der Panamera Spoilervarianten

Beim 2-Wege – Spoiler werden auf die Hauptkinematik das Spoilerunter- und das Oberteil verschraubt. Das Unterteil des 4-Wege – Spoilers trägt die obere, mit einer zweiten Motor-Getriebeeinheit angesteuerte Kinematik – ein sphärisches Viergelenk, dessen Drehachsen nicht wie üblich parallel verlaufen, sondern sich in einem Punkt treffen. Durch diese spezielle Anordnung verfahren die Flügel nicht einfach zur Seite, sondern folgen von oben gesehen der Kontur der davor liegenden Heckscheibe. In der Mitte des Spoilerunterteils befindet sich eine Blende zur Abdeckung des Antriebs.

Mit Ausnahme des Montageträgers und der Kinematiken sind alle Spoileerteile aus herstelltechnischen und optischen Gründen aus Kunststoff.

Beim 4-Wege – Spoiler sind zwei voneinander unabhängige Antriebe im Einsatz. Um einen optisch harmonischen Bewegungsablauf beider Kinematiken zu gewährleisten, laufen Öffnungs- und Schließvorgang elektronisch synchronisiert zeitgleich ab. Entsprechend des enormen Beschleunigungsvermögens des Fahrzeuges, muss der Spoiler möglichst schnell ausfahren und so den aus fahrdynamischen Gründen erforderlichen Hinterachsabtrieb zu gewährleisten.

#### 4. Die Heckklappe des neuen Panamera

Mit dem Macan hielten 3-dimensional konturierte Heckleuchten Einzug in die Porsche-Produktfamilie. Diese wurden bei den Allradderivaten des aktuellen 911 (außer Turbo) mit einem Leuchtenband kombiniert.

Beim neuen Panamera wird die Porsche-DNA in der Designsprache der 3-dimensional konturierten Heckleuchten fortgeführt. Diese werden um das aus dem 911 bekannte Leuchtenband ergänzt und die neu entstandenen Heckleuchten um eine formintegrierte 3D-Schriftzugblende erweitert.



Bild 8: Designorientierte Integration von Leuchtenband, Schriftzugblende und Heckspoiler in die Heckklappe des neuen Panamera

Diese Integration hat Konsequenzen: Das Außenblech der Heckklappe wird durch die Einbettung der neuen Bauteile unterbrochen und das nun verfügbare Längsprofil im Spoiler- und Heckleuchtenbereich ist wesentlich flacher als beim Vorgänger.

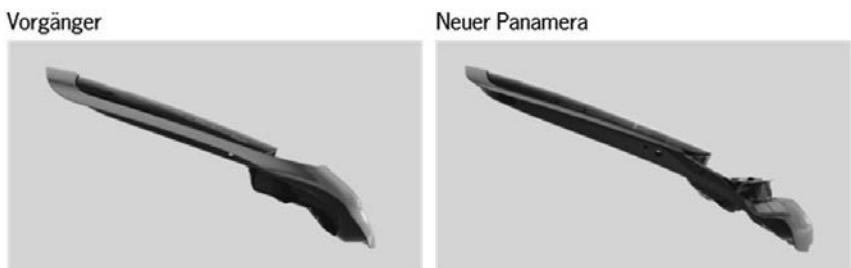


Bild 9: Geometriemerkmale der Heckklappe des Panamera zweier Generationen

Der stylinginduzierte, bauraumbedingte Querschnittsverlust und das Zusatzgewicht der hinzu gekommenen Bauteile mussten strukturell kompensiert werden, um einen enormen Steifigkeitsverlust der Heckklappe zu vermeiden. Bereits in der frühen Entwicklungsphase wurden Simulationsmethoden zur Steifigkeitsoptimierung eingesetzt, um nicht nur die gesetzlichen

Anforderungen zu erfüllen, sondern auch die hohen hausinternen Vorgaben bezüglich Steifigkeit im Hinblick auf Funktion und Akustik zu gewährleisten.

Das Ergebnis nach mehreren, z.T. parallel laufenden Entwicklungsschleifen in der Prototypenphase war eine wie auch schon bei Vorgänger in Aluminium-Schalenbauweise gefertigte Heckklappe. Anders aber als beim Vorgänger, unterstützt beim neuen Panamera die Spoilerwanne aus Aluminium die Steifigkeit ebenfalls. Für die Wasserabläufe werden Kunststoffeinsätze aus glasfaserverstärktem Polyamid verwendet.

Die Heckklappe des neuen Panamera besteht aus insgesamt 26 Bauteilen (ohne die Verbindungselemente). 20 davon sind aus Aluminiumblech, je zwei aus kaltfließgepresstem bzw. gedrehtem Aluminium und zwei aus Kunststoff.

Die eingesetzten Fügetechniken sind Stanznieten, Clinchen, Bördeln, Schweißen und Kleben, auch in Kombination. An jeder Heckklappe werden 220 Stanzniete und Clinchpunkte gesetzt und 26m Klebenahrt (Strukturkleber, Bördefalzkleber, PVC-Feinnahtabdichtung) gezogen.

Nicht zuletzt führten die vielen Verbindungen zwischen den Bauteilen dazu, dass nicht nur die Zielwerte bzgl. Steifigkeit erreicht, sondern die Steifigkeitswerte des Vorgängers z.T. weit übertroffen werden konnten.



Bild 10: Darstellung der Einzelteile sowie der Fügepunkte und Klebebahnen an der Heckklappe des neuen Panamera

Die Panamera-Heckklappe besitzt ein internes Wassermanagement, um das sich in der Spoilerwanne ansammelnde Wasser gezielt durch die Klappe zu ihren Auslassöffnungen abzuleiten. Da zahlreiche elektronische Komponenten in der Heckklappe verbaut werden, ist die Dichtigkeit von enormer Bedeutung. Bei einer derart hohen Anzahl an Bauteilen ist die prozesssichere Abdichtung des Rohbaus eine große Herausforderung. Diese konnte durch intelligente Bauteiltrennung und Gestaltung der abzudichtenden Flanschübergänge in der Spoilerwanne und zu den Wasserabläufen für eine roboterüberwachte und automatisierte PVC-Feinnahtapplikation erreicht werden.

Das Rohbaugewicht der Heckklappe entspricht mit 9,5kg dem des Vorgängers. Das Gesamtgewicht der kompletten Heckklappe in Basisausstattung beträgt nun 35kg, die maximal ausgestattete Heckklappe, u.a. mit dem 4-Wege – Spoiler und einer Verbundglasscheibe mit Heckwischer, kommt auf 43kg.

Es verwundert nicht, dass die Kollegen aus Produktion und Werkzeugbau bereits in der Entwicklungsphase die Heckklappe des neuen Panamera als „komplexe Herausforderung“, bezeichnet haben.

## Zusammenfassung

Durch die Entwicklung des neuen flächenvariablen 4-Wege-Heckspoilers konnte die porschetypische Flyline beibehalten werden, das Leuchtenband mit Schriftzugblende und adaptivem HecksSpoiler formschön in die Heckklappe integriert sowie die aerodynamischen Eigenschaften Luftwiderstand und Auftriebsverminderung optimiert und bedarfsgerecht eingestellt werden.

Durch die Generierung von Abtrieb an der Hinterachse beim Turbo erreicht auch die aerodynamische Performance des Panamera Sportwagenniveau.

Durch den frühen Einsatz von Simulationsmethoden zur Steifigkeitsoptimierung konnte trotz eines stylinginduzierten Querschnittsverlustes sowie den durch die zusätzlichen, in die Heckklappe integrierten Bauteile das Rohbaugewicht des Vorgängers beibehalten und zugleich die Steifigkeit im Vergleich zum Vorgänger erheblich verbessert werden.