

# HANSER

Leseprobe

Handbuch Leichtbau

Methoden, Werkstoffe, Fertigung

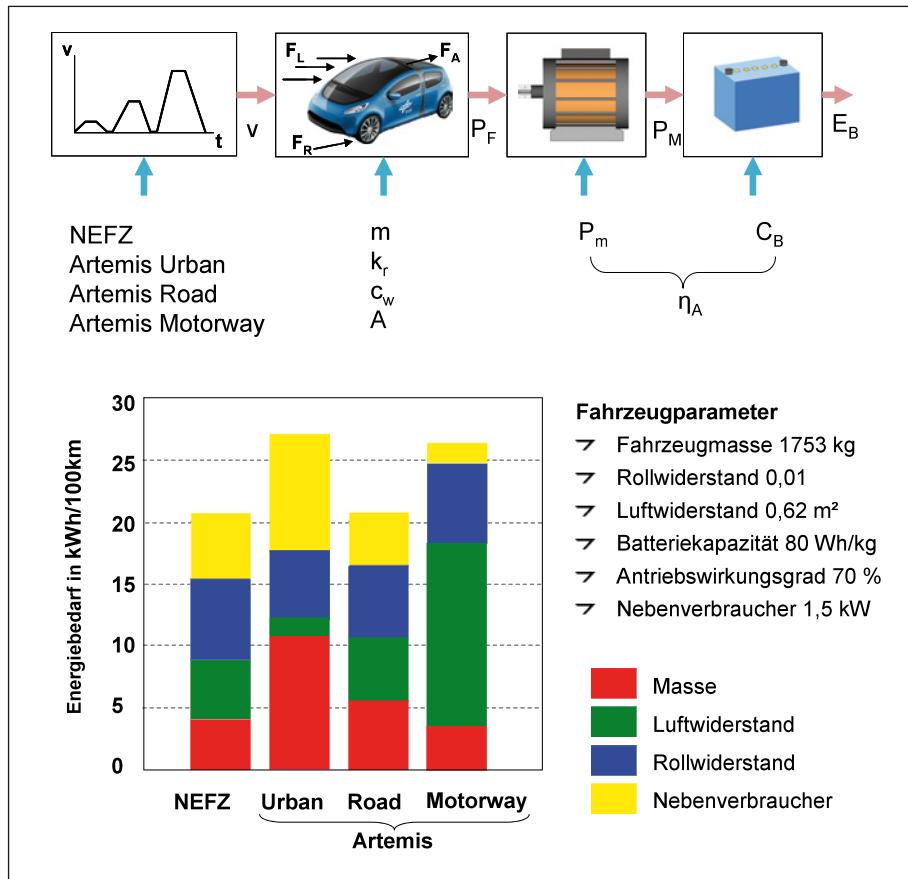
Herausgegeben von Frank Henning, Elvira Moeller

ISBN: 978-3-446-42267-4

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42267-4>

sowie im Buchhandel.



und Artemis Motorway simuliert. Vor allem im Stadtzyklus (Urban), in dem künftige Elektrofahrzeuge betrieben werden, ist der Anteil des Masseeinflusses auf den Energiebedarf höher. Zusätzlich zur Rekuperation ermöglicht eine Reduzierung des Fahrzeuggewichtes vor allem im Stadtverkehr eine Erhöhung der Reichweite.

Entgegen der geforderten Massenreduktion bei Fahrzeugen sorgen stetig steigende Leistungs-, Sicherheits- und Komfortansprüche dafür, dass sich das Fahrzeuggewicht kontinuierlich erhöht. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Fahrzeuggewicht des Fahrzeugtyps Golf von Volkswagen, dessen Gewicht in den letzten 20 Jahren stetig anstieg (Goede et al. 2008). Einerseits sind Fahrzeuge immer größer geworden, andererseits werden weitere Sicherheitssysteme, Komfortausstattungen usw. verbaut. Um der Gewichtserhöhung entgegenzuwirken und um im Idealfall eine gewichtsneutrale Kompensation der zusätzlichen Fahrzeugfunktions-

nen zu erzielen, wird Leichtbau zum zentralen Leitgedanken der Fahrzeugentwickler (Röcker 2008). Dieser Leitgedanke lässt sich auf die bereits erwähnten Anwendungsbereiche der Luft- und Raumfahrt, des Schienfahrzeugbaus, des Bauwesens usw. übertragen.

### 3.3 Leichtbaustrategien

Während Bauweisen, Werkstoffe und Fertigungstechnologien die Schlüssel zu neuen und verbesserten Leichtbaustrukturen sind, ermöglichen die Leichtbaustrategien eine zielgerichtete Anwendung dieser Schlüssel. Unterschiedliche Bezeichnungen für diverse Leichtbaustrategien sind heute in Gebrauch, wobei diese sich strukturiert in fünf Cluster zusammenfassen lassen (Abb. 3.3).

Im Entwicklungsprozess unterstützen diese Leichtbaustrategien die Gestaltung gewichtsoptimierter

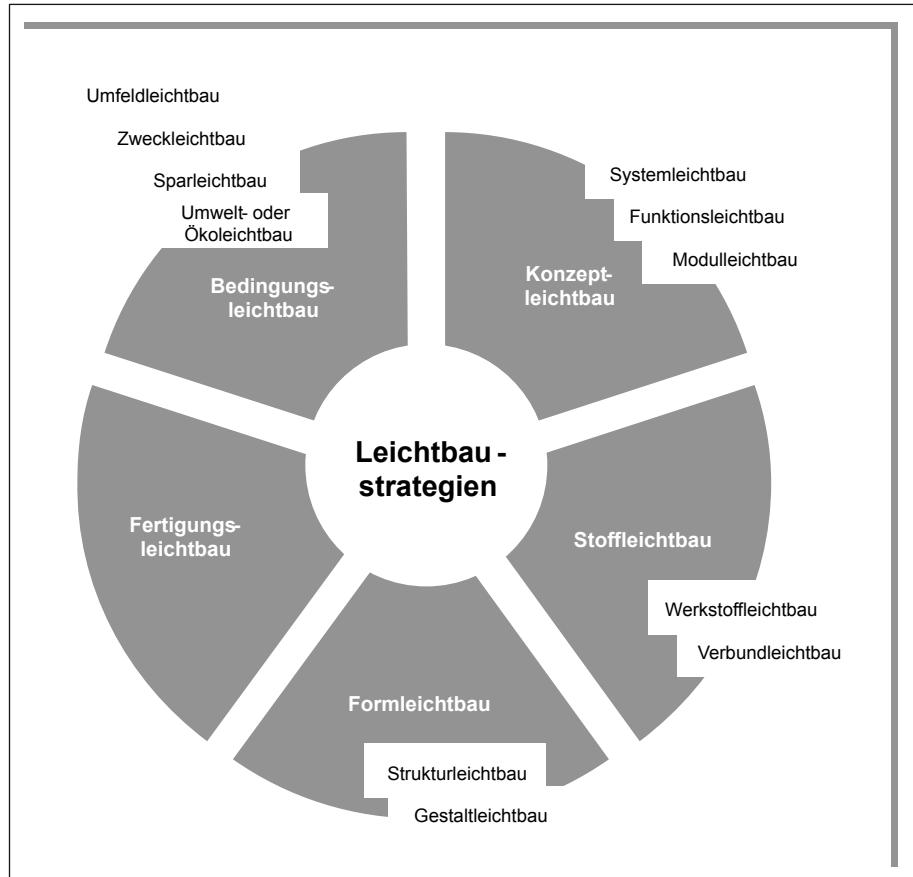


Abb. 3.3: Leichtbaustrategien und Zuordnung diverser weiterer Bezeichnungen

Leichtbaulösungen. Wie in Abbildung 3.4 dargestellt, wird – ausgehend vom Bedingungsleichtbau, der die Anforderungen an die Leichtbaustruktur vorgibt

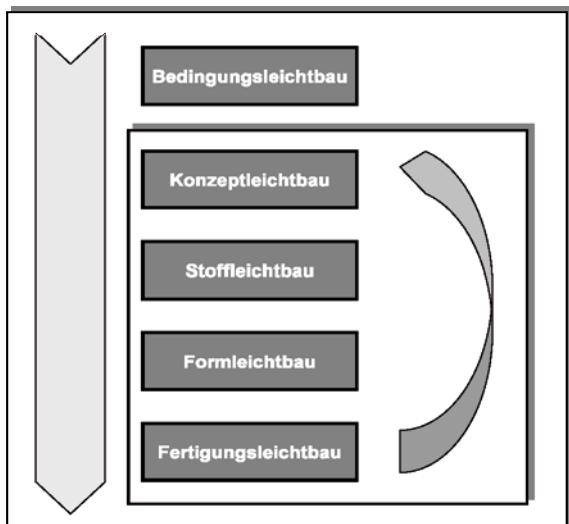


Abb. 3.4: Leichtbaustrategien und vorgeschlagener Ablauf während des Entwicklungsprozesses

und als Basis für weitere Leichtbaustrategien dient – eine Leichtbaustruktur über den Konzept-, Stoff-, Form- und Fertigungsleichtbau entwickelt. Diese vier Leichtbaustrategien können dabei im Entwicklungsprozess in diversen Iterationsschleifen durchlaufen werden und beziehen sich ggf. auf einzelne Bauteile, Baugruppen, Module oder auf die gesamte Leichtbaustruktur.

### 3.3.1 Bedingungsleichtbau

Der Bedingungsleichtbau, auch als Umfeldleichtbau bezeichnet, umfasst die Anforderungen oder Bedingungen an die Leichtbaustruktur. Diese Anforderungen setzen sich aus den Rahmenbedingungen der Gesellschaft, der Politik und Gesetzgebung sowie der Märkte zusammen. Als Beispiel hierfür sind Anforderungen an die Sicherheit einer Fahrzeugstruktur zu nennen, beispielsweise unterschiedliche Crashanforderungen, denn für die Zulassung eines

# I

neuen Automobils auf dem Markt sind vom Gesetzgeber Mindestanforderungen festgelegt. In Europa sind ECE<sup>5</sup>-Vorschriften zu erfüllen, während in den USA die sogenannten FMVSS<sup>6</sup>-Vorschriften gelten. Des Weiteren gibt es noch Verbraucherschutzorganisationen, wie z.B. Euro-NCAP<sup>7</sup> oder US-NCAP<sup>8</sup>, deren Crash-Vorschriften höhere Anforderungen beinhalten. Aus den im Abschnitt 3.2 beschriebenen Rahmenbedingungen kann eine Vielzahl weiterer und notwendiger Anforderungen zur Entwicklung, Produktion, Betrieb, Wartung und Verwertung von Produkten abgeleitet werden.

Aus einer solchen Anforderungsliste ergibt sich noch keine Leichtbaustrategie. Erst durch kritisches Hinterfragen möglichst aller Anforderungen ergeben sich neue Leichtbaupotenziale für die zu entwickelnde Struktur. Es entsteht ein sogenanntes Pflichtenheft, das diejenigen Anforderungen enthält, auf die nicht verzichtet werden kann. Durch die konsequente Streichung nicht notwendiger Anforderungen, welche direkt die Struktur beeinflussen, kann Gewicht eingespart werden. Des Weiteren wird für die Anwendung weiterer Leichtbaustrategien mehr Auswahl- und Konstruktionsfreiheit geschaffen, um zusätzliches Gewicht einsparen zu können. Ein Fahrzeug, das z.B. nur für den amerikanischen Markt zugelassen werden soll, muss nicht unbedingt die Crashanforderungen des Euro-NCAP erfüllen. Die Leichtbaustrategien Zweck-, Spar-, Umweltleichtbau werden dem Begriff Bedingungsleichtbau bzw. über die Anforderungen aus den Rahmenbedingungen abgeleitet werden können.

## Zweckleichtbau

Der Zweckleichtbau ergibt sich aus Anforderungen an die Funktion des Gesamtsystems. Gewichtseinsparung ist daher notwendig oder zweckmäßig zur Erfüllung der Funktion des Gesamtsystems. Am Beispiel eines Automobils kann dies die Achslast-

verteilung sein, um eine sichere Fahrdynamik zu gewährleisten. Bei einem Fahrzeug, dessen Motor im Vorderwagen untergebracht ist, kann es notwendig sein, zusätzliches Gewicht in der Vorderwagenstruktur einzusparen, um eine ausgewogene Achslastverteilung zu erreichen. Im Rennsport oder Flugzeugbau können dies z.B. Anforderungen nach höherer Beschleunigung sein, was vor allem durch eine reduzierte Masse ermöglicht werden kann.

## Sparleichtbau

Der Sparleichtbau resultiert aus der Anforderung nach Kosteneinsparung während der Produktherstellung. Sie kann auch als direkte Kosteneinsparungsstrategie bezeichnet werden. Es werden durch die Einsparung von Werkstoff oder die Verkürzung von Prozessketten sowie durch Integration von Funktionen in die Leichtbaustruktur auch die Herstellungs-kosten reduziert.

## Umweltleichtbau

Der Umweltleichtbau – in manchen Literaturquellen auch als Ökoleichtbau bezeichnet – ist das Ergebnis aus definierten Anforderungen an die Ökologie oder Ökonomie während des Betriebes der Leichtbaustruktur. Dabei werden teilweise höhere Kosten für den Werkstoff oder die Produktion akzeptiert, um während des späteren Betriebs Kosten oder Auswirkungen auf die Umwelt zu reduzieren. Im Bereich der Luft- und Raumfahrt erfolgt z.B. eine Erhöhung der Produktions- und Herstellkosten zugunsten eines reduzierten Energieverbrauchs bzw. reduzierter Treibstoffkosten im Betrieb oder zugunsten erhöhter Zuladung. In Bezug auf die Kosten kann diese Leichtbaustrategie im Vergleich zum Sparleichtbau als indirekte Kosteneinsparungsstrategie bezeichnet werden.

### 3.3.2 Konzeptleichtbau

Der Konzeptleichtbau, teilweise auch als Systemleichtbau bezeichnet, zeichnet sich durch die Betrachtung des Gesamt- bzw. Teilsystems aus. Durch die systematische Betrachtung geeigneter Strukturauteile, Komponenten und Module und deren

5 ECE: Economic Commission for Europe

6 FMVSS: Federal Motor Vehicle Safety Standard

7 Euro-NCAP: European New Car Assessment Programme

8 US-NCAP: US New Car Assessment Program

Anpassung dieser an das Gesamt- bzw. Teilsystem wird das Gewicht des Gesamtsystems gesenkt. Die Einbindung neuer Lastpfade oder die Entwicklung von Strukturen mit höherer Teile- und Funktionsintegration sind Beispiele hierfür. Dies kann die Anordnung der Komponenten (Package) und das Design einer Komponente zwar erheblich beeinflussen, aber damit das Gewicht des Gesamtsystems signifikant verringern.

Als Beispiel ist die Außenhaut eines Flugzeugflügels zu nennen. Dessen Geometrie ist vor allem für die aerodynamischen Grundeigenschaften und letztendlich für den Auftrieb zuständig. Sie übernimmt auch zusätzliche Funktionen zur Erfüllung von Steifigkeitsanforderungen. Eine weitere Funktion besteht in der Ausbildung einer Tankstruktur im Innern des Flügels, eines sogenannten Integraltanks, bei dem die Struktur gleichzeitig als Treibstoffbehälter dient (Abb. 3.5). Das Beispiel des Flugzeugflügels zeigt, dass unterschiedliche Anforderungen an die Struktur, wie Oberflächengüte, Festigkeiten, Dichtigkeit, Korrosionsbeständigkeit, usw. erfüllt werden müssen. Die Flügelstruktur übernimmt damit multifunktionale Aufgaben, wobei eine klare Abgrenzung zwischen Konzept-, Stoff-, Form- und Fertigungsleichtbau oftmals nicht möglich ist.

Teilweise wird dies auch mit Funktionsleichtbau beschrieben, wobei zwischen passivem (Abb. 3.5) und aktivem Funktionsleichtbau zu unterscheiden ist. Würden dem technischen System „Flügel“ aktive Elemente hinzugefügt bzw. vorhandene Elemente,

wie Querruder und Klappen verwendet werden, um zur Minderung von Manöver- oder Böenlasten beizutragen, so könnten dadurch z.B. die Anforderungen an die Steifigkeit verringert werden. Dabei darf das zusätzliche Gewicht durch hinzugefügte Elemente, wie Sensoren oder Steuereinheiten, nicht vernachlässigt werden. Bei der Anwendung von aktiven Werkstoffen und Werkstoffsystemen, wie Piezoelementen oder Carbo-Nano-Tubes als weitere Beispiele für aktive Funktionsintegrationen, wird die direkte Verknüpfung mit dem Stoffleichtbau ersichtlich. Wird der Konzeptleichtbau auf einzelne Module oder Subsysteme angewendet, kann hier auch von Modulleichtbau gesprochen werden.

Durch die in Abbildung 3.4 dargestellte Vorgehensweise hat der Konzeptleichtbau auf die anderen Leichtbaustrategien einen großen Einfluss. Gewichtseinsparungspotenziale ergeben sich hier in deren Verknüpfung. Der Konzeptleichtbau hat durch die grundlegende Definition des Gesamtsystems einen weitreichenden Einfluss auf die Ausführung der Struktur. Oftmals ergeben sich Einschränkungen in der Wahl des Werkstoffes bzw. der Geometrie.

### 3.3.3 Stoffleichtbau

Der Stoff- bzw. Werkstoffleichtbau hat das Ziel, für die gegebenen Anforderungen die Struktur mit dem leichtesten möglichen Werkstoff herzustellen. Durch die Substitution eines Werkstoffs durch einen anderen Werkstoff mit geringerer Dichte kann das Gewicht einer Struktur reduziert werden. Dies scheint eine einfach umsetzbare Strategie zu sein. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass durch die Wahl eines anderen Werkstoffs ohne Anpassung der Geometrie und der ebenfalls damit zusammenhängenden Fertigungsverfahren für die Herstellung der Struktur die Umsetzung des Stoffleichtbaus als nicht einfach gilt. Teilweise sind mit der Umstellung von einem Werkstoff zu einem anderen große Innovationen und Technologiesprünge notwendig. Als Beispiel ist die Substitution von Aluminium durch faserverstärkten Kunststoff im Flugzeugbau zu nennen. Zur Umsetzung reicht es oft nicht aus, einfach den Werkstoff zu ändern. Unter anderem sind Anpassungen



Abb. 3.5: Integraltank zwischen den Tragflächenrippen eines Flugzeugflügels (Quelle: fotolibra)

in Bezug auf Krafteinleitungen oder Fügetechnologie erforderlich.

Etwas einfacher gestaltet sich der Stoffleichtbau, wenn für ein Strukturbau teil ein Werkstoff höherer Festigkeit mit ansonsten ähnlichen Eigenschaften und ähnlicher Verarbeitungstechnologie gewählt wird und so die Wandstärken und damit das Gewicht verringert werden können. Abbildung 3.6 zeigt ein solches Beispiel mit einer Hinterachs fede r für einen VW (Lupo FSI). Es wurde anstelle einer Feder aus Stahl mit 1,1 kg Gewicht eine Feder in Titan ausgeführt. Bei gleichen Kenngrößen lag die Gewichtseinsparung hier bei 450 g (Schauerte et al. 2001).

Beim Stoffleichtbau kommen die unterschiedlichsten Werkstoffe und Werkstoffverbunde zur Anwendung:

- Metallische Werkstoffe
  - Stahl
  - Aluminium
  - Magnesium
  - Titan
- Nicht-metallische Werkstoffe
  - Kunststoffe
  - Technische Keramik
- Verbundwerkstoffe
  - Faserverstärkte Kunststoffe (Kohlenstoff-, Glasfaserverbunde)
  - Keramische Verbundwerkstoffe
  - Metallische Verbundwerkstoffe
- Aktive Werkstoffe
  - Piezowerkstoffe
  - Carbo-Nano-Tubes

Dabei erscheint für den Stoffleichtbau der Einsatz von Verbundwerkstoffen, insbesondere faserverstärkten Kunststoffen, als besonders geeignet. Deren Eigenschaften können den entsprechenden Anforderungen durch die Wahl der Fasern oder Faser kombinationen, die Wahl der Faserorientierung und der Matrix entsprechend angepasst werden. Der Einsatz solcher Verbundwerkstoffe kann je nach Anwendungsfall sehr kostenintensiv oder gar nicht geeignet sein, da unter Umständen weitere Kriterien an das Gesamtsystem außer dem Gewicht berücksichtigt werden müssen.



Abb. 3.6: Hinterachsfedern eines Fahrzeugs aus Stahl und Titan (Schauerte et al. 2001)

Adaptive Werkstoffe sind für den aktiven Funktionsleichtbau besonders interessant, denn durch den Einsatz von Piezokeramik können z.B. unerwünschte Schwingungen von Strukturen gedämpft und Spitzenlasten reduziert werden, was eine gewichtsreduzierte Auslegung der Struktur erlaubt.

### 3.3.4 Formleichtbau

Das Ziel des Formleichtbaus ist es, eine Struktur an die gegebenen Anforderungen so anzupassen, dass durch eine optimale Kraftverteilung und Formgebung eine Struktur mit minimalem Gewicht entsteht. Die wichtigsten Anforderungen neben dem Gewicht sind Belastungen, Bauräume, Fertigungstechnologien und Funktionsintegration wie Lasteinleitungs elemente. Dies verdeutlicht, dass der Formleichtbau mit dem Konzept- und Stoffleichtbau eng verknüpft ist. Beim Formleichtbau werden die Geometrie, Anzahl und Anordnung der Strukturbau teile unter Berücksichtigung der Anforderungen, vor allem der Lasten, konstruktiv umgesetzt. Während des Entwicklungsprozesses kommen neben unterschiedlichen Gestaltungs- und Konstruktionsrichtlinien ebenfalls Optimierungsverfahren, wie Topologie oder Formoptimierungsverfahren zur Anwendung (Abb. 3.7).

Die konstruktive Umsetzung der Struktur im Formleichtbau hängt nicht nur mit den erwähnten Leichtbaustrategien (Konzept- und Stoffleichtbau)

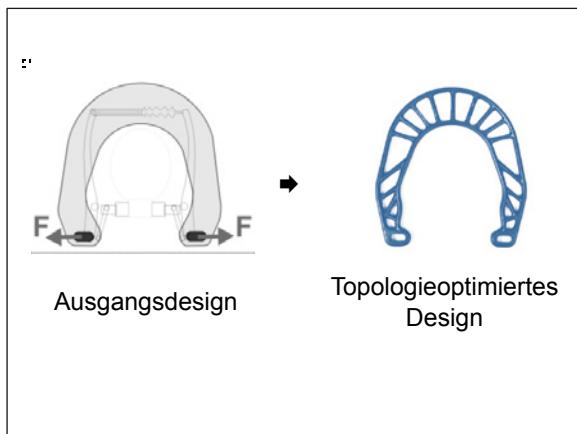


Abb. 3.7: Topologieoptimierung eines Fahrradbremsekraftverstärkers (Spickenheuer et al. 2009)

zusammen, sondern ist größtenteils abhängig von der gewählten Bauweise, nämlich Differential- oder Integralbauweise (Abschnitt 3.4). Bei der Differentialbauweise steht der Formleichtbau für die gewichtsoptimierte konstruktive Gestaltung einzelner Strukturelemente im gewählten Werkstoff und Fertigungsverfahren und definiert die Reihenfolge des Zusammenbaus, das über die Fügetechnologie zu deren Ausführung zu einer lasttragenden Gesamtstruktur führt. Im Vergleich dazu ist der Formleichtbau bei der Integralbauweise für die Geometrie und Oberflächenform verantwortlich und optimiert z. B. die Wandstärken eines Integralbauteils in Bezug auf den verwendeten Werkstoff und das Fertigungsverfahren, um eine gewichtsoptimierte Struktur zu erhalten. Der Formleichtbau wird teilweise aufgrund der beschriebenen Gestalt- und Strukturangepassungen als Gestalt- oder Strukturleichtbau bezeichnet.

### 3.3.5 Fertigungsleichtbau

Unter dem Begriff Fertigungsleichtbau werden die Gewichtseinsparungspotenziale durch Herstellungs-, Fertigungs- und Montagetechnologien bezeichnet. Allerdings kann der Fertigungsleichtbau selten isoliert betrachtet werden, da dieser mit den beiden Leichtbaustrategien Stoff- und Formleichtbau sehr eng verknüpft ist. Fertigungsverfahren, wie Tailored Welded Blanks oder Tailored Rolled Blanks sind zu

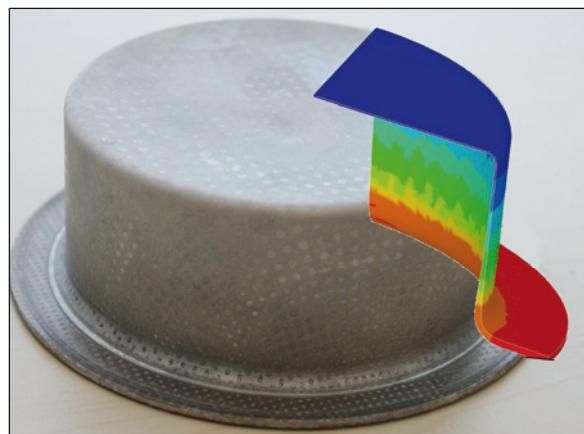


Abb. 3.8: Superplastisch umgeformter Versuchskörper aus Magnesium

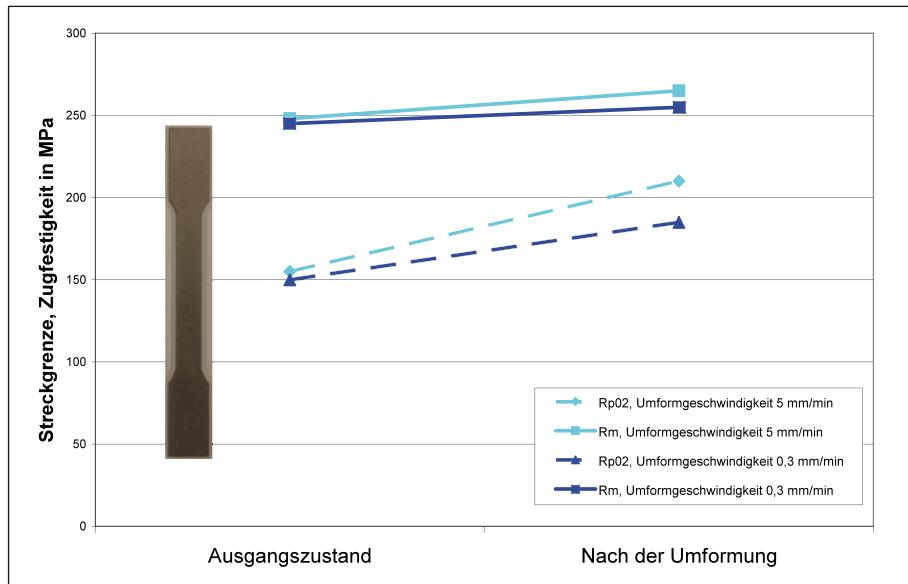
nennen, die Blechstrukturen mit unterschiedlichen Wandstärken herstellen können und damit optimiert für die in der Struktur auftretenden Beanspruchungen sind. Des Weiteren können auch Umformprozesse dem Fertigungsleichtbau zugeordnet werden, da diese die Werkstoffeigenschaften verbessern und auch die Wandstärken gezielt reduzieren (s. Kap. III.2). Beispiele hierfür sind das Warmumformen ausgewählter Stahllegierungen oder das superplastische Umformen von Magnesium (s. Kap. II.4) (Abb. 3.8).

Die im Diagramm (Abb. 3.9) dargestellte Probe wurde bei einer Temperatur von 250 °C mit Umformgeschwindigkeiten von 0,3 mm/min bzw. 5 mm/min hergestellt.

Prozesse in der Füge- und Montagetechnologie, wie z. B. Laserschweißen, Löten oder Kleben sind auch dem Fertigungsleichtbau zuzuordnen (s. Kap. IV.3 und IV.4). Im Vergleich zu geschraubten, genieteten oder punktgeschweißten Strukturen können hier z. B. Flanschabmessungen zum Fügen reduziert werden bzw. homogener Verbindungen zwischen den zu verbindenden Strukturen realisiert werden.

### 3.3.6 Leichtbau versus Kosten

Im Leichtbau stellt sich die Frage, wie viel ein Kilogramm Gewichtseinsparung kosten darf. Die Antworten darauf fallen in den verschiedenen Branchen



**Abb. 3.9:** Mechanische Eigenschaften der Magnesiumlegierung AZ31 vor und nach der superplastischen Umformung bei Raumtemperatur

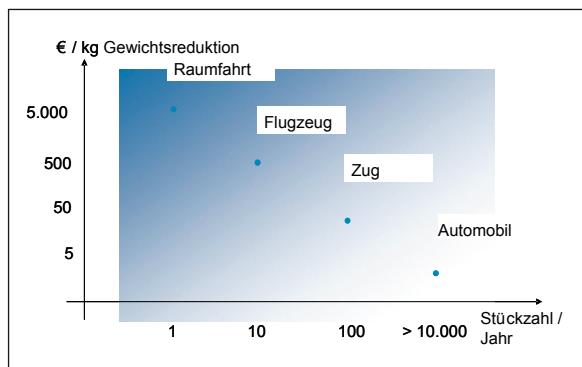
unterschiedlich aus, sie können sogar innerhalb der verschiedenen Anwendungsgebiete stark variieren (Abb. 3.10).

Nicht nur in Bezug auf das Anwendungsgebiet, sondern auch im Zusammenhang mit der Lage des Strukturauteils bzw. des Bereiches innerhalb der Gesamtstruktur entstehen unterschiedliche Zielvorgaben für Mehrkosten, die im Zusammenhang mit der Gewichtseinsparung noch akzeptiert werden. Beispielsweise werden in verschiedenen Bereichen im Automobil in Abhängigkeit der Antriebsart und der Lage des Aggregats in Verbindung mit der Schwerpunktlage unterschiedliche Mehrkosten pro eingespartes Kilogramm akzeptiert. Das Beispiel nach Abbildung 3.11 zeigt einen Frontantrieb mit

einem Antriebsaggregat im Vorderwagen. Aufgrund der Schwerpunktlage und der damit zusammenhängenden Fahrdynamik werden hier höhere Mehrkosten zur Gewichtseinsparung im vorderen Bereich akzeptiert anstatt im hinteren Fahrzeugbereich. Des Weiteren werden im Dachbereich höhere Kosten pro eingespartes Kilogramm akzeptiert als im Bodenbereich.

Bei der Betrachtung des Gesamtsystems kann die sekundäre Gewichtseinsparung in die Betrachtung der Kosten integriert werden. Eine sekundäre Gewichtseinsparung bezeichnet Einsparungen einer Struktur, die sich auf andere Strukturen auswirken. Im Automobilbau kann bei Gewichtseinsparungen z.B. in der Karosserie durch weitere Anpassungen im Fahrwerk, Bremsen, Getriebe bis hin zum Antriebsaggregat weiteres sogenanntes „sekundäres“ Gewicht eingespart werden. Die Abbildung 3.12 zeigt dies in Zusammenhang mit den beiden Leichtbaustrategien Stoff- und Konzeptleichtbau.

Durch Stoff- und Konzeptleichtbau entstehen primäre Gewichtseinsparungen, die weitere sekundäre Einsparungen durch Anpassungen am Motor, Getriebe oder Fahrwerk erlauben. Diese sekundären Gewichtseinsparungen haben nicht nur einen Einfluss auf das Gesamtgewicht, sie können auch Mehrkosten pro eingespartem Kilogramm erfordern.



**Abb. 3.10:** Leichtbaukosten pro eingespartem Kilogramm, die vom Kunden akzeptiert werden (Friedrich 2008)

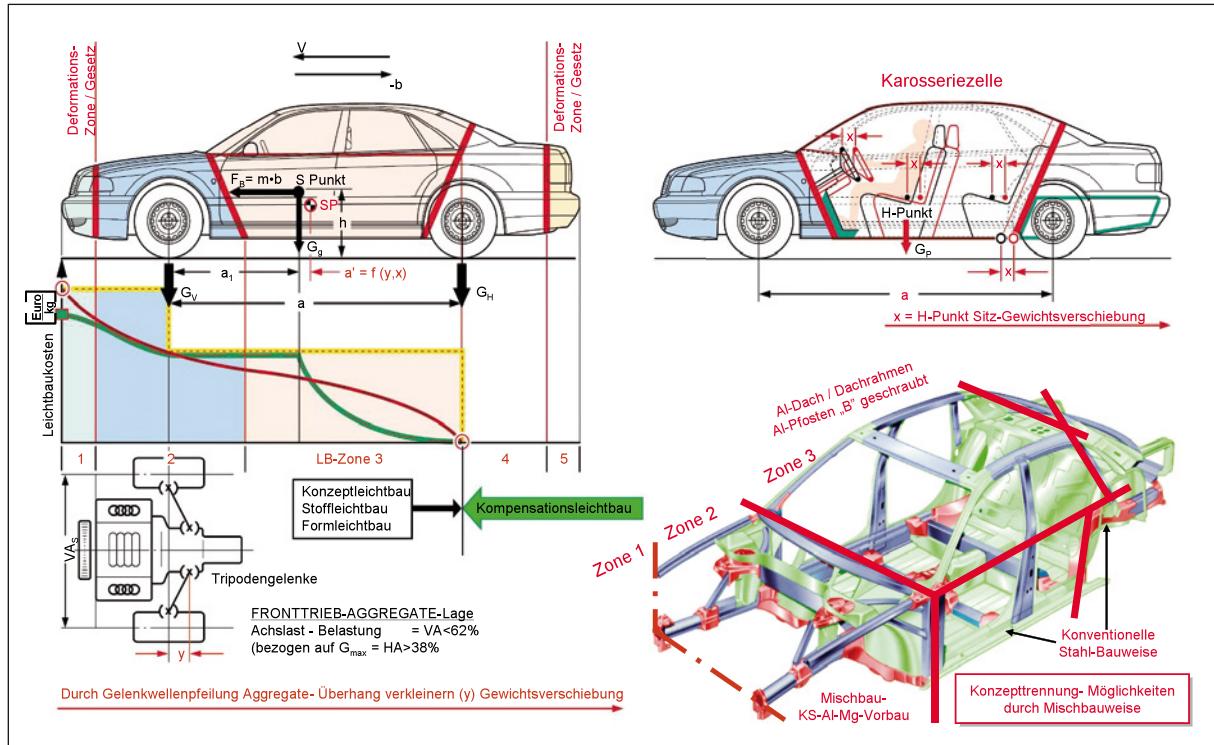


Abb. 3.11: Leichtbauzonen im Automobil (Haldenwanger 1997)

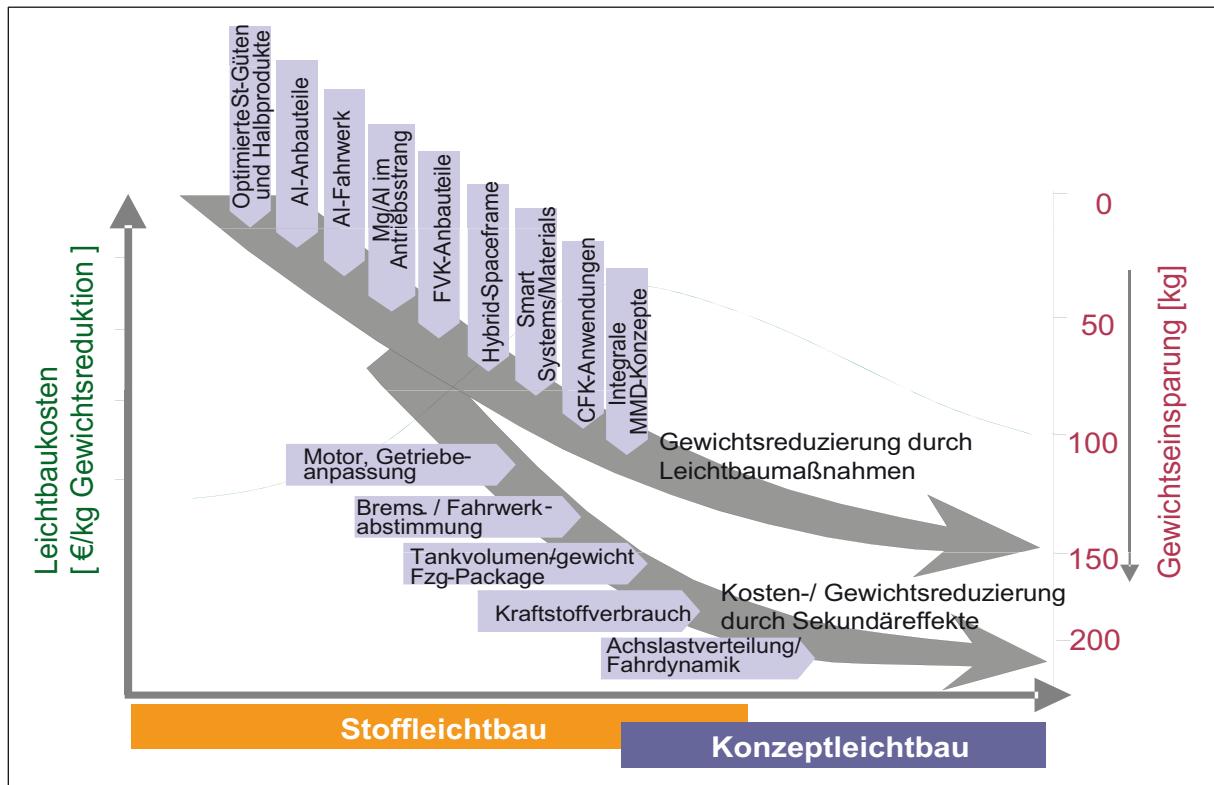


Abb. 3.12: Leichtbaukosten in Zusammenhang mit den sekundären Gewichtseinsparungen am Beispiel Automobil (Friedrich et al. 2003)

## 1.1 Gießen

Bei der Herstellung von Bauteilen durch Gießen wird in der Regel die Kombination aus Werkstoff- und Konstruktionsleichtbau angewandt, die dann zum geringst möglichen Bauteilgewicht führt. Die alleinige Verwendung eines Werkstoffs mit niedriger Dichte ist oft nicht zielführend. Vielmehr wird ein Werkstoff benötigt, der das jeweils geforderte Eigenschaftsprofil des Bauteils bestmöglich erfüllt. Aus diesem Grund ist ein Werkstoff mit einer geeigneten Festigkeit, einer möglichst geringen Dichte und ausreichenden gießtechnologischen Eigenschaften auszuwählen.

### 1.1.1 Verfahrensspezifische Möglichkeiten zur gegossenen Leichtbaukonstruktion

#### 1.1.1.1 Konstruieren von Gussteilen

Gussteile sollten unter Beachtung der allgemeinen Grundregeln der gießgerechten Konstruktion gestaltet werden. Hierzu zählt das Einhalten von möglichst gleichen Wandstärken sowie geringst möglichen Wandstärkensprüngen. Die Gestaltfestigkeit von Gussteilen sollte – den allgemeinen Prinzipien des Leichtbaus entsprechend – nicht über Materialanhäufungen, sondern über verrippte Flächen realisiert werden. Die Rippen sind dabei so zueinander anzutragen, dass durch die Erstarrungsschrumpfung keine ungünstige Konzentration von Zugspannungen auftritt. Genauso sollte berücksichtigt werden, dass Gussteile unter Druckbeanspruchung wesentlich höhere Kräfte ertragen können als unter Zugbeanspruchung.

Topologieoptimierung und bionische Konstruktionsansätze gehören zu den allgemeinen Vorgehensweisen beim Leichtbau (s. Kap. I.4). Durch das Gießen können diese Prinzipien besonders gut umgesetzt werden, da bei der Konstruktion nur eine geringfügige Bindung an prozesstechnisch bedingte geometrische Vorgaben besteht. Bei der Substitution einer Schweißkonstruktion wurde die topologische Optimierung genutzt (Abb. 1.1), um eine belastungsgeheure und damit spannungsarme Gussteilgeometrie

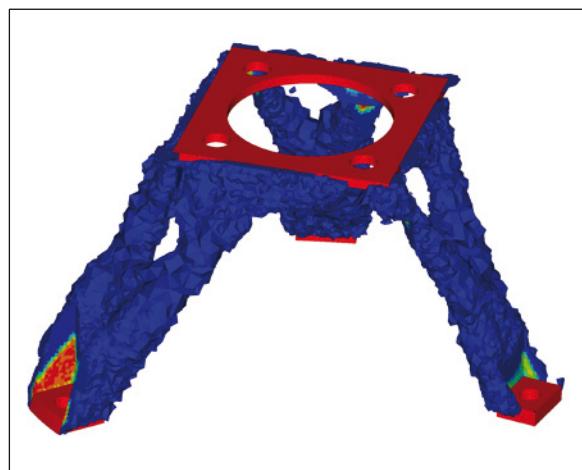


Abb. 1.1: Designvorschlag als Ergebnis der Topologieoptimierung

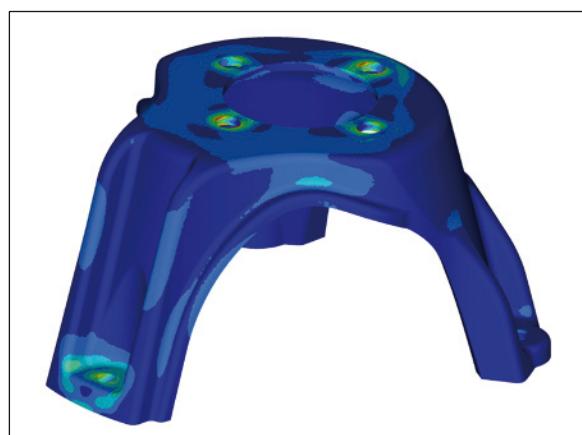


Abb. 1.2: Spannungssimulation des auskonstruierten Designvorschlags



Abb. 1.3: Rohgussteil aus Gusseisen mit Kugelgraphit (EN-GJS-400-15) (Quelle: Claas Guss GmbH)

zu gestalten (Abb. 1.2) und diese im Sandguss aus Gusseisen mit Kugelgraphit in Serie herzustellen (Abb. 1.3).

Die Auswahl des Gusswerkstoffs und des Verfahrens findet – bedingt durch prozesstechnische Gegebenheiten – häufig parallel statt. Zum Beispiel werden eisenbasierte Gusslegierungen aufgrund der hohen Schmelztemperaturen häufig im Sandguss und Titan aufgrund der zusätzlich hohen Schmelzreaktivität nur im Feinguss hergestellt. Für die Werkstoffe Aluminium und Magnesium bestehen hinsichtlich der Wahl des Verfahrens wesentlich mehr Möglichkeiten (Tab. 1.1).

### 1.1.1.2 Charakteristische Größen der Gießprozesse

Die Gießprozesse lassen sich in Verfahren mit hohen und niedrigen Abkühlraten bei der Erstarrung einteilen. Eine schnelle Erstarrung wird in gut wärmeleitenden metallischen Formen mit aktiver Kühlung und hohen erzwungenen metallostatischen Drücken erreicht, eine langsamere Erstarrung herrscht in den schlechter wärmeleitenden mineralischen oder keramischen Gießformen bei natürlichen metallostatischen Drücken vor. Im Hinblick auf die zu erzielenden mechanischen Eigenschaften ist eine schnelle Erstarrung anzustreben. Generell kann gesagt werden, dass die Abkühlrate, die bei herkömmlichen Gießprozessen zwischen etwa 1000 K/s und 1 K/s liegen kann, gemäß der Reihenfolge der Aufzählung: Druckguss – Schwerkraftkokillenguss – Sandguss – Feinguss abnimmt. In der gleichen Reihenfolge sinkt die prozessimmanente lokale Formfüllgeschwindigkeit von bis zu 100 m/s auf wenige cm/s. Durch die ruhigere Formfüllung sinkt auch meist die Häufigkeit innerer Fehler, wodurch auch bei Prozessen mit geringen Abkühlraten die Realisierung guter Eigenschaften möglich ist.

Im Druckguss werden Leichtbaulösungen vor allem durch die möglichen geringen Wandstärken erreicht. Die geometrische Freiheit ist in diesem Verfahren jedoch eingeschränkt und steht der Umsetzung von inneren Hohlstrukturen entgegen. Im Kokillen- und vor allem im Sandguss ist diese

Restriktion nicht oder kaum gegeben, sodass konstruktionsbedingt hohe Leichtbaugüten erreicht werden können. Durch den Einsatz von Kernen können dünnwandige Hohlkörper mit einem hohen Widerstandsmoment hergestellt werden, wodurch höchste Steifigkeiten bei niedrigsten Gewichten zu erzielen sind. Der Feinguss lässt die größten Freiheiten bezüglich der Geometrie zu. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit zur Realisierung höchster Ansprüche an Geometrie- und Oberflächengenauigkeit, die beispielsweise das Aufbringen von mikrostrukturierten Oberflächen zur Steigerung der Funktionalität beinhaltet.

### 1.1.2 Auswirkungen von Prozess und Legierung auf die Eigenschaften des Bauteils

#### 1.1.2.1 Auswirkungen der Erstarrungsbedingungen auf Gefüge und Festigkeit

Die Größe und Morphologie des Gussgefüges übt einen signifikanten Einfluss vor allem auf die Festigkeit und Dehnung des Gussteils aus. Beide Werte steigen in der Regel an, wenn gegenüber dem Ausgangszustand ein fein und regelmäßig ausgebildetes Gefüge vorliegt. Dieses Ziel lässt sich durch die Wahl der Legierung, der Schmelzebehandlung, des Gießprozesses und eine mögliche nachgeschaltete Wärmebehandlung erreichen.

Mit einer zunehmenden Abkühlrate verringert sich die Größe der einzelnen Gefügebestandteile, wobei gleichzeitig deren morphologische Ausprägung feiner wird. Eine für die Werkstoffcharakterisierung von Aluminiumlegierungen verwendete Größe ist der Dendritenarmabstand. Der als DAS bezeichnete Abstand der einzelnen, vom Dendritenstamm ausgehenden Dendritenarme ist eine einfach über die Abkühlrate zu kontrollierende Größe, die über eine aktive Kühlung der Gießform oder über die Integration von stark wärmeleitenden, passiv wirkenden Kühlelementen beeinflusst werden kann. Diese Maßnahme wird für lokal stark beanspruchte Bauteile oft schon bei der Auslegung des Gussteils und der Gießform berücksichtigt. Hierdurch ist es mög-

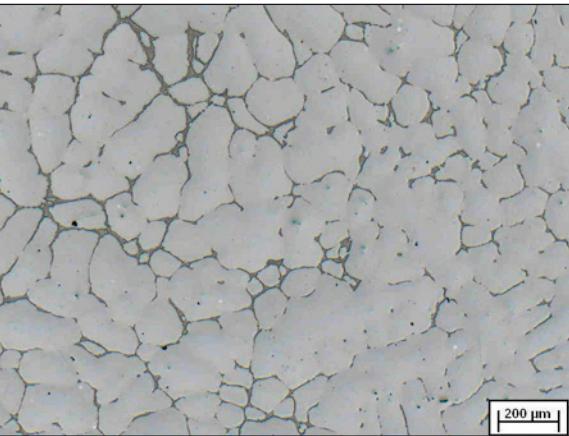


Abb. 1.4: Sandgussgefüge einer AlCu4-Legierung

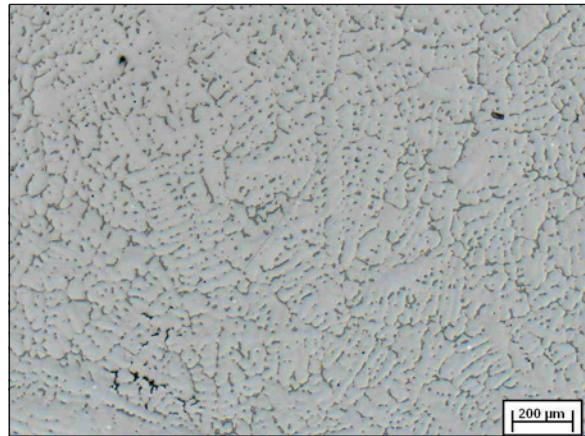


Abb. 1.5: Kokillengussgefüge einer AlCu4-Legierung  
(Quelle: Gießerei-Institut)

lich, ein niederfesteres, gröberes Sandgussgefüge (Abb. 1.4) lokal zu verfeinern (Abb. 1.5) und bessere Eigenschaften herbeizuführen.

Auch bei Gusseisenwerkstoffen ist unter den Gesichtspunkten der Festigkeit eine möglichst feine Ausprägung des Gefüges anzustreben. Hierfür werden die Graphitform und -größe beurteilt, die in EN ISO 945 definiert sind. Es ist jedoch zu beachten, dass die normierte Werkstoffgüte nicht über die chemische Zusammensetzung oder Gefügeausbildung, sondern über die Festigkeiten des Werkstücks oder angegossener Probestäbe festgehalten ist.

Die Auswahl der Legierung richtet sich nach dem späteren Einsatzzweck des Bauteils. Im Folgenden ist ein Überblick über die prozesstechnischen Möglichkeiten und den daraus resultierenden Eigenschaften gegeben, die für die jeweiligen Legierungen erzielt werden können.

### 1.1.2.2 Gießbare Magnesiumwerkstoffe

Magnesium gilt aufgrund seiner niedrigen Dichte als klassischer Leichtbauwerkstoff. Entsprechend der ISO 16220 lassen sich im Druckguss Zugfestigkeiten von 260 MPa erreichen. Einige Sonderlegierungen, die üblicherweise im Sandguss verwendet werden, weisen nach der Wärmebehandlung Festigkeiten von 250 MPa auf, die noch deutlich von gebräuchlichen, aber nicht normativ erfassten Legierungen übertroffen werden (s. Kap. II.4).

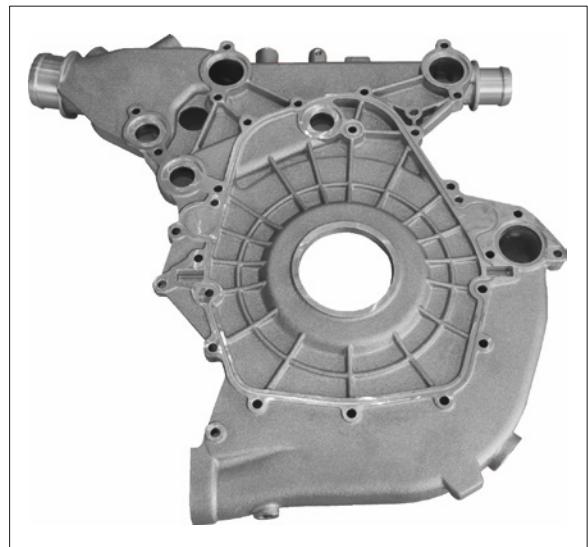
Magnesium eignet sich mit seinen heutzutage korrosionsbeständigen Standardlegierungen sehr gut für dünnwandige Bauteile, bei denen die Grenzen des Konstruktionsleichtbaus aufgrund prozesstechnischer Beschränkungen erreicht sind und nur die Verwendung eines besser zu gießenden und noch leichteren Werkstoffs zu einer Massenreduktion führt. Im Druckguss können auch über große Flächen und Fließlängen Wandstärken bis zu 2,5 mm erreicht werden, womit Magnesiumlegierungen bezüglich des Leichtbaugrades eine Spitzenposition im Vergleich zu anderen Gusswerkstoffen einnehmen. In Kraftfahrzeugen stellen vor allem Getriebe- und Zylinderkurbelgehäuse materialintensive Teile dar, die ein großes Potenzial zur Massenreduktion bieten. An dieser Stelle gewinnen die neuen, hervorragend geeigneten kriechbeständigen Magnesiumlegierungen zunehmend an Bedeutung, die gegenüber herkömmlichen Aluminiumkonstruktionen eine Gewichtsersparnis von etwa 25 bis 30% ermöglichen.

### 1.1.2.3 Gießbare Aluminiumlegierungen

Die gut gießbaren Aluminiumlegierungen sind vielfältig in allen etablierten Gießprozessen einsetzbar und können aufgrund ihrer Vielzahl Anforderungen – wie zum Beispiel höchste Duktilität oder Verschleißbeständigkeit – erfüllen (s. Kap. II.3). EN ISO 1706 gibt für die im Druckguss verarbeitete Legierung AlMg5 eine erreichbare Zugfestigkeit von 250 MPa an. Neue vaku-



**Abb. 1.6:** Im Aluminium-Kokillenguss hergestelltes Kompressorgehäuse



**Abb. 1.7:** Im Aluminium-Sandguss hergestellter Motordichtflansch (Quelle: Ohm & Häner Metallwerk GmbH & Co. KG)

### III

umunterstützte Druckgießprozesse sowie eine allgemeine Verbesserung der Prozesstechnik ermöglichen weiterhin die Herstellung von duktilen wärmebehandelbaren Druckgussteilen, die eine Zugfestigkeit von über 300 MPa erreichen können. Die nicht normativ erfassten Festigkeitseigenschaften werden häufig zwischen Kunden und Lieferanten in der Konzeptphase des Produktentstehungsprozesses ausgehandelt. Im Sand- und Kokillenguss werden bei den kupferhaltigen Legierungen aufgrund der üblicherweise nachgeschalteten Wärmebehandlung Festigkeiten von über 300 MPa realisiert. Im Feinguss können höchste mechanische Eigenschaften beispielsweise durch die Anwendung des patentierten HERO®-Verfahrens erreicht werden. Die Anwendungen für Aluminiumlegierungen sind vielfältig. Das größte Einsatzgebiet ist der Automobilsektor, der sich vor allem der großserientauglichen Herstellungsverfahren bedient. Neben einer sehr großen Anzahl druckgegossener Bauteile werden auch häufig Bauteile im Kokillenguss (Abb. 1.6) und Sandguss (Abb. 1.7) hergestellt.

#### 1.1.2.4 Titanlegierungen für den Formguss

Titan und Titanlegierungen liegen mit ihrer Dichte zwischen den Leicht- und Schwermetallen (s. Kap. II.5). Sie haben einen hohen Schmelzpunkt

und eine ausgezeichnete chemische Beständigkeit. Mit herkömmlichen Titanlegierungen können nach DIN 17865 Festigkeiten von 880 MPa erreicht werden. Dadurch wird der Werkstoff aufgrund seines günstigen Verhältnisses von Festigkeit und Dichte zu einem attraktiven Leichtbauwerkstoff für hoch beanspruchte Bauteile (Abb. 1.8). Die Werkstoffklasse  $\gamma$ -Titan-Aluminide bietet noch ein wesentlich höheres Potenzial durch die hohe Temperaturbeständigkeit, die den Einsatz für Turbinenschaufeln



**Abb. 1.8:** Feingussbauteil aus einer Titanlegierung (Quelle: Tital GmbH)

in Flugzeugtriebwerken und Abgasturboladern von Kraftfahrzeugmotoren ermöglicht. Aufgrund der hohen Schmelztemperaturen und Sauerstoffaffinität wird Titan für den Formguss in der Regel nur im Feingussprozess verarbeitet.

#### 1.1.2.5 Gusseisenwerkstoffe und gießbare Stähle

Durch ihre höhere Dichte gehören Gusseisenwerkstoffe (GJL, GJV, GJS, ADI) nicht vordergründig zu den Leichtbauwerkstoffen. Die Festigkeiten liegen aufgrund des freien, als Graphit bezeichneten Kohlenstoffs im Gefüge tendenziell unter denen der Stähle. Im Gegenzug bieten die Gusseisenwerkstoffe eine bis zu 10% niedrigere Dichte, ein besseres Dämpfungs- und Wärmeleitungsvermögen sowie sehr gute Gießeigenschaften. Deswegen können gerade bei dickwandigen, anspruchsvoll zu gießenden Bauteilen, die hohen spezifischen Belastungen unterliegen und an die höchste Anforderungen hinsichtlich ihrer Betriebsfestigkeit gestellt werden, Gewichtsminderungen gegenüber anderen Werkstoffen erzielt werden. Die bezüglich ihrer Festigkei-

ten nach EN 1561 normierte GJL-Werkstoffgruppe stellt dabei aufgrund des spannungstechnisch ungünstigen Lamellengraphits das geringste Potenzial für eine Massenreduktion dar, bietet allerdings das höchste Wärmeleitvermögen. Die Kompaktheit des Graphits und die Grundfestigkeit der Werkstoffe steigen in der Reihenfolge GJL (Lamellengraphit) – GJV (Vermiculargraphit) – GJS (Kugelgraphit). In Zahlenwerten ausgedrückt können in der gleichen Reihenfolge jeweils Spitzenwerte in der Zugfestigkeit von 350–500–900 MPa erreicht werden. Dabei ist zu beachten, dass sich die stark wanddicken-abhängigen Werte in der Regel auf einen getrennt gegossenen Zugstab mit 30 mm Durchmesser beziehen. Das ADI (Austempered Ductile Iron), das im deutschen Sprachraum als austenitisch-ferritisches Gusseisen bezeichnet wird, nimmt eine Spitzenposition bezüglich der mechanischen Eigenschaften ein und bietet damit ein großes Potenzial zur Herstellung hochbelastbarer Bauteile (Abb. 1.9). Gemäß EN 1564 (Entwurf) kann die einem herkömmlichen GJS (EN 1563) ähnliche, jedoch wärmebehandelte Legierung 1400 MPa Zugfestigkeit bei 1% Dehnung erreichen. In Kombination mit der hervorragenden



Abb. 1.9: Aus ADI hergestellte Radkassette eines 10-Zylinder-Dieselmotors (Quelle: Claas Guss GmbH)

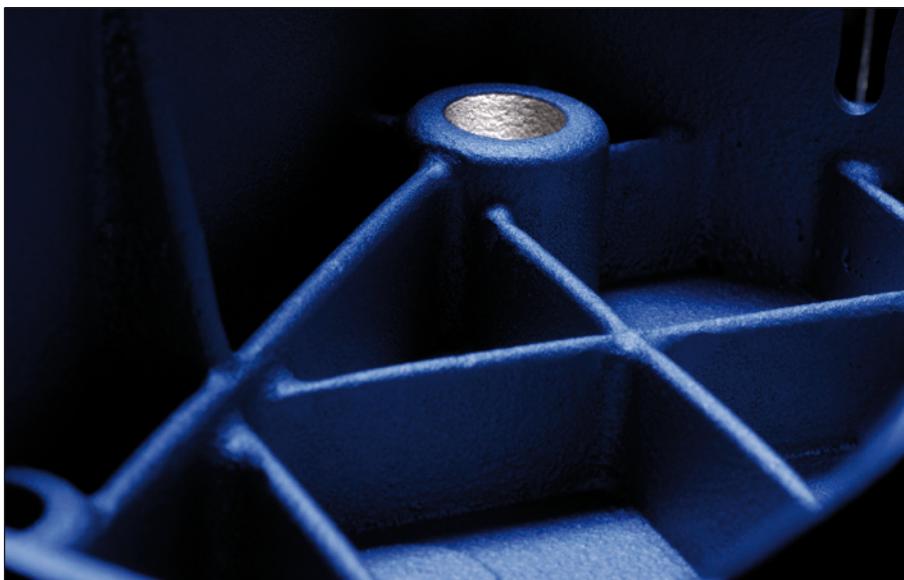


Abb. 1.10: Detailaufnahme einer dünnwandigen Stahlgussstruktur (Quelle: Evosteel GmbH)

### III

Gießbarkeit können so dünnwandige und hochfeste Bauteile mit einer hohen Leichtbaugüte hergestellt werden.

Bei den üblichen Wandstärken, die in herkömmlichen Gießprozessen realisiert werden können, sind mit Gusseisenlegierungen kaum Leichtbaueffekte zu erzielen. Nach DIN EN 10293 können mit gegossenen Stählen für allgemeine Anwendungen Zugfestigkeiten bis 1200 MPa bei 10 % Dehnung erreicht werden. Durch den Einsatz fortschrittlicher Gießverfahren, wie des 3cast®-Prozesses, in dem minimale Wandstärken bis zu 1,5 mm erreicht werden, können

hochfeste Strukturen hergestellt werden, die in Konkurrenz zu Blechkonstruktionen aus umgeformten Stählen stehen (Abb. 1.10).

#### 1.1.2.6 Hybride Werkstoffe

Hybride Werkstoffe, zu denen auch Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde zählen, werden bereits seit langer Zeit eingesetzt. Durch die Kombination verschiedener Materialien ist es möglich, anforderungsgerechte Gussteile herzustellen, die lokal die gewünschten Eigenschaften aufweisen. Auf diese



Abb. 1.11: Hybrides Karosseriebauteil mit einer gussknötenverstärkten Blechstruktur (Quelle: Imperia, Gesellschaft für angewandte Fahrzeugentwicklung mbH)

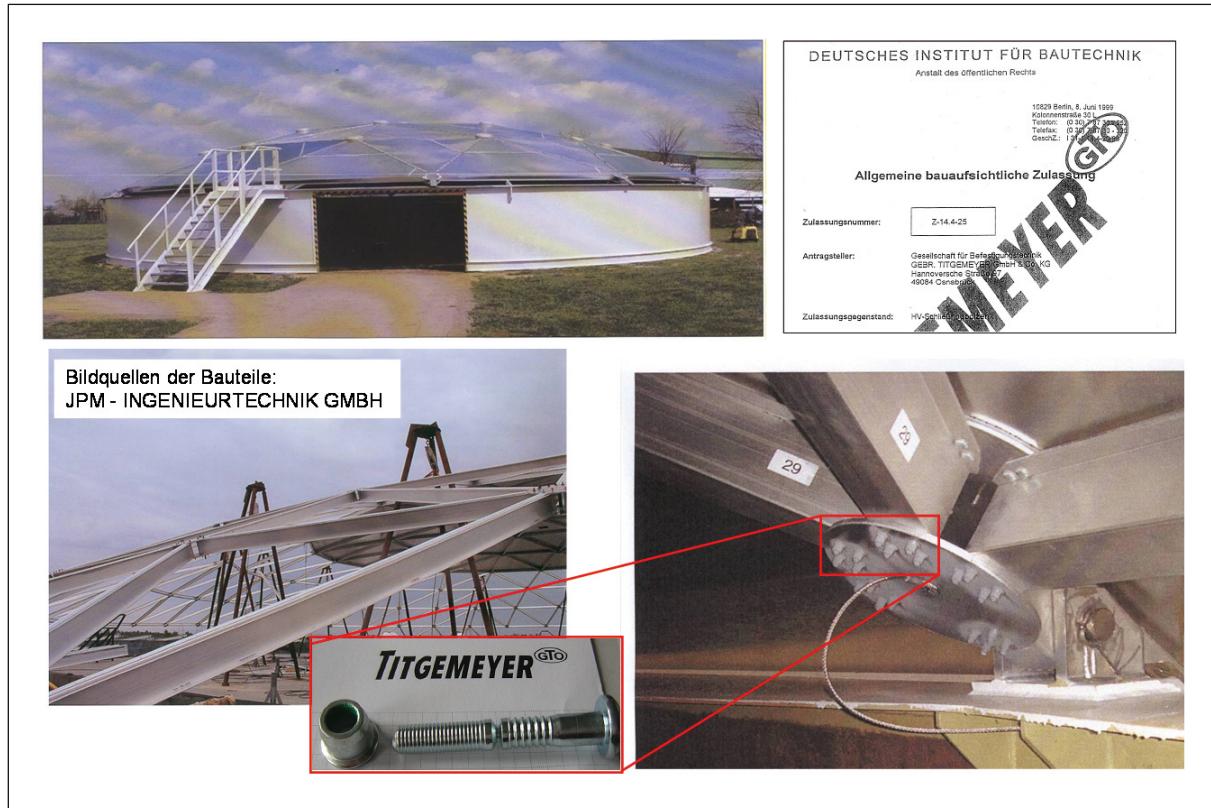


Abb. 1.53: Anwendung von Schließringbolzensystemen im Baubereich – Beispiel: Aluminiumabdeckung eines Großtanks  
(Quelle: Titgemeyer)

belasteten Verbindungsstellen dürfte einer der Hauptgründe für den Einsatz von Schließringbolzensystemen gewesen sein (Abb. 1.52).

Beim Einsatz von Schließringbolzensystemen im Baubereich wird der besondere Vorteil der einfachen Verarbeitung im Gegensatz zum Verschrauben genutzt. Es ist nicht notwendig, Schwankungen von Reibkoeffizienten oder hohe Anziehfaktoren der Verarbeitungswerkzeuge, wie es vom Verschrauben bekannt ist, bei der Auslegung der Schließringbolzenverbindungen zu berücksichtigen. Aus diesem Grund finden sich sehr häufig Schließringbolzen insbesondere im Baubereich und der Umsetzung vor Ort in der Anwendung. Die Anbieter der Verbindungssysteme haben diesen Umstand erkannt und eine allgemeine Bauzulassung für den Einsatz dieser Verbindungstechnik beim Deutschen Institut für Bautechnik erwirkt.

## 1.4 Clinchen

Ein dem konsequenten Leichtbaugedanken entsprechendes mechanisches Fügeverfahren stellt das Clinchen (ehemalige Bezeichnung Durchsetzfügen) dar. Beim Clinchen wird eine unlösbare Verbindung ohne die Verwendung von Verbindungselementen, Zusatz- oder Hilfsstoffen erzeugt. Das Verfahren beruht auf der lokalen plastischen Umformung von zwei oder mehr überlappt angeordneten Blech-, Rohr-, Profil- oder Gussteilen durch die Einwirkung eines in der Regel aus Stempel und Matrize bestehenden Werkzeugsatzes. Demzufolge wird das Clinchen der DIN 8593 Teil 5 dem „Fügen durch Umformen“ zugeordnet.

Das Clinchen gilt als ein sehr gut automatisierbares und wirtschaftliches Fügeverfahren, mit dessen Hilfe sich artverschiedene und beschichtete Werkstoffe kraft- und formschlüssig prozesssicher verbinden lassen ohne thermische Beanspruchung des Gefüges.

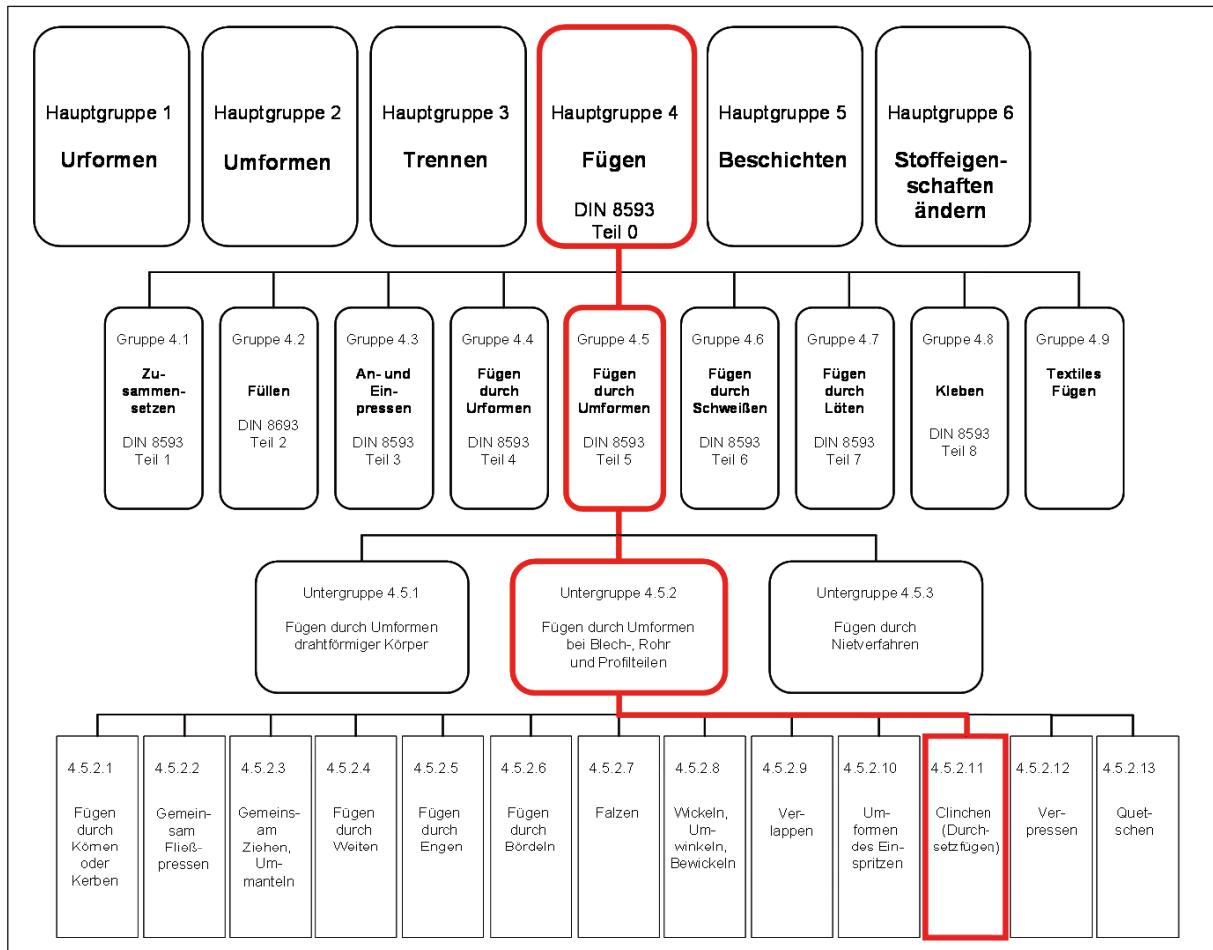


Abb. 1.54: Einordnung des Clinchens in das Schema nach DIN 8593

Die gute Kombinationsmöglichkeit der Klebtechnik mit dem Clinchen führt zur so genannten Hybridfügetechnik, die durch Synergieeffekte einen Einsatz im Strukturbereich der Fahrzeuge ermöglicht (s. Kap. IV.5).

#### 1.4.1 Clinchsysteme

Beim Clinchen wird zwischen einstufigen und mehrstufigen Verfahren unterschieden. Einstufige Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass die Fügeverbindung durch die Bewegung des Stempels entsteht (Abb. 1.55). Im Gegensatz hierzu werden Fügeprozesse, bei denen die Bewegung von Stempel, aber auch Matrize zur Fügeelementausbildung beitragen, als mehrstufige Verfahren bezeichnet. Eine weitere Einteilung der Clinchverbindung

kann hinsichtlich des Schneidanteils im Fertigungsvorgang und der geometrischen Form des Verbindungselements erfolgen. In der Automobilindustrie werden die nicht-schneidendenden Verfahren aus Gründen der besseren Schwingfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Dichtigkeit der Verbindung den schneidendenden Verfahren vorgezogen. Die Geometrie wird zwischen balkenförmigen und runden Verbindungen sowie Sonderformen unterschieden.

Die Auswahl der verwendeten Clinchverfahren richtet sich nach dem jeweiligen Anwendungsfall. Aufgrund der Vielzahl der Verfahrensvarianten wird hier exemplarisch das einstufige Clinchen ohne Schneidanteil mit starrer Matrize näher beschrieben. Die weiteren gängigen Verfahrensvarianten werden nachfolgend in schematischen Darstellungen aufgeführt. In

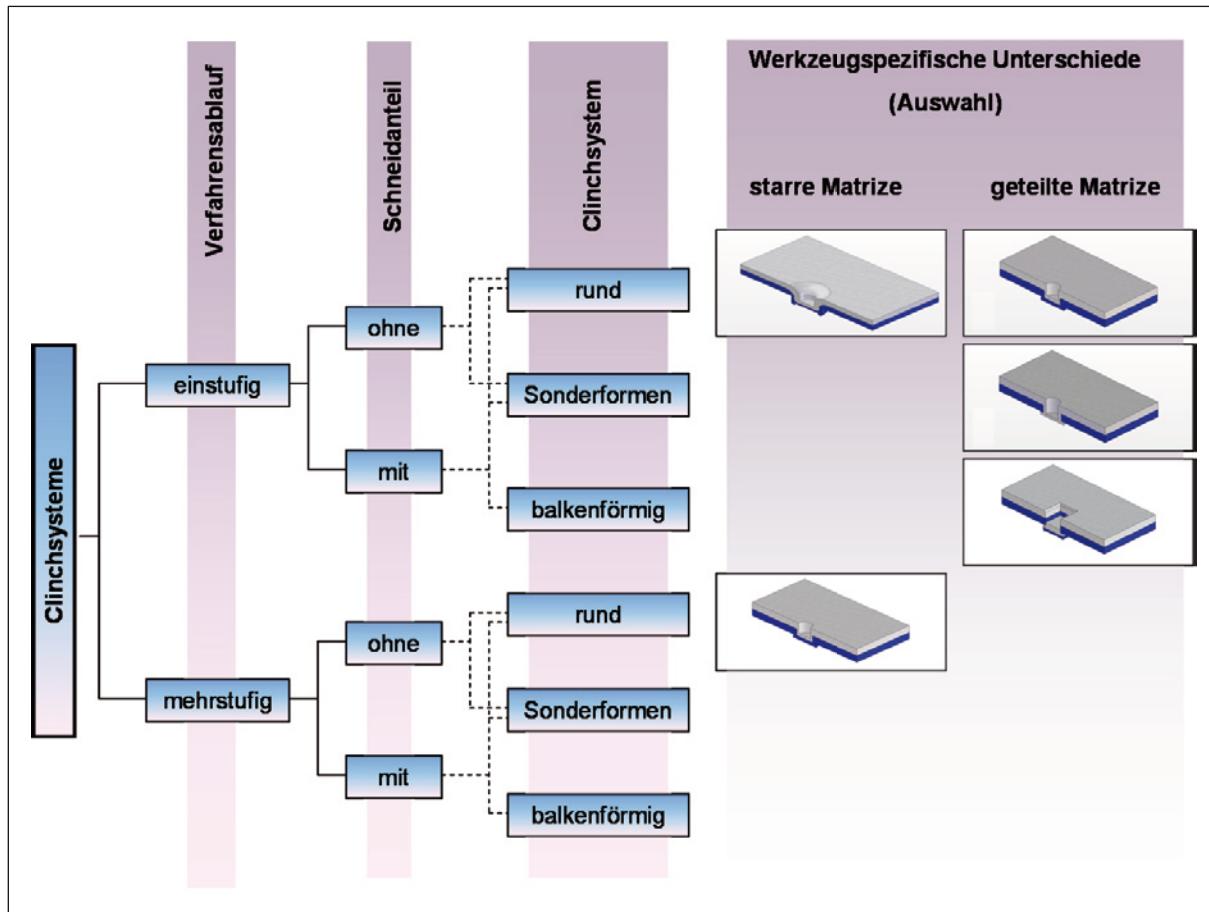


Abb. 1.55: Übersicht der Clinchsysteme (Somasundaram 2009)

Abbildung 1.56 sind die 4 Phasen des Fügevorgangs beim einstufigen Clinchen ohne Schneidanteil mit geschlossener Matrize dargestellt.

Die zu verbindenden Fügeteile werden zunächst zwischen Stempel und Matrize positioniert. Durch die Federkraft des Niederhalters werden die Bleche

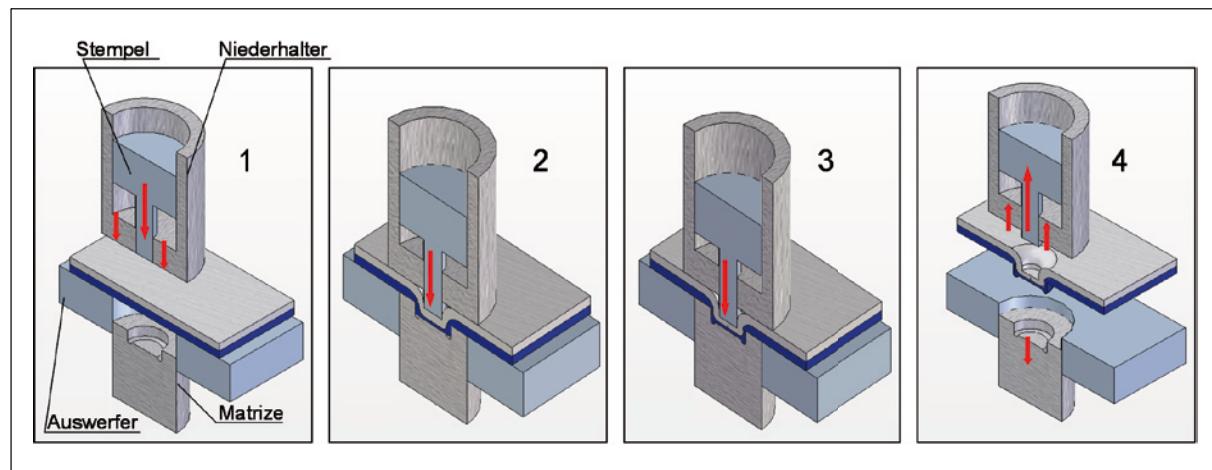


Abb. 1.56: Schematische Darstellung des einstufigen Clinchens (Tox-Verfahren) ohne Schneidanteil mit starrer Matrize (Somasundaram 2009)

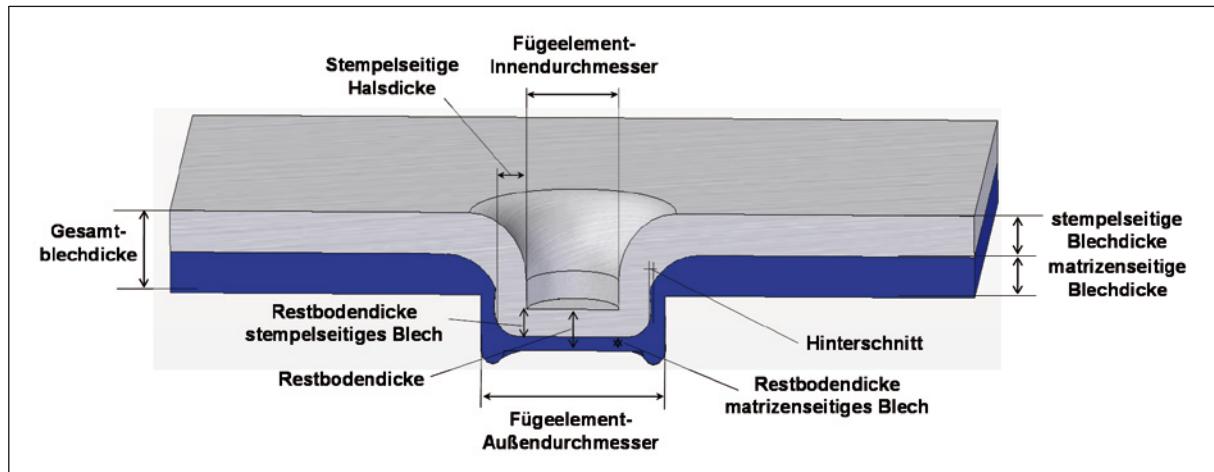


Abb. 1.57: Runde Clinchverbindung und deren Bezeichnungen (Somasundaram 2009)

anschließend zwischen dem Stempel und der Matrize fixiert und vorgespannt (1). In der zweiten Phase, dem Durchsetzen, werden die zu fügenden Bleche durch den Stempel in die geschlossene Matrize gedrückt, bis diese den Matrizenboden bzw. den so genannten Matrizenamboss erreichen (2). Der nachfolgende Schritt wird als Fließpressen bezeichnet, bei dem die festigkeitsrelevanten Merkmale erzeugt werden. Hierbei verdrängt die ununterbrochene Stempelbewegung den auf dem Matrizenamboss aufsetzenden Werkstoff. Das matrizenseitige Material fließt radial

in die Ringnut der Matrize. Durch das Nachfließen des stempelseitigen Materials wird der Hinterschnitt gebildet (3). Nach Erreichen einer eingestellten Kraft (kraftgesteuert) bzw. eines vorgegebenen Weges (weggesteuert) ist der Fügeprozess beendet, und es erfolgt der Rückhub (4). Der Hinterschnitt und die Halsdicke bestimmen zusammen mit der bei der Umformung des Materials entstehenden Kaltverfestigung wesentlich die Tragfähigkeit einer Clinchverbindung (Abb. 1.57). Abbildung 1.58 zeigt eine schematische Darstellung eines typischen Fügekraft-Stempelweg-Verlaufs

## IV

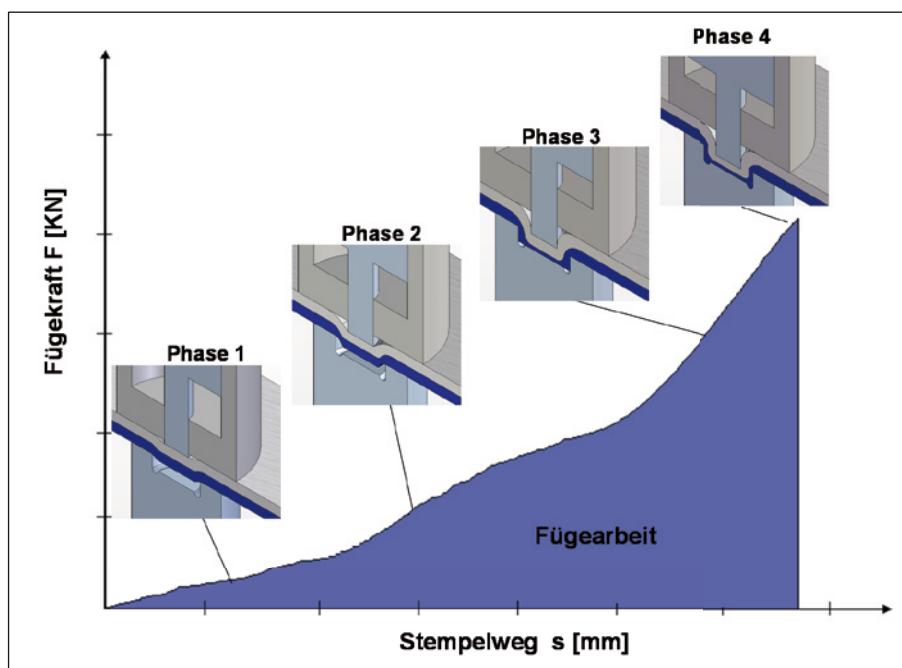


Abb. 1.58: Schematische Darstellung eines Fügekraft-Stempelweg-Verlaufs beim einstufigen Clinchen ohne Schneidanteil mit starrer Matrize (Somasundaram 2009)

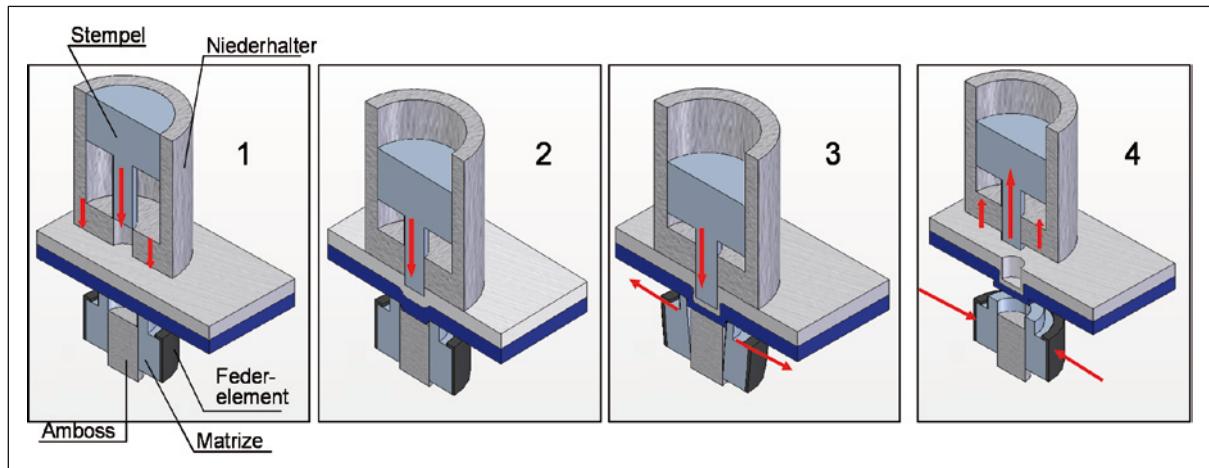


Abb. 1.59: Schematische Darstellung des einstufigen Clinchens ohne Schneidanteil mit beweglicher Matrize (Somasundaram 2009)

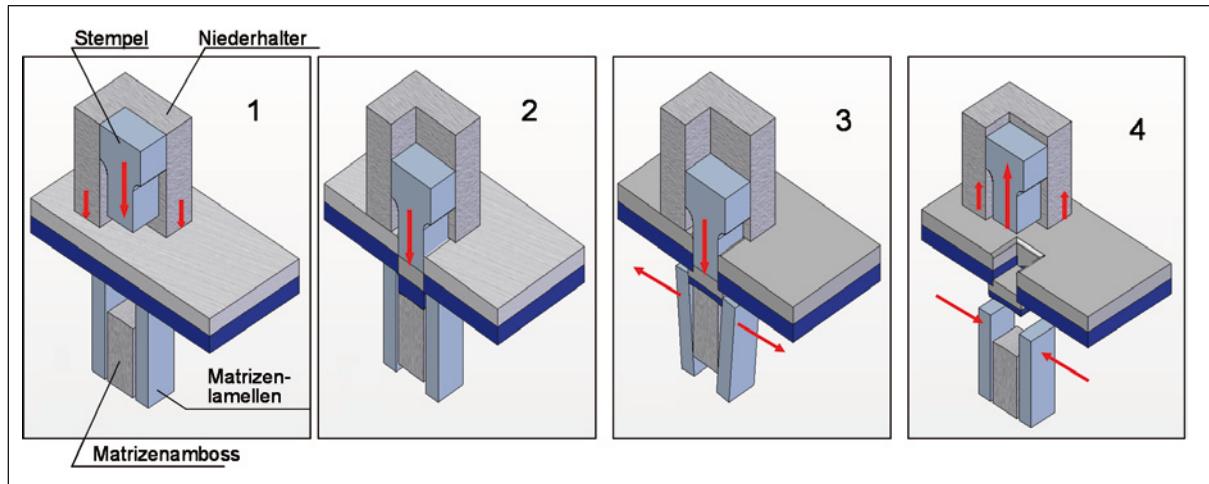


Abb. 1.60: Schematische Darstellung des einstufigen Clinchens mit Schneidanteil (Somasundaram 2009)

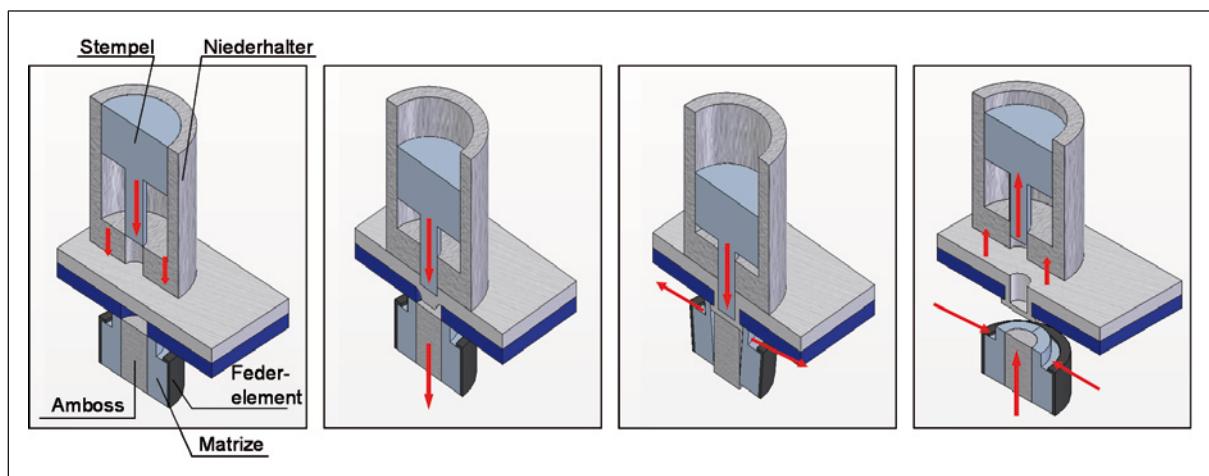


Abb. 1.61: Schematische Darstellung des einstufigen Clinchens mit matrizenseitig vorgelochtem Blech (Somasundaram 2009)

der beschriebenen Verfahrensvariante. Der Fügekraftverlauf ergibt sich aus den unterschiedlichen Umformvorgängen, die in den Prozessphasen (1-4) durchlaufen werden.

Der Fügekraftbedarf wächst mit zunehmendem Stempelweg. Während das Durchsetzen der Fügeteile mit einem Tiefziehprozess vergleichbar ist und nur einen geringen Kraftaufwand erfordert (Phase 1), werden für das nachfolgende Durchsetzen (Phase 2) sowie das Fließpressen (Phase 3) aufgrund der zusätzlichen Reibung in radialer Richtung zwischen Werkzeug und Werkstoff wesentlich höhere Kräfte benötigt. Ist die Ringnut der Matrize vollständig ausgefüllt und somit der Hinterschnitt ausgebildet, fließt bei einer weiteren Kraftsteigerung das matrizenseitige Material in den Halsbereich entgegen der Vorschubrichtung (Napfrückwärtsfließpressen; Phase 4). Dabei variiert der absolute Fügekraftbedarf in Abhängigkeit von Restbodendicke, Stempelgeschwindigkeit, Vorverformung des Werkstoffs, Werkzeuggeometrie und Werkstoff.

#### 1.4.2 Mechanische Eigenschaften von Clinchverbindungen

Die statischen Verbindungsfestigkeiten liegen beim Clinchen verfahrensabhängig je nach Durchmesser des Fügeelementes etwa 40–75% unterhalb der von Widerstandspunktschweißungen (Frings 1990, Hahn 1992, Wiek 1989, Sawhill 1983, Kühne 1995, Hahn 1994). Die geringere quasistatische Verbindungs-festigkeit lässt sich in Kombination mit dem Kleben (Clinchkleben) teilweise verbessern. Hinsichtlich der erreichbaren dynamischen Festigkeiten (Schwing-festigkeiten) zeichnet sich das Clinchen meist durch höhere Verbindungsfestigkeiten im Vergleich zum Widerstandspunktschweißen aus (Abb. 1.62). Die Ursachen hierfür liegen in der nicht vorhandenen thermischen Beeinflussung des Gefüges, im Form- und Kraftschluss des Clinchpunktes und in dessen Verformbarkeit, was zu geringen Spannungsspitzen im Vergleich zum steifen Schweißpunkt führt.

Schlagartige Belastungen mit hoher Umformge-schwindigkeit führen bei rein geclinchten Verbin-

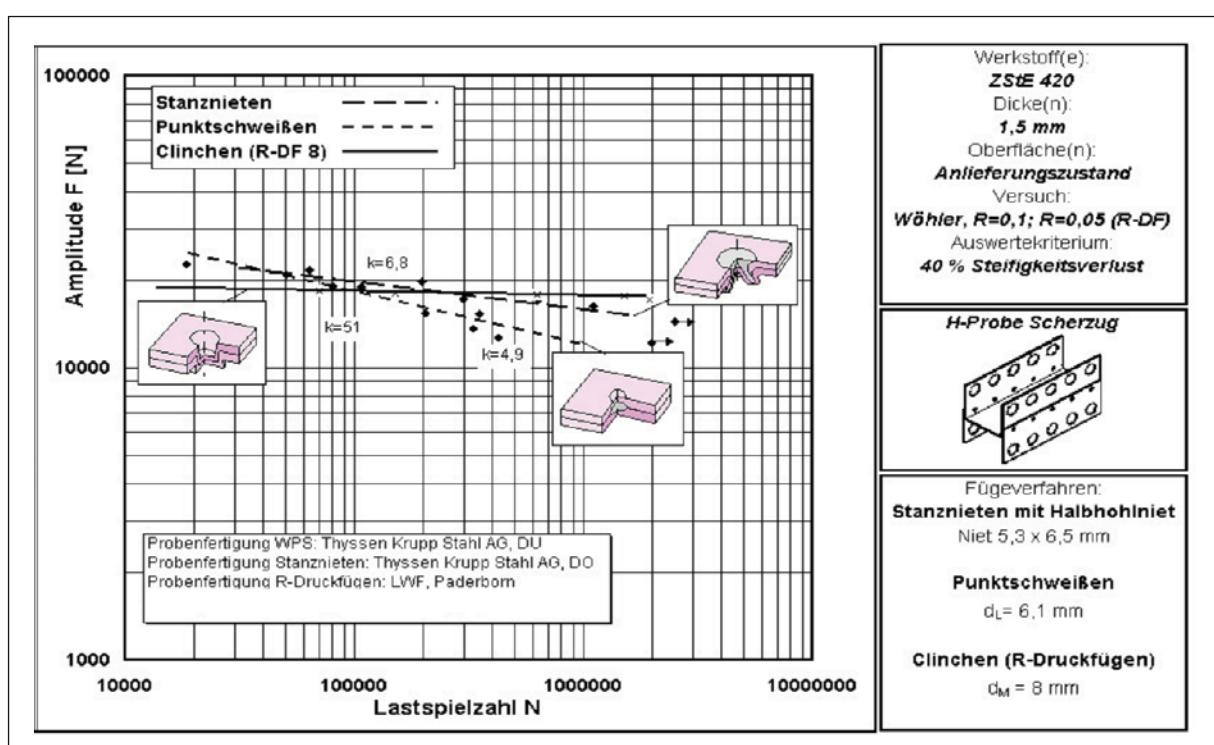
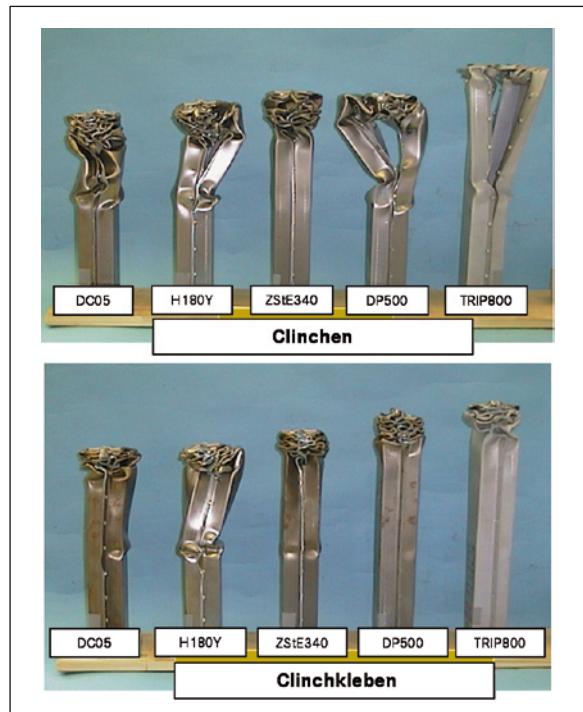


Abb. 1.62: Gegenüberstellung der Schwingfestigkeiten geclinchter, stanzgenieteter und widerstandspunktgeschweißter Verbindungen  
 (Quelle: LWF)



**Abb. 1.63:** Vergleich der Crashperformance von reinen und hybridgefügten Clinchverbindungen an Hutprofilen für verschiedene Stahlwerkstoffe (Quelle: LWF)

dungen zu einem Ausknöpfen des Clinchpunktes. Daher ist das Clinchen ohne zusätzliche Maßnahmen, wie die Einbringung von crashfesten Strukturklebstoffen, auf semistrukturelle Bereiche beschränkt (Abb. 1.63). Diese sind in der Karosseriefertigung typischerweise Bauteile wie Motorhaube, Heckklappe oder Kotflügel, die nur schwingende und statische Belastungen aufnehmen müssen.

#### 1.4.3 Allgemeine Richtlinien

##### Konstruktive Richtlinien

Insbesondere im Bereich des Fahrzeugbaus gilt es, durch konsequenter Leichtbau bei gleichbleibender Sicherheit und Betriebsfestigkeit, Gewicht einzusparen. Dabei finden Werkstoffe wie Aluminium- und Magnesiumlegierungen sowie hochfeste Dünnschichtstähle ihre Anwendung. Das Verbinden dieser artverschiedenen Werkstoffe stellt dabei eine große Herausforderung für die Fügetechnologie dar.

Grundsätzlich ist Clinchen nutzbar, um eine Vielzahl von Werkstoffen und Werkstoffkombinationen zu

verarbeiten. Allerdings ist das Verfahren aufgrund seiner umformtechnischen Prozessschritte durch werkstoffabhängige Eigenschaften in seiner Anwendung beschränkt. So spielen die Mindestbruchdehnung  $A_{80}$ , das Streckgrenzenverhältnis  $R_{p0,2} / R_m$  und die Zugfestigkeit  $R_m$  eine bedeutende Rolle bei der Auswahl der Fügeteilwerkstoffe. Der prozesssichere Arbeitsbereich dieses Verfahrens befindet sich bei einer Mindestbruchdehnung  $A_{80}$  größer als 12 % und einer Zugfestigkeit  $R_m$  bis zu 500 N/mm<sup>2</sup>. Das Streckgrenzenverhältnis sollte maximal 0,7 betragen. Werkstoffe, die sich innerhalb dieser Grenzen bewegen, gelten als „clinchgeeignet“. Werkstoffe mit geringerer Bruchdehnung und höherer Zugfestigkeit sind zum Teil ebenfalls einsetzbar, gelten jedoch als „bedingt clinchbar“ (DVS/EFB 3420). Diese müssen auf die Anwendbarkeit hin überprüft werden.

Bei der Anordnung der Bauteile sind ebenfalls einige Grundsätze zu beachten. Zum Erreichen einer höheren Verbindungsfestigkeit ist beim Clinchen unterschiedlicher Werkstoffe der schwerer umformbare Grundwerkstoff stempelseitig anzutragen. Weiterhin werden Anordnungshinweise für uneinheitliche Blechdicken gegeben. Vorzugsweise ist das dünnerne Bauteil matrizenseitig anzutragen. Ist dies aus konstruktiven Gründen nicht möglich, sollte das Blechdickenverhältnis 1:2 (stempelseitiges Bauteil / matrizenseitiges Bauteil) nicht unterschritten werden (DVS/EFB 3420).

Für weitergehende Informationen zur konstruktiven Bauteilgestaltung sei auf die Literaturstellen (Hahn 2002, Kurzok 1998 und DVS/EFB 3420) verwiesen.

##### Fertigungstechnische Richtlinien

Es gibt eine Vielzahl verschiedener Ausführungsformen der Fertigungsanlagen für das Clinchen. Die geeignete Auswahl der Fügeeinrichtungen erfolgt nach Kraftbedarf, Zugänglichkeitsanforderungen, Taktzeit und Fügeaufgabe. Der für den Setzprozess notwendige Kraftbedarf kann elektrisch, pneumatisch, hydraulisch oder pneumohydraulisch erzeugt werden.

Die Clinchwerkzeuge (Stempel und Matrize) werden über entsprechende Werkzeugträger an die Setzeinrichtung angebunden. Die Standmenge