

---

# EFFIZIENTE PRODUKTION - LEICHTBAU UND FUNKTIONSSINTEGRATION

Welf-Guntram Drossel

---



Forum Elektromobilität – KONGRESS, Berlin 19.03.2013

---

---

# AGENDA

---

- 1. Forschungspartner Fraunhofer IWU**
- 2. Treiber für Energie- und Ressourceneffizienz**
- 3. Leichtbau: Basis für Energie- und Ressourceneffizienz**
- 4. Funktionsintegration für anpassungsfähige Systeme**
- 5. Zusammenfassung und Fazit**



# 1 Forschungspartner Fraunhofer IWU

## Fraunhofer Allianz autoMOBILproduktion

Sprecher: Dr. W.-G. Drossel

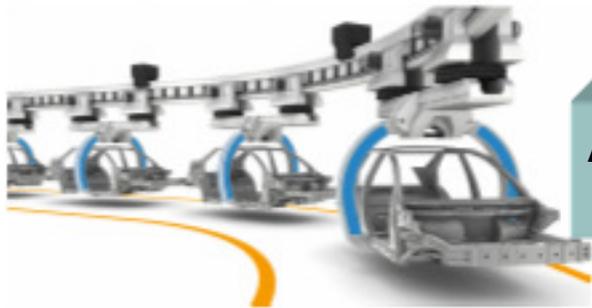


- 1 Arbeitswirtschaft und Organisation **IAO**
- 2 Chemische Technologie **ICT**
- 3 Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung **IFAM**
- 4 Fabrikbetrieb und -automatisierung **IFF**
- 5 Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung **IOSB**
- 6 Keramische Technologien und Systeme **IKTS**
- 7 Materialfluss und Logistik **IML**
- 8 Produktionstechnik und Automatisierung **IPA**
- 9 Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik **IPK**
- 10 Produktionstechnologie **IPT**
- 11 Schicht- und Oberflächentechnik **IST**
- 12 Techno- und Wirtschaftsmathematik **ITWM**
- 13 Werkstoffmechanik **IWM**
- 14 Werkstoff- und Strahltechnik **IWS**
- 15 Werkzeugmaschinen und Umformtechnik **IWU**
- 16 Zerstörungsfreie Prüfverfahren **IZFP**
- 17 Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit **IBT**
- 18 Umwelt-, Sicherheits- und Energie **ISE**

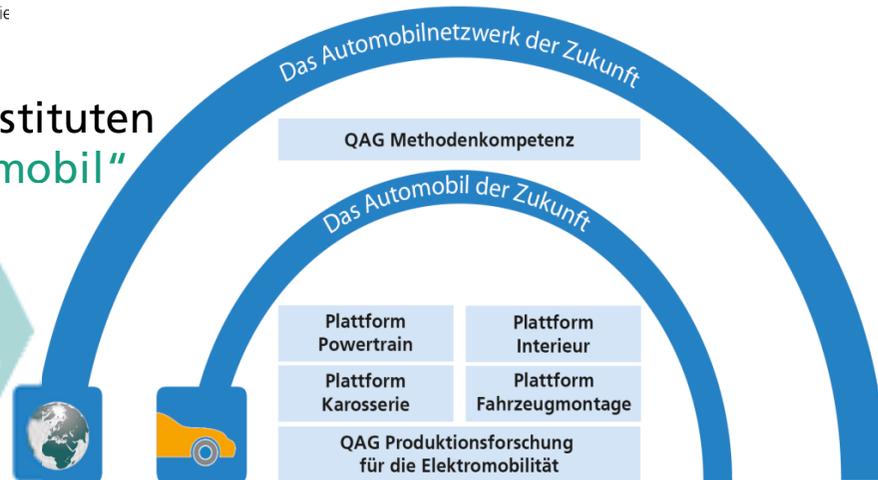


Technologieträger „Gläsernes Auto“

Bündelung der Kompetenzen von 18 Fh-Instituten entlang der gesamten Prozesskette „Automobil“



**Aktionsraum der Allianz**



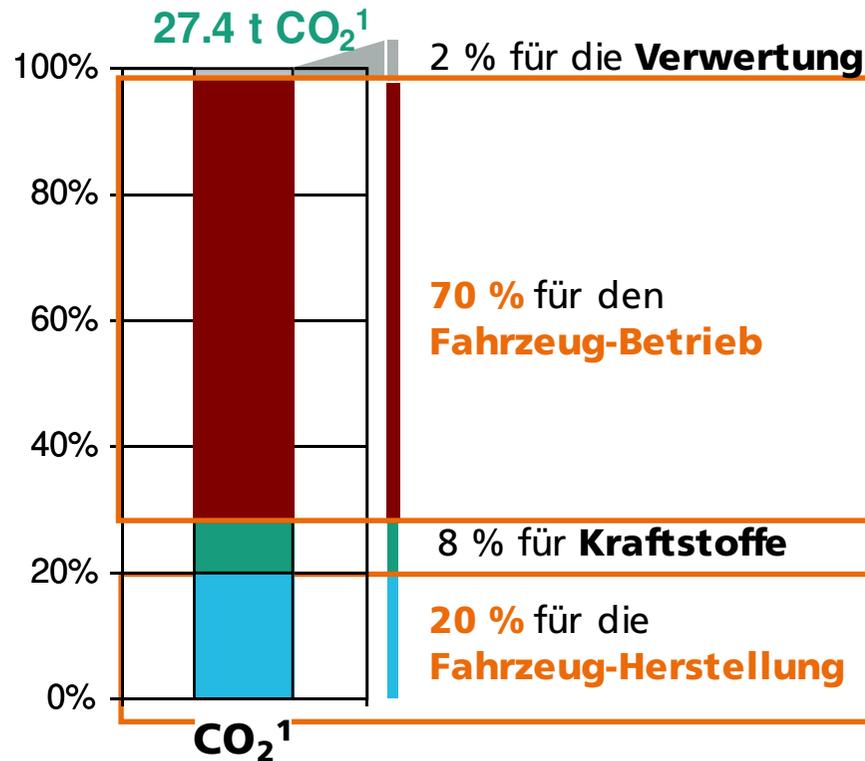
2013-03-19\_Forum-E-Mob\_KONGRESS\_AR

1. Forschungspartner Fraunhofer IWU
- 2. Treiber für Energie- und Ressourceneffizienz**
3. Leichtbau: Basis für Energie- und Ressourceneffizienz
4. Funktionsintegration für anpassungsfähige Systeme
5. Zusammenfassung und Fazit

## 2 Treiber für Energie- und Ressourceneffizienz

### Strategien für CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen im Verkehr

Verbrauch von CO<sub>2</sub> Äquivalenten\* eines Golf VI



- Energie- und Ressourceneffizienz
- Downsizing
- E-Mobilität

2013-03-19\_Forum-E-Mob\_KONGRESS\_AR

\* inkl. Methan, Lachgas, Kältemittel R132; inkl. aller Werkstoffe und Verarbeitungsprozesse; 150.000 km, inkl. Kraftstoffvorkette

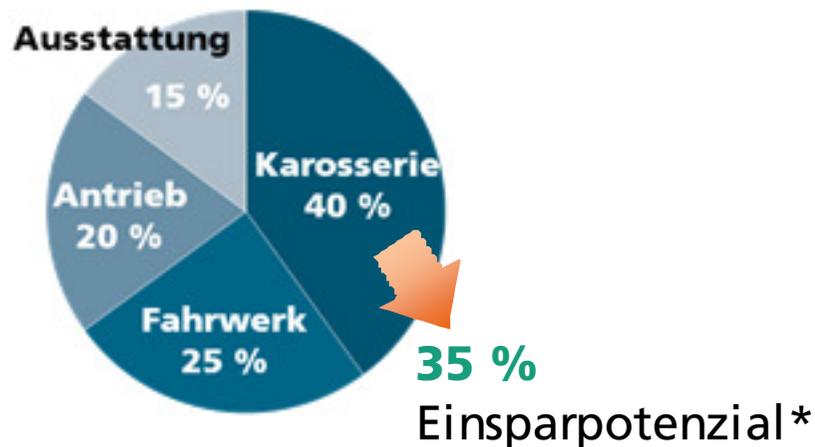
Quelle: Volkswagen AG

## 2 Treiber für Energie- und Ressourceneffizienz

### Stellschrauben: Leichtbau und Funktionsintegration

#### Leichtbau

Anteile am Fahrzeuggesamtwicht



**LEICHTBAU** als Strategie zur Erreichung der Emissionsziele

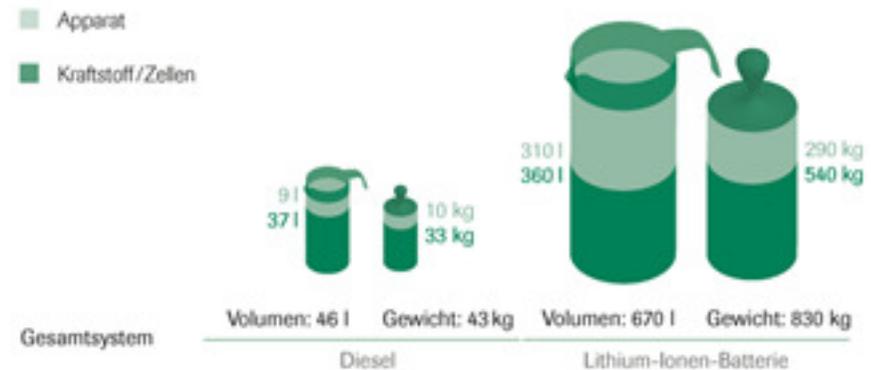
→ pro 100 kg weniger Gewicht:

Kraftstoff:  $\approx -0,3 \text{ l/100 km}^{**}$

Emissionen:  $\approx - 3,5 \text{ g CO}_2/\text{km}^{**}$

\* Studie Super LIGHT-Car 2009, \*\* Volkswagen AG 2011

Volumen und Gewicht von Energiespeichern in Fahrzeugen für 500 km Reichweite



**LEICHTBAU** erforderlich zur Kompensation des zusätzlichen Gewichtsbedarfs durch den Elektroantrieb

Quelle: VDA 2011

## 2 Treiber für Energie- und Ressourceneffizienz

### Stellschrauben: Leichtbau und Funktionsintegration

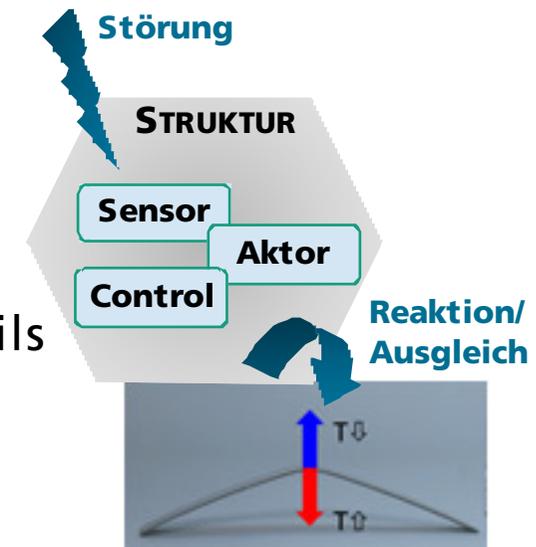
#### Funktionsintegration

→ d. h. möglichst viele Funktionen mit wenigen Bauteilen realisieren

- Hohe Komplexität von Elektroantrieben erfordert Integration von **Überwachungs- und Sicherheitsfunktionen** in die Baugruppen
- Keine zusätzlichen Komponenten sondern integrierte Funktionalitäten durch „**Smart Materials**“



- Einbindung von Leiterbahnen  
→ Sensorik und Aktorik als Bestandteil des Bauteils
- Structural Health Monitoring
- Selbstheilung



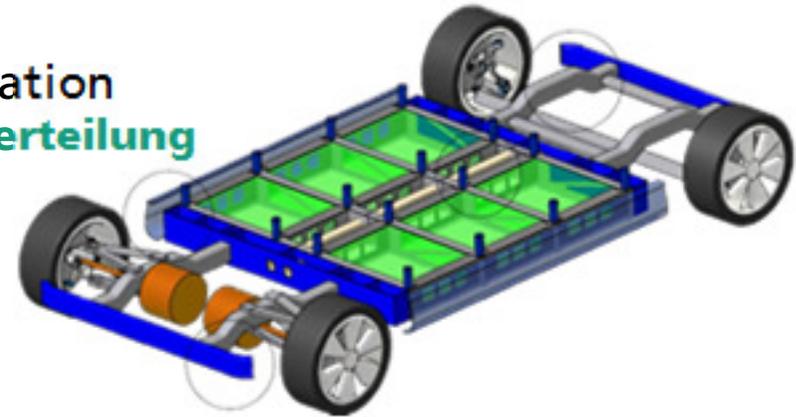
1. Forschungspartner Fraunhofer IWU
2. Treiber für Energie- und Ressourceneffizienz
- 3. Leichtbau: Basis für Energie- und Ressourceneffizienz**
4. Funktionsintegration für anpassungsfähige Systeme
5. Zusammenfassung und Fazit

# 3 Leichtbau: Basis für Energie- und Ressourceneffizienz

## Karosserie-Leichtbau

### Motivation/Handlungsbedarf

- Antriebsplatzierung und Batterieintegration  
→ Veränderung von **Bauform** und **Masseverteilung**
- **Leichtbau**
- **Funktionsverteilung**



### Zielstellung

- Fertigungstechnologien für **modularisierbare** und in der Stückzahl **skalierbare Karosseriekonzepte**

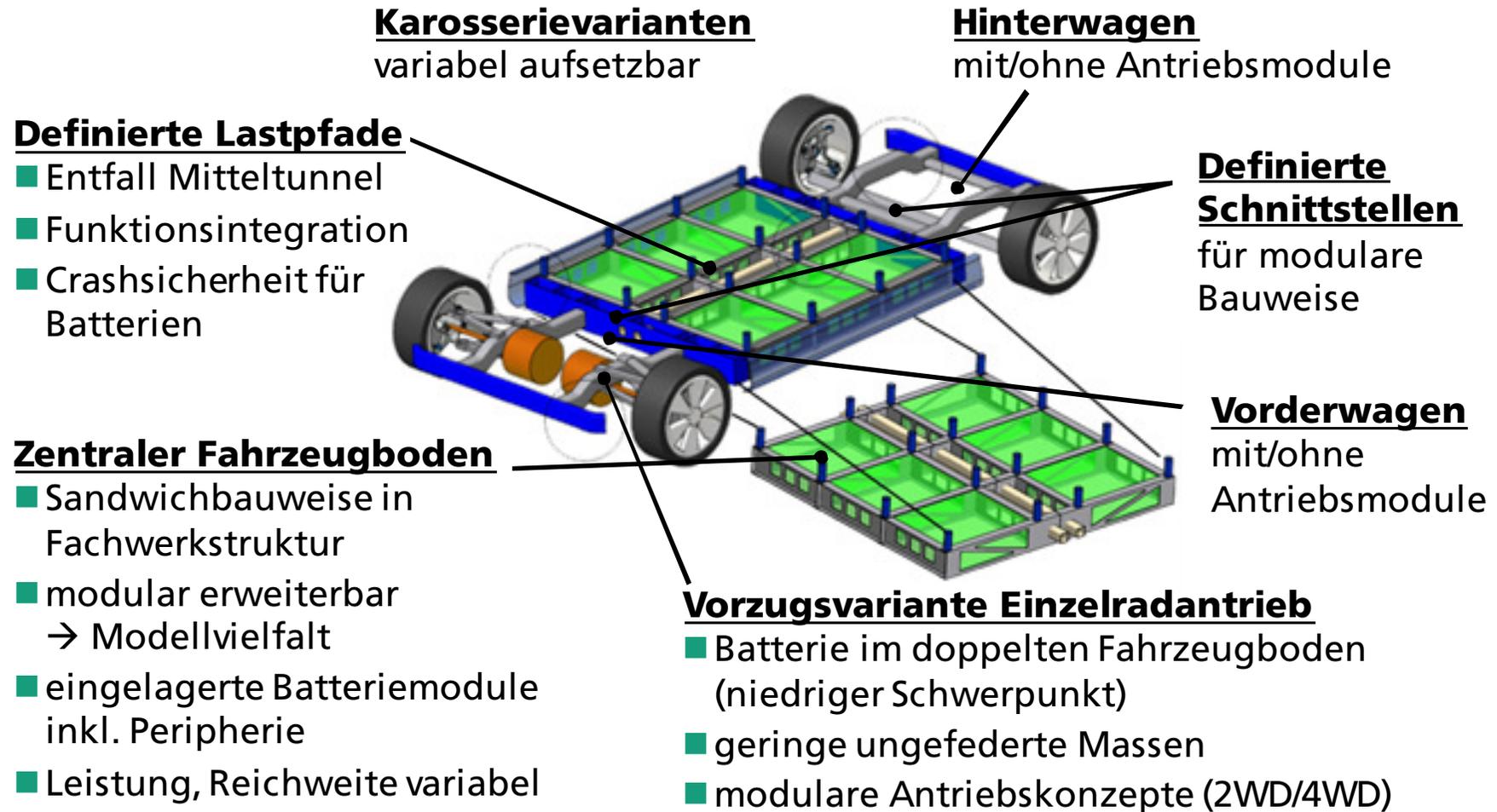
### Ansätze

- I. **Fachwerk- und Sandwichstrukturen** im Unterboden
- II. **geometrieflexible** Fertigungstechnologien (Walzprofile, Stanz-Biege-Teile, Formhärteteile), hohe Anzahl an uniformen Gleichteilen (Baukastenprinzip)
- III. **Serientechnologien Faserkunststoffverbunde**
- IV. **Fertigungs- und Fügetechnologie** für **hybride Bauteile** (Metall + Kunststoff)

# 3 Leichtbau: Basis für Energie- und Ressourceneffizienz

## Karosserie-Leichtbau

### I. Fachwerk- und Sandwichstrukturen im Unterboden



2013-03-19\_Forum-E-Mob\_KONGRESS\_AR

# 3 Leichtbau: Basis für Energie- und Ressourceneffizienz

## Karosserie-Leichtbau

### II. Geometrieflexible Fertigungstechnologien



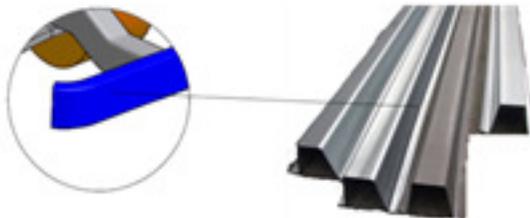
#### Längsträger, Crashbox

- IHU-Presshärten für hochkomplexe, geschlossene Profile



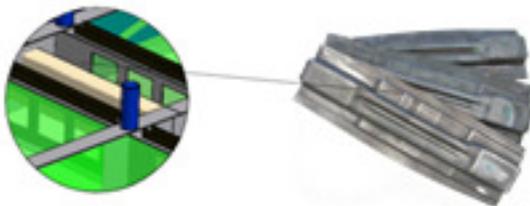
#### Schweller

- Formschlagen, Presshärten
- Werkstoffkombination (Hybridbauteile)
- prozessintegrierte Fügeoperationen



#### Stoßfänger

- Walzprofilieren inkl. Wärmebehandlung und Trennoperationen



#### Komplexe, innovative Ziehteile

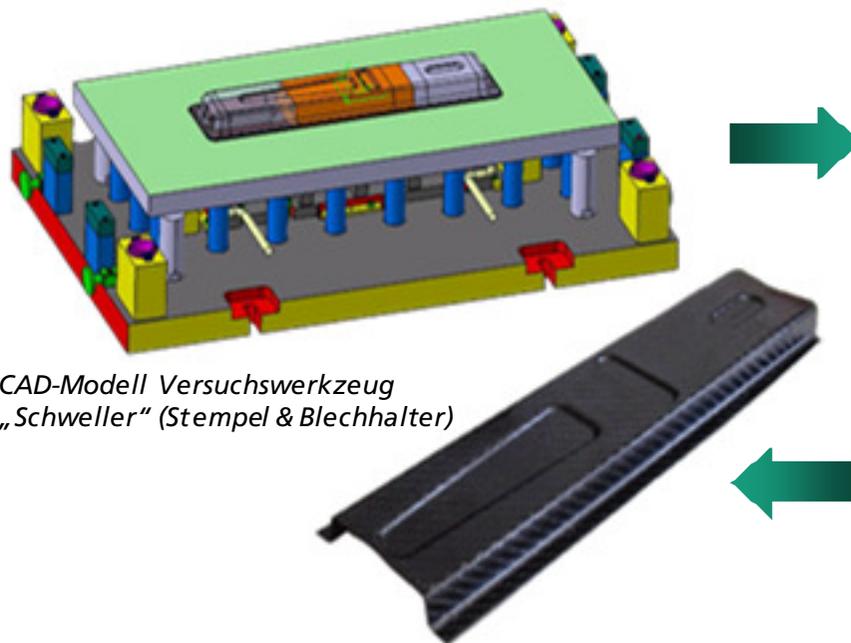
- Presshärten, prozessintegrierte Fügeoperationen

# 3 Leichtbau: Basis für Energie- und Ressourceneffizienz

## Karosserie-Leichtbau

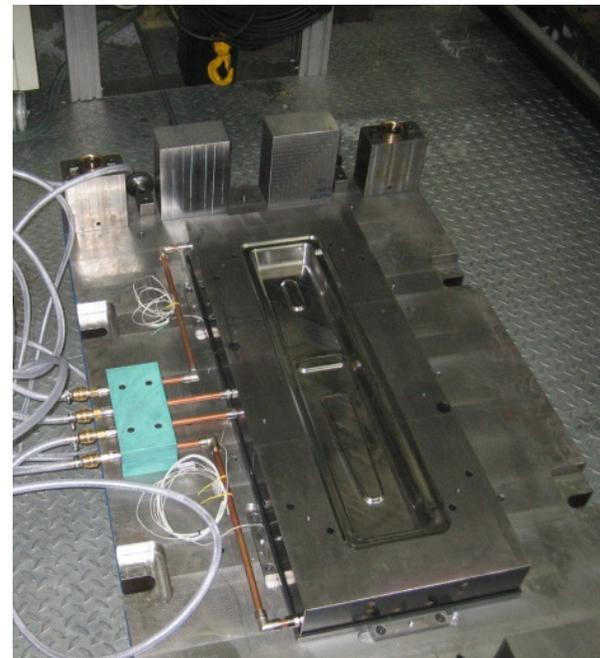
### III. Serientechnologien – Tiefziehen thermoplastischer Organobleche

- Anwendung einer Presswerks-nahen technologischen Kette zur effizienten Bauteilfertigung durch Adaption Blech-basierter Technologien für Prepregs
- Nutzung modifizierter Tiefziehwerkzeuge (Temperierung)
- Verwendung vorimprägnierter Glasfasermatten (prepregs), Dicke 1,5 mm



CAD-Modell Versuchswerkzeug  
„Schweller“ (Stempel & Blechhalter)

Demonstratorgeometrie „Schweller“



Versuchswerkzeug „Schweller“ (Matrize)

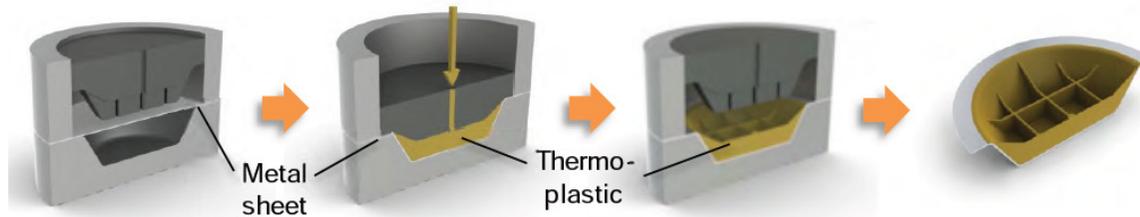
2013-03-19\_Forum-E-Mob\_KONGRESS\_AR

# 3 Leichtbau: Basis für Energie- und Ressourceneffizienz

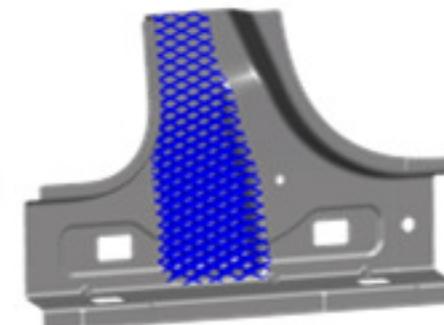
## Karosserie-Leichtbau

### IV. Fertigungs- und Fügetechnologie für hybride Bauteile

- Herstellung von Blechbauteilen (z. B. Al, Mg, Stahl) durch Tiefziehen kombiniert mit Kunststoffspritzen (MERGE)
- Presshärten und Kunststoffspritzen
  - Kunststoffapplikation **als Nachfolgeprozess** → d. h. (Rest-) Wärmennutzungsstrategien des Presshärtens, Fügeprozesse, ...
  - Kunststoffapplikation **im Presshärteprozess** → d. h. innovativer Werkzeugtechnik unter Ausnutzung von Synergieeffekten (z. B. Werkzeugkühlung, Sensortechnik, ...)
- Innenhochdruck-Umformen und Kunststoffspritzen
  - Herstellung von metallischen Profilbauteilen mit Kunststoffbeschichtung
  - Herstellung von hinterschnittigen Bauteilen



Kombinierte Prozesskette Tiefziehen und Kunststoffspritzen



Presshärte demonstrierender „B-Säulenfuß“ mit Kunststoffapplikation

# 3 Leichtbau: Basis für Energie- und Ressourceneffizienz

## Karosserie-Leichtbau

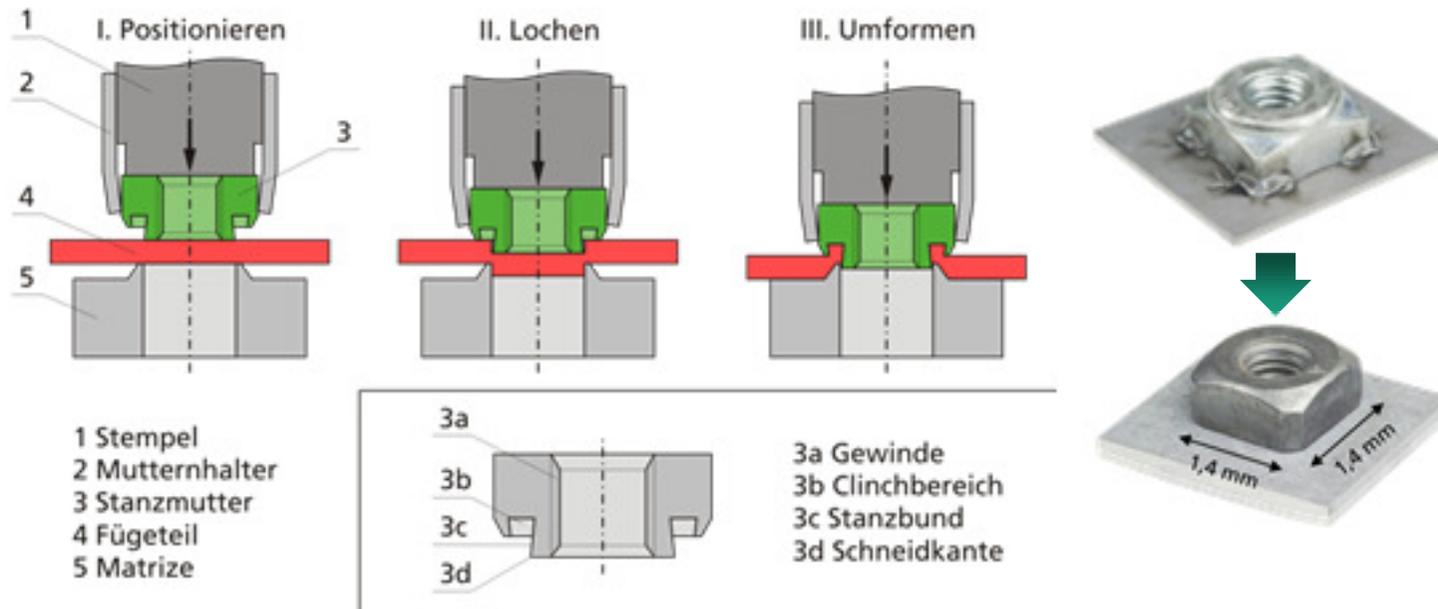
### IV. Fertigungs- und Fügetechnologie für hybride Bauteile

#### Ausgangspunkt

- Leichtbau in der Karosserie → Einsatz neuer und hochfester Werkstoffe
- Bestehende Fügeverfahren sind energetisch ungünstig und stoßen an Ihre Einsatzgrenzen

#### 2-Stufen-Konzept

##### 1. Stufe: Substitution der Schweißmutter durch Einstanzmutter



2013-03-19\_Forum-E-Mob\_KONGRESS\_AR

# 3 Leichtbau: Basis für Energie- und Ressourceneffizienz

## Karosserie-Leichtbau

### IV. Fertigungs- und Fügetechnologie für hybride Bauteile

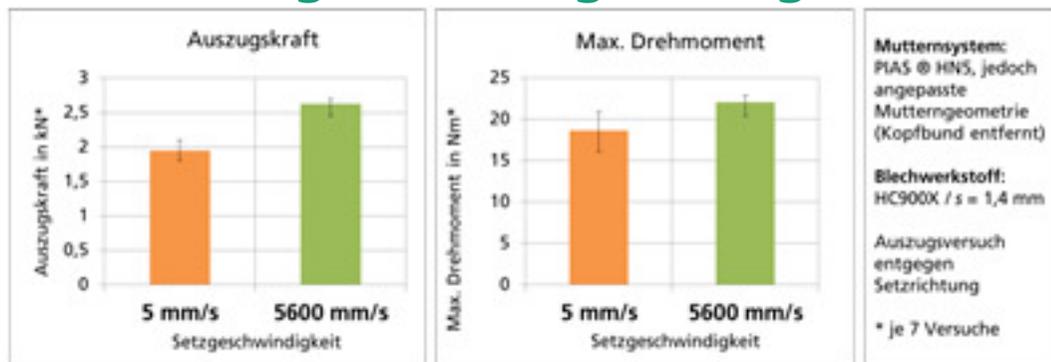
#### Herausforderung für den Einsatz von Einstanzmuttern

Blechfestigkeiten/-härten teilweise höher als die der Stanzmuttern

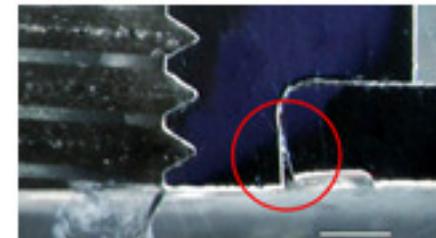
- konventioneller Lochvorgang z. T. nicht möglich
- unerwünschte Deformation der Stanzmutter beim Einstanzen

#### Lösungsansatz

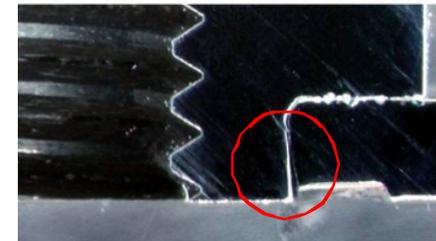
#### 2. Stufe: Hochgeschwindigkeitsfügen



$v = 5 \text{ mm/s}$



$v = 5600 \text{ mm/s}$



Schliffbilder der Fügeverbindung

- Verringerung der Stanzmutter-Aufstauchung
- Verbesserter Formschluss → höhere Verbindungsfestigkeit
- Verringerung des Energieverbrauchs für die Herstellung der Fügeverbindung

1. Forschungspartner Fraunhofer IWU
2. Treiber für Energie- und Ressourceneffizienz
3. Leichtbau: Basis für Energie- und Ressourceneffizienz
- 4. Funktionsintegration für anpassungsfähige Systeme**
5. Zusammenfassung und Fazit

# 4 Funktionsintegration für anpassungsfähige Systeme

## Voraussetzung: Smart Materials

### ● Formgedächtnislegierungen (FGL) – NiTi

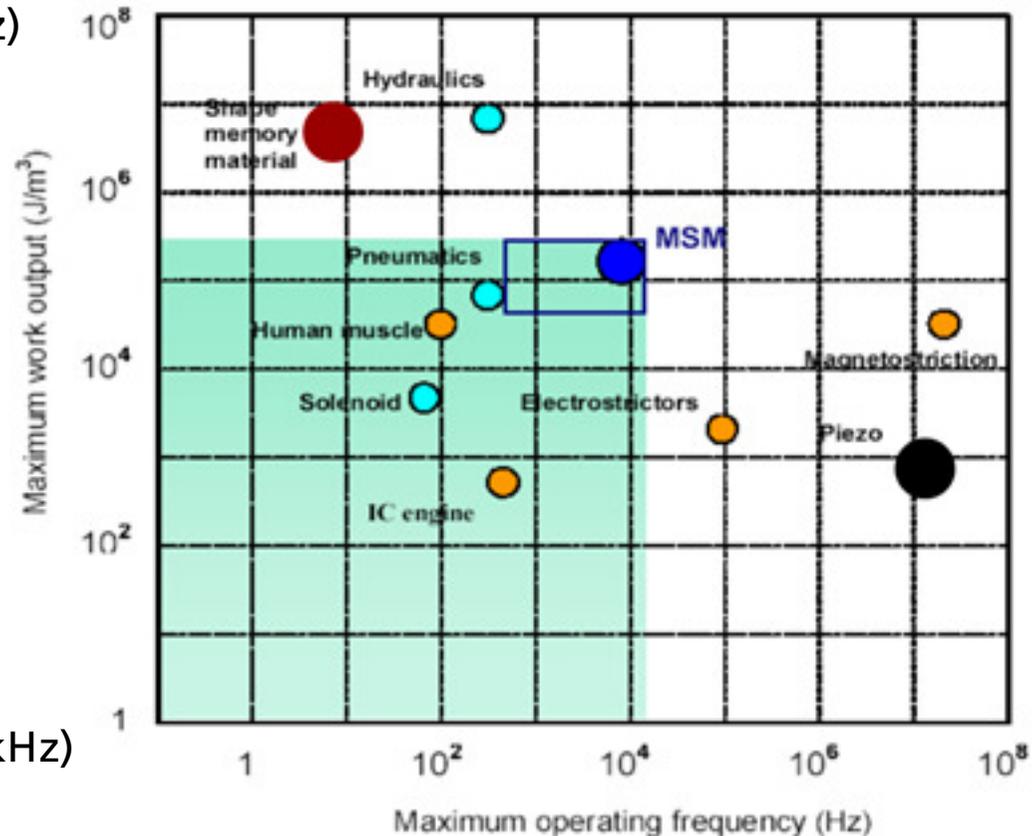
- Niedrige Arbeitsfrequenz (Hz)
- Hohe Dehnungen (8%)
- Sehr große Kräfte

### ● Magnetische Formgedächtnislegierung

- Hohe Arbeitsfrequenz – kHz (Faktor 1000 zu FGL NiTi)
- Hohe Dehnung - 10% (Faktor 100 zu PZT)
- Niedrige Kräfte

### ● Piezokeramik

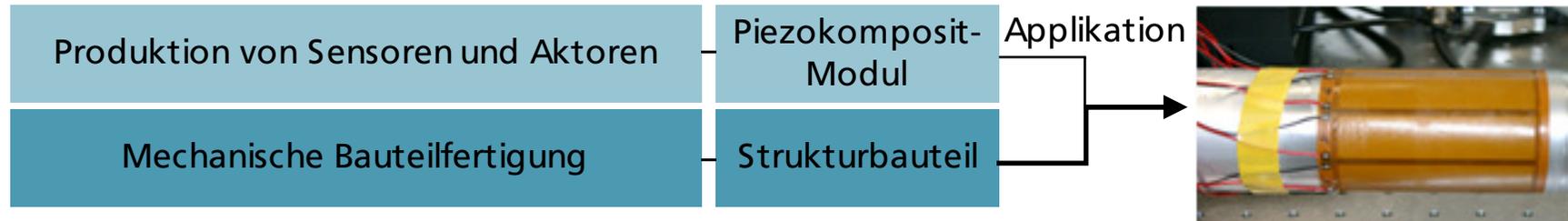
- Sehr hohe Arbeitsfrequenz (kHz)
- Niedrige Dehnungen (0,2%)
- Große Kräfte



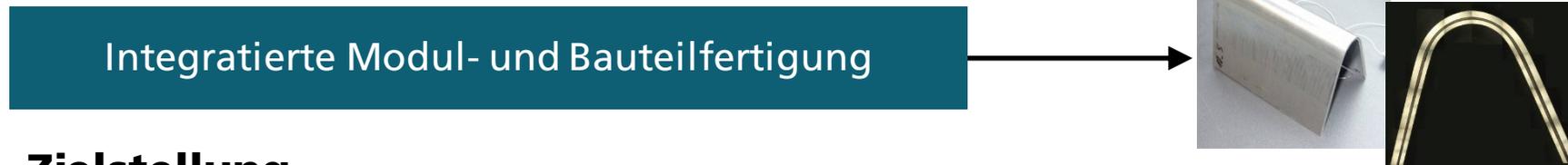
# 4 Funktionsintegration für anpassungsfähige Systeme

## Blechstrukturen mit integrierten Piezomodulen

### Prozesskette heute



### Prozesskette PT-PIESA



### Zielstellung

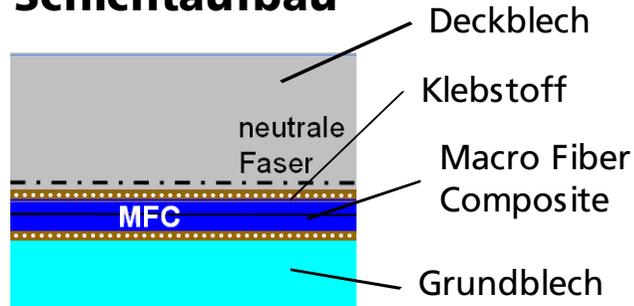
- Großserienfähige Realisierung der funktionellen Bindung im Inneren des Bauteils
- Methoden zur Einstellung und gesicherten Reproduktion der finalen Bauteileigenschaften im Prozess der Fertigung
- Modellierung und Identifikation der multifunktionalen Struktureigenschaften



# 4 Funktionsintegration für anpassungsfähige Systeme

## Blechstrukturen mit integrierten Piezomodulen (MFC)

### Schichtaufbau

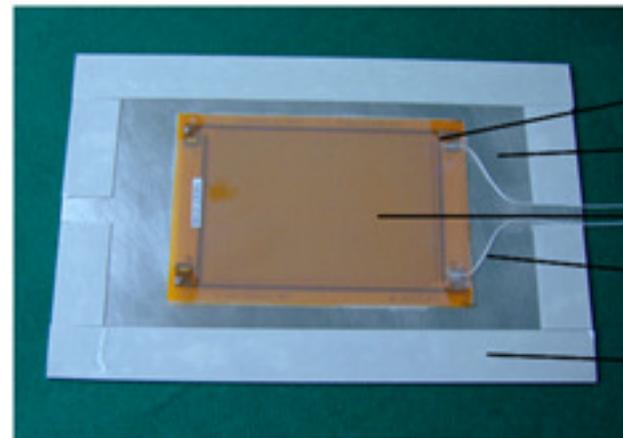
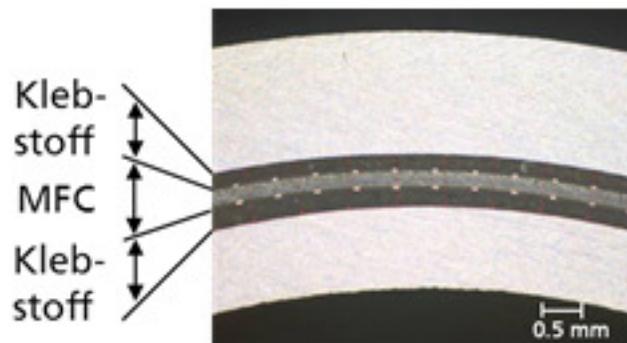


**MFC ... Macro-Fibre-Composite**

### Herstellung der Verbunde



### Grundblech mit MFC vor dem Kleben



- Kontaktierung (Lötstelle)
- Blech
- Macro-Fiber-Composite (MFC)
- Miniatürkabel
- Montageband (Fixierung)

2013-03-19\_Forum-E-Mob\_KONGRESS\_AR

# 4 Funktionsintegration für anpassungsfähige Systeme

## Blechstrukturen mit integrierten Piezomodulen (MFC)

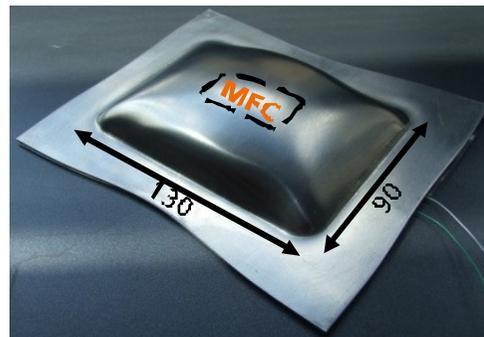
### Ergebnisse

- Umformung von Piezo-Metall-Verbunden wird durch temporär weiche Ankopplung möglich
- Biegeradien bis zu R10 ohne Verlust der Funktionalität oder Beschädigung des MFC formbar
- Breites Geometriespektrum herstellbar (z. B. durch Tiefziehen, IHU)
- Simulation durch Ersatzmodellierung für MFC und Klebstoff
- Funktionalitätstest: CT, Sensor-/Aktortest

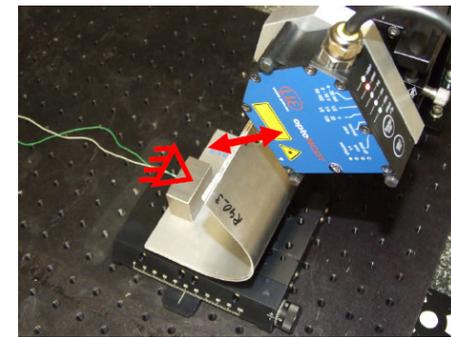
2013-03-19\_Forum-E-Mob\_KONGRESS\_AR



Tiefziehwerkzeug



Tiefziehprobe mit MFC

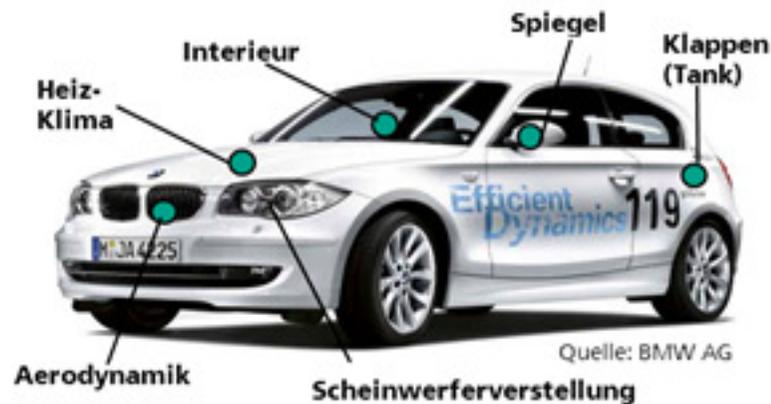


Funktionstest

# 4 Funktionsintegration für anpassungsfähige Systeme

## Formgedächtnislegierungen (FGL) – Einsatzpotenzial Stellantriebe

- Aktuell in Fahrzeugen **mehr als 50 Stellantriebe** → Türen, Klima, Heizung
- Effizienz-Diskussion verstärkt Trend zur aktiven Schaltung von Funktionen (Aerodynamik, Thermomanagement)
  - **verstärkter Einsatz mechatronischer Komponenten**
  - Folge:** Gewicht ↑, Bauraumbedarf ↑, Kosten ↑
- FG-Aktoren sind Alternative zum elektromagnetischen Stellantrieb
  - leicht, klein, preiswert, geräuschlos

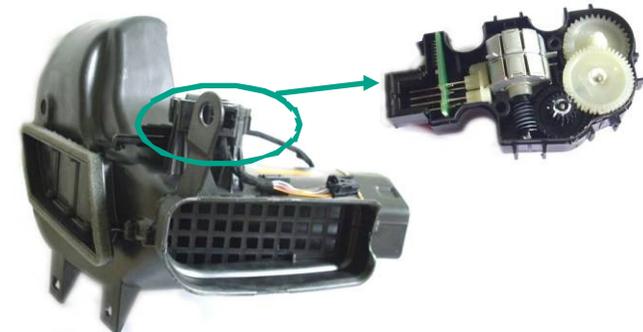


2013-03-19\_Forum-E-Mob\_KONGRESS\_AR

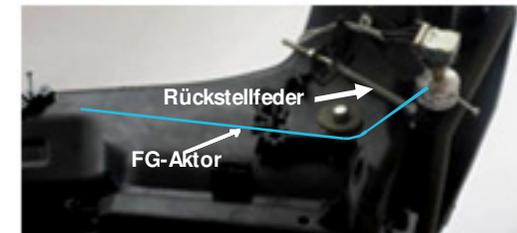
# 4 Funktionsintegration für anpassungsfähige Systeme

## FGL – Bsp.: Luftsteuerklappe

- **Aufgabe:** Regelung der Innenluftzufuhr
- **Zielpotenziale:** Preis, Komfort (Akustik)
- **Charakteristik:** stufenlos geregelt
- **Antriebsparameter:**
  - Sensorlose Regelung durch Widerstandsmessung
  - Kraft: 5 N → Aktordurchmesser: 0,152 mm
  - Weg: 9 mm → Aktorlänge: 230 mm



Stellantrieb Luftführung – Schrittantrieb

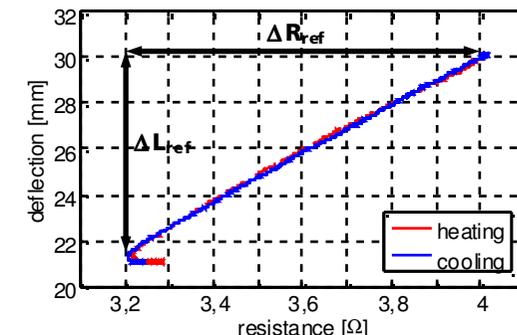


Stellantrieb Luftführung – FG-Antrieb

Eigenschaft	Schrittmotor	FG-Aktor
Zyklendauer	3 s	2-3 s
Preis	ca. 5,00 €*	ca. 2,50 €**
Gewicht	ca. 65 g	ca. 20 g
Anzahl Bauteile	ca. 20	ca. 10

→ **Komplett geräuschlos**

→ Potenzial zur **Integration des Aktors in Luftführung**



Widerstands-Dehnungs-Kennlinie

\* Preis Elektromotor: Angabe Zulieferer

\*\* Preis Formgedächtnisaktor: FhG-IWU Einkaufspreis der Einzelkomponenten, enthält keine Entwicklungskosten

1. Forschungsstandort Fraunhofer IWU
2. Treiber für Energie- und Ressourceneffizienz
3. Leichtbau: Basis für Energie- und Ressourceneffizienz
4. Funktionsintegration für anpassungsfähige Systeme
- 5. Zusammenfassung und Fazit**

## 5 Zusammenfassung und Fazit

- Politische Forderungen nach Emissionssenkungen und die Selbstverpflichtung der Automobilindustrie sind wesentliche Treiber für **energie- und ressourceneffiziente Produkte und Prozesse**
- **Leichtbau** und **Funktionsintegration** sind zentrale Strategien zur Begegnung der Forderungen nach Energie- und Ressourceneffizienz in der Automobilproduktion
- Die Antriebskonzepte der Elektromobilität erfordern u. a. **Leichtbau-Karosseriekonzepte** → dazu bedarf es neuen **Hochleistungstechnologien**
- **“Smart Materials”** wie Piezokeramiken und Formgedächtnislegierungen (FGL) ermöglichen die **Integration von Sensor- und Aktorfunktionen in Bauteile** → keine zusätzlichen Komponenten notwendig



**Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit !**