

Interregionale Ringvorlesung, Materialintegration, 05.05. 2020:

D. Lehmhus, S. Bosse et al.

# Materialintegration I – Materialkonzepte und Fertigungsverfahren

# Einleitung

## Übersicht Thema Materialintegration

- Einleitung
- Einteilung der Fertigungsverfahren
- Urformverfahren – Metalle
- Urformverfahren - Kunststoffe
- Urformverfahren - FVK
- Additive Manufacturing-Verfahren
- Übersicht: Material, Prozess, Merkmalskategorien.
- Mechanische Belastbarkeit und Kompatibilität.
- Thermische Belastbarkeit und Kompatibilität.
- Fallstudien Materialintegration.



Teil I



Teil II



Teil III



Teil IV

# Einleitung

## Inhalte Materialintegration I

- Einleitung
- Einteilung der Fertigungsverfahren
- Urformverfahren – Metalle
- Urformverfahren - Kunststoffe
- Urformverfahren - FVK
- Additive Manufacturing-Verfahren
- Ausblick, Zusammenfassung

# Einleitung

## Einsatzgebiet SHM

Quelle: deutschland.cat.com



Quelle: otm.illinois.edu



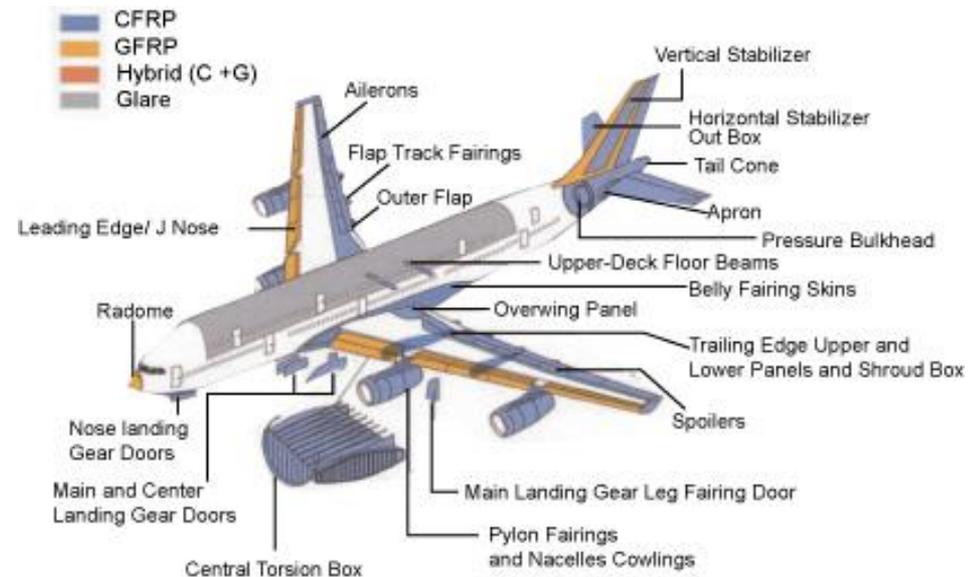
Quelle: www.wikipedia.org



# Einleitung

## Materialvielfalt in der Luftfahrt

Materialanteile in Airbus A380 und Boeing 787 nach Materialklassen, Fokus Verbundwerkstoffe.



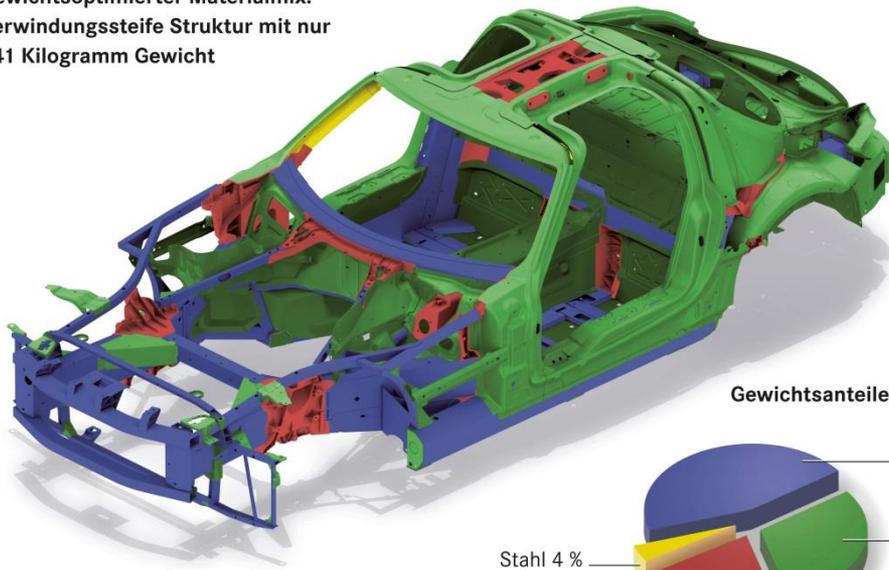
Not Shown: CFRP Passenger Floor Panel and Struts

Quelle: [www.airporttech.tc.faa.gov](http://www.airporttech.tc.faa.gov)

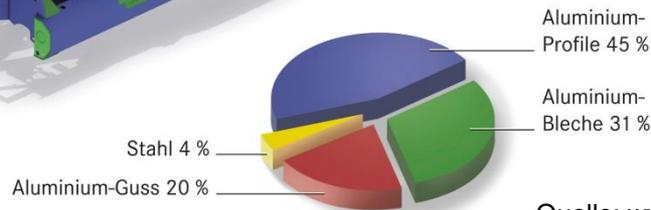
# Einleitung

## Materialvielfalt im Automobil

Gewichtsoptimierter Materialmix:  
Verwindungssteife Struktur mit nur  
241 Kilogramm Gewicht



Gewichtsanteile



Quelle:  
BMW/www.motor-talk.de

Quelle: www.auto-wirtschaft.ch

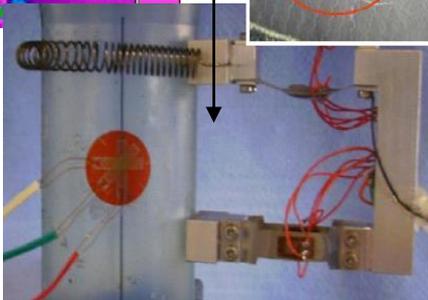
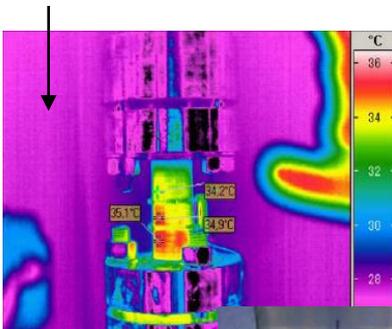


# Materialintegration: Einteilung

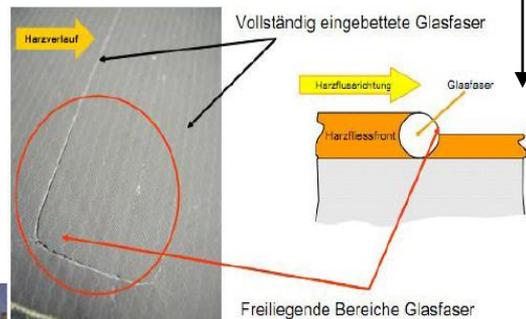
## Rückblick Integrationsgrad

Integrationsgrad

externe  
Überwachung

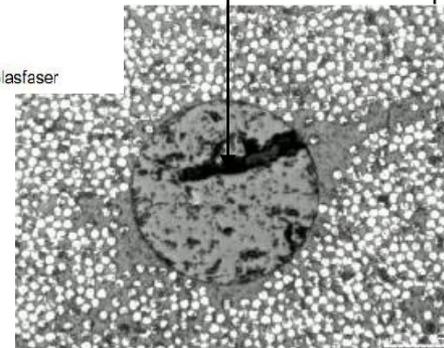


Oberflächen-  
applikation

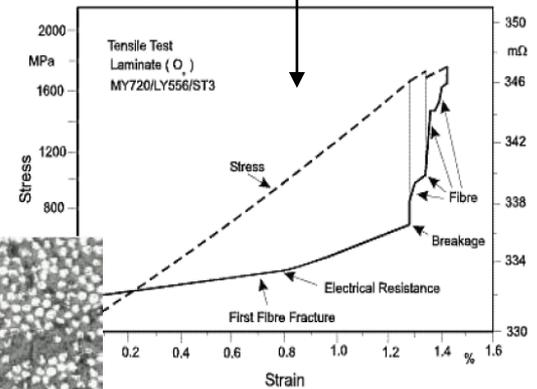


Oberflächen-  
integration

Volumen-  
integration



intrins. Material-  
eigenschaften



Dependence of mechanical stress and electric resistance on mechanical strain in an FRP laminate, acc. to Schulte et al.

# Materialintegration: Einteilung

## Integrationsgrad: Fokus heute

Integrationsgrad

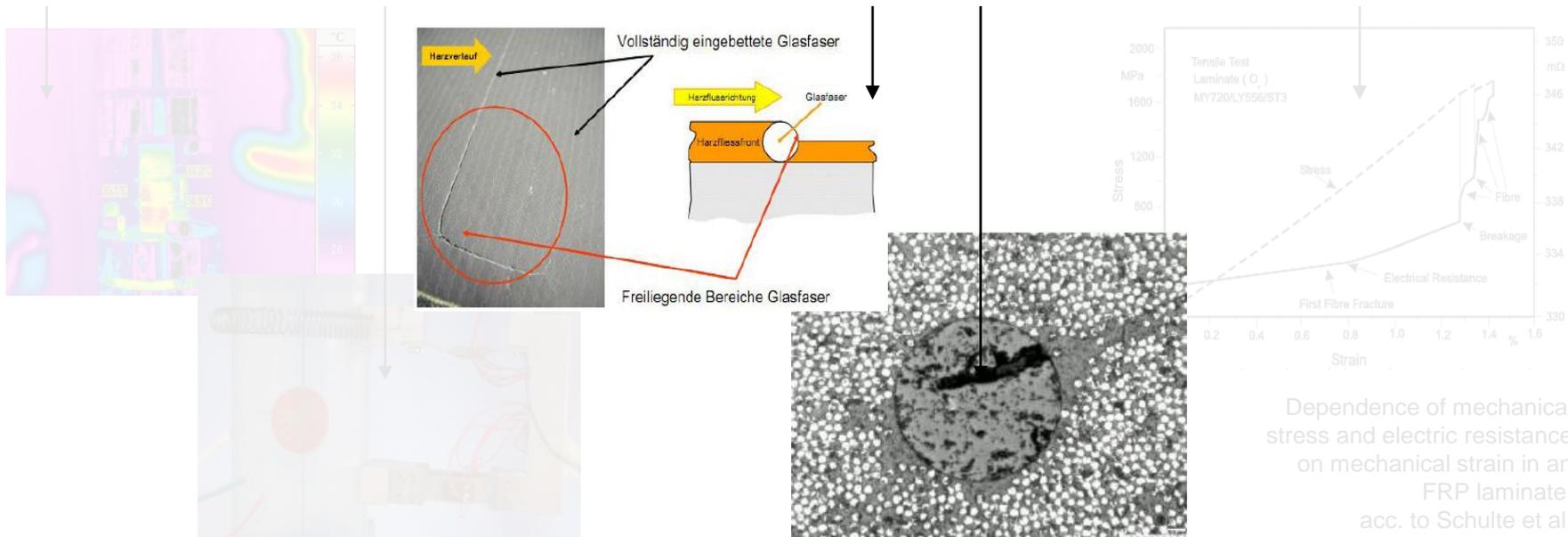
externe  
Überwachung

Oberflächen-  
applikation

Oberflächen-  
integration

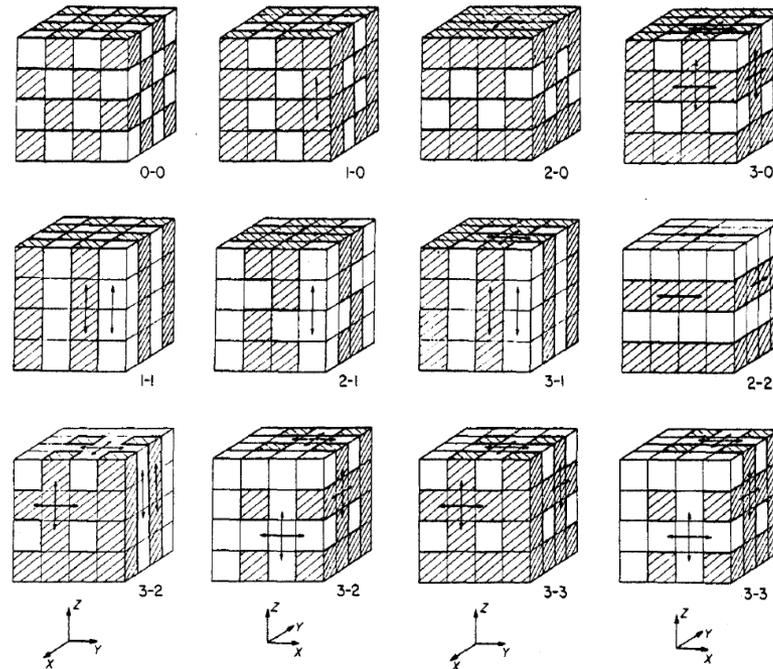
Volumen-  
integration

intrins. Material-  
eigenschaften



# Materialintegration: Einteilung

## Einteilung nach Konnektivität.



Quelle: R. E. Newnham, D. P. Skinner, L. E. Cross: *Connectivity and piezoelectric-pyroelectric composites*. Mat. Res. Bull. 13 (1978) 525-536.

# Materialintegration: Einteilung

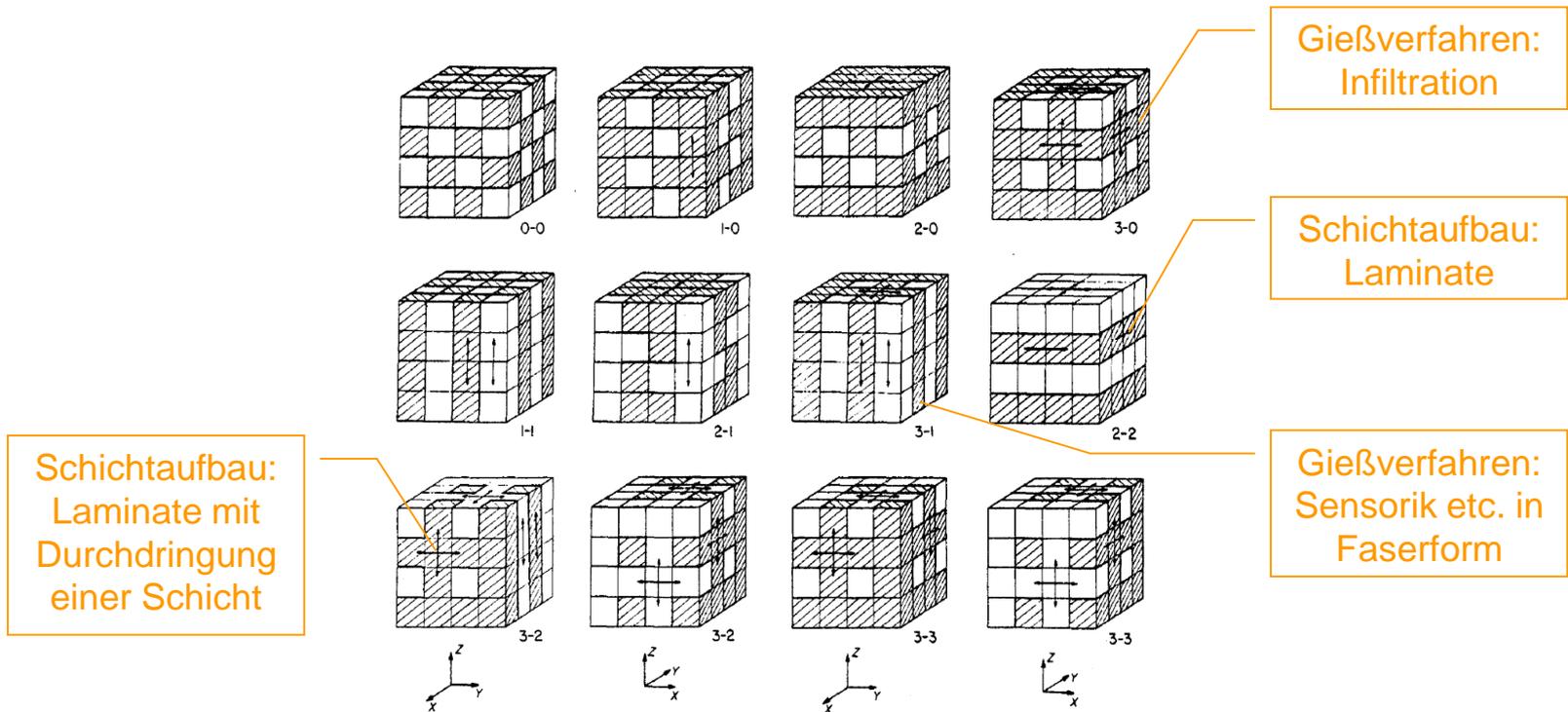
## Einteilung nach Konnektivität: Erläuterung.

Übernahme von Newnham's Vorschlag – Beispiele für einzelne Varianten (1. Ziffer aufnehmendes Material, 2. Ziffer Sensorknoten):

- 3-0 Konfig: Individuelle Sensorknoten mit physischer Verbindung, Knotengeometrie entweder 0D („smart dust“, sehr geringe Abmessungen in der Größenordnung der eigenschaftsbestimmenden Bestandteile der Matrix), 1D (Draht/Faser), 2D (SmartPatch, Functional Net begrenzter Größe), 3D (komplexe 3D-Knoten, die die 0D-Varianten in ihren Abmessungen um wenigstens eine GO übertreffen)
- 3-1: Sensorknoten aus kontinuierlichen, langen Drähten/Fasern
- 3-2: groß- bzw. vollflächige Functional nets oder Textilien
- 2-2: Schichtmaterial mit vollflächigen „smart layers“

# Materialintegration: Einteilung

## Konnektivität und Prozess.



Quelle: R. E. Newnham, D. P. Skinner, L. E. Cross: *Connectivity and piezoelectric-pyroelectric composites*. Mat. Res. Bull. 13 (1978) 525-536.

# Materialintegration: Einteilung

## Von Oberflächen- zu Volumenintegration.

- Typ des aufnehmenden Materials  
Metall, Leichtmetall, (thermoplastischer/duroplastischer) Kunststoff, Textil, faserverstärkter Kunststoff, ...
- Verarbeitung des aufnehmenden Materials  
Gießverfahren, Additive Manufacturing, **Laminierverfahren**, pulverbasierte Verfahren, ...

- Konfiguration  
Klassifikation nach Konfiguration des Sensors, die Sensorknoten repräsentieren

Aluminium

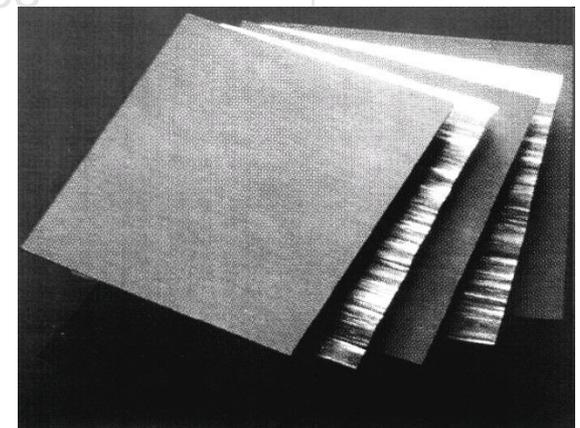
Prepreg

**Faser-Metall-Lamine:**  
**Metall-FVK-Hybridwerkstoffe**  
**mit Schichtaufbau**



Beispiel GLARE -  
Quelle: [www.lr.tu-delft.nl](http://www.lr.tu-delft.nl)

Volumen-  
integration



Quelle: [www.emeralinsight.com](http://www.emeralinsight.com)

# Materialintegration: Herausforderungen.

## Die vielen Probleme der Materialintegration.

- **Mechanische Stabilität**  
to sustain mechanical loads during production & service life
- **Thermische Stabilität**  
to sustain thermal loads during production & service life
- **Verträglichkeit mit der Matrix**
  - **Mechanische Anpassung**  
matching of stiffness, yield etc., flexibility, stretchability, interface, internal kerfs, ...
  - **Thermische Anpassung**  
matching of CTE, *maintenance of functionality under thermal influences* ...
  - **Chemische und sonstige Verträglichkeit**  
reaction to environmental influences like humidity, special chemical environments etc.
- **Andere/kombinierte Effekte**  
residual stresses induced in manufacturing, superimposed thermal stresses in service, energy, data evaluation, ...

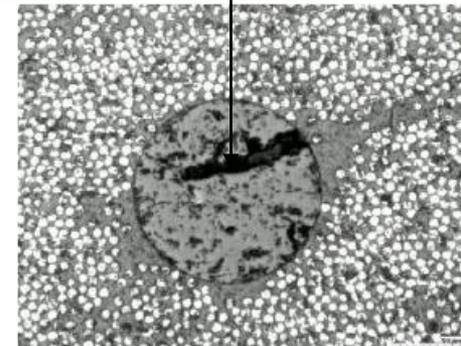
Zentrale Herausforderung  
während der Fertigung  
von Materialien/Strukturen  
mit eingebetteten  
Sensorsystemen

# Einleitung.

## Volumenintegration: Differenzierung.

- **Typ des aufnehmenden Materials**  
Metall, Leichtmetall, (thermoplastischer/duroplastischert) Kunststoff, Textil, faserverstärkter Kunststoff, ...
- **Verarbeitung des aufnehmenden Materials**  
Gießverfahren, Additive Manufacturing, Laminierverfahren, pulverbasierte Verfahren, ...
- **Konfiguration des Sensor-Matrix-Verbundes**  
Klassifikation nach Konnektivität der aufnehmenden Phase und der die Sensorknoten repräsentierenden Phase
- **Sensortyp (nach Messprinzip)**  
faseroptischer Sensor (FBG), DMS, kapazitive Sensoren ...
- **Sensortyp (nach Messgröße)**  
mechanischer (Dehnungs-) Sensor, Temperatursensor, ...

Volumen-  
integration



# Einteilung der Fertigungsverfahren.

## Übersicht nach DIN 8580.

DIN 8580 liefert eine Einteilung der Fertigungsverfahren

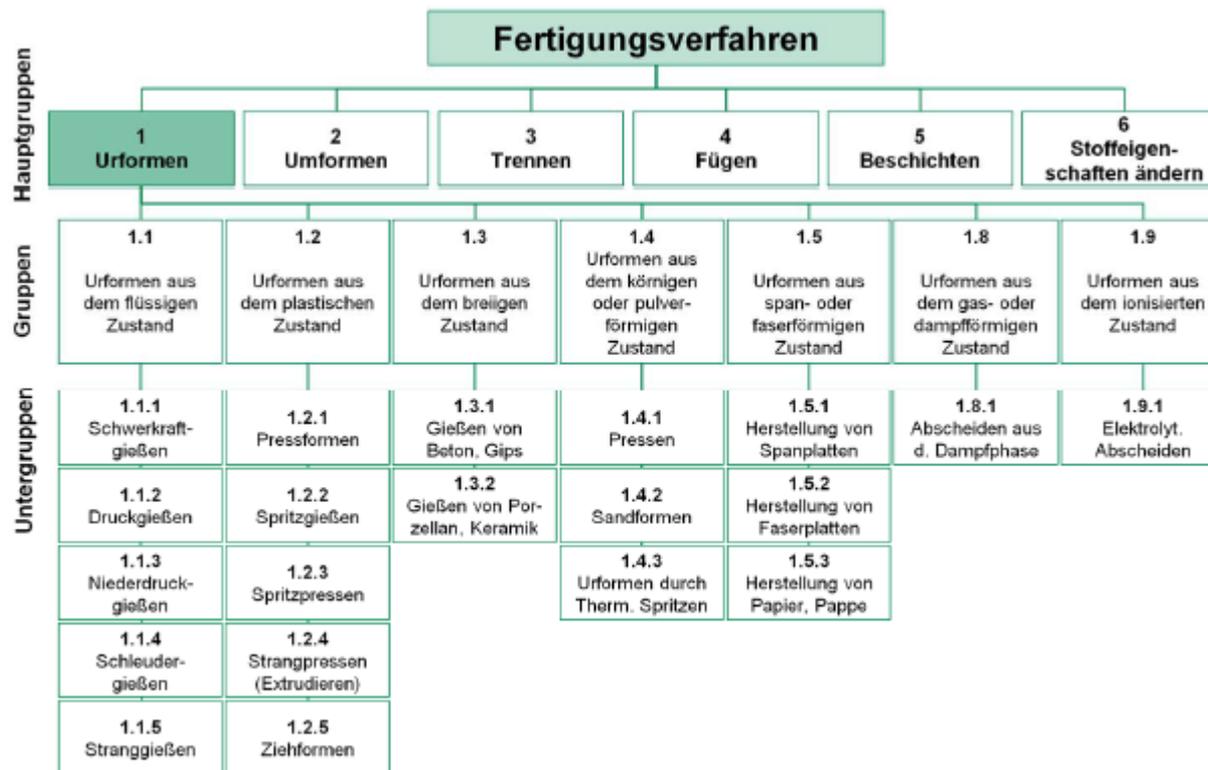
**Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580:**



Quelle: [www.studyblue.com](http://www.studyblue.com)

# Einteilung der Fertigungsverfahren.

DIN 8580/Hauptgruppen: 1 Urformen.



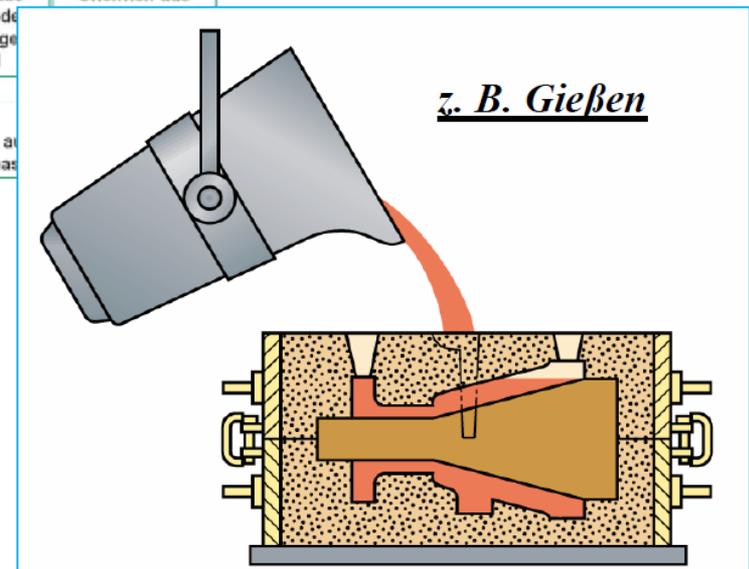
Quelle: [www.studyblue.com](http://www.studyblue.com)

# Einteilung der Fertigungsverfahren.

DIN 8580/Hauptgruppen: 1 Urformen.



Quelle: www.uni-due.de



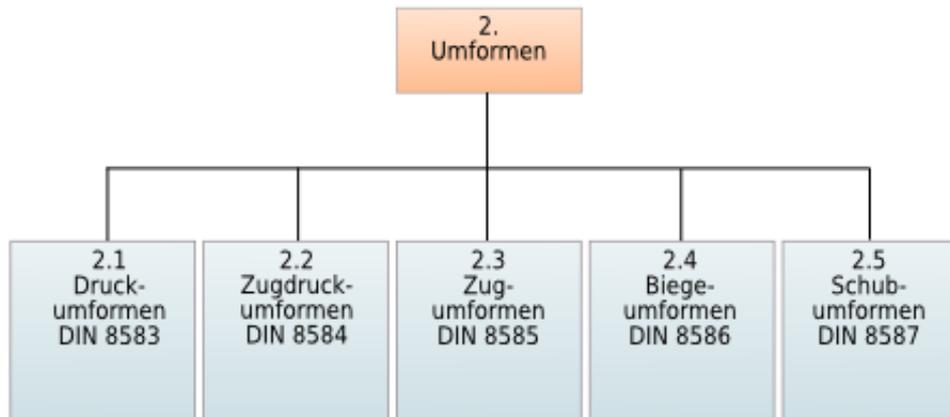
Quelle: www.studyblue.com

# Einteilung der Fertigungsverfahren.

DIN 8580/Hauptgruppen: 2 Umformen.



Quelle: [www.studyblue.com](http://www.studyblue.com)



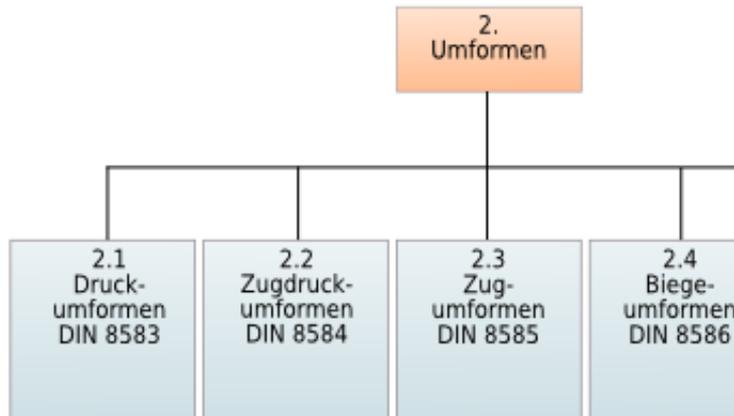
Quelle: [www.fachwissen-technik.de](http://www.fachwissen-technik.de)

# Einteilung der Fertigungsverfahren.

DIN 8580/Hauptgruppen: 2 Umformen.

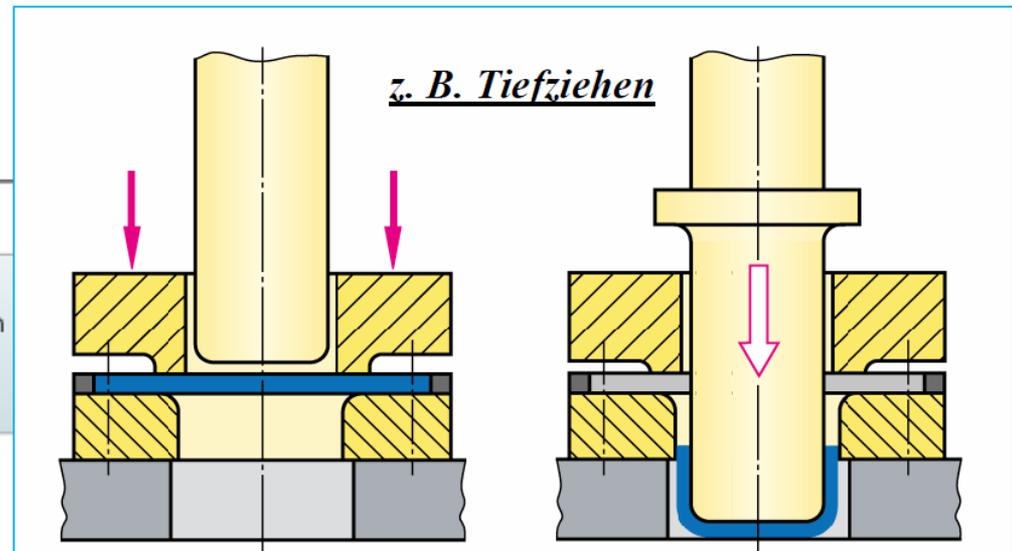


Quelle: [www.studyblue.com](http://www.studyblue.com)



Quelle: [www.fachwissen-technik.de](http://www.fachwissen-technik.de)

Quelle: [www.uni-due.de](http://www.uni-due.de)

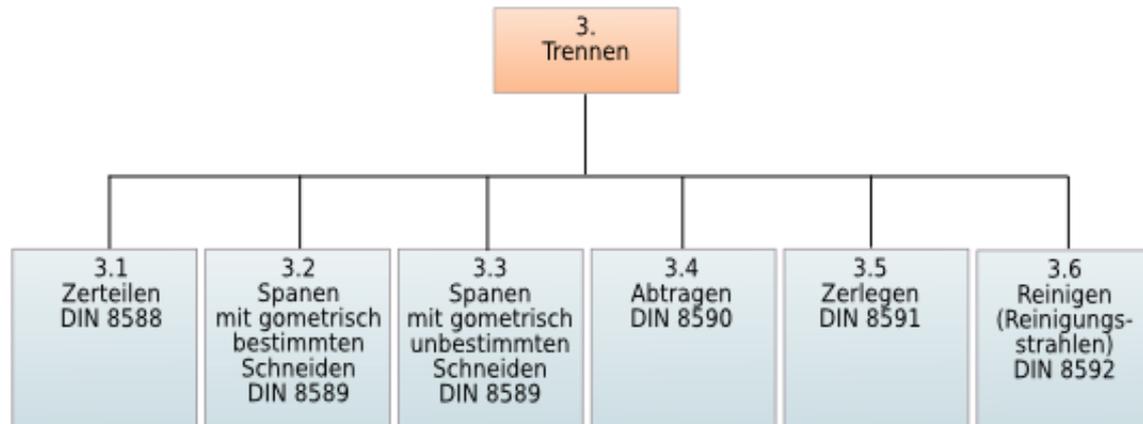


# Einteilung der Fertigungsverfahren.

DIN 8580/Hauptgruppen: 3 Trennen.



Quelle: [www.studyblue.com](http://www.studyblue.com)



Quelle: [www.fachwissen-technik.de](http://www.fachwissen-technik.de)

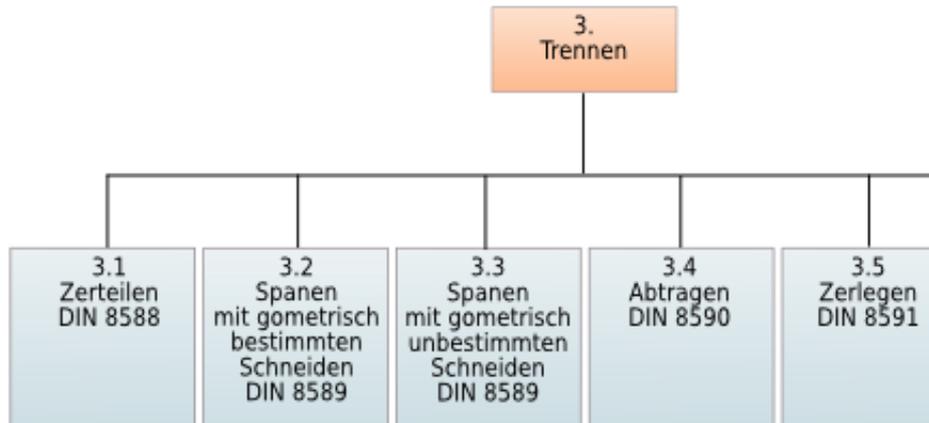
# Einteilung der Fertigungsverfahren.

DIN 8580/Hauptgruppen: 3 Trennen.

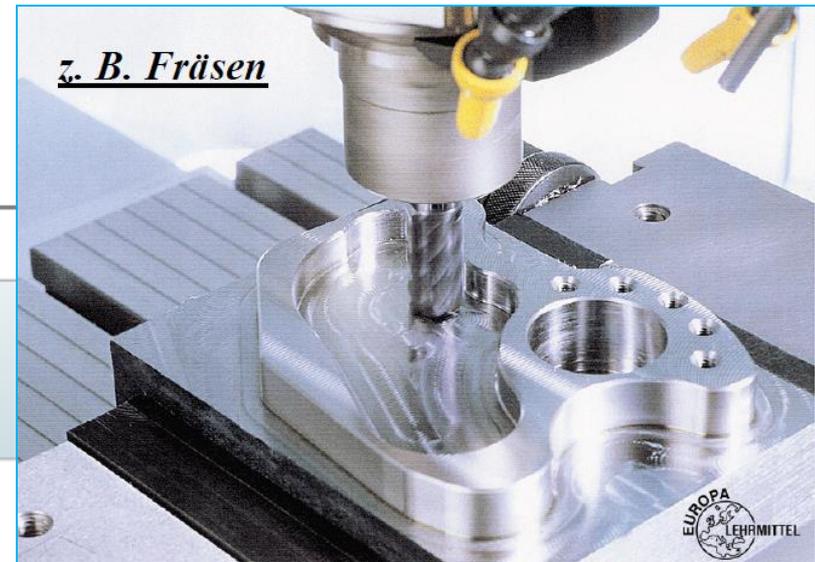


Quelle: [www.studyblue.com](http://www.studyblue.com)

Quelle: [www.uni-due.de](http://www.uni-due.de)



Quelle: [www.fachwissen-technik.de](http://www.fachwissen-technik.de)

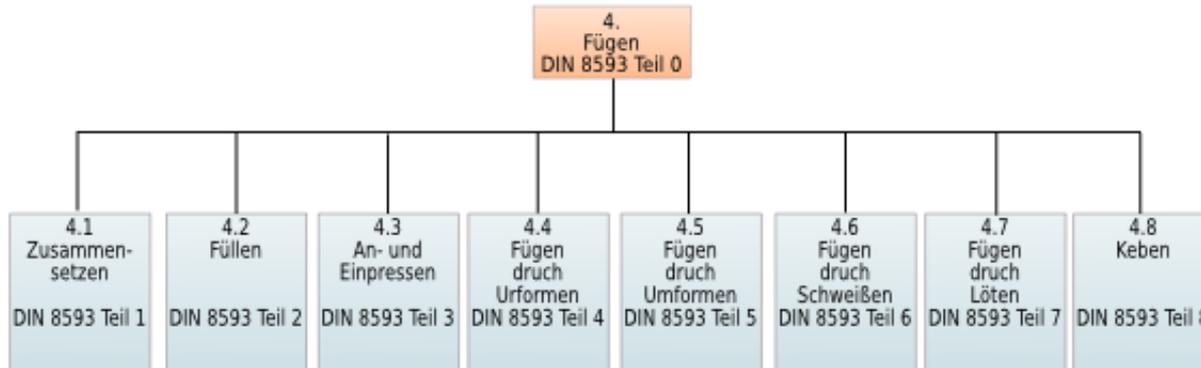


# Einteilung der Fertigungsverfahren.

DIN 8580/Hauptgruppen: 4 Fügen.



Quelle: [www.studyblue.com](http://www.studyblue.com)



Quelle: [www.fachwissen-technik.de](http://www.fachwissen-technik.de)

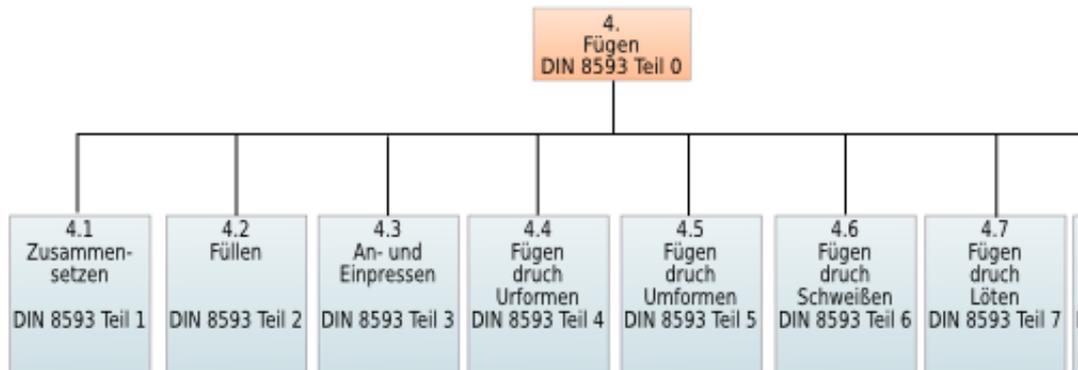
# Einteilung der Fertigungsverfahren.

DIN 8580/Hauptgruppen: 4 Fügen.

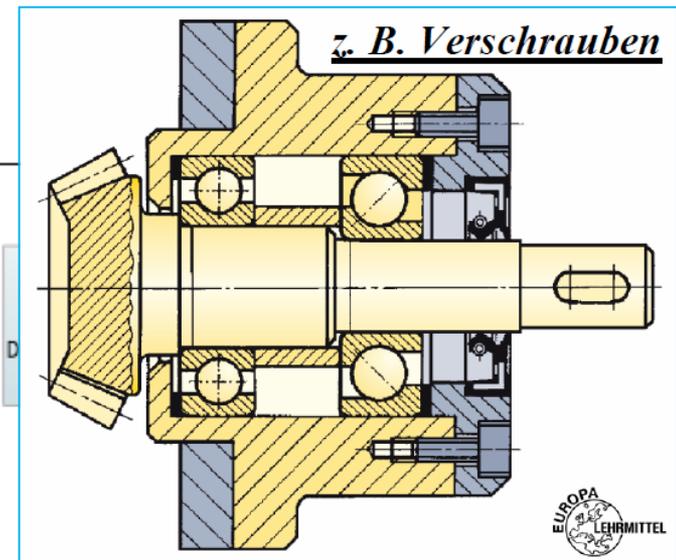


Quelle: [www.studyblue.com](http://www.studyblue.com)

Quelle: [www.uni-due.de](http://www.uni-due.de)



Quelle: [www.fachwissen-technik.de](http://www.fachwissen-technik.de)

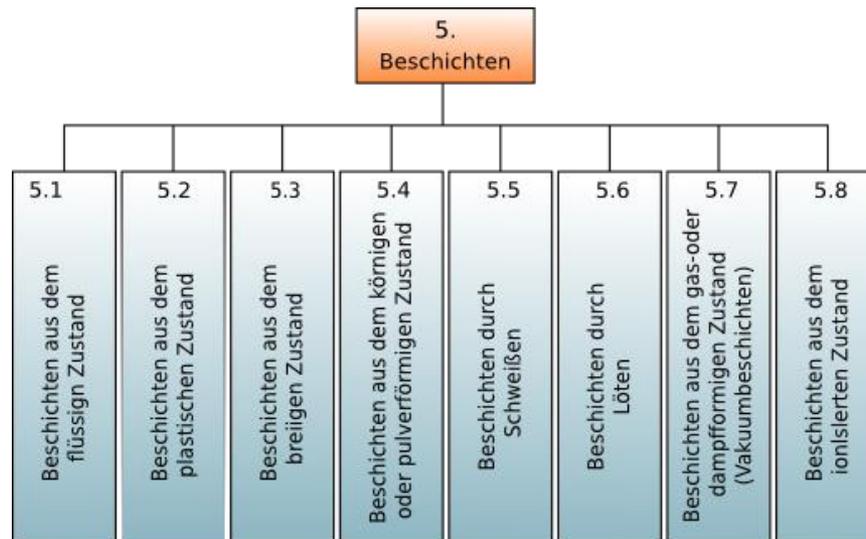


# Einteilung der Fertigungsverfahren.

## DIN 8580/Hauptgruppen: 5 Beschichten.



Quelle: [www.studyblue.com](http://www.studyblue.com)



Quelle: [fachwissen-technik.de](http://fachwissen-technik.de)

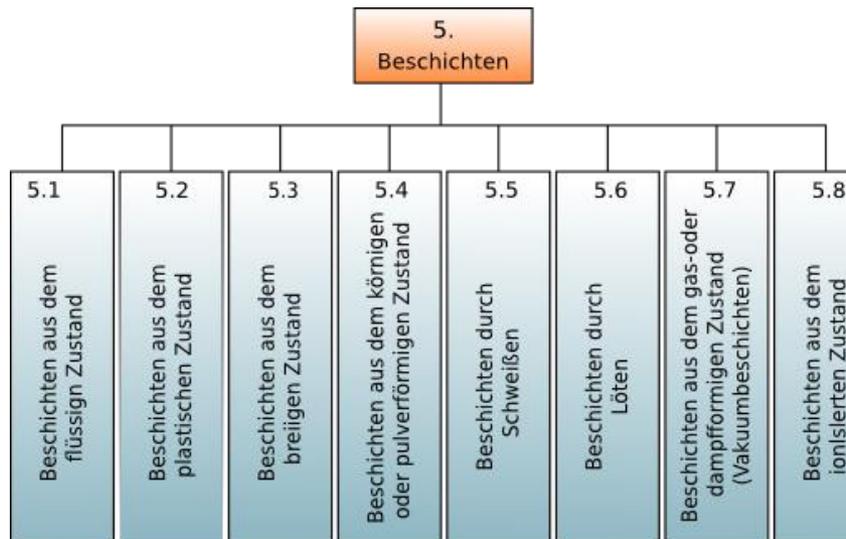
# Einteilung der Fertigungsverfahren.

DIN 8580/Hauptgruppen: 5 Beschichten.

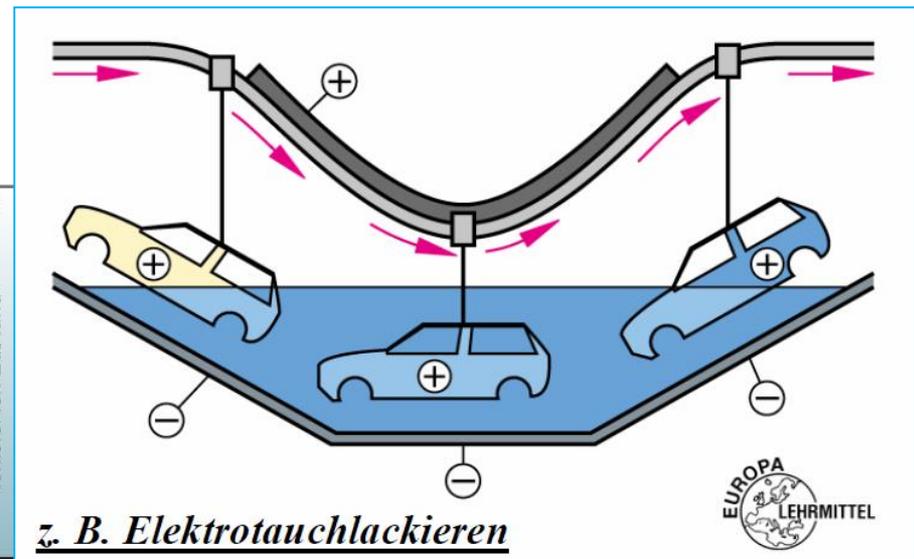


Quelle: www.studyblue.com

Quelle: www.uni-due.de



Quelle: fachwissen-technik.de



# Einteilung der Fertigungsverfahren.

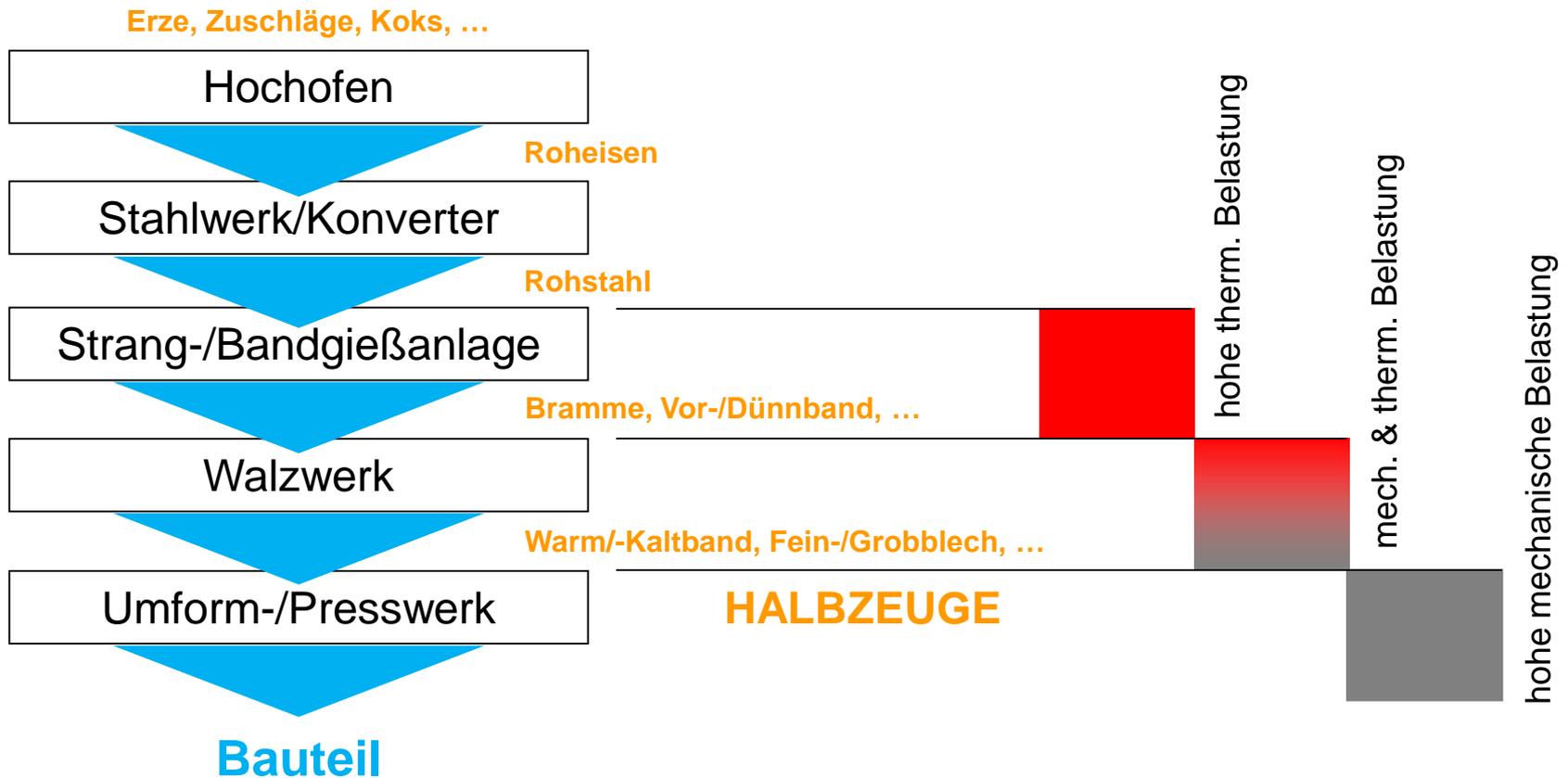
Beispiele nach Material und Prozess.

	Metalle	Kunststoffe	Keramik
Urformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Metallguß (V)</li> <li>Pulvermetallurgie (V)</li> <li>Sprühkompaktieren (V)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resin Transfer Moulding (V)</li> <li>Laminierverf. (V)</li> <li>Kunststoff-Spritzguss (V)</li> <li>umformbare Kunststoffe und Kunststoffmatrix-Verbunde (V)</li> </ul>	
Umformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>umformbare Bleche (O)</li> </ul>		
Trennen			
Fügen			
Beschichten	<ul style="list-style-type: none"> <li>therm. Spritzen (O)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pulverbeschichtung (O)</li> </ul>	

Hybridmat. wie Faser-Metall-Lamine (O/V)

# Materialintegration: Zeitpunkt.

Vom Material zum Bauteil - Beispiel Stahl.



# Zusammenfassung

## Fazit und Ausblick

- Komplexität der Aufgabe Materialintegration steigt mit dem Integrationsgrad, d.h. von der Oberflächenapplikation bis zur Volumenintegration.
- Belastung der zu integrierenden Komponenten unterscheidet sich je nach Fertigungsprozess und aufnehmendem Material.
- Anforderungen an integrierbare Sensorsysteme lassen sich klassifizieren, wobei mechanische und thermische Stabilität und Kompatibilität die wichtigsten Kategorien darstellen.
- Es ist zu unterscheiden zwischen Stabilität und Kompatibilität im Prozess und im Betrieb.

# Einleitung.

## Volumenintegration: Ausblick.

- **Typ des aufnehmenden Materials**  
Metall, Leichtmetall, (thermoplastischer/duroplastischert) Kunststoff, Textil, faserverstärkter Kunststoff, ...
- **Verarbeitung des aufnehmenden Materials**  
Gießverfahren, Additive Manufacturing, Laminierverfahren, pulverbasierte Verfahren, ...
- **Konfiguration des Sensor-Matrix-Verbundes**  
Klassifikation nach Konnektivität der aufnehmenden Phase und der die Sensorknoten repräsentierenden Phase
- **Sensortyp nach**  
faseroptischer Sensor (F)
- **Sensortyp**  
mechanischer (D)

Volumen-  
integration

### Zweite Vorlesung heute:

- **Fertigungsprozesse, Beispiele**
  - Metalle
  - Kunststoffe
  - Faserverstärkte Kunststoffe etc.

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit ...

Wo Sie uns finden:

Dr.-Ing. Dirk Lehmhus

Tel. +49 (0)421 2246 7215

Fax +49 (0)421 2246 300

Email [dirk.lehmhus@uni-bremen.de](mailto:dirk.lehmhus@uni-bremen.de)

Web [www.ifam.fraunhofer.de](http://www.ifam.fraunhofer.de)

Postal Address      Wiener Straße 12  
                                 28359 Bremen  
                                 Germany