

Fügetechnologien für den Karosserie-Leichtbau



Steffen Müller

AUDI AG

Agenda



Agenda

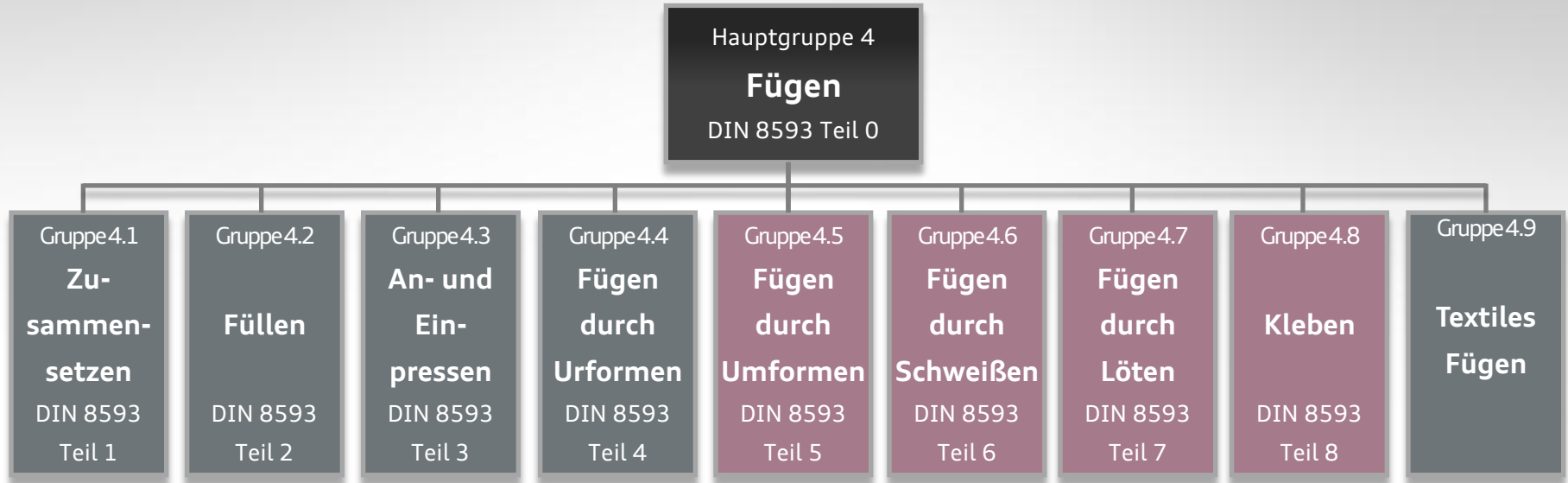


Fügen – Begriffsbestimmung und Einteilung

Durch das Fügen wird der Zusammenhalt zwischen den zuvor getrennten Werkstücken lokal, d.h. an den Fügestellen geschaffen und eine Formänderung des neu entstandenen Teils herbeigeführt.

Die Verbindung kann dabei von fester oder beweglicher Gestalt sein.

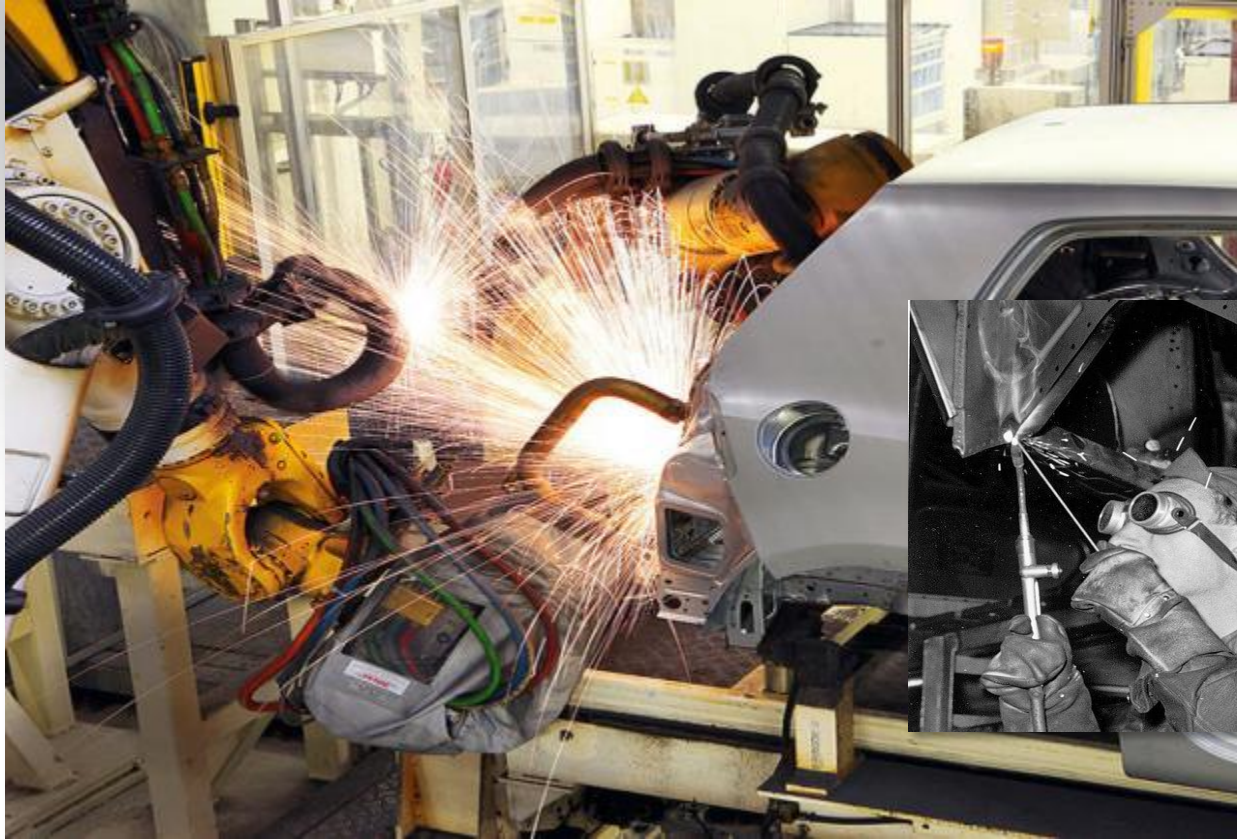
Über die Wirkflächen der Verbindung werden die auftretenden Betriebskräfte übertragen.



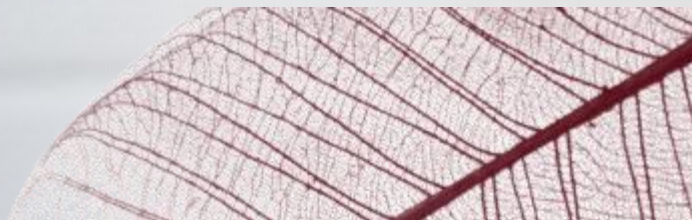
Was man unter Fügen versteht



Fügen in der Automobilfertigung ... damals und heute



Agenda



Leichtbau



Die Zukunft automobilen Leichtbaus

- ▶ Leichtbau ist nicht nur Summe einzelner Komponenten, sondern ein hochintegriertes Gesamtkonzept:
 - ▶ Von innovativen Werkstoffen über intelligente Konstruktionsprinzipien bis hin zu ressourcenschonenden Produktionsprozessen
 - ▶ Wir setzen auf einen intelligenten Materialmix – nach dem Motto: das richtige Material an der richtigen Stelle in der richtigen Menge.
 - ▶ Es geht um mehr als ein niedriges Fahrzeuggewicht. Leichtbau erhöht den Fahrspaß, sorgt für mehr Sicherheit und senkt den Verbrauch.

Umkehr der Gewichtsspirale



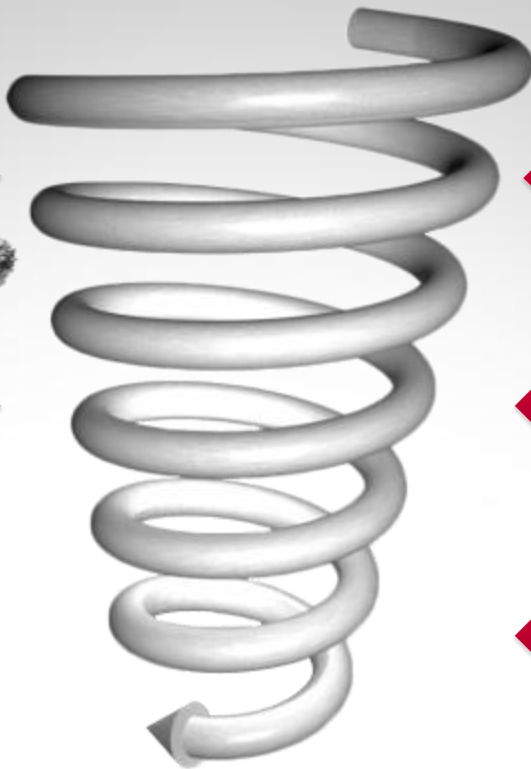
**Downsizing
Motor und Getriebe**



**Sekundäreffekte,
z.B. Tank, etc.**



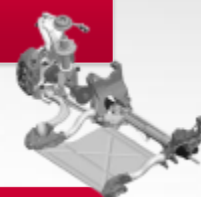
**Leicht, sportlich,
verbrauchsgünstig**



**Initialzündung durch
Leichtbaukarosserie**



**Sekundäreffekte, z.B.
Fahrwerk, Bremsen**



**Detailleichtbau in allen
Fachbereichen**

Leichtbauwerkstoffe

Warmumgeformte Stähle



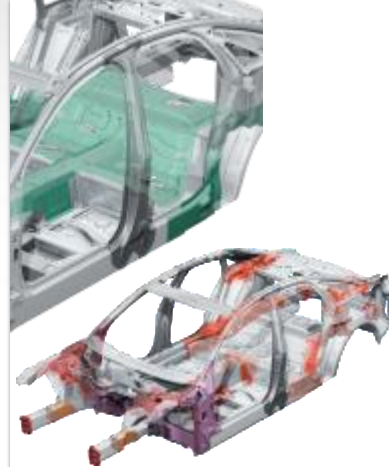
A4
Sirnwandquerträger

Partielles Vergüten



A8
B-Säule

Hochfeste Al-Blech- und Gusslegierungen



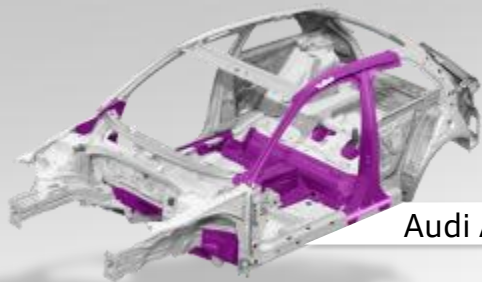
Faserverstärkte Kunststoffe



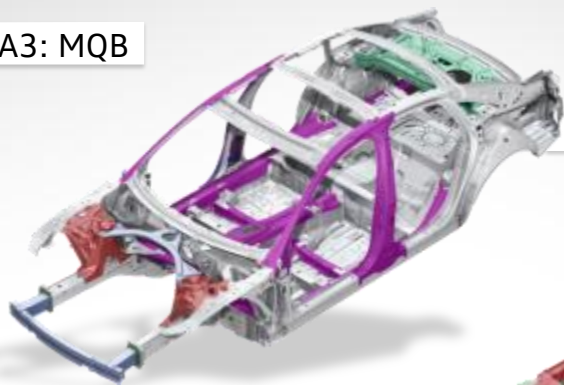
>> Einsatz verschiedener Technologien zur optimalen Materialeffizienz bei bester Performance

Leichtbau mit werkstoffflexiblen Karosseriekonzepten

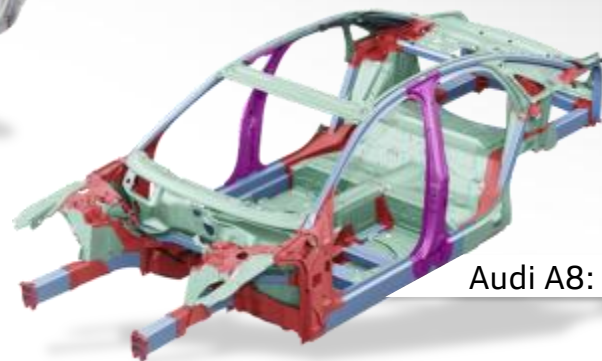
Das richtige Material am richtigen Ort in der richtigen Menge








Audi A3: MQB



Audi A6: MLB-C Serie



Audi A8: MLB-D Serie

	Aluminium-Druckguss
	Aluminium-Profile
	Aluminium-Bleche
	Warmumgeformter Stahl
	Kaltumgeformter Stahl

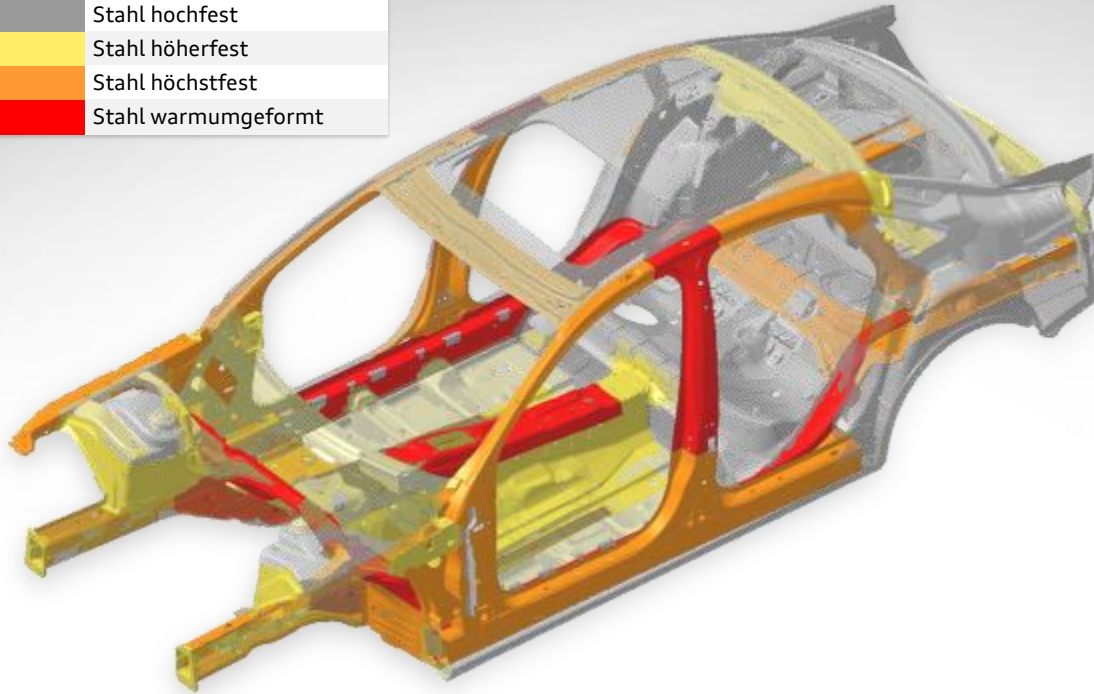
Agenda



Karosseriekonzepte in Stahl-Blechschalbauweise

Beispiel: Karosserie Audi A4

Stahl hochfest
Stahl höherfest
Stahl höchstfest
Stahl warmumgeformt



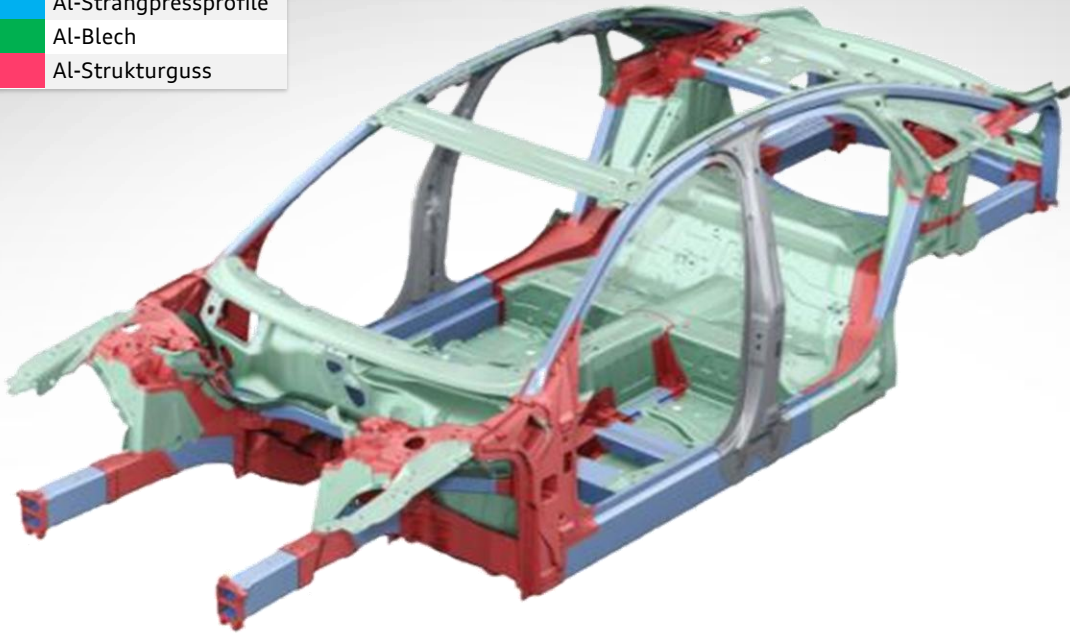
Fügetechnologien:

5000 Stk.	Widerstandspunktschweißen
90 m	Strukturkleben
4,0 m	Laserstrahlschweißen
4,5 m	Laser/Plasmalöten
0,77 m	MAG-Schweißen

Karosseriekonzepte für Aluminium

Beispiel: Audi Space Frame Audi A8

Stahlblech
Al-Strangpressprofile
Al-Blech
Al-Strukturguss



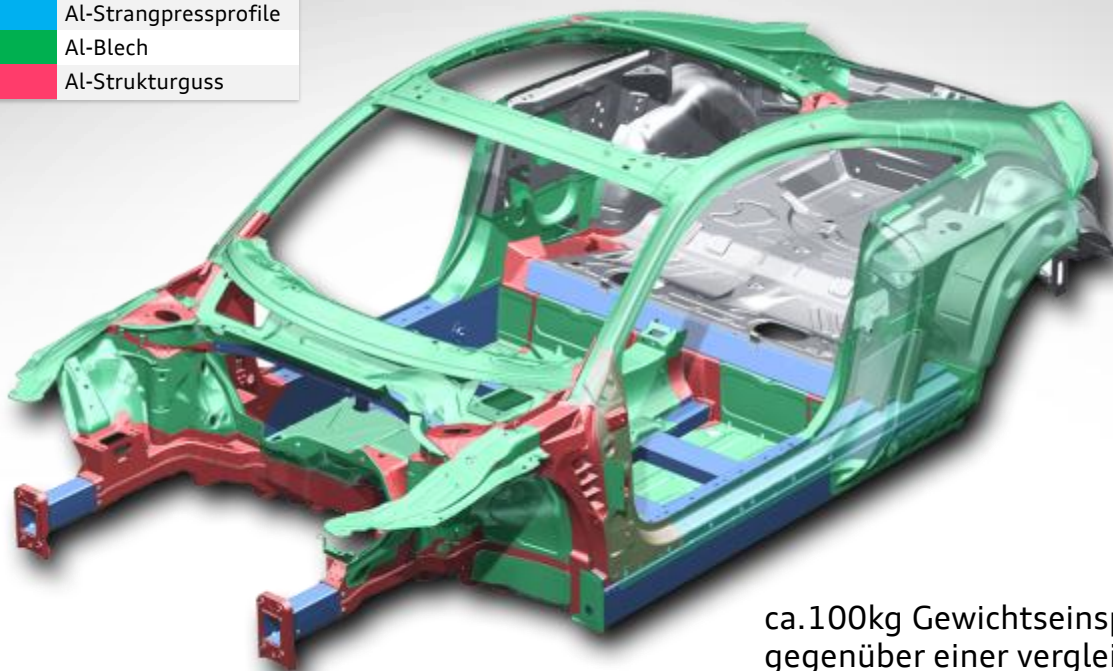
Fügetechnologien:

26,0 m	MIG-Schweißen
20,0 m	Laserstrahlschweißen
2400 Stk.	Halbhohlstanzniete
650 Stk.	FDS-Schrauben
62,0 m	Strukturkleben

Aluminium-intensive Mischbauweise

Beispiel: Audi TT Coupé

Stahlblech
Al-Strangpressprofile
Al-Blech
Al-Strukturguss



Fügetechnologien:

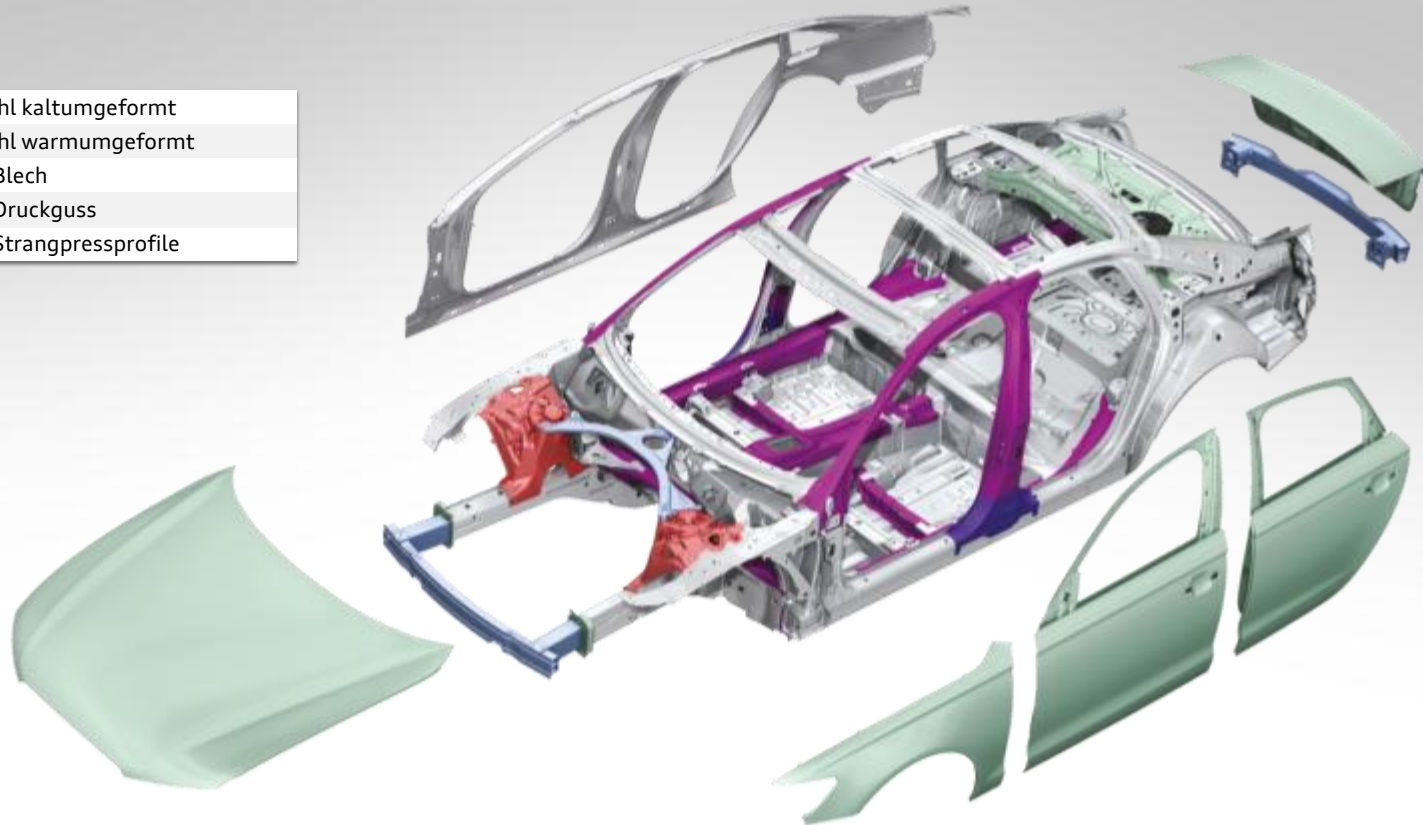
21,5 m	MIG-Schweißen
5,3 m	Laserstrahlschweißen
1.700 Stk.	Halbhohlstanzniete
229 Stk.	FDS-Schrauben
174 Stk.	Clinchen
1.287 Stk.	Widerstands-Punktschweißen
0,8 m	MAG-Schweißen
60,0 m	Strukturkleben

ca.100kg Gewichtseinsparung gegenüber einer vergleichbaren Stahlkarosserie

Stahl-intensive Mischbaukarosserien

Beispiel: Karosserie Audi A6

Stahl kaltumgeformt
Stahl warmumgeformt
Al-Blech
Al-Druckguss
Al-Strangpressprofile



Werkstoffe für den Karosserieleichtbau

Mischbau für den effizienten Leichtbau

FVK-intensive Karosserie



MMK (Multi-Material Karosserie)



Aluminium-intensive Karosserie



Al-Stahl- Karosserie



Stahl-intensive Karosserie



1990

2000

Heute

2020

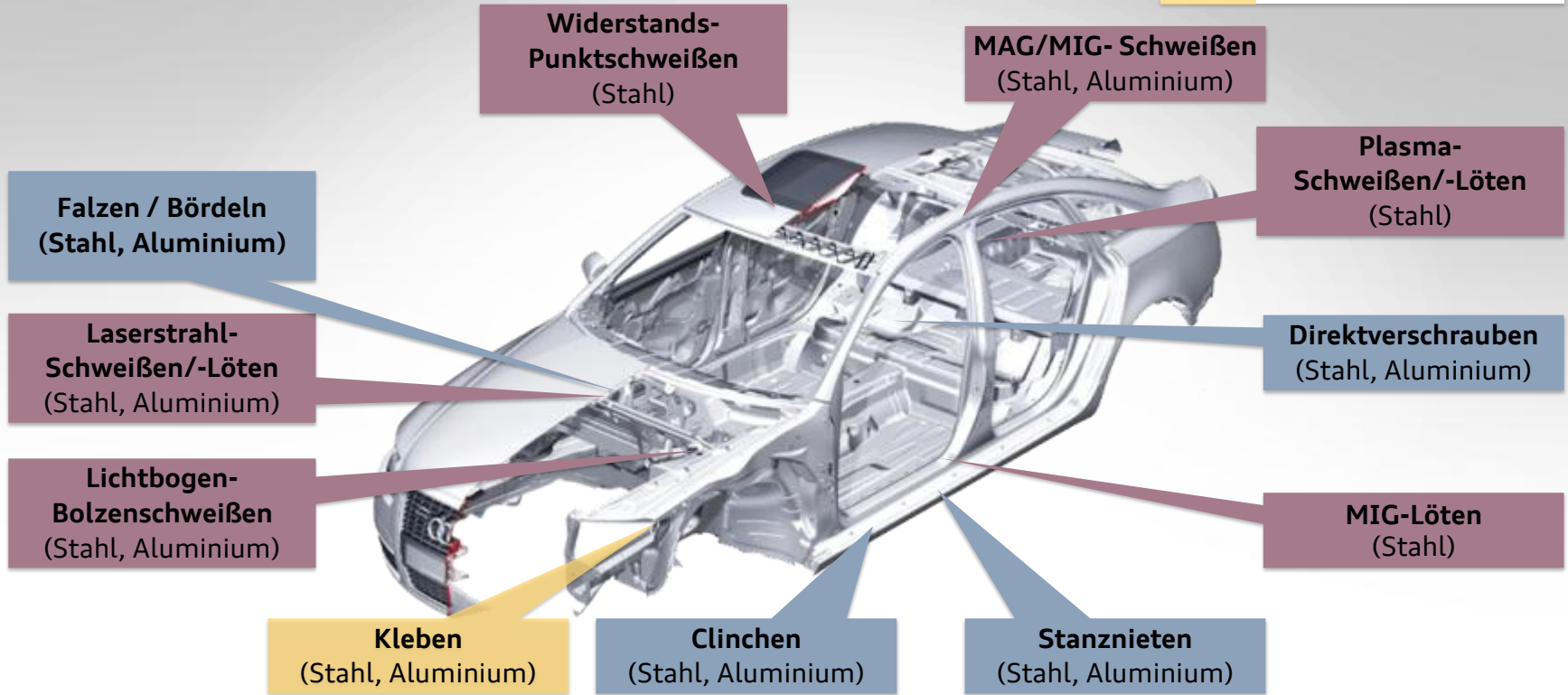
Agenda



**Füge Technologien -
Schlüssel zum Leichtbau**

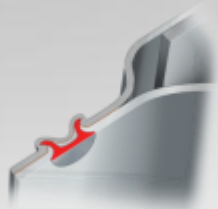
Fügeverfahren im Karosseriebau

Thermische Verfahren
Mechanische Verfahren
Chemische Verfahren



Fügetechnologien für Aluminiumkarosserien

Beispiel: ASF® Karosserie Audi A8



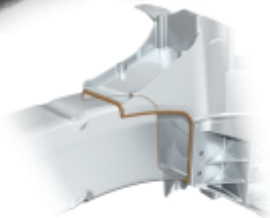
Stanznieten
mit Halbhohlriet



Laserstrahl-
schweißen



Stanznieten
mit Vollniet



MIG-Schweißen

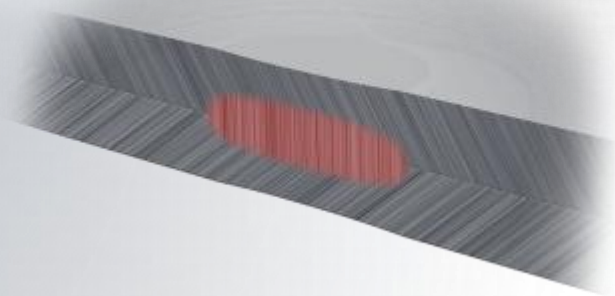


Flow drill Schrauben
(FDS)

Agenda



Widerstandspunktschweißen

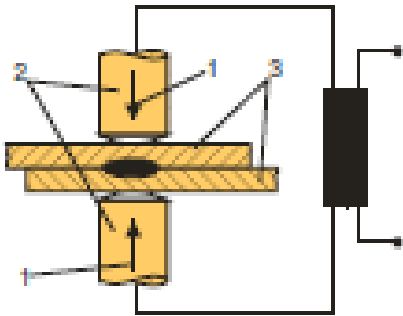


Widerstandspunktschweißen

Verfahrensprinzip und -varianten

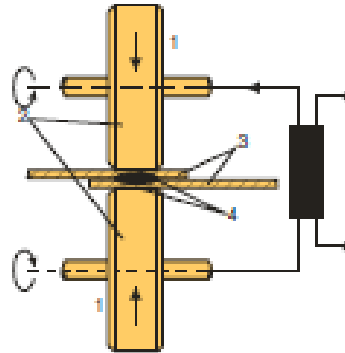
Punktschweißen

- ▶ Werkstücke überlappt
- ▶ stiftförmige Elektroden
- ▶ linsenförmige Verbindung



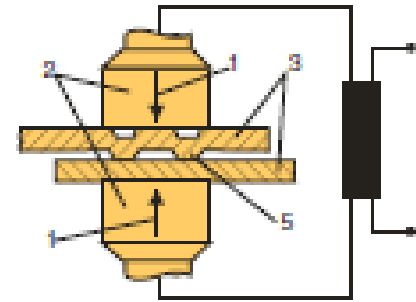
Rollnahtschweißen

- ▶ Werkstücke meist überlappt
- ▶ rollenförmige angetriebene Elektroden
- ▶ Punktreihen (Dichtnähte, Rollpunkte)

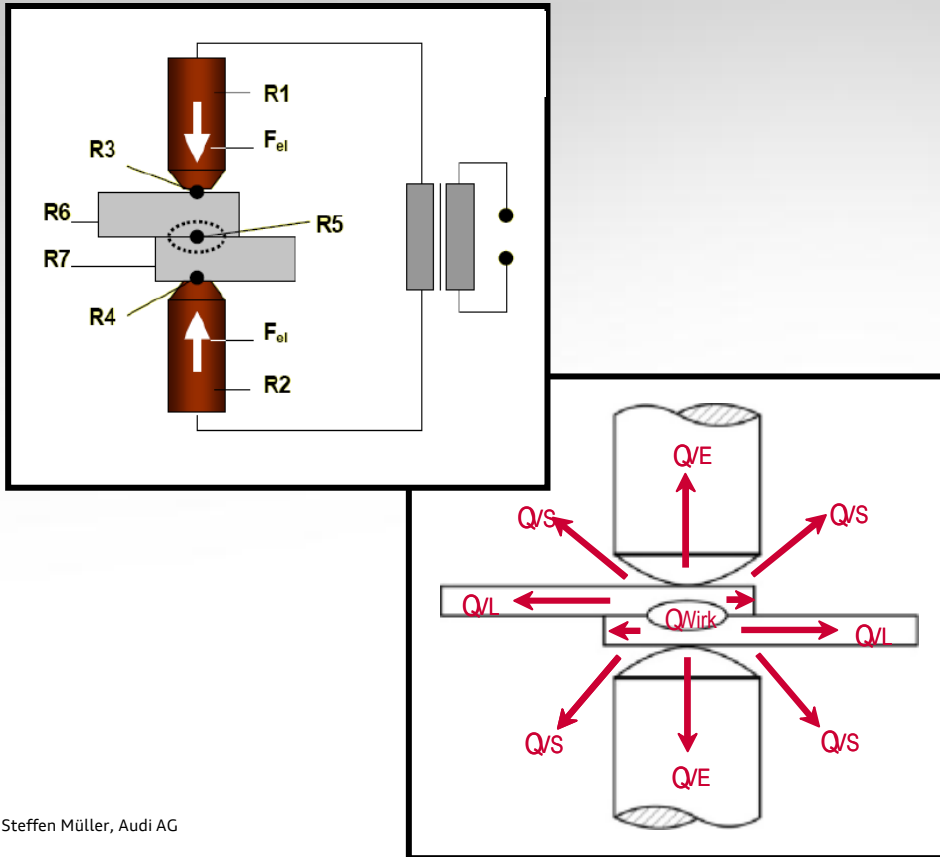


Buckelschweißen

- ▶ Werkstückerhebungen (Stromkonzentration)
- ▶ Werkstück überlappt
- ▶ großflächige Elektroden
- ▶ mehrere Verbindungen in einem Arbeitsgang
- ▶ linsenförmige Verbindung



Widerstandspunktschweißen Grundlagen



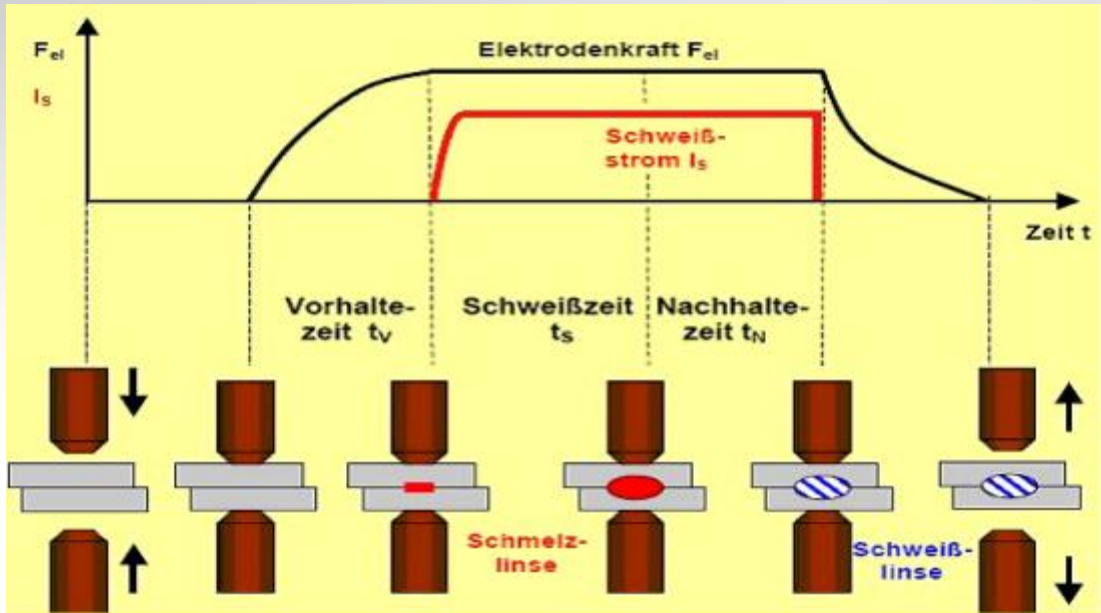
- ▶ Durch den Schweißstrom I wird eine Schweißlinse an der Stelle des größten Widerstandes R aufgeschmolzen
- ▶ Die zugeführte Wärmemenge entsteht somit durch Widerstandserwärmung im stromdurchflossenen Leiter
- ▶ Zur Schweißlinsenbildung trägt hingegen nur die Wirkwärme Q_{Wirk} bei
- ▶ Die Wärmemenge Q an der Schweißstelle lässt sich qualitativ mit dem Joule'schen Gesetz beschreiben:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

Widerstandspunktschweißen

Prozessablauf

- ▶ Vereinfachter Prozessablauf einer Widerstandspunktschweißung

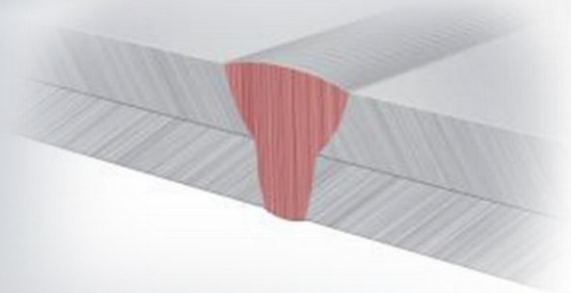


(Quelle: ISF Aachen)

Agenda

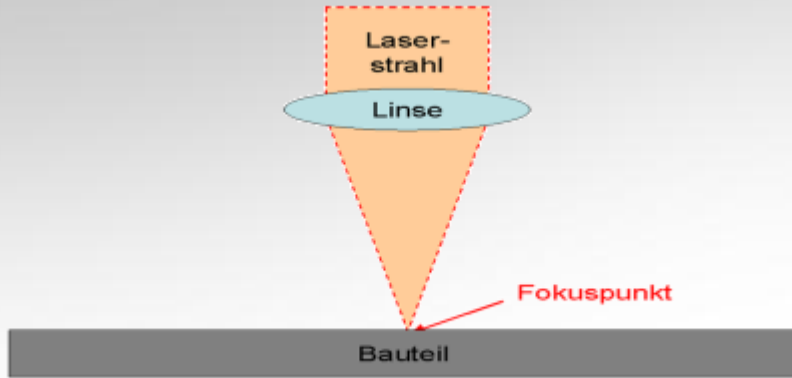


Laserstrahlschweißen



Laserstrahltechnologien

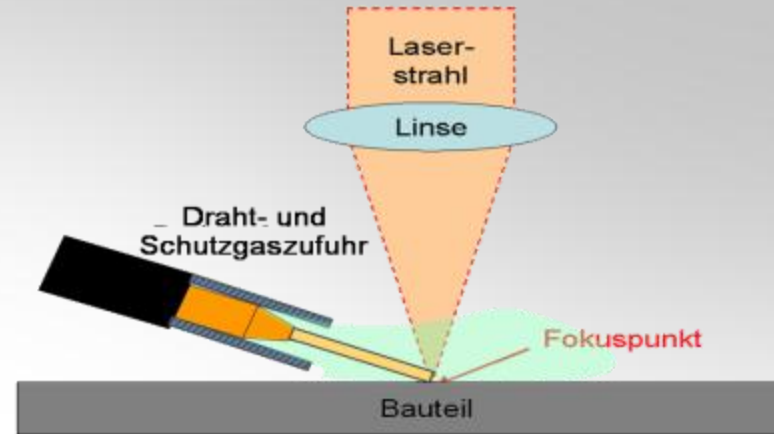
Laserstrahlschweißen Stahl



▶ Verfahrensparameter:

- ▶ Eingesetzt werden Festkörper-Laser
- ▶ Prozessgeschwindigkeiten von 2 - 5 m/min
- ▶ Leistung: 3000 - 4000 W
- ▶ Schweißung erfolgt ohne Zusatzwerkstoff, bei Bedarf unter Schutzgas (Argon)

Laserstrahlschweißen Aluminium



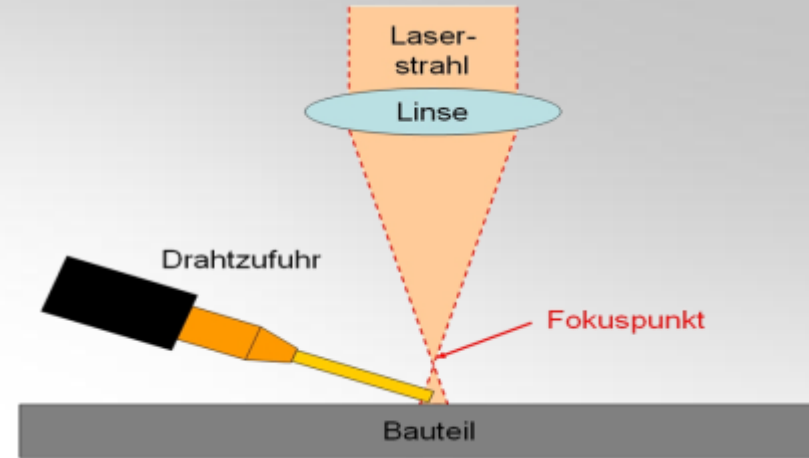
▶ Verfahrensparameter:

- ▶ eingesetzt werden Festkörper und Diodenlaser
- ▶ Prozessgeschwindigkeiten 2 bis 5 m/min
- ▶ Laserleistung 3000 ... 4000 W
- ▶ Zusatzwerkstoff AlSi12
- ▶ Schutzgas Ar, He, CO₂

Laserstrahltechnologie

Laserstrahlhartlöten von Stahl

- ▶ **Verfahrensparameter:**
 - ▶ eingesetzt werden Festkörper- und Diodenlaser
 - ▶ Prozessgeschwindigkeiten bis zu 3,2 m/min
 - ▶ Laserleistung 1,0 ... 4,0 kW
 - ▶ Zusatzwerkstoff CuSi3
 - ▶ ohne Schutzgas
- ▶ **Einflussfaktoren auf das Verfahren:**
 - ▶ Nahtgeometrie
 - ▶ Fügespalt
 - ▶ Oberflächenbeschichtung und -verunreinigungen
 - ▶ geforderte Anmutungsqualität



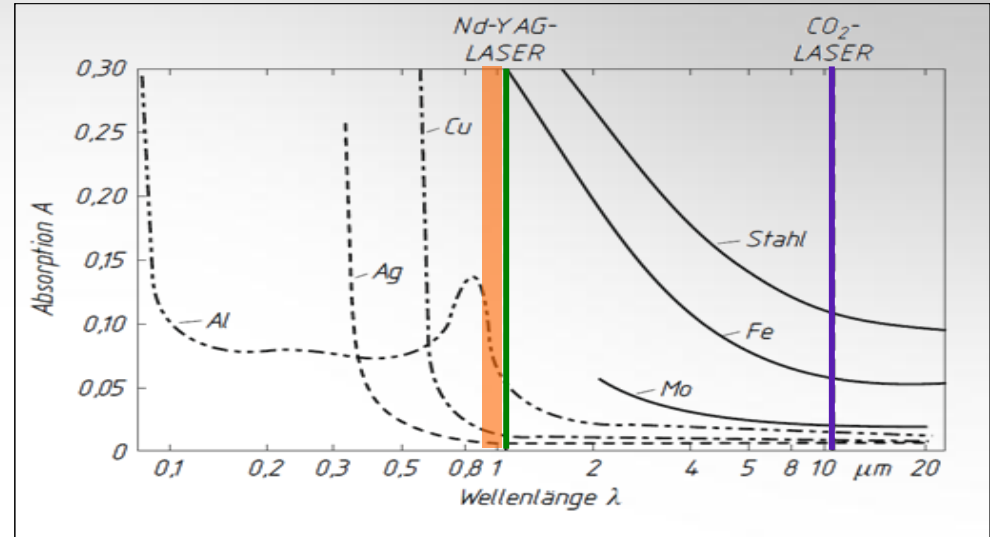
- ▶ **Anwendungen:**
 - ▶ Dachnullfuge A1, A3, A4, Q3, Q5...
 - ▶ Heckklappen
 - ▶ ...

Laserstrahltechnologie

Absorption von Laserstrahlung

Absorptionsgrad von Metallen:

▶ CO ₂ -Laser (10,6μm):	1,5%
▶ Nd-YAG-Laser (1,06μm):	5,1%
▶ Dioden-Laser (0,91-1,02μm):	11,5%



Quelle: Fahrenwald, Praxiswissen Schweißtechnik 2009

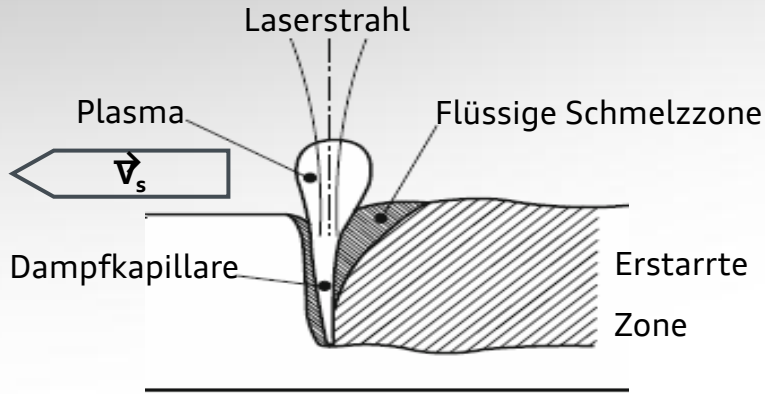
- ▶ Effizienz der Strahlquelle ist (auch) materialabhängig.



Laserstrahltechnologie

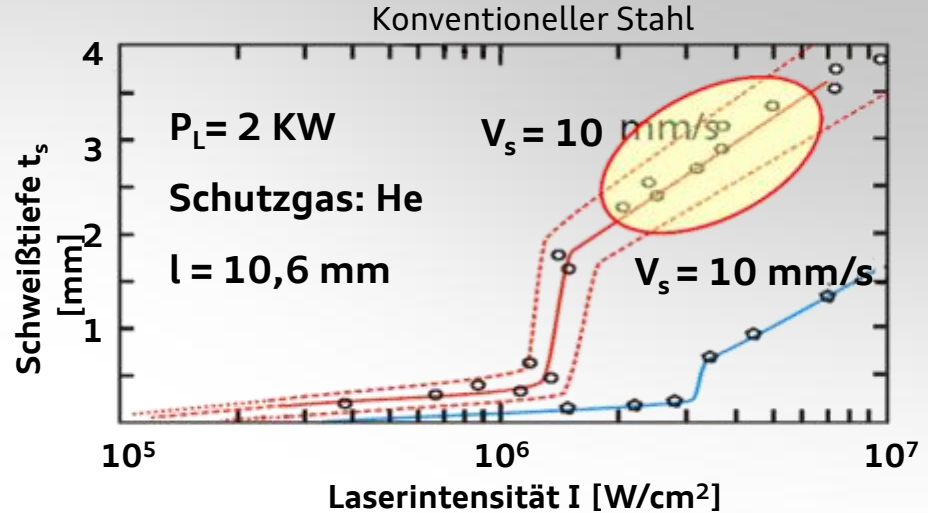
Schweißprozess

Tiefschweißen



Quelle: Fahrenwald, Praxiswissen Schweißtechnik 2009

- ▶ Intensität $> 10^6 \text{ W/cm}^2 \Rightarrow$ Tiefschweißen
- ▶ **Vergleich:**
Sonnenintensität in Mitteleuropa, Hochsommer ca. $0,07 \text{ W/cm}^2$



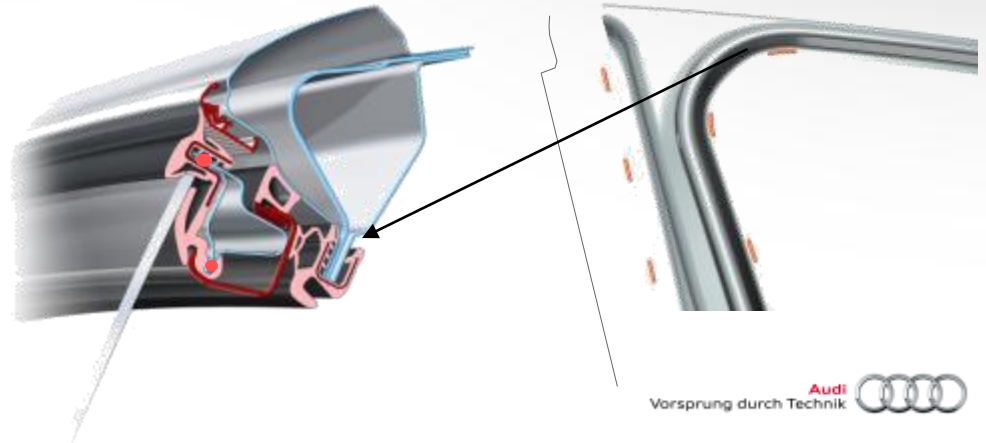
Quelle: IWS, Dresden

Laserstrahltechnologie

Laser-Remote-Schweißen

Türkonzept:

- ▶ Optimaler Sichtwinkel, maximaler Kundennutzen
- ▶ Schmale Flansche < 6mm
- ▶ Fügen von Türinnen- und Außenteil durch Remote- Laserstrahl-Schweißen



Laserstrahltechnologie

Laserstrahlhartlöten beim neuen Audi A3 (Dachnullfuge)

- ▶ Laserstrahlhartlöten mit taktiler Optik (AL03, Scansonic IPT)
- ▶ Laserquelle: Diodenlaser LDF-4000-40 (Laserline)
- ▶ Lötgeschwindigkeit bis 3.2m/min
- ▶ Zusatzdraht: CuSi
- ▶ Anwendung im direkten Sichtbereich
 - ▶ Höchste Anforderungen an Qualität und Anmutung (Class-A Oberfläche)



Fügeverfahren im Karosseriebau

Laserstrahlhartlöten von Stahl

Fügen im Sichtbereich

Mehrteilige Heckklappen
(Audi A6 Avant)



► Anforderungen :

- ▶ Hohe Nahtgüte ohne Nacharbeit
- ▶ keine Auswirkungen auf die Maßhaltigkeit der Außenhautteile
- ▶ hohe Prozessgeschwindigkeiten

Verbindung Seitenteil/Dach
(Audi A6 Avant)



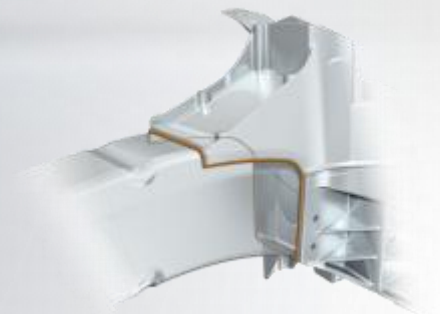
► Anwendungen :

- ▶ Nullfuge Dach/Seitenteil
- ▶ zweigeteilte Heckklappe

Agenda



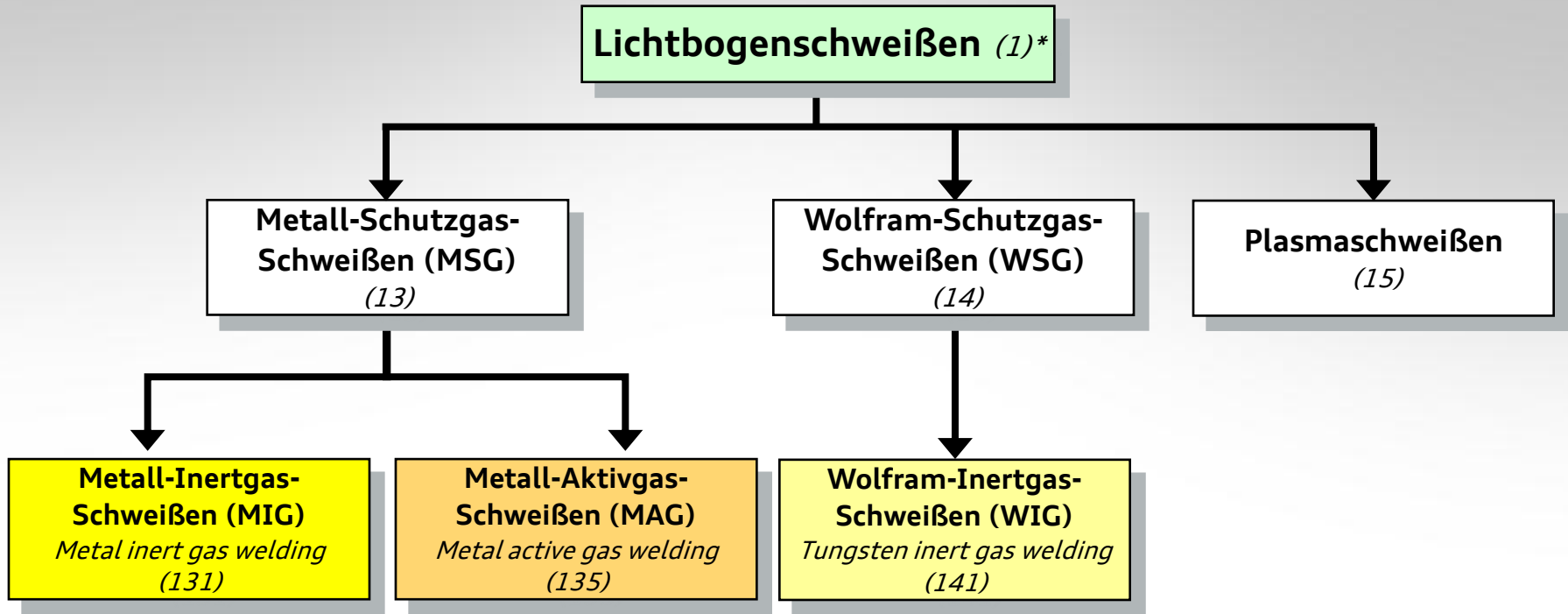
Lichtbogenschweißen und -löten



Lichtbogenschweißen /-löten im Karosseriebau

Verfahrensgrundlagen

Einordnung der Lichtbogenschweißverfahren (nach DIN EN ISO 4063)



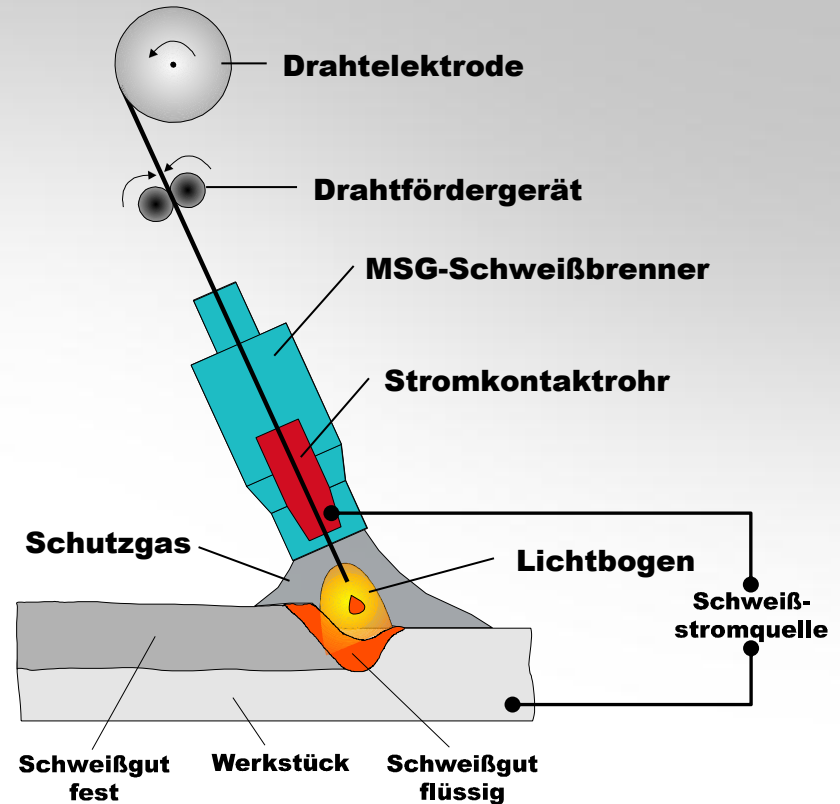
* Ordnungsnummer nach DIN EN ISO 4063



Lichtbogenschweißen /-löten im Karosseriebau

Verfahrensgrundlagen

- ▶ **Metall-Inert-Gas-Schweißen (MIG) bzw. MIG-Löten**
 - ▶ Lichtbogen zwischen der Drahtelektrode und dem Bauteil
 - ▶ Drahtelektrode dient als Zusatzwerkstoff
 - ▶ Abschmelzen unter inertem Schutzgas
 - ▶ zum Schutz des Lichtbogens und des Schweißbereiches vor Reaktionen mit der Atmosphäre
 - ▶ Verwendete Schutzgase: Argon, Helium oder ein Gemisch beider Gase
- ▶ **Metall-Aktiv-Gas-Schweißen (MAG)**
 - ▶ Aktives Schutzgas – z. B. Kohlendioxid (CO₂)
- ▶ **Löten**
 - ▶ Grundwerkstoff wird durch Lichtbogen erwärmt
 - ▶ kein Anschmelzen (Schweißen).

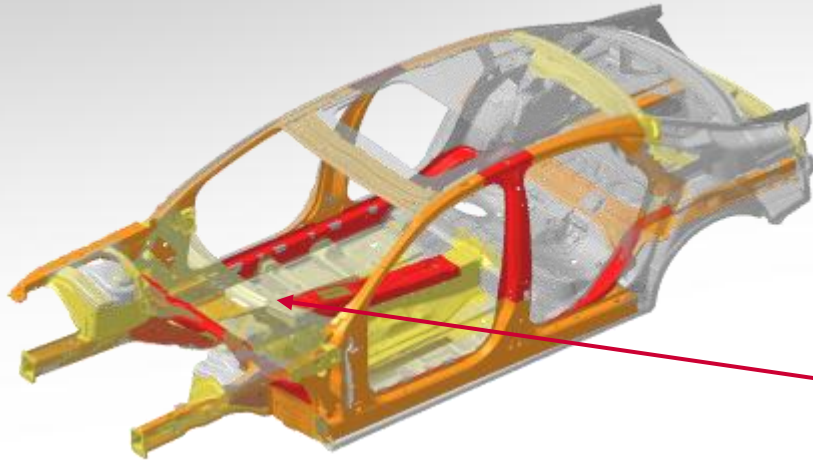


Lichtbogenschweißen /-löten im Karosseriebau

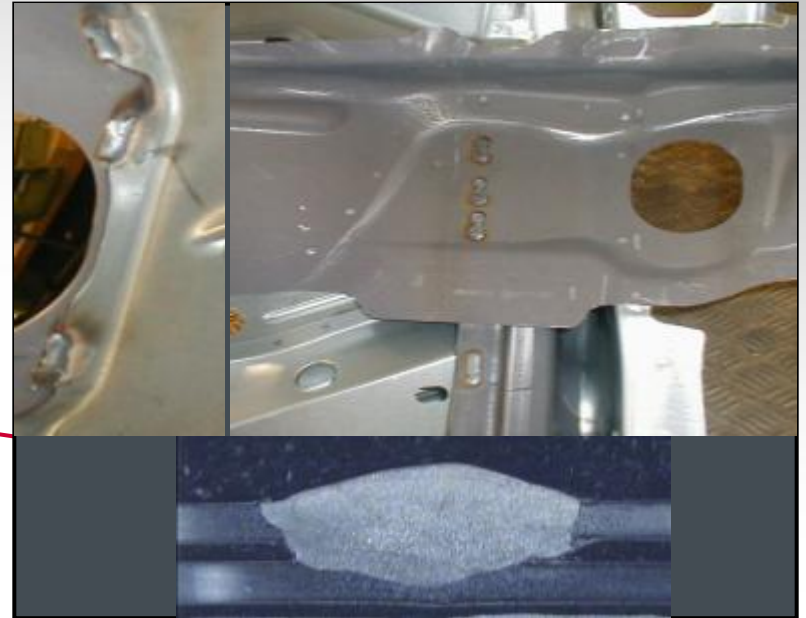
Einsatz energiearmer Fügetechniken am Beispiel CMT

Anwendungen im Karosseriebau

- ▶ Beispiel Audi A4



Fügen am Längsträger vorn,
MAG-Schweißen (CMT), Kehlnähte und Langlochnähte,
verzinkte Stahlbleche und warmumgeformte Stahlbleche



Schliffbild einer Langlochnaht

Lichtbogenschweißen /-löten im Karosseriebau

Einsatz energiearmer Fügetechniken am Beispiel CMT

MIG-CMT-Schweißen von Aluminium



Hochgeschwindigkeitsaufnahme (5000 Bilder/sec) – MIG-CMT-Schweißen von Aluminium
Blechdicken: 1,1 mm / Zusatzwerkstoff: AlSi5, 1,2 mm

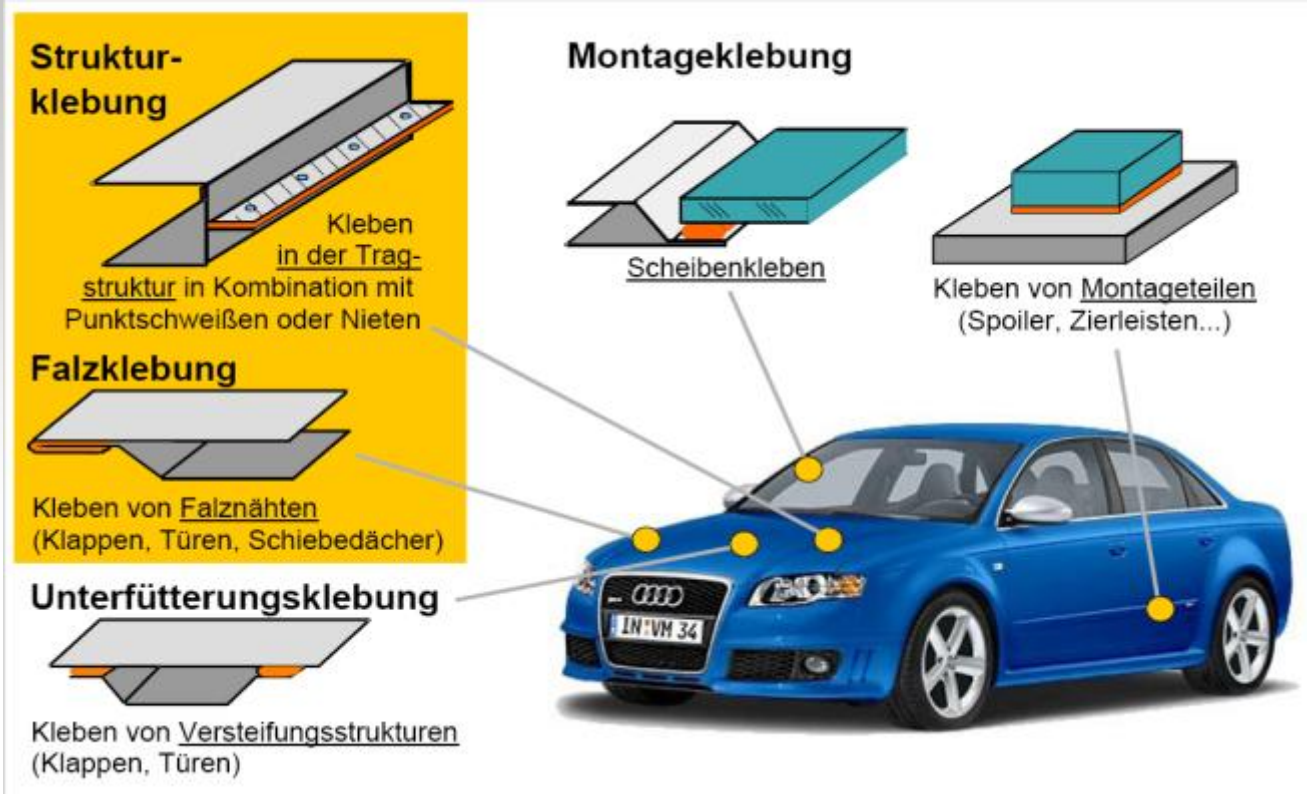
Agenda



Kleben

Fügeverfahren im Karosseriebau

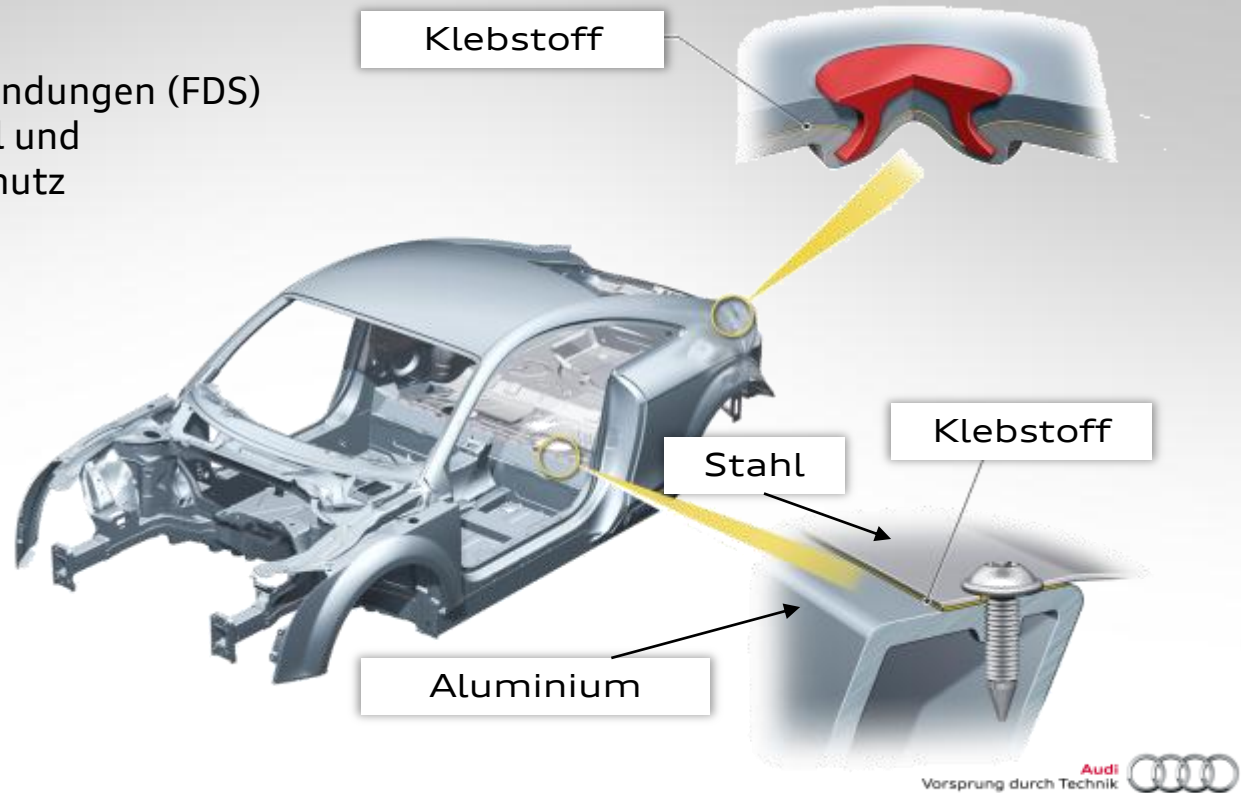
Kleben



Fügeverfahren für Leichtbaustrukturen

Kleben für hybride Verbindungsstellen Al/Stahl

Stanzniet-oder Schraubverbindungen (FDS) mit Klebstoff zwischen Stahl und Aluminium als Korrosionsschutz



Agenda



Halbhohlstanznieten



Fügeverfahren für Leichtbaustrukturen

Halbhohlstanznieten

Anwendungsbereiche

- ▶ Flexibler Werkstoffmix mit Verbindungen Al-Al, Al-Stahl
- ▶ 3-Blech-Verbindungen möglich
- ▶ Kein Wärmeeintrag in das Bauteil
- ▶ Sehr gut reproduzierbare Fügeergebnisse
- ▶ Gute Verbindungsoptik
- ▶ Manuell und automatisierbar anwendbar

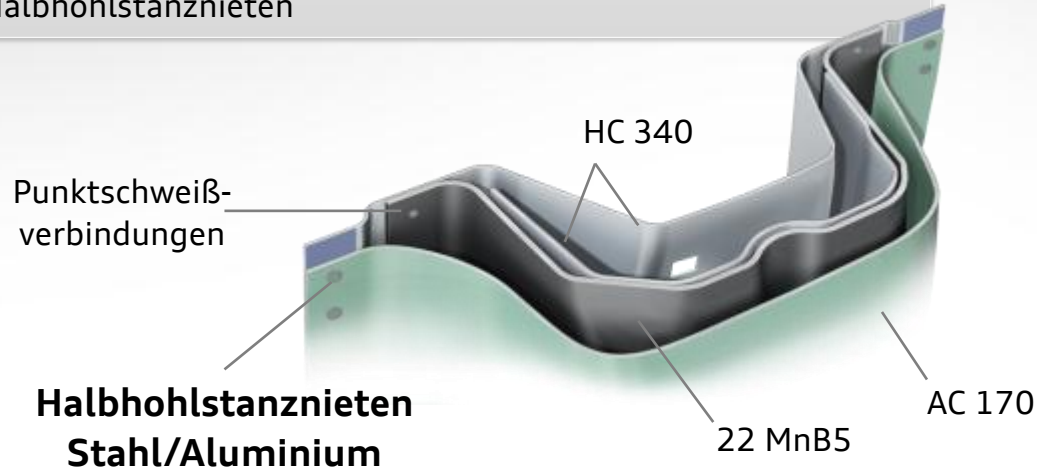
Zukünftige Anwendungen

- ▶ Verbindung Al + höchstfester Stahl
- ▶ Verbindung Faserverbundwerkstoff + metallischer Werkstoff (Al, Stahl)



Integration von hochfesten Stahlbauteilen in Al-Strukturen

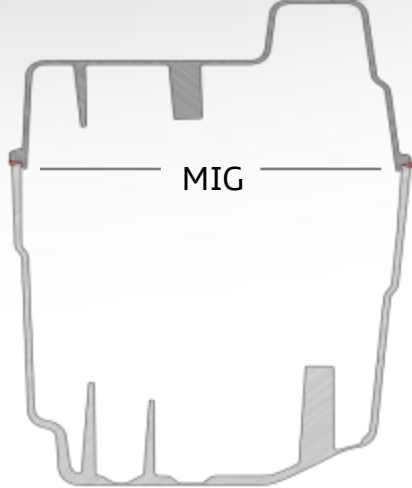
- ▶ B-Säule aus warmumgeformtem und partiell vergütetem Stahlblech
- ▶ Einbindung in die ASF® Struktur durch FDS-Schrauben (mit Vorloch im Stahlteil) und Strukturklebstoff
- ▶ Platzsparendes Punktschweißen von 22MnB5 und HC 340
- ▶ Anbindung HC 340 an Aluminium-Aussenhaut mit Halbhohlstanznieten



Umsetzung konstruktiver Lösungen durch Stanznieten

- ▶ Beispiel: Verbindungsteil Schweller-Längsträger
- ▶ Prinzip: Verwendung eines naturharten Gussteils und Schließen des Querschnitts mit einem Al-Blech
- ▶ Fügechnik: Stanznieten mit Halbhohnniet

A8 (2.Generation)

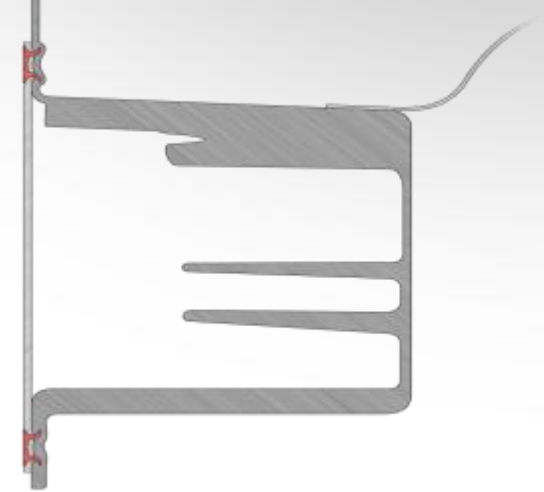


Einsatz neuer Matrizengeometrie



Stanznieten zur Reduktion
thermischer Verbindungstechnik

A8 (3.Generation)



Agenda



Flow Drill Schrauben (FDS)



Fügeverfahren für Leichtbaustrukturen

FDS – Flow drill Schrauben

Anwendungsbereiche

- ▶ Mechanisches Fügeverfahren für einseitige Zugängigkeit
- ▶ Sehr flexibel einsetzbar, auch im Werkstoffmix
- ▶ Gute Automatisier- und Reproduzierbarkeit
- ▶ Anwendungen ohne Vorloch im Klemmteil möglich (Werkstoff- und Wandickenabhängig)

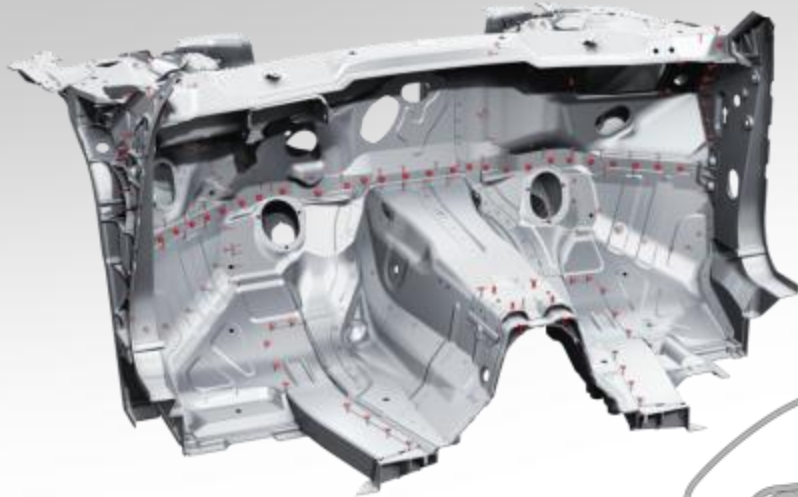
Zukünftige Anwendungen

- ▶ Verbindung Al + höchstfester Stahl
- ▶ Verbindung Faserverbundwerkstoff + metallischer Werkstoff (Al, Stahl)



Einsatz von FDS-Schrauben

Beispiel: Audi A8



FDS-Verbindungen am
Vorderwagen



FDS-Verbindungen am
Dachrahmen seitlich

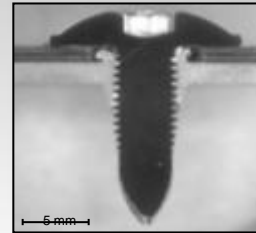
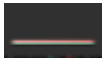
Agenda



Füge Technologien für FVK und Mischbauweise FVK/Al

Fügetechnologien für FVK und Mischbauweise FVK/Al

- ▶ Umgesetzte Verfahren im MSS / Entwicklungen:
 - ▶ **Flow-Drill-Schrauben:**
Schraube aus Edelstahl mit großem Kopf
 - ▶ **Manuelles Blindnieten:**
Niete aus Edelstahl mit großem Kopf und optimierter Schließkopfbildung zur Reduktion von Einzügen und Delaminationen
 - ▶ **Blindnietmuttern:**
BNM aus Edelstahl mit optimierter Faltung zur Vermeidung von Beschädigungen
 - ▶ **Bolzenkleben:**
Entwicklung Anlagentechnik sowie Freiprüfung Klebebolzen
 - ▶ **2K-Kleben:**
Entwicklung Anlagentechnik, Prozessoptimierung



FDS-Anwendungen für Karosseriestrukturen mit faserverstärkten Kunststoffen (FVK) im Mischbau



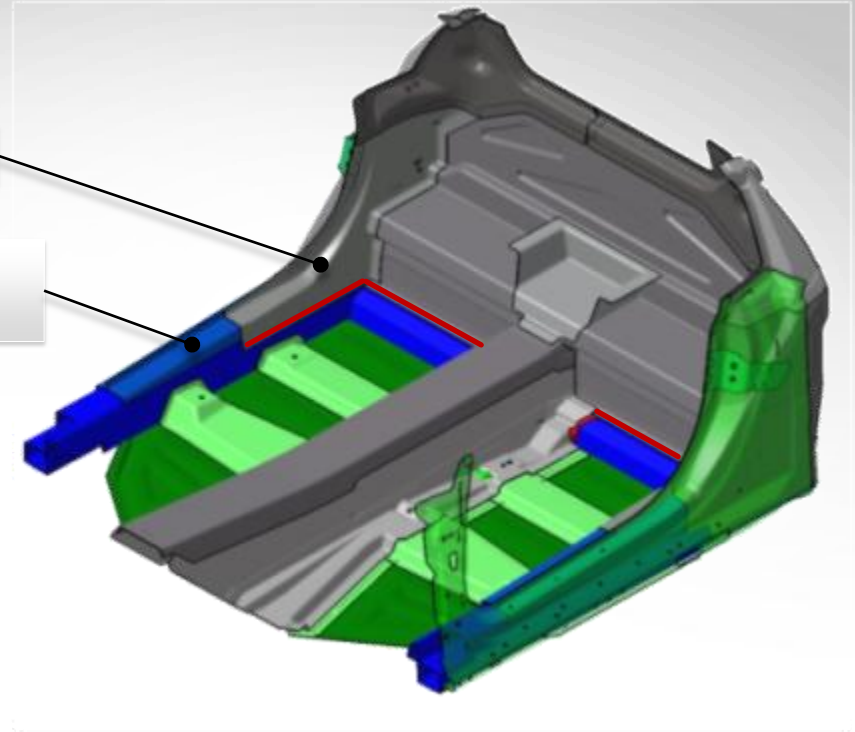
Mit Vorloch im Klemmteil



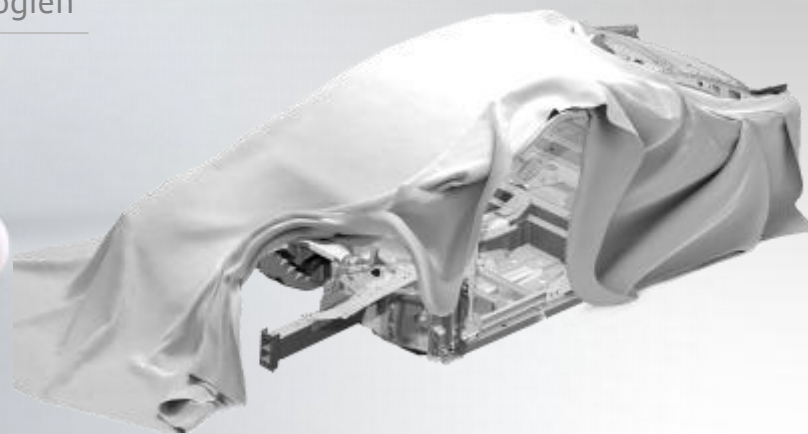
Ohne Vorloch im Klemmteil

FVK-Bauteil

Aluminium-
Einschraubteil



Agenda



Trends im Karosseriebau

Mischbau in der Grossserie

- ▶ Bereitstellung großserientauglicher Anlagentechnik
 - ▶ Hohe Verfügbarkeit
 - ▶ Kurze Prozesszeiten
- ▶ Werkstoffflexibel einsetzbare Verfahren (insbesondere bei unterschiedlichen Derivaten)

Höchstfeste Stähle im Mischbau

- ▶ Fügen pressgehärteter Stähle mit Aluminium
- ▶ Bereitstellung geeigneter Verfahren
- ▶ Flexibilität bei unterschiedlichen Werkstoff- und Bauteildickenkombinationen

Einsatz von CFK im Mischbau

- ▶ Entwicklung neuer Fügeverfahren für den Großserieneinsatz
- ▶ Adaption serienreifer mechanischer Fügeverfahren für metallische Strukturen auf CFK-Anwendungen

Vielen Dank



*Steffen Müller
Leiter Technologieentwicklung
Fügetechnik Leichtbau
Steffen2.mueller@audi.de*