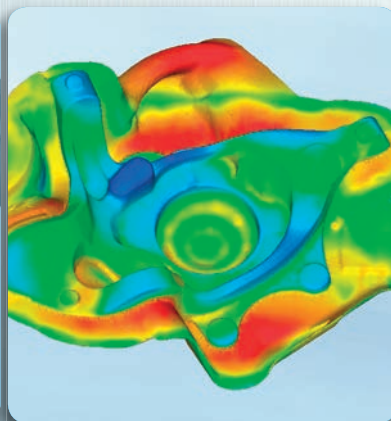
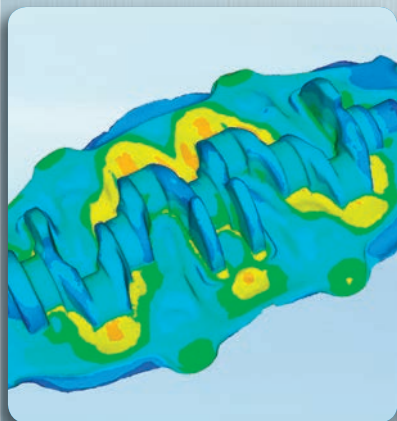


Massivumformung kurz und bündig



Vorwort des Herausgebers

Produkte der Massivumformung haben von jeher eine große Bedeutung in vielen Branchen mit unterschiedlichsten Anwendungen. Durch umfassende Weiterentwicklung der Verfahren und Verfahrenskombinationen, der Werkstoffe, der Werkzeugtechnik und der verwendeten Maschinen ergeben sich ständig weitere Gestaltungsmöglichkeiten der Produkte. Mit dieser Entwicklung hat die Bedeutung der Massivumformung immer weiter zugenommen. Auch der verstärkte Trend zum Leichtbau konnte durch die Massivumformung in den vergangenen Jahren maßgeblich unterstützt werden.

Über die etablierten technischen Möglichkeiten, aber auch über die neueren Entwicklungen aus Forschung und Technik wurde in der Vergangenheit immer wieder in zahlreichen Einzelpublikationen berichtet. Insider der Branche erhalten hierüber Gelegenheit, ihr Wissen um die Massivumformung zu erweitern. Branchenferne Personenkreise beziehungsweise Neu- und Quereinsteiger haben diese Möglichkeit im Allgemeinen nicht. Deshalb lag es nahe, in einem anwendungsbezogenen Fachbuch die technischen Aspekte rund um die Massivumformung kurz und bündig darzustellen.

Das Ziel dieses Buchs liegt ausdrücklich nicht in der wissenschaftlichen Darstellung der Massivumformtechnik; dazu gibt es bereits umfangreiche Literatur, auch in Form von Lehrbüchern. Der Anspruch dieses Buchs liegt vielmehr in einer umfassenden Darstellung der praxisorientierten Massivumformtechnik und ihrer vielfältigen Möglichkeiten, anspruchsvolle Produkte zu entwickeln und herzustellen. Daraus leitet sich auch die Zielgruppe ab. Angesprochen sind vornehmlich Auszubildende, Studierende, Quereinsteiger und Abnehmer von Massivumformteilen, die sich schnell und umfassend einen Überblick über die Massivumformung verschaffen wollen. Dieser Anspruch gab auch die Darstellungsform vor: Die Breite der Themen hat Vorrang vor der Tiefe, auf mathematische Abhandlungen und Formeln wird soweit wie möglich verzichtet, die praktischen Aspekte stehen im Vordergrund, der Text ist einfach und knapp gehalten, Bild Darstellungen wurde der Vorrang eingeräumt. Dabei wurden bestehende und etablierte Technologien und Verfahren in

den Fokus gestellt, gleichzeitig aber auch Ergebnisse aus anwendungsorientierten Forschungs- und Entwicklungs-Projekten und erkennbare Zukunftstrends berücksichtigt.

Den Autoren, Prof. Dr. Rainer Herbertz, Dipl.-Ing. Harald Hermanns und Dipl.-Ing. Rainer Labs, ist eine schnell verständliche und übersichtliche Darstellung aller Aspekte der Massivumformung gelungen.

Das Ziel, ein Fachbuch mit praktischer Ausrichtung zu schreiben, konnte unter anderem dadurch erreicht werden, dass die Konzeption des Buchs und die Ausgestaltung der einzelnen Kapitel von einem 4-köpfigen Redaktionsbeirat intensiv begleitet wurden, dessen Mitglieder dem Kreis der Fach- und Führungskräfte namhafter Unternehmen der Branche angehören.

Dem Industrieverband Massivumformung e. V., dem Redaktionsbeirat, zahlreichen Unternehmen der Branche, den Maschinenherstellern und vielen Autoren von Fachliteratur sei an dieser Stelle für die großzügige und vielfältige Unterstützung in Form von Ideen, Anregungen, Beiträgen und Beistellung von Dokumentationsmaterial gedankt; ohne diese Unterstützung wäre die Erstellung des Fachbuchs in dieser Form nicht möglich gewesen.

Dipl.-Ing. Hans Ulrich Volz
Vorsitzender des Ausschusses
Öffentlichkeitsarbeit/Technische Information des
Industrieverbandes Massivumformung e. V.
58093 Hagen, im April 2013

Impressum

- Autoren: Prof. Dr.-Ing. Rainer Herbertz, Iserlohn
Dipl.-Ing. Harald Hermanns, Iserlohn
Dipl.-Ing. Rainer Labs, Bönen
- Redaktionsbeirat: Dipl.-Ing. Ramdan Haoua,
CDP Bharat Forge GmbH, Ennepetal
Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Stephan Huber,
SEISSENSCHMIDT AG, Plettenberg
Dr.-Ing. Felix Schmieder,
Hirschvogel Eisenach GmbH und
Hirschvogel Aluminium GmbH, Marksuhl
Dipl.-Ing. Hans Ulrich Volz,
Jung, Boucke GmbH & Co., Halver
- Bilder: Siehe Bildernachweis Seite 157
- Verantwortlich für die Gesamtherstellung: Industrieverband Massivumformung e. V., Hagen
Dorothea Bachmann Osenberg
- Titelbild: Bauteilabbildungen: CDP Bharat Forge GmbH,
Hirschvogel Automotive Group,
Jung, Boucke GmbH & Co.,
SEISSENSCHMIDT AG,
www.fotolia.com, Stahlplatte 2, Jörg Vollmer
- Illustrationen: Grafik Design Peter Kanthak, Wickede (Ruhr)
- Layout und Satz: Grafik Design Peter Kanthak, Wickede (Ruhr)
- Ausgabe: Nachdruck April 2015
- ISBN: 978-3-928726-32-0

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung und Vervielfältigung, vorbehalten. Auszugsweise Wiedergabe des Inhalts nur nach Rückfrage beim Industrieverband Massivumformung e. V. mit Quellenangabe gestattet.

Den Veröffentlichungen des Industrieverbands liegen die Ergebnisse der Gemeinschaftsforschung der im Industrieverband Massivumformung e. V. zusammengeschlossenen Mitgliedsunternehmen zugrunde.

Inhalt

	Seite
1 Einleitung	9
2 Massivumformteile – Potenziale und Einsatzbereiche	13
3 Grundlagenverständnis zum Umformen von Metallen	23
3.1 Metallphysikalische Grundlagen	24
3.2 Einfluss der Umformung	26
3.3 Einfluss der Temperatur	28
3.4 Einfluss der Umformgeschwindigkeit	29
3.5 Einflüsse auf die Fließkurve	29
3.6 Einordnung der Verfahren in Warm-, Kalt-, Halbwarmumformung	30
4 Werkstoffe für die Massivumformung	33
4.1 Stahlwerkstoffe	33
4.2 Aluminiumwerkstoffe	36
4.3 Sonstige Werkstoffe	36
4.4 Anlieferungszustand	38
5 Verfahren der Massivumformung	39
5.1 Walzen	40
5.2 Freiformen	43
5.3 Gesenkformen/Gesenkschmieden	46
5.4 Fließpressen	49
5.5 Weitere Verfahren	50
6 Verfahrensschritte vor und nach der Umformung	51
6.1 Trennen	51
6.2 Vorfertigung für die Kaltumformung	54
6.3 Erwärmen	54
6.4 Entzundern	56
6.5 Abgraten/Lochen	58
6.6 Nachformen	59
6.7 Wärmebehandlung für Rohteile aus Stahl	60
6.8 Wärmebehandlung für Rohteile aus Aluminium	65
6.9 Oberflächenbehandlung	66
6.10 Mechanische Bearbeitung	68

Inhalt

	Seite
7 Prozessketten der Massivumformung	69
7.1 Prozesskette Gesenkschmieden	70
7.2 Prozesskette Fließpressen	74
7.3 Prozesskette Kombinationsverfahren Warm- und Kaltumformung	77
7.4 Prozesskette Freiformschmieden und Ringwalzen	82
8 Maschinen der Massivumformung	87
8.1 Einteilung der Umformmaschinen	87
8.2 Maschinenarten	89
8.3 Automatisierung von Umformmaschinen	97
8.4 Spezielle Anlagen	98
9 Werkzeuge der Massivumformung	105
9.1 Gesenkaufbau	106
9.2 Beanspruchung von Umformwerkzeugen	110
9.3 Werkzeugfertigung	111
10 Gestaltung und Eigenschaften der Umformteile	113
10.1 Allgemeine Gestaltungsregeln	115
10.2 Gestaltungsregeln für das Gesenkschmieden	117
10.3 Allgemeingültige Toleranzen	119
10.4 Toleranzen für Gesenkschmiedeteile aus Stahl	120
10.5 Oberflächenqualität	123
11 Qualitätssicherung	125
11.1 Planungsverfahren	126
11.2 Prüfverfahren	131
12 Produktentwicklung	135
12.1 Bauteilentwicklung	136
12.2 Fertigungsprozessentwicklung	137
12.3 3D-CAD-Modell	139
12.4 Werkzeugfertigung	140
12.5 Rapid Prototyping	140

Inhalt

	Seite
13 Kosten- und Mengenstrukturen	143
13.1 Materialkosten	144
13.2 Werkzeugkosten	144
13.3 Rüstkosten	145
13.4 Fertigungskosten	145
13.5 Ausschuss und Nacharbeit	146
13.6 Logistikkosten	146
13.7 Verwaltung und Vertrieb	146
13.8 Kostenstruktur	146
14 Berufsbilder	149
15 Literaturverzeichnis	155
16 Weitere Literatur	156
17 Bildernachweis	157

1 Einleitung



Bild 1.1: Skizze aus den Darstellungen am Grabe des Rechmirê (circa 1.450 vor Christus)

Der Begriff Massivumformen ist die Sammelbezeichnung für alle Verfahren, bei denen durch Werkzeuge an einem metallischen Werkstück Querschnittsänderungen erzeugt werden, ohne dabei Material abzutragen.

Die Massivumformung gehört zu den ältesten Arbeitstechniken des Menschen. Schon um 8.000 v. Chr. wurden die in der Natur vorkommenden reinen Metalle – Gold, Silber, Kupfer – durch das Massivumformverfahren Schmieden und mit einfachsten Werkzeugen zu Schmuck und Gebrauchsgegenständen verarbeitet.



Bild 1.2: Wasserkraftgetriebener Eisenhammer (um 1780)

Dem Wirken der antiken bis frühmittelalterlichen Schmiedetechnik setzte allein die verfügbare Muskelkraft hinsichtlich der Größe der erzeugten Teile eine Grenze. Durch die Nutzung der Wasserkraft zum Antrieb von Blasebälgen und dem Handhammer nachempfundenen Stielhämmern gab es einen Entwicklungssprung. An den Flussläufen entstanden sogenannte Hammerwerke, in denen eiserne Hammerköpfe (Bären) an dicken Buchenstielen von Wasserrädern bewegt wurden und auf entsprechend große Ambosse schlugen. Hammerwerke dieser Art bestimmten bis weit in das 19. Jahrhundert hinein die Schmiedetechnik.

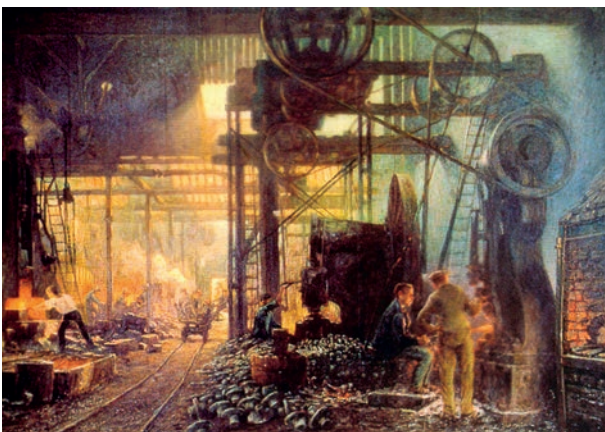


Bild 1.3: Blick in die Produktionshalle der Schmiedag in Hagen (um 1910)

Mit der Nutzung der Dampfkraft stand eine Energiequelle von bis dahin nicht gekannter Größe zur Verfügung. Dadurch wurde auch der Standort eines Hammerwerks unabhängig von dem Vorhandensein eines Flusslaufs. Dampfmaschinen wurden zum Antrieb von Transmissionen genutzt, die ihrerseits Fallhämmer antrieben.

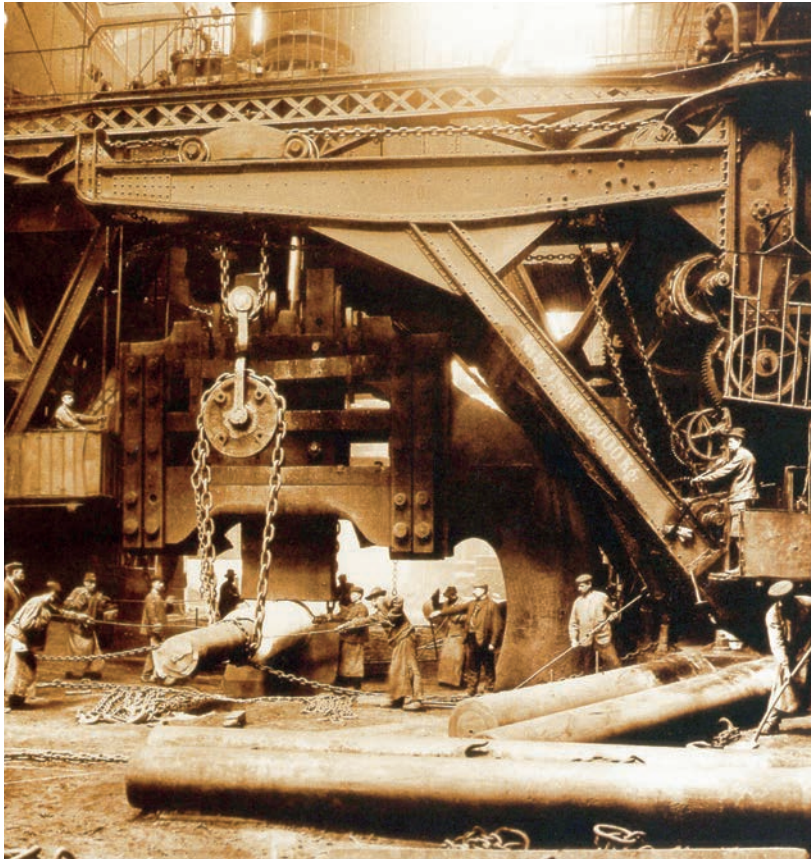


Bild 1.4: Dampfhammer „Fritz“, Standort Essen (1861)

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts setzte mit dem Beginn der Industrialisierung eine starke Entwicklung des Gesenkschmiedens ein. Jetzt entstanden größere Mengen gleicher Bauteile aus geschmiedetem Stahl zum Beispiel für den Eisenbahnbau. Um die Jahrhundertwende wurden die ersten Dampfhammer gebaut, die zur Verstärkung der Fallenergie mit Oberdruck arbeiteten. Der größte deutsche Dampfhammer mit einem Bärgewicht von 50 Tonnen – der berühmte Dampfhammer Fritz – nahm 1861 bei Krupp seine Arbeit auf. In Amerika wurde gar ein Hammer mit einem Bärgewicht von 125 Tonnen in Betrieb genommen. Etwa zur gleichen Zeit begann auch die Entwicklung der Freiformschmiedepressen, die allmählich im schwereren Gewichtsbereich die Hämmer abgelösen begannen.

Die stärksten Entwicklungsimpulse für die Massivumformung gingen im 20. Jahrhundert vom Fahrzeugbau aus. Die Anforderungen der Märkte an die geometrischen und mechanischen Eigenschaften, die Zuverlässigkeit, die Produktivität und die Wirtschaftlichkeit von Massivumformbauteilen stiegen rasant. Damit mussten sich Werkstoffe, Massivumformverfahren, Umformwerkzeuge und -maschinen kontinuierlich weiterentwickeln. So wird heute in unterschiedlichen Temperaturbereichen kalt, halbwarm und warm umgeformt. Neben dem Freiform- und Gesenkschmieden gehören zum Beispiel Fließpressen sowie Reck-, Quer- und Ringwalzen zum verfahrenstechnischen Portfolio der Massivumformung. Die Maschinentechnik umfasst neben Hämmern auch Pressen mit hydraulischem und mechanischem Antrieb mit modernster Steuerungstechnik, sowohl für den manuellen als auch für den vollautomatisierten Betrieb.

Für die Erwärmung des Vormaterials stehen neben Gaserwärmern elektrische Induktions- und Konduktionserwärmer zur Verfügung, die eine präzise Prozesstemperatur sicherstellen. Eine leistungsfähige Stahlindustrie sorgt mit modernsten Entwicklungen für hochwertiges Vormaterial. Die heutige Hochgeschwindigkeits-Frästechnik ermöglicht im Zusammenwirken mit der CAD/CAM-Technik und der Stoffflusssimulation eine treffsichere, präzise, wiederholgenaue und wirtschaftliche Herstellung der Umformwerkzeuge und somit der Umformbauteile. Durch modernes Qualitätsmanagement können stabile Prozesse in allen Bereichen der produzierenden Unternehmen sichergestellt werden.

Kennzeichnend für den heutigen Stand der Massivumformung sind der Einsatz einer Vielzahl von Verfahren und Verfahrenskombinationen, eine optimale Werkstoffausnutzung, eine hohe Mengenleistung und die hohe Arbeitsgenauigkeit.

Als Ergebnis kontinuierlicher Weiterentwicklungen nimmt die deutsche Massivumformung heute hinsichtlich Produktionsvolumen, Produktivität und Qualität weltweit eine Spitzenstellung ein. Die Massivumformung in



Bild 1.5: Blick in eine Produktionshalle mit einer durch Roboter verketteten automatisierten Schmiedeanlage

Deutschland ist klarer Marktführer in Europa und die Nummer 2 der Welt. Rund 250 Unternehmen gehören in Deutschland der Massivumformbranche an. Im Jahr 2014 wurden knapp 2,8 Millionen Tonnen beziehungsweise rund 2 Milliarden Teile massivumgeformt. Der Produktionswert lag bei 7,8 Milliarden Euro.

Die nachfolgenden Kapitel geben in kurzer und bündiger Form einen Überblick über wesentliche Aspekte der Massivumformung. Die Kapitel wurden so gewählt und gegliedert, dass der Leser sich schnell einen umfassenden und strukturierten Überblick über die Massivumformung verschaffen kann. Ausgehend von den Einsatzbereichen, dem Grundlagenverständnis der Umformung von Metallen und den Werkstoffen der Massivumformung werden die Umformverfahren einschließlich der Verfahrensschritte vor und nach der Umformung sowie exemplarische Prozessketten erläutert. Die wichtigsten Betriebsmittel, die Maschinen und die Werkzeuge werden gesondert behandelt. Den Umformrohteilen, den Maßnahmen und Methoden zu deren Qualitätssicherung und Entwicklung wird besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Abgerundet wird die Lektüre durch die Darstellung der Kosten- und Mengenstrukturen sowie einen Überblick über die Berufsbilder in der Branche.

2 Massivumformteile – Potenziale und Einsatzbereiche

Massivumformbauteile kommen immer dann zur Anwendung, wenn raum- und gewichtssparende Konstruktionen mit hohen Anforderungen an die statische und/oder dynamische Belastbarkeit bei gleichzeitig hoher Sicherheit und Zuverlässigkeit gefordert sind. Die Entwicklung eines Bauteils erfolgt auf der Grundlage eines Lastenhefts, in dem alle Anforderungen beschrieben werden, die das Bauteil im späteren Einsatz zu erfüllen hat, wie zum Beispiel verfügbarer Bauraum, Befestigungspunkte, auf das Bauteil wirkende Lastkollektive, Gewicht, erwartete Lebensdauer, Umfeldbedingungen, denen das Bauteil ausgesetzt wird und vieles andere mehr. Neben diesen für die Auslegung eines Bauteils wichtigen Kriterien werden natürlich auch Anforderungen bezüglich Preis, Mengen, Qualität und – immer wichtiger – Umweltaspekten beschrieben. Damit wird deutlich, dass die Anforderungen an Bauteile vielschichtig sind; die schlichte Rückführung auf die Forderung „es muss preiswert sein und halten“ greift zu kurz.

Es reicht auch nicht, das Bauteil isoliert zu betrachten, sondern es muss mit seinen geforderten Eigenschaften und in Verbindung mit den möglichen Herstellverfahren als eine Einheit gesehen werden. Aus beidem zusammen ergibt sich schlussendlich das Potenzial, das zur Bewältigung einer jeweiligen Lastenheftanforderung zur Verfügung steht; je größer das Potenzial ist, um so besser, einfacher und umfassender lassen sich die gestellten Anforderungen umsetzen. Es setzt sich strukturell zusammen aus dem

- Entwicklungs-/Konstruktionspotenzial,
- Marktpotenzial,
- Umweltpotenzial.

Das *Entwicklungs- und Konstruktionspotenzial* eines Bauteils (Bild 2.1) – bestehend aus dem Gestaltungs-, dem Belastbarkeits- und dem Sicherheitspotenzial – kommt in einer sehr frühen Phase der Bauteilentstehung

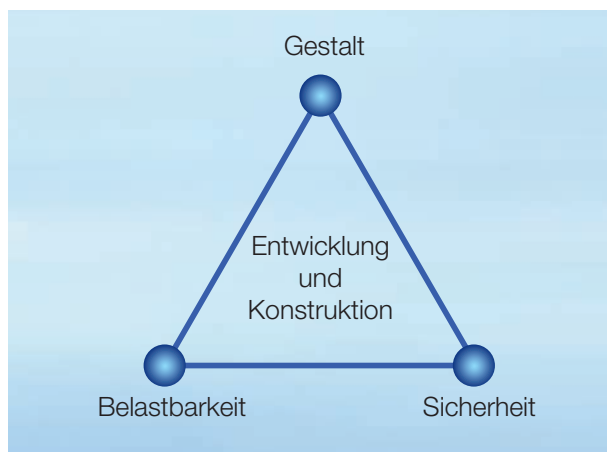


Bild 2.1: Elemente des Entwicklungs- und Konstruktionspotenzials

zum Tragen, also zu einem Zeitpunkt, zu dem lediglich die Funktionen definiert sind, die das Bauteil im späteren Einsatz zu erfüllen hat. In dieser Phase ist dann entscheidend, welche Entwicklungs- und Konstruktionsfreiräume zur Verfügung stehen.

Das *Gestaltungspotenzial* ist bei der Auslegung eines Bauteils sehr wichtig, weil das Bauteilumfeld Grenzen vorgibt. Solche Grenzen können beispielsweise vom verfügbaren Bauraum, von vorgegebenen Freigängigkeiten oder über benachbarte Bauteile vorgegeben werden. Je größer das Gestaltungspotenzial ist, umso besser und einfacher kann der Entwickler/ Konstrukteur die geforderten Bauteilfunktionen erfüllen.

Die geometrische Formenvielfalt der Massivumformung ist nahezu unbegrenzt (Bild 2.2). Sie reicht von einfachen rotationssymmetrischen Wellen und Ringen bis hin zu sehr komplizierten Geometrien wie zum Beispiel Kurbelwellen, Achs- und Getriebeteilen, Triebwerks-, Gas- und Dampfturbinenschaufeln. Das große Gestaltungspotenzial von Massivumformbauteilen bietet auch die Grundlage für den (konstruktiven) Leichtbau, der gerade in der Automobil- und Luftfahrtindustrie sehr wichtig ist.

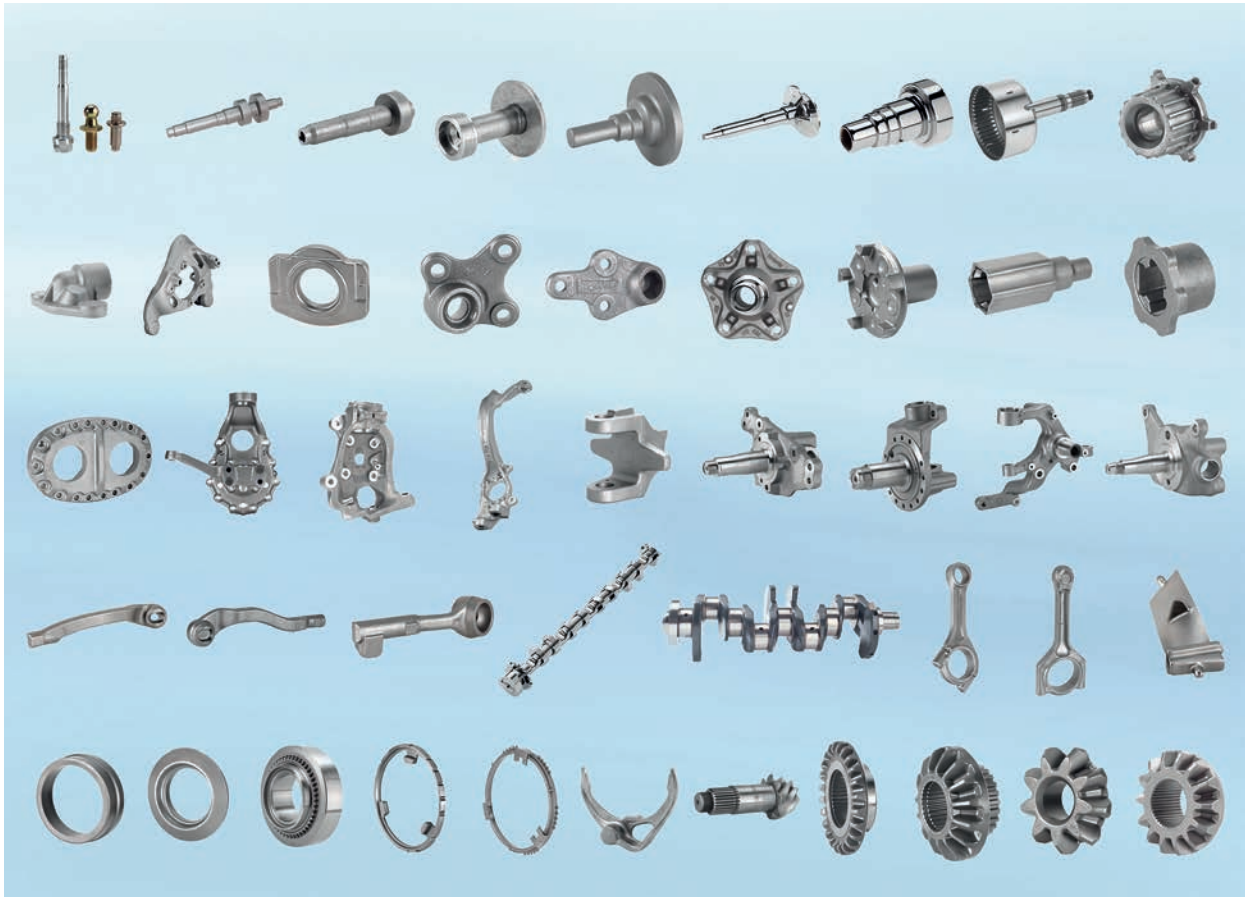


Bild 2.2: Beispiele für die Formenvielfalt von Massivumformteilen und Gestaltungspotenzial einzelner Bauteilfamilien

Zum Gestaltungspotenzial gehört auch die erreichbare Genauigkeit, die bei Massivumformbauteilen vom gewählten Umformverfahren abhängig ist (Bild 2.3).

Umformverfahren	IT-Angaben nach DIN ISO 286 Teil 1											
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Gesenkschmieden						○○○○	○○○○	○○○○	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●
Präzisionsschmieden			○○○○	●●●●	●●●●							
Warmfließpressen						○○○○	○○○○	○○○○	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●
Halbwarmfließpressen					○○○○	○○○○	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●		
Kaltfließpressen		○○○○	○○○○	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●					

●●●● = mit herkömmlichen Fertigungseinrichtungen erreichbar

○○○○ = durch Sondermaßnahmen und in Ausnahmefällen erreichbar

Bild 2.3: Genauigkeit verschiedener Fertigungsverfahren

Das Bild 2.3 zeigt, dass mit einigen Verfahren der Massivumformung Genauigkeiten erreichbar sind, die eher zerspanenden Verfahren zugeschrieben werden.

Das *Belastbarkeitspotenzial* von Massivumformbauteilen ist sehr hoch, weil eine große Anzahl umformbarer Werkstoffe zur Verfügung steht (Bild 2.4), mit denen sich in Verbindung mit den vielfältigen Wärmebehandlungsverfahren ein breites Spektrum von Festigkeit und Zähigkeit einstellen lässt. Dieses große Belastbarkeitspotenzial bietet eine weitere Grundlage für den (stofflichen) Leichtbau.

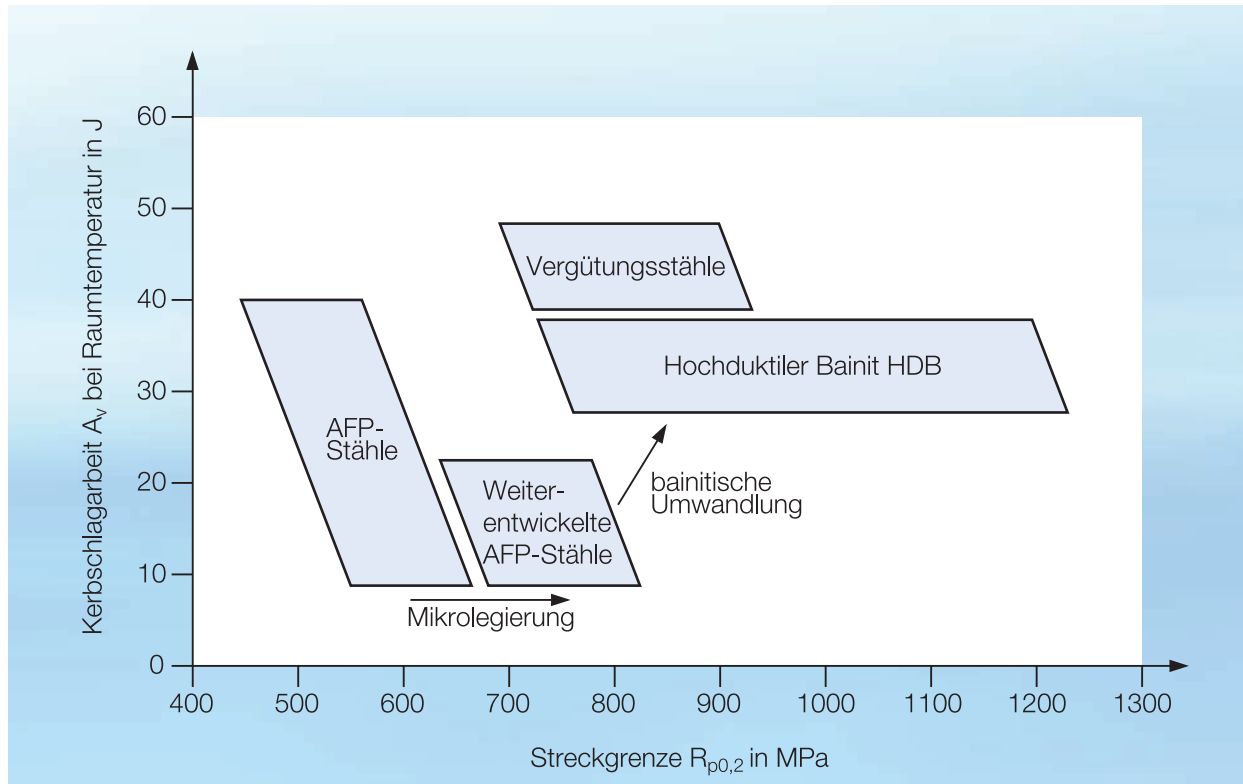


Bild 2.4: Auswahl einiger Werkstoffgruppen der Massivumformung und deren Eigenschaften

Das große *Sicherheitspotenzial* von Massivumformbauteilen resultiert aus den überlegenen Werkstoffeigenschaften. Das gewalzte oder (zum Beispiel bei Aluminium) stranggepresste Ausgangsmaterial ist frei von Innenfehlern, wie zum Beispiel Lunkern, es hat bereits einen gerichteten Faserverlauf, der durch den Umformvorgang nicht unterbrochen wird und häufig nach der Hauptbelastung des Bauteils ausgerichtet werden kann (Bild 2.5). Die Umformwerkstoffe sind duktil, das heißt, bei Überlastung eines Bauteils wird es nicht gleich durch Gewaltbruch versagen, sondern wird sich plastisch verformen, ohne zerstört zu werden, und behält somit in „Crash-Situationen“ eine Restfunktionalität.

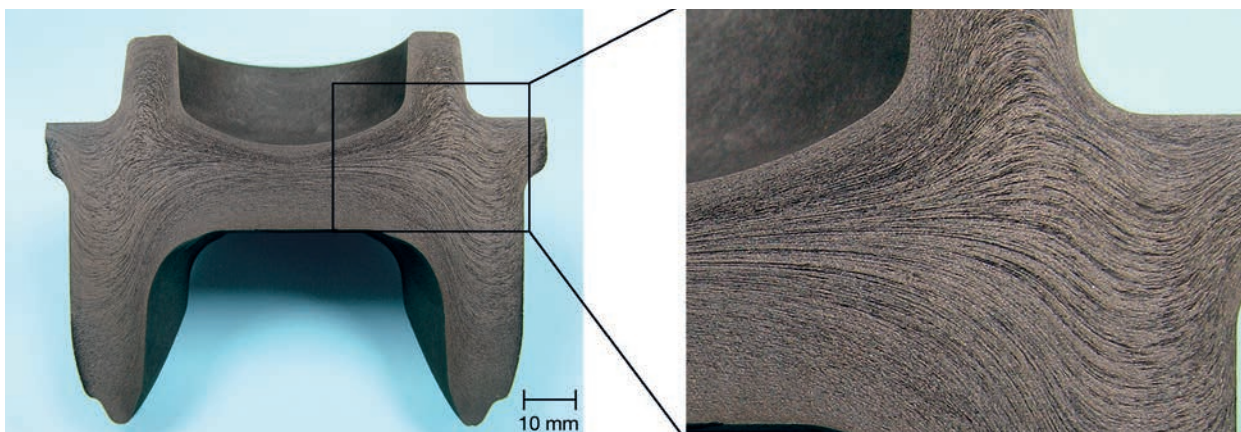


Bild 2.5: Faserverlauf in einem Massivumformbauteil

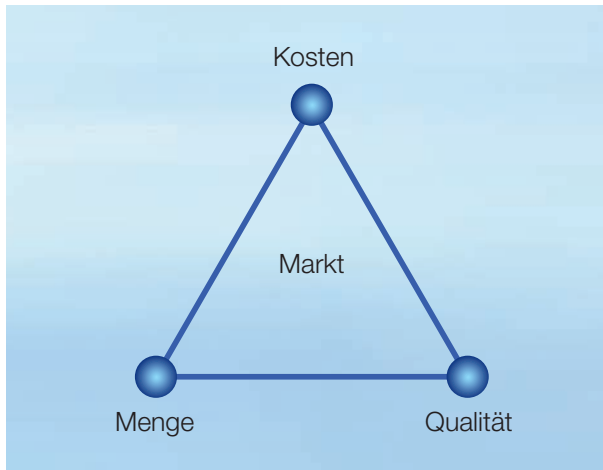


Bild 2.6: Elemente des Marktpotenzials

Das *Marktpotenzial* eines Bauteils wird wesentlich dadurch bestimmt, ob unterschiedlich große Mengen in hoher Qualität und zu vertretbaren Kosten produziert werden können (Bild 2.6).

Das *Kostenpotenzial* der Massivumformprodukte ist groß. Um es zu aktivieren, müssen alle Spielräume von der Bauteilgestaltung, der Werkstoff- und Wärmebehandlungsauswahl bis hin zu den vielfältigen Umformverfahren bauteilspezifisch genutzt werden.

Das *Mengenpotenzial* der Massivumformprodukte reicht von wenigen Stück bis zu Millionen-Serien. Die hohe Produktivität der Massivumformverfahren wirkt sich natürlich bei großen Bauteilbedarfen besonders vorteilhaft aus.

Das hohe *Qualitätspotenzial* der Massivumformprodukte resultiert aus den oben genannten überlegenen Werkstoffeigenschaften, der hohen Prozesssicherheit der Umformverfahren, der guten Prüfbarkeit der hergestellten Bauteile und den hohen Qualitätssicherungsstandards der Produzenten.

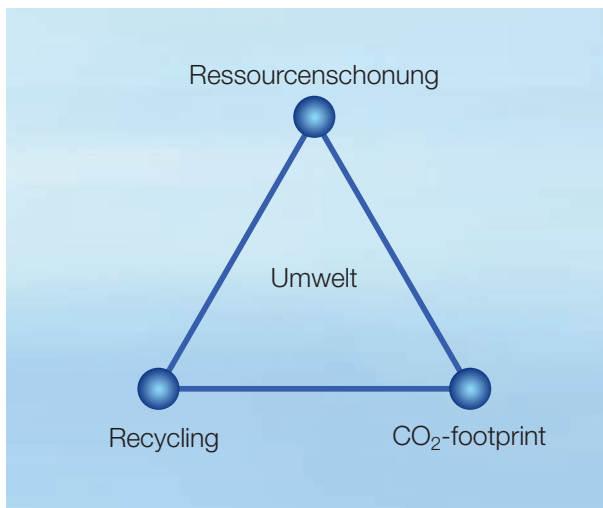


Bild 2.7: Elemente des Umweltpotenzials

Das *Umweltpotenzial* eines Bauteils (Bild 2.7) wird bei knapper werdenden Ressourcen und zunehmenden Umweltproblemen für Hersteller und Nutzer der Bauteile immer wichtiger.

Die *Ressourcenschonung* bei der Bauteilerzeugung steht dabei an erster Stelle. Was nicht verbraucht

wird, benötigt auch keine Ressourcen, muss nicht entsorgt werden und belastet auch nicht die Umwelt. In der Massivumformung sind vor allem die Ressourcen Energie und Rohstoffe besonders bedeutsam. Diese Positionen stehen für die Branche Massivumformung bereits seit geraumer Zeit im Fokus, mit teilweise beachtlichen Erfolgen. Zu nennen sind hier die Verfahrensalternativen Kalt-, Halbwarm- und Warmumformung oder die Nutzung der Prozesswärme zur Wärmebehandlung. Intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf Branchenebene zur Nutzung der Energiepotenziale /Herb10/ und der Materialeffizienz /Herb11/ zeigen die Bedeutung des Themas Ressourcenschonung für die Massivumformung und die verfügbaren Gestaltungsspielräume für die Zukunft.

Das *Recyclingpotenzial* von Massivumformprodukten ist optimal. Alle Massivumformprodukte sind uneingeschränkt recycelbar, im Übrigen auch das überschüssige Produktionsmaterial.

Das *Emissionspotenzial* bei der Herstellung von Massivumformprodukten ist eng verbunden mit der oben genannten Ressourcenschonung und hier insbesondere mit der Materialeffizienz, weil ein Großteil des gesamten Energiebedarfs – und damit des CO₂-Anfalls – bereits bei der Herstellung des zugelieferten Vormaterials anfällt. Insofern hat die Materialeffizienz eine sehr hohe Bedeutung. Zu deren Verbesserung können die Bauteilgestaltung und die vielfältigen, teils alternativen Umformverfahren bauteilspezifisch genutzt und somit das Emissionspotenzial indirekt gehoben werden.

Aufgrund des dargestellten großen Potenzials werden Massivumformbauteile eingesetzt

- zum Übertragen von Kräften, Momenten und Bewegungen,
- bei hohen statischen und dynamischen Belastungen,
- bei großen Verschleiß- und Umfeldbeanspruchungen,
- für raum- und gewichtssparende Konstruktionen,
- bei hohen Ansprüchen an die Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit und
- wenn nachhaltige Ressourcenschonung, Recyclingpotenzial und Umweltschonung mit zur Systemphilosophie gehören.

Diese Kriterien definieren auch die wesentlichen **Einsatzbereiche der Massivumformbauteile**, wie zum Beispiel:

- Pkw-Industrie,
- Nutzfahrzeugindustrie,
- Luftfahrtindustrie,
- Bahnindustrie,
- Energietechnik,
- Armaturenindustrie,
- Maschinenbau,

für die nachfolgend einige exemplarische Beispiele aufgezeigt werden.

Im **Pkw** finden sich Massivumformteile zum Beispiel in

- Motoren,
- Getrieben und
- Fahrwerken.

In Verbrennungsmotoren sind die Bauteile des Kurbel- und Ventiltriebs hohen Belastungen ausgesetzt. Mas-
sivumformbauteile erfüllen die daraus resultierenden Anforderungen.



Bild 2.8: Kurbel- und Ventiltrieb eines PKW-Verbrennungsmotors

Die hohen Drehmomente in den Getrieben heutiger Dieselantriebe können mit hochbelastbaren Massivumformbauteilen übertragen werden. Die Teile sind kalt oder warm umgeformt oder auch kombiniert gefertigt.

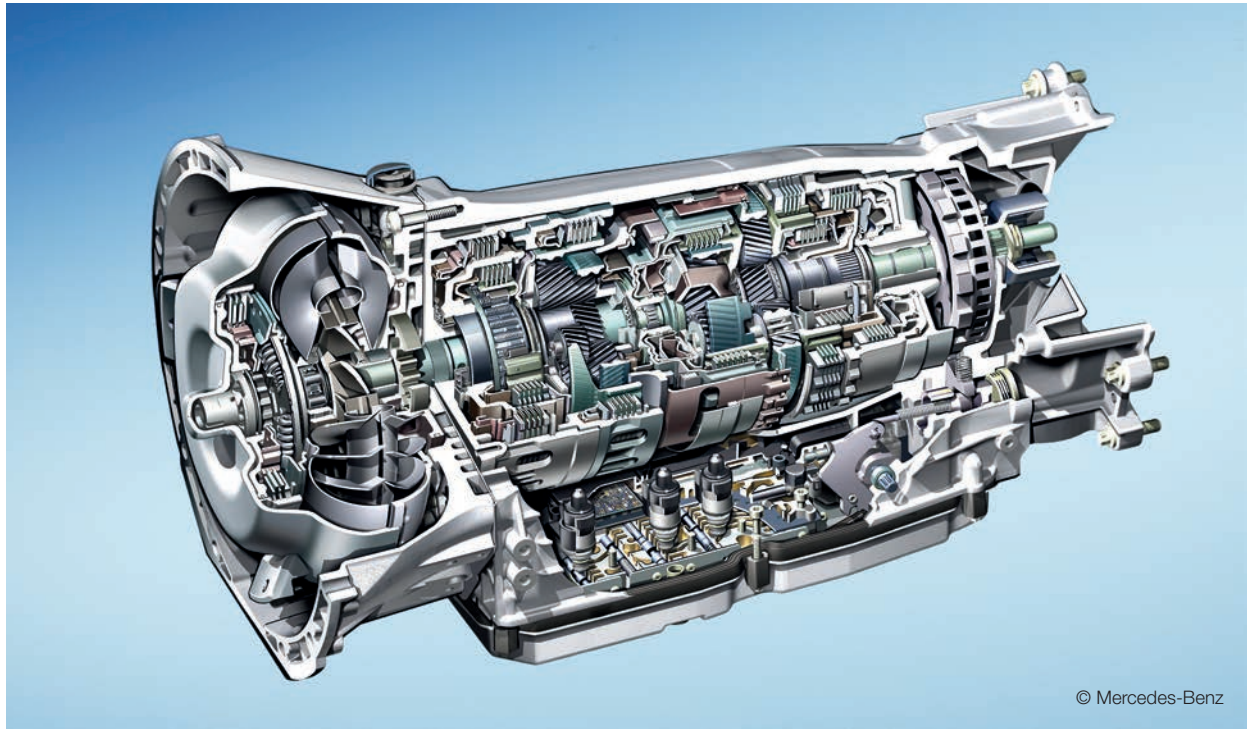


Bild 2.9: Schnitt durch ein Mercedes-Benz „7G-Tronic“ Automatik-Getriebe

Die Bauteile einer Kardanwelle müssen hohe Drehmomente übertragen und zudem wartungsfrei sein.

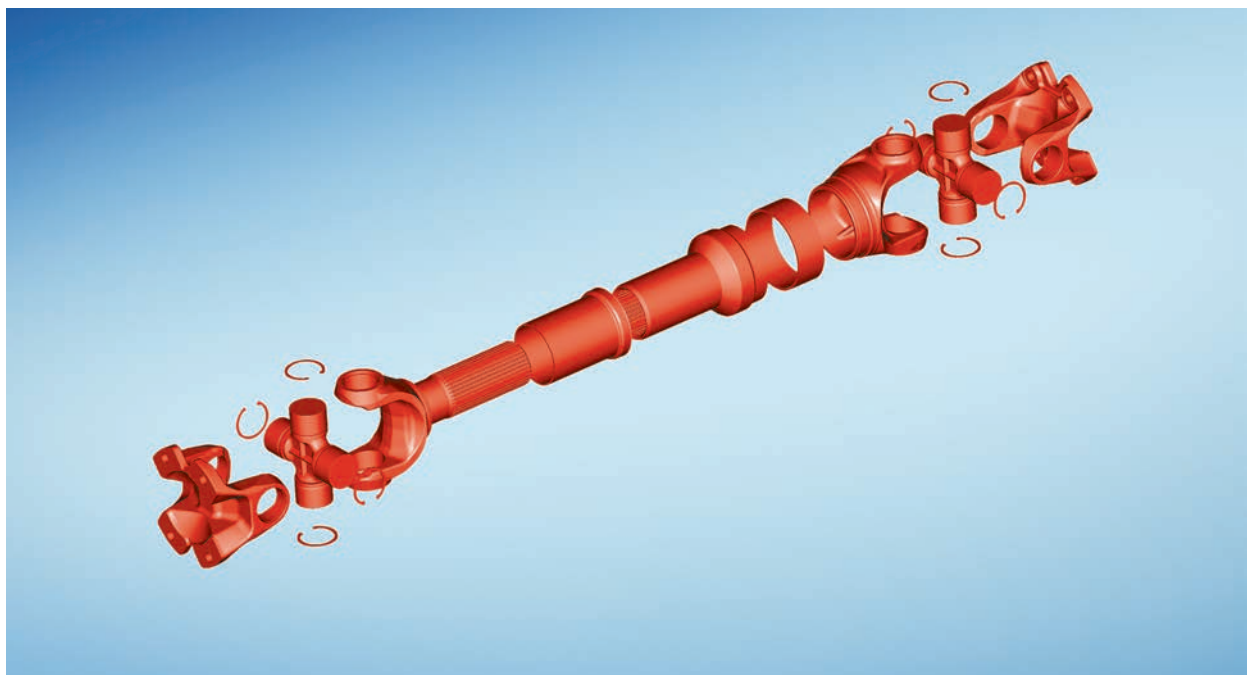


Bild 2.10: Kardanwelle mit massivumgeformten Kreuzgelenken und Gelenkgabeln

Radaufhängungen müssen viele Kriterien bezüglich Fahrdynamik, Fahrkomfort, Bauteilgröße, Gewicht, Modularität (Plattform-Systeme) und Sicherheit erfüllen. Massivumformbauteile erfüllen die hohen Anforderungen an Dauerschwingfestigkeit, Leichtbau und kostengünstige Herstellung.



Bild 2.11: Mercedes-Benz SL-Vorderachse mit Lenksäule

Nfz-Bauteile sind extrem hohen Belastungen ausgesetzt. Zum Beispiel sind Querlenker, Achsschenkel und Radnaben deshalb Massivumformbauteile.



Bild 2.12: Einzelradaufhängung für Busse

Bei schweren **Baumaschinen** können die extremen Beanspruchungen nur durch Massivumformbauteile bewältigt werden. Anwendungsbeispiele sind: Schaufel-Gelenke, Zylinderaugen, Aufreißzähne, Antriebskranz, Kettenführung, Tragrollen, Kettenglieder.



Bild 2.13: Planierraupe

In der **Luftfahrtindustrie** mit ihren sehr hohen Sicherheitsanforderungen kommen Massivumformbauteile neben dem Einsatz in Strahltriebwerken auch an weiteren hochbelasteten Bereichen wie den Tragflächen, den Höhen- und Seitenleitwerken sowie dem Fahrwerk zur Anwendung.

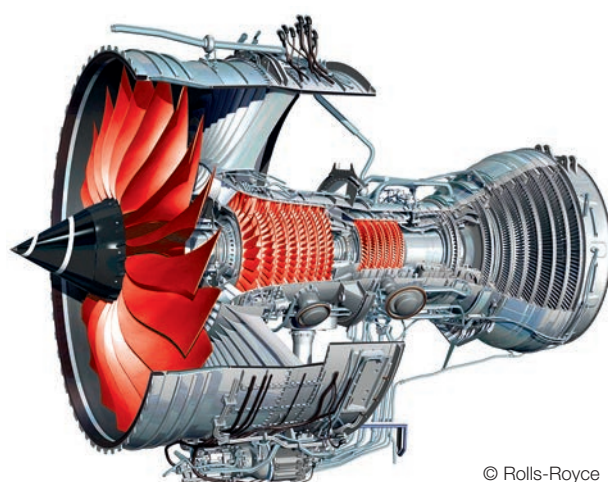


Bild 2.14: Strahltriebwerk eines Hochleistungsflugzeugs

Bei **Schienenfahrzeugen** haben lange Lebensdauer und hohe Sicherheitsanforderungen höchste Priorität. Deshalb sind wichtige Komponenten zum Beispiel von Drehgestellen Massivumformbauteile.

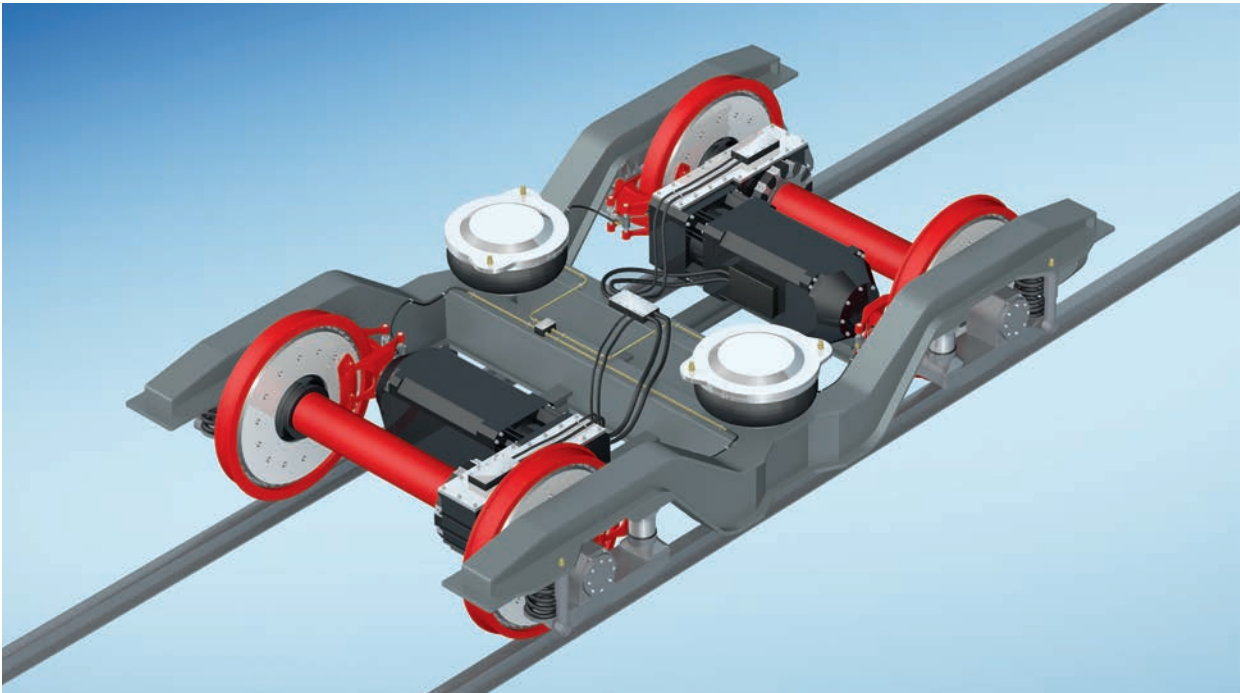


Bild 2.15: Drehgestell einer Elektro-Lokomotive

In der **Energietechnik** spielt die Windenergie zukünftig eine zentrale Rolle. Windkraftanlagen unterliegen extrem hohen statischen und dynamischen Belastungen, müssen hohe Sicherheitsanforderungen erfüllen und bei hoher Lebensdauer sehr zuverlässig sein. Ohne Massivumformteile sind die Anforderungen nicht zu bewältigen.

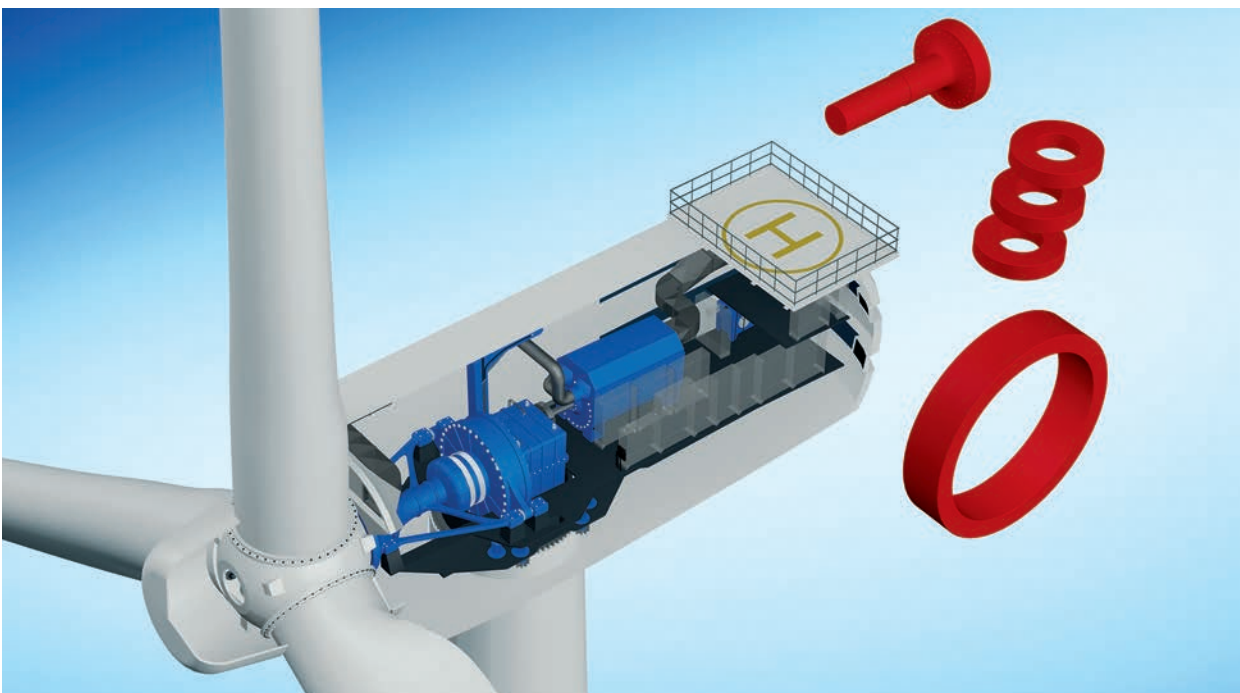


Bild 2.16: Blick in das Maschinenhaus einer modernen Windenergieanlage

In der **Armaturenindustrie** werden Schieber, Ventile und andere Armaturenvarianten beim Transport flüssiger und gasförmiger Medien eingesetzt. Sie müssen druck-, korrosions- und säurebeständig sein. Hier sind zum Beispiel Gehäuse, Flansche, Bügelarme und Bügeldeckel Massivumformteile.



Bild 2.17: Armaturengruppe

Im **Maschinenbau** werden die Dampfturbinen in Kraftwerken mit massivumgeformten Wellen und Turbinenschaufeln aus hochwarmfesten Werkstoffen ausgestattet.

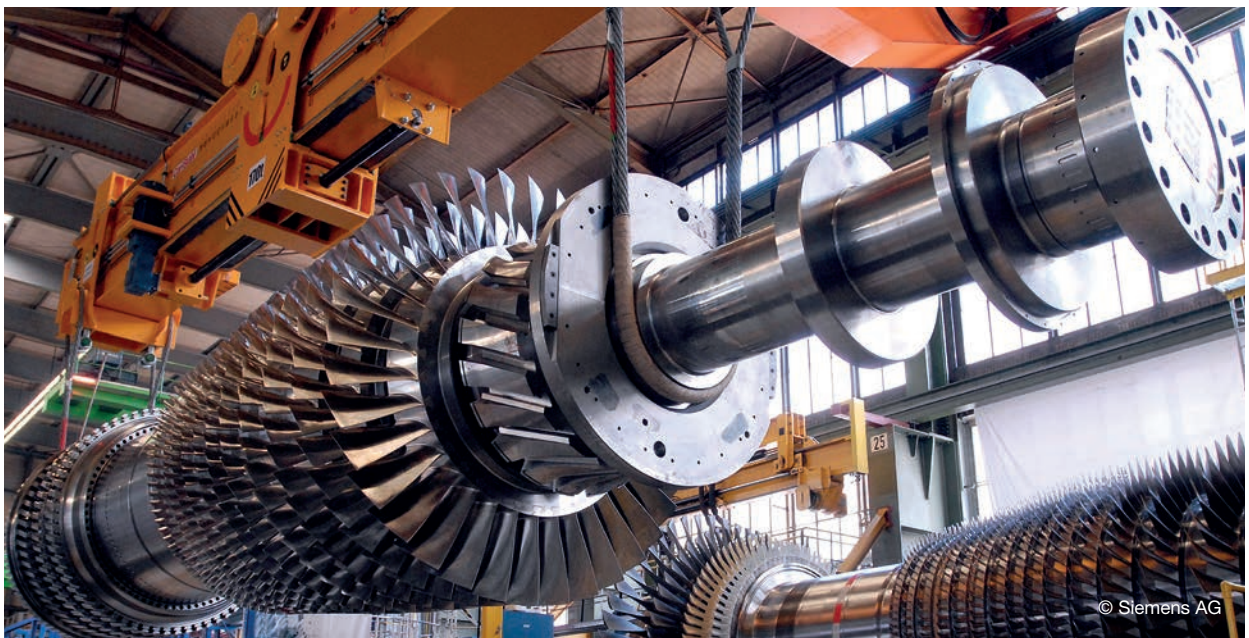
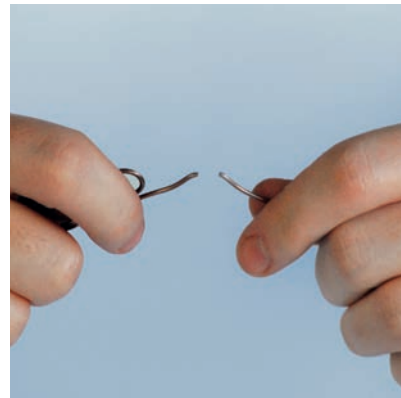


Bild 2.18: Welle und Turbinenschaufeln für Dampfkraftwerke

Die dargestellten Beispiele können nur einen kleinen Ausschnitt aus der großen Formenvielfalt und den vielfältigen Anwendungsbereichen aufzeigen; sie erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Sie sollen aber deutlich machen, dass in vielen technischen Hochleistungssystemen an zentralen Stellen Massivumformteile – meist unsichtbar – wichtige Funktionen sicher und zuverlässig erfüllen.

3 Grundlagenverständnis zum Umformen von Metallen

Metallische Werkstoffe lassen sich unter Einwirkung einer äußeren Kraft elastisch und plastisch verformen. Bei der elastischen Verformung wird nach Rücknahme der Kraft die ursprüngliche Form wieder eingenommen, bei der plastischen Verformung bleibt die dabei eingenommene Form dauerhaft erhalten. Das Biegen eines Drahts ist ein typisches Beispiel dafür. Wird der Draht jedoch mehrfach plastisch hin und her gebogen, bricht er; sein Umformvermögen ist überschritten.



Bruch

Diese metallischen Eigenschaften lassen sich durch Versuche ermitteln. Wird beispielsweise bei einem Zugversuch die zur Verformung benötigte Spannung über der Dehnung in einem Diagramm aufgetragen, dann erkennt man die für die metallischen Werkstoffe verschiedenen charakteristischen Bereiche (Bild 3.1):

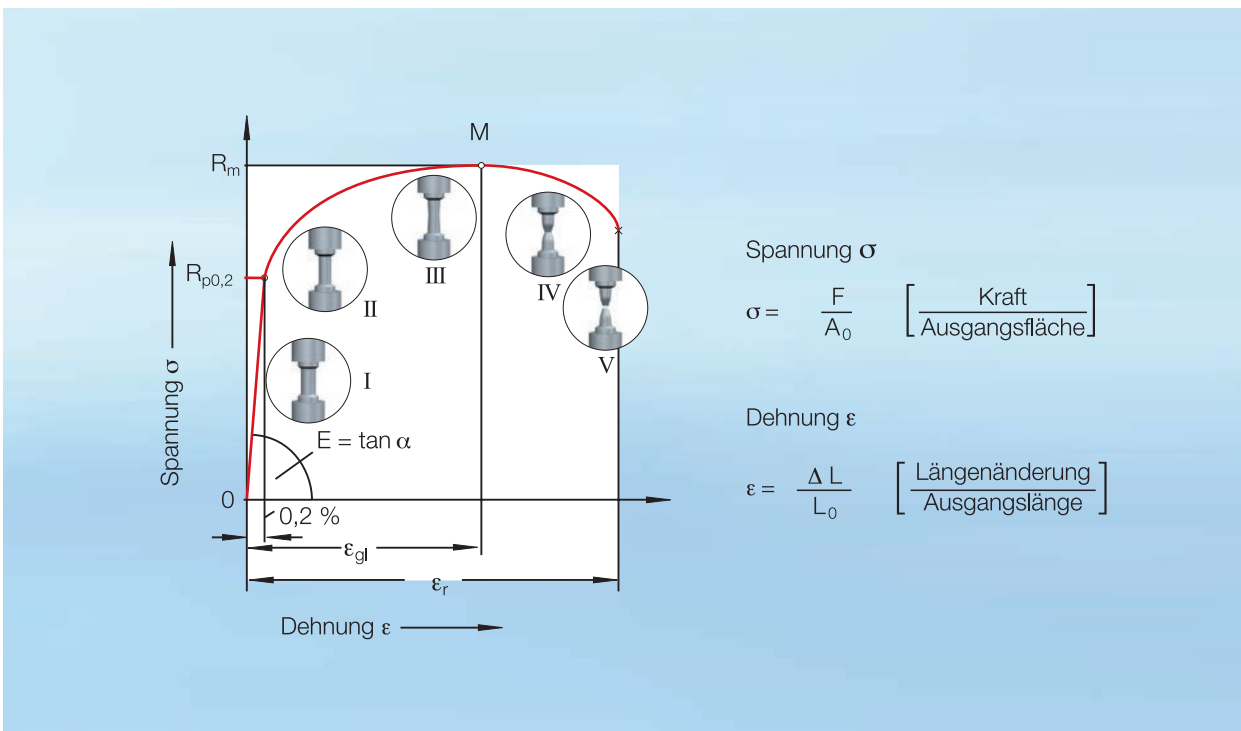


Bild 3.1: Schematisches Spannungs-/Dehnungsdiagramm

I. Elastischer Bereich:

Nach der Entlastung findet der Körper seinen Ausgangszustand wieder, auch bei beliebig häufiger Be- und Entlastung.

II. Übergangsbereich:

Einige Bereiche des Körpers befinden sich schon im plastischen, andere noch im elastischen Zustand.

III. Plastischer Bereich:

Der gesamte Körper befindet sich im plastischen Zustand. Mit zunehmender Verformung wird der Werkstoff fester, bis zu einer maximalen Spannung.

IV: Instabiler plastischer Bereich:

Die gesamte Verformung konzentriert sich nur noch auf einen engen Bereich des Probenvolumens (Einschnürung), bis der Werkstoff an seine Versagensgrenze kommt.

V: Bruch/Versagen:

Die Grenze der Umformbarkeit des Werkstoffs ist erreicht, die Werkstoffprobe zerreißt.

Die charakteristischen Bereiche und die Werkstoffeigenschaften werden durch Werkstoffkennwerte spezifiziert (Tabelle 3.1).

Werkstoffeigenschaft	Werkstoffkennwert	Formelzeichen	Einheit
Steifigkeit	Elastizitätsmodul	E	MPa
Festigkeit	Dehngrenze	$R_{p0,2}$	MPa
	Zugfestigkeit	R_m	MPa
Duktilität	Gleichmaßdehnung	ϵ_{gl}	%
	Bruchdehnung	ϵ_r	%
Härte		HV, HR, HB	–
Dichte		ρ	g/cm ³

Tabelle 3.1: Werkstoffeigenschaften und -kennwerte

Idealerweise hat ein Werkstoff eine hohe *Zugfestigkeit* und eine ebenfalls hohe *Bruchdehnung* (*Duktilität*), was aber bei technischen Werkstoffen eher die Ausnahme ist, sondern

- **Werkstoffe mit höherer Festigkeit haben eine geringere Duktilität,**
- **Werkstoffe mit geringerer Festigkeit haben eine höhere Duktilität.**

3.1 Metallphysikalische Grundlagen

Das in Bild 3.1 dargestellte Verhalten der Metalle begründet sich durch den mikroskopischen Aufbau. Stellt man durch Schleifen und Polieren von Metallflächen sogenannte „Schliffe“ her, die nach entsprechender Ätzung unter dem Mikroskop betrachtet werden, so erkennt man, dass das Metall aus einer Vielzahl einzelner *Körner* besteht, die an den *Korngrenzen* zusammenstoßen (Bild 3.2).

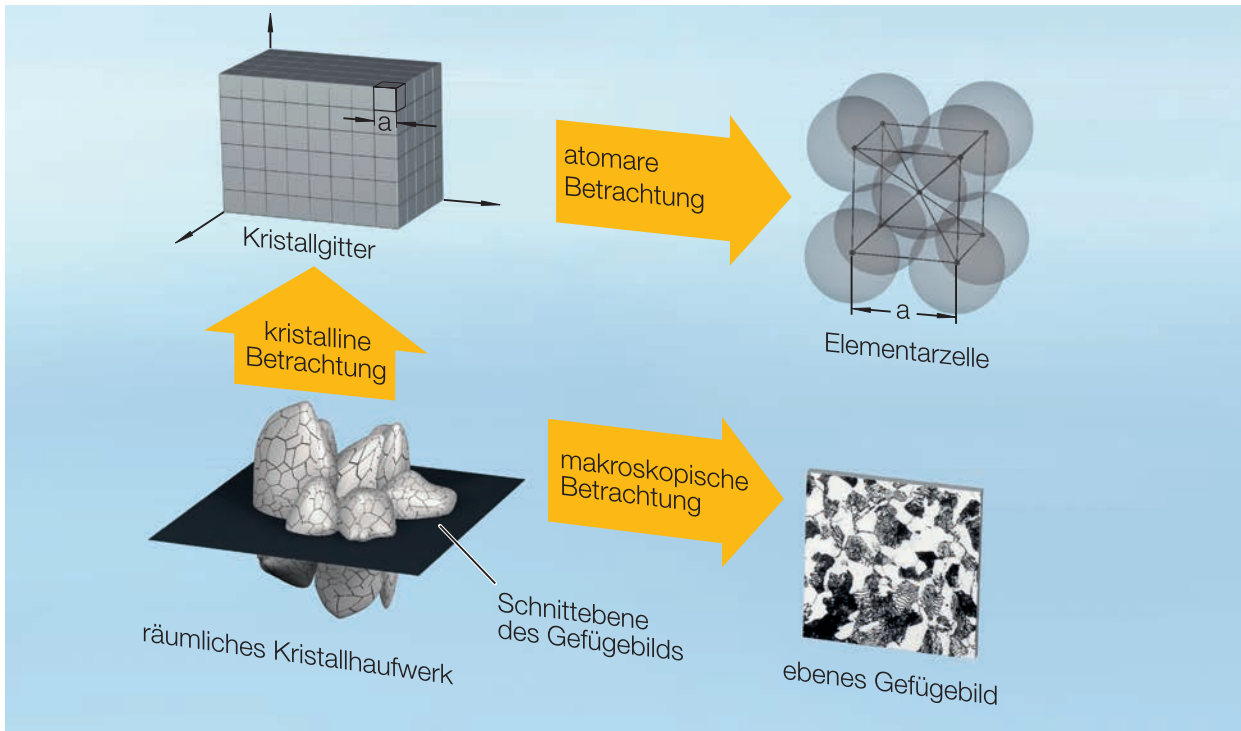


Bild 3.2: Makroskopische und atomare Betrachtung des Metallaufbaus

Die einzelnen Körner sind kristallin aufgebaut und werden daher auch *Kristallite* genannt. Die Anordnung der Körner, einschließlich der Korngrenzen und der Gitterbaufehler, wird als *Gefüge* bezeichnet. Bei kristallinen Werkstoffen sind die Atome so angeordnet, dass sich ihre Abstände periodisch im Raum wiederholen. Diese regelmäßige Atomanordnung wird *Kristallgitter* genannt. Die Atomanordnung des Kristallgitters wird jeweils durch eine *Elementarzelle* gekennzeichnet. Die Elementarzelle ist der kleinste räumliche Baustein einer Kristallgitterstruktur. Bei den technisch wichtigen Metallen und Legierungen sind im Allgemeinen drei Kristallgitter vorzufinden (Bild 3.3.):

- das kubisch-raumzentrierte Gitter (krz),
- das kubisch-flächenzentrierte Gitter (kfz),
- das hexagonale (dichtest gepackte) Gitter (hdp).

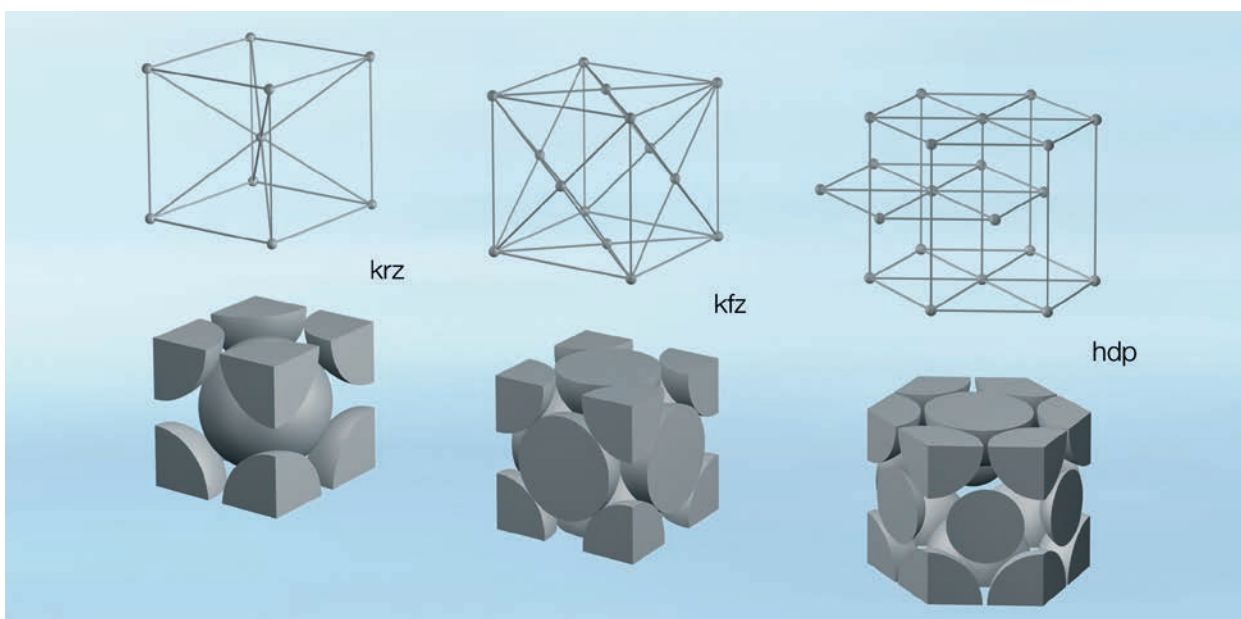


Bild 3.3: Elementarzellen der wichtigsten Kristallsysteme bei Metallen

Die einzelnen Atome des Kristallgitters werden durch *Bindungskräfte* zusammengehalten.

Der bisher dargestellte atomare Aufbau der Metalle entspricht einem Idealzustand, das heißt der atomare Aufbau ist vollkommen regelmäßig und fehlerfrei. Tatsächlich enthält jeder Kristallit *Gitterbaufehler*, die bei der Erstarrung aus der Schmelze entstehen. Wichtige Gitterbaufehler sind zum Beispiel Korngrenzen, Leerstellen, Fremdatome oder Versetzungen (Bild 3.4).

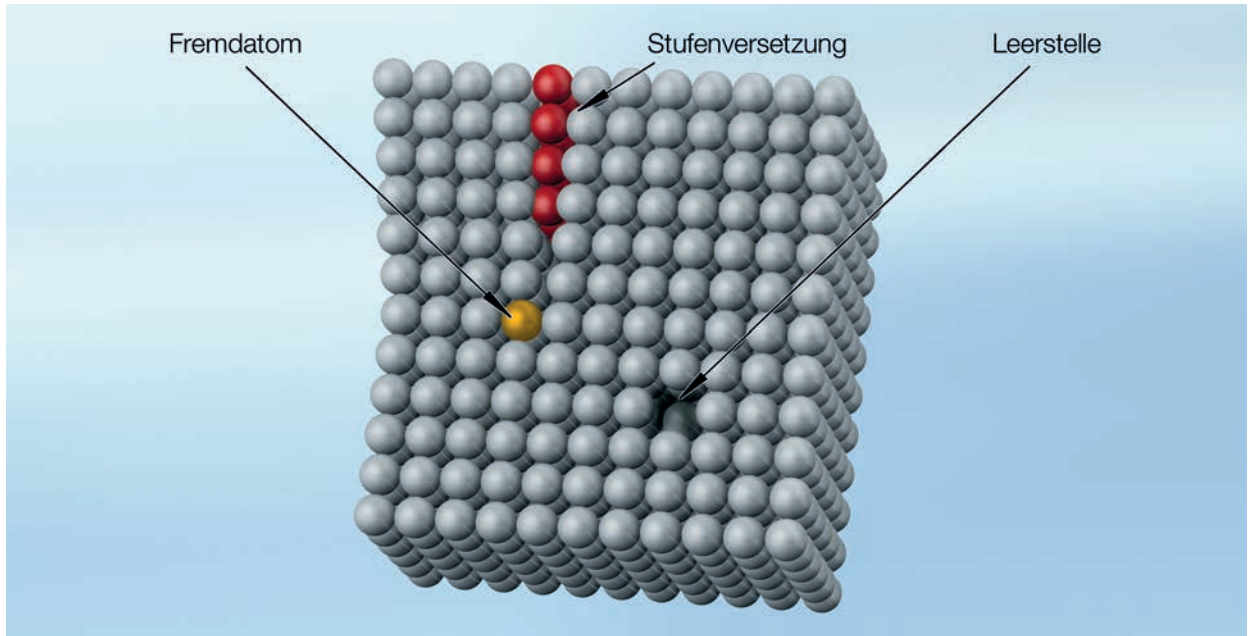


Bild 3.4: Realer Aufbau der Kristallite

3.2 Einfluss der Umformung

Jeder plastischen Verformung geht eine elastische Verformung voraus.

Die *elastische Verformung* γ eines Metalls entsteht durch Einwirken äußerer Kräfte F , wodurch die Atome zwar aus ihrer ursprünglichen Gleichgewichtslage wegbewegt werden, aber ein Abgleiten von Atomenebenen erfolgt nicht. Sobald die äußeren Kräfte wieder entfernt werden, bewegen sich alle Atome wieder zu ihrem ursprünglichen Platz zurück (reversible Verformung) (Bild 3.5).

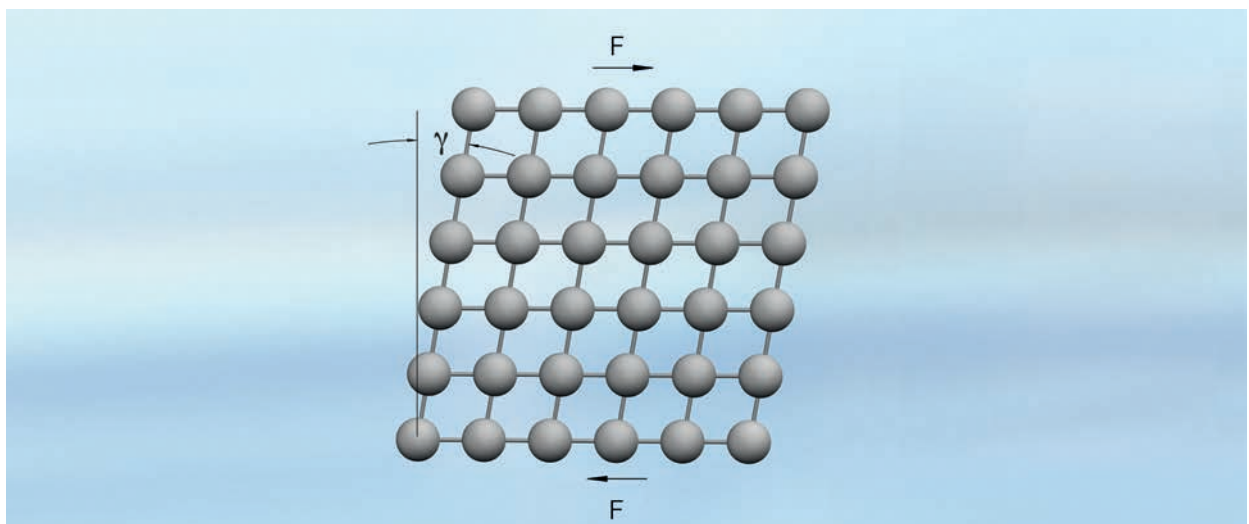


Bild 3.5: Elastische Verformung

Die *plastische Verformung* eines Metalls muss man sich als eine Vielzahl nicht mehr umkehrbarer mikroskopischer Abgleitvorgänge von Atomschichten in bevorzugten Ebenen (den sog. *Gleitebenen*) und in bevorzugten Richtungen (*Gleitrrichtungen*) der Elementarzellen vorstellen (irreversible Verformung). Jede Elementarzelle verfügt über eine unterschiedliche Anzahl von Gleitebenen und Gleitrrichtungen. Je mehr Gleitebenen und Gleitrrichtungen vorhanden sind, umso einfacher lässt sich das Metall verformen.

Während dieser Abgleitvorgänge wandern die Versetzungen durch den Kristall (Bild 3.6).

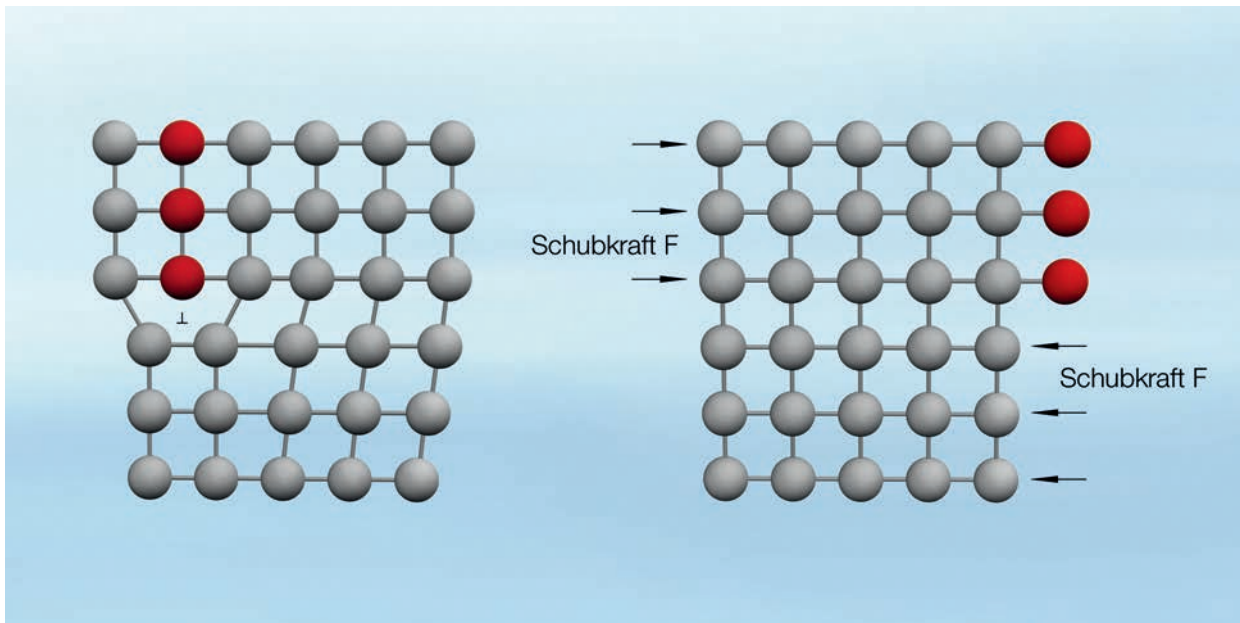


Bild 3.6: Plastische Verformung durch Versetzungswanderung

Mit zunehmender Verformung werden weitere Versetzungen erzeugt, die untereinander in Wechselwirkung treten und an Hindernissen (zum Beispiel Korngrenzen) blockiert werden, sodass für die weitere Verformung immer größere Kräfte/Spannungen benötigt werden. Der Mechanismus der zunehmenden Abgleitbehinderung zeigt sich im Spannungs-/Dehnungsdiagramm (Bild 3.1, Bereich II + III) als *Verfestigung* des Metalls.

Die zunehmende Abgleitbehinderung führt sozusagen zu einer Versprödung des Metalls; ab einer bestimmten Verformung ist dann die *Grenzformänderung* erreicht, weil durch die äußeren Kräfte der Atomverbund aufgelöst wird, das heißt das Material bricht.

Die Größe der Grenzformänderung hängt einerseits vom Material selbst, ganz wesentlich aber auch vom Spannungszustand ab, dem das Material ausgesetzt ist. Je weiter der Spannungszustand im Druckbereich liegt, umso höher ist die Grenzformänderung, und umso weiter lässt sich ein Material ohne Schädigung verformen. Diese Eigenschaft machen sich die Massivumformverfahren zunutze. Denn die meisten *Massivumformverfahren sind Druckumformverfahren*, bei denen die zur Einleitung und Aufrechterhaltung der plastischen Verformung erforderlichen Spannungen eben Druckspannungen sind.

3.3 Einfluss der Temperatur

Die bisher erläuterten Eigenschaften der Metalle gelten vornehmlich bei Raumtemperatur oder niedriger Temperatur. Wenn dem Metall Energie zugeführt wird, dann steigt die Temperatur an und das Material ändert seine Eigenschaften:

- Mit steigender Temperatur sinkt die Festigkeit/Fließspannung k_f des Materials (Bild 3.7), weil die Wanderung der gleitfähigen Versetzungen bei der Überwindung von Hindernissen thermisch aktivierbar ist.
- Ab einer materialabhängigen Grenze der Temperatur wird das *Formänderungsvermögen/ die Bruchformänderung* φ_B (Bild 3.7) aufgrund von Erholungs- und Rekristallisationsvorgängen ansteigen.

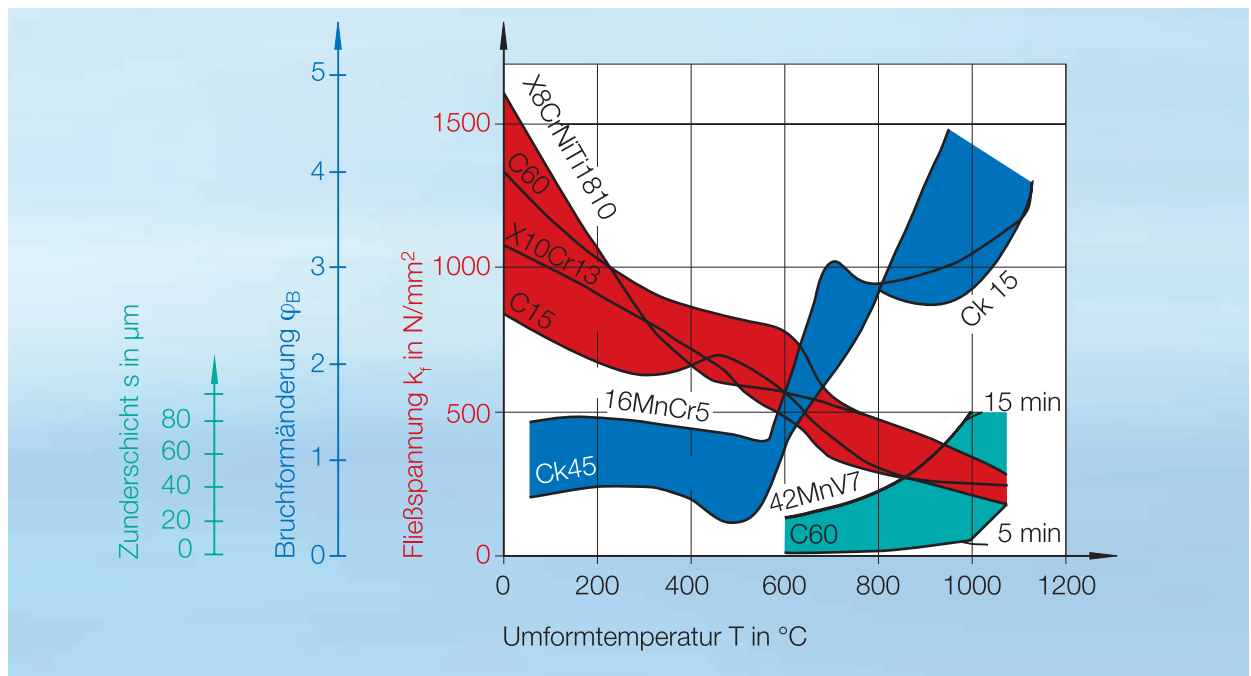


Bild 3.7: Temperatureinfluss auf die Materialeigenschaften ausgewählter Stähle

Diese Eigenschaften der Metalle nutzt man bei der *Warmumformung* aus: Die Warmumformung zeichnet sich gegenüber der *Kaltumformung* durch eine niedrige Fließspannung und damit niedrige Umformkräfte sowie durch ein hohes Formänderungsvermögen der Werkstoffe aus. Diesen Vorteilen stehen aber auch Nachteile entgegen, wie zum Beispiel:

- Bei Eisenwerkstoffen findet ab einer materialabhängigen Grenze der Temperatur an der Oberfläche eine Reaktion des Luftsauerstoffs mit dem Material statt mit der Folge, dass ein Oxidationsprodukt entsteht, das man *Zunder* nennt (Bild 3.7).
- Die Oberfläche hat bei der Warmumformung eine höhere Rauheit als bei der Kaltumformung.
- Während der Abkühlung von der Umform- auf die Raumtemperatur erfolgt eine Form- und Maßänderung der Bauteile als Folge der thermischen Schwindung der Metalle.

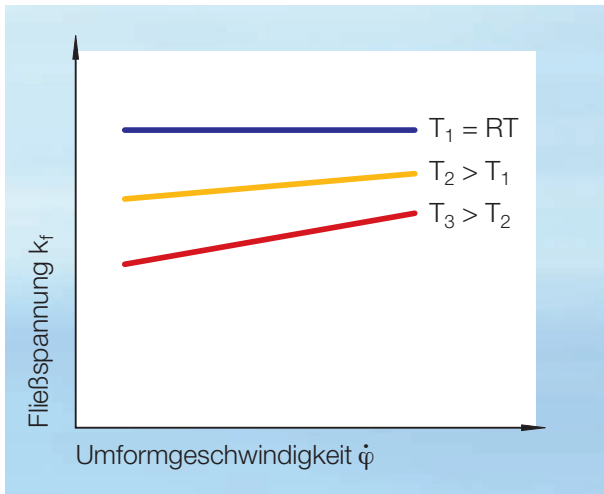


Bild 3.8: Abhängigkeit der Fließspannung von der Umformgeschwindigkeit (schematisch); RT: Raumtemperatur

3.4 Einfluss der Umformgeschwindigkeit

Bei hoher Temperatur finden Erholungs- und Rekristallisationsvorgänge im Material statt. Die damit einhergehende Änderung der Versetzungsanordnung führt wieder zu einer Entfestigung des Materials. Dieser Vorgang erfordert aber Zeit, die mit steigender *Umformgeschwindigkeit* verringert wird. Das bedeutet, dass mit zunehmender Umformgeschwindigkeit immer weniger Zeit für Erholungs- und Rekristallisationsvorgänge zur Verfügung steht und somit bei der Warmumformung *eine geschwindigkeitsabhängige Fließspannung des Materials* vorhanden ist (Bild 3.8).

3.5 Einflüsse auf die Fließkurve

Die Fließkurve ist das makroskopische Abbild der beschriebenen mikroskopischen Effekte bei der Umformung von Metallen. Die Fließkurve beschreibt das charakteristische Verhalten von Metallen bei der Umformung; sie wird zum Beispiel in einem einachsigen homogenen Zug- oder Druckversuch für jeden Werkstoff experimentell ermittelt.

Im Gegensatz zum Spannungs-/Dehnungsdiagramm (Bild 3.1) verwendet man für die Fließkurve die wahre Spannung k_f , auch *Fließspannung* oder *Formänderungsfestigkeit* genannt und eine wahre Dehnung, auch *Umformgrad* φ genannt, die wie folgt definiert sind:

$$k_f = \frac{F}{A} \quad \varphi = \ln \frac{h}{h_0}$$

Hierin bedeuten:

- F: die aktuelle gemessene Kraft
- A: der aktuelle Querschnitt der Probe
- h: die aktuelle Höhe/Länge der Probe
- h_0 : die Höhe/Länge der Probe vor der Umformung

Die Formänderungsgeschwindigkeit ergibt sich dann aus:

$$\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt}$$

Die oben geschilderten metallphysikalischen Effekte lassen schlussfolgern, dass die Fließspannung/Formänderungsfestigkeit für jeden Werkstoff in einem funktionalen Zusammenhang zum Umformgrad, zur Umformgeschwindigkeit und zur Temperatur steht, also:

$$k_f = f(\varphi, \dot{\varphi}, T)$$

Der für metallische Werkstoffe typische funktionale Zusammenhang zwischen der Fließspannung und den Prozessparametern ist in Bild 3.9 schematisch dargestellt.

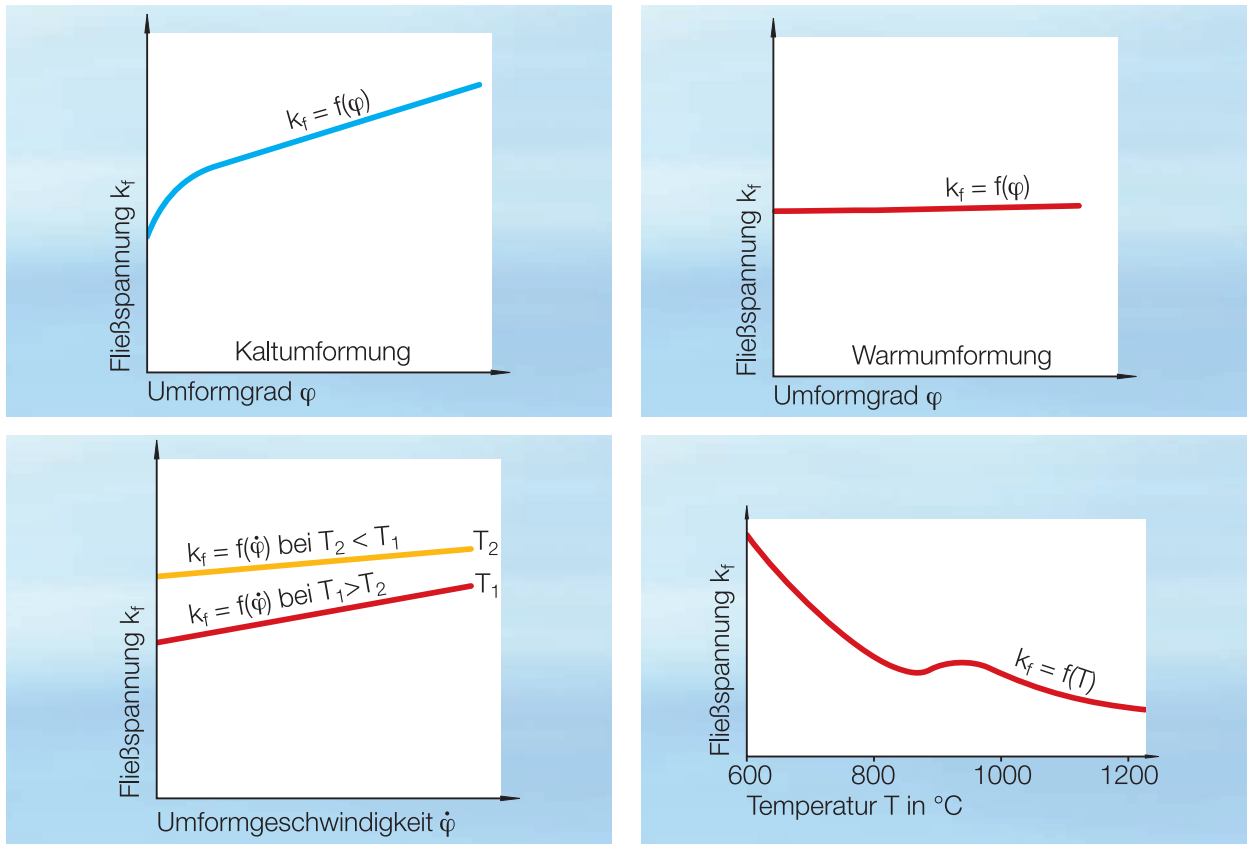


Bild 3.9: Schematische Darstellung von k_f als Funktion von Umformgrad, Umformgeschwindigkeit und Temperatur

Die Kenntnis des funktionalen Zusammenhangs von $k_f = f(\varphi, \dot{\varphi}, T)$ ist eine grundsätzliche Voraussetzung für die Anwendung der analytischen und numerischen Berechnungsverfahren der Umformtechnik.

3.6 Einordnung der Verfahren in Warm-, Kalt-, Halbwarmumformung

Die Einordnung der Verfahren in Warm-, Kalt-, Halbwarmumformung erfolgt nach der Temperatur der Werkstücke unmittelbar vor dem ersten Umformvorgang.

Bei der *Warmumformung* von Stahlwerkstoffen erfolgt der Umformvorgang bei circa $1.100^\circ\text{C} - 1.300^\circ\text{C}$, also einer Temperatur, bei der Erholungs- und Rekristallisationsvorgänge während und nach der Umformung stattfinden. Wesentliche Merkmale der Warmumformung sind:

- Hoher Energiebedarf für die Erwärmung (gegebenenfalls nutzbar für die Wärmebehandlung),
- geringer Kraft- und Energiebedarf für die Umformung,
- für nahezu alle metallischen Werkstoffe geeignet,
- sehr großes Umformvermögen der Werkstoffe,
- deutliche Zunderbildung bei vielen Stählen,
- die Oberflächen haben eine hohe Rauheit,
- Form- und Maßänderungen durch thermische Schwindung, die durch die Werkzeuggeometrie in Form eines Aufmaßes kompensiert werden.

Bei der Warmumformung von Aluminium entfallen die Punkte Zunderbildung und erhöhte Rauheit.

Bei der *Kaltumformung* von Stahlwerkstoffen erfolgt der Umformvorgang bei Raumtemperatur. Wesentliche Merkmale der Kaltumformung sind:

- Kein Energiebedarf für die Erwärmung,
- großer Kraft- und Energiebedarf für die Umformung,
- nur für Werkstoffe mit einem Kohlenstoffgehalt unter 0,5 % und weniger als 5 % Legierungsbestandteilen geeignet,
- geringes Umformvermögen der Werkstoffe,
- eingeschränkte geometrische Gestaltungsfreiheit,
- gegebenenfalls kann die Kaltverfestigung genutzt werden,
- keine Zunderbildung,
- die Oberflächen haben eine geringe Rauheit,
- hohe Form- und Maßgenauigkeit, bis hin zu einbaufertigen Funktionsflächen,
- spezifische Vorbehandlung des Ausgangsmaterials bezüglich Gefügeeigenschaften und Oberfläche erforderlich.

Die *Halbwarmumformung* von Stahlwerkstoffen kombiniert die Vorteile der Kalt- und Warmumformung, indem eine werkstoffspezifische Umformtemperatur gewählt wird, bei der die Fließspannung bereits merklich abgefallen ist, das Formänderungsvermögen schon merklich zugenommen hat, aber die Zunderbildung noch nicht oder noch nicht wesentlich eingesetzt hat. Technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist der Temperaturbereich von circa 600 °C – 950 °C, wobei im Bereich der höheren Temperatur ein Graphitieren des Ausgangsmaterials empfehlenswert ist, um einen Oxidationsschutz bei der Erwärmung zu erreichen. Wesentliche Merkmale der Halbwarmumformung sind:

- Mittlerer Energiebedarf für die Erwärmung,
- mittlerer Kraft- und Energiebedarf bei der Umformung,
- höherlegierte Werkstoffe als bei der Kaltumformung einsetzbar,
- höheres Umformvermögen der Werkstoffe als bei der Kaltumformung,
- höhere geometrische Gestaltungsfreiheit als bei der Kaltumformung,
- geringe Zunderbildung,
- bessere Oberflächenqualität als bei der Warmumformung,
- höhere Form- und Maßgenauigkeit als bei der Warmumformung.

Eine generelle Empfehlung für die Warm-, Kalt- oder Halbwarmumformung kann nicht gegeben werden. Jedes Verfahren hat seine spezifischen Vor- und Nachteile. Eine technisch und wirtschaftlich sinnvolle Auswahl eines jeweiligen Verfahrens kann nur bauteilspezifisch erfolgen, unter Berücksichtigung der Bauteilgeometrie und der gewünschten Form- und Maßgenauigkeit, des verwendeten Werkstoffs und der mechanischen Eigenschaften des Bauteils sowie der Produktionsmenge.

4 Werkstoffe für die Massivumformung

Für die Massivumformung eignen sich bis auf wenige Ausnahmen alle Metalle und Metall-Legierungen, allerdings unterschiedlich gut. Ganz wesentlichen Einfluss auf das Umformverhalten hat neben der Werkstoffgruppe die Umformtemperatur.

Für die Warmmassivumformung verfügt zum Beispiel die große Gruppe der Baustähle über ein sehr hohes Umformvermögen bei geringem Kraft- und Arbeitsbedarf für die Umformung, bei den Nickel- und Cobalt-Legierungen verhält sich das genau umgekehrt (Bild 4.1).

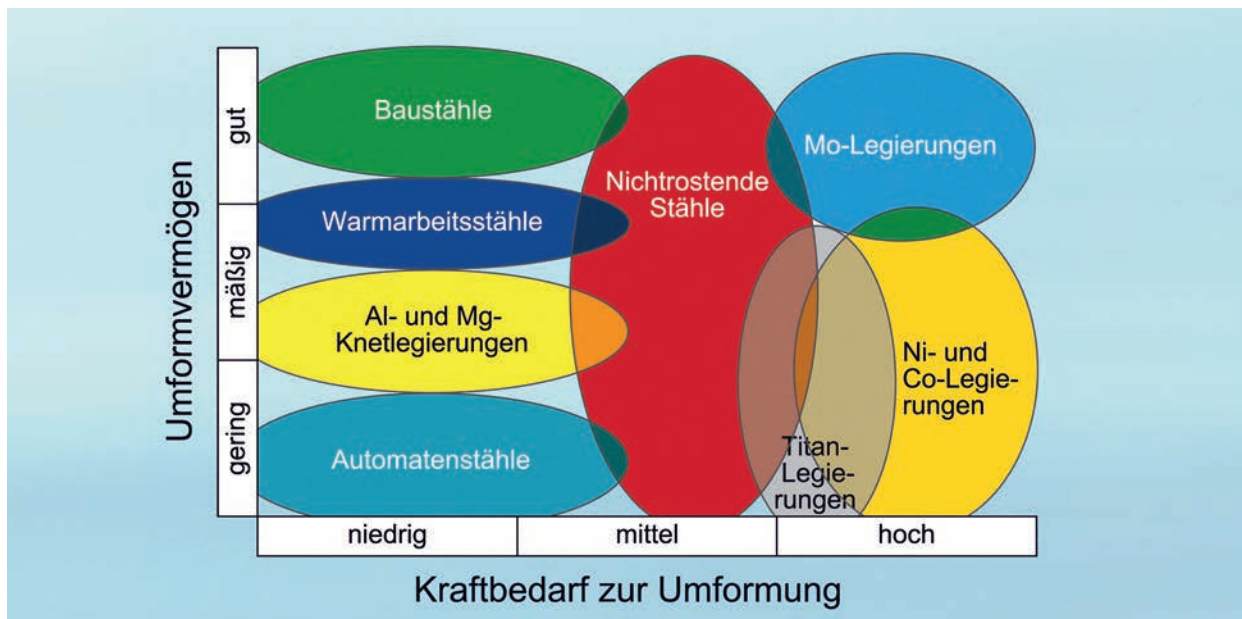


Bild 4.1. Umformeigenschaften ausgewählter Werkstoffgruppen

Für die Kaltmassivumformung sind nur Stahlsorten geeignet, deren Kohlenstoffgehalt auf circa 0,5 % und die Legierungsbestandteile auf circa 5 % beschränkt sind. Auch innerhalb dieser Grenzen ist das Umformvermögen deutlich geringer als bei der Warmumformung.

Für die Halbwarmumformung eignen sich, mit Ausnahme der AFP- und rostfreien Stähle, prinzipiell alle Stahllegierungen. Auch hier ist das Umformvermögen geringer als bei der Warmumformung.

Bei den NE-Metallen (Nichteisenmetalle) stellen die Aluminiumlegierungen den größten Anteil. Weitere NE-Metalllegierungen wie zum Beispiel Kupfer-, Titan- oder Nickelbasislegierungen werden für Sonderfälle eingesetzt.

Anders als in Bild 4.1, wo die verschiedenen Werkstoffe hinsichtlich ihres Verhaltens während der Umformung gruppiert wurden, werden nachfolgend die Werkstoffe entsprechend der Normung bzgl. ihrer Eigenschaften und typischen Einsatzgebiete vorgestellt.

4.1 Stahlwerkstoffe

Die wichtigste Werkstoffgruppe für die Massivumformung bilden – bezogen auf die Einsatzgebiete und das Produktionsvolumen – die Stahlwerkstoffe. In Kombination mit den verschiedenen Wärmebehandlungsverfahren (Kapitel 6.7) lässt sich hiermit ein sehr breites Spektrum von Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften einstellen (Bild 4.2).

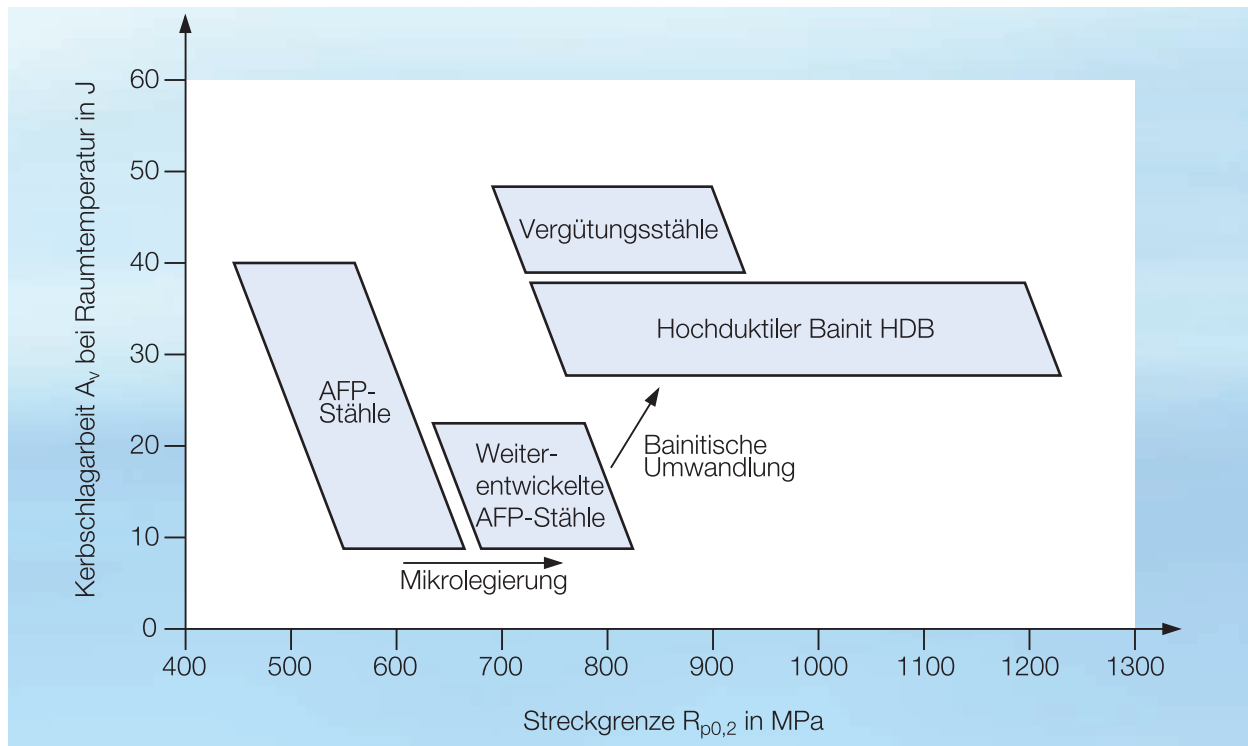


Bild 4.2: Spektrum der Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften von Stählen der Massivumformung

Die Entwicklung des Werkstoffs Stahl für massivumgeformte Bauteile wird kontinuierlich fortgeführt. Es werden mittels neuer Legierungen und Prozessrouten verbesserte Eigenschaftsprofile entwickelt, die zu Kostensenkungen oder einer Steigerung der Leistungsfähigkeit für bestimmte Anwendungen führen. Hierbei werden sowohl die bekannten Stahlgruppen wie zum Beispiel die Vergütungs- oder AFP-Stähle weiter optimiert als auch neue Stahlgruppen wie zum Beispiel die bainitischen Stähle entwickelt. Einige für die Massivumformung wesentliche Stahlgruppen sind im Folgenden aufgeführt /Raed12/, /Hivo10/.

4.1.1 Unlegierte Kohlenstoffstähle (DIN EN 10250-2)

Werden von einem Umformteil keine besonderen mechanischen Eigenschaften gefordert, so empfiehlt sich der Einsatz eines unlegierten Kohlenstoffstahls. Typische Vertreter sind hier C35 oder C45. Bei niedrigem Kohlenstoffgehalt können diese Stähle je nach Bauteilgeometrie kalt umgeformt werden. Wird eine etwas höhere Festigkeit gewünscht, kann der Kohlenstoffgehalt angehoben werden, wobei dann höhere Verarbeitungstemperaturen (halbwarm oder warm) angezeigt sind.

4.1.2 Einsatzstähle (DIN EN 10084)

Der Name dieser Stähle rührt vom „Einsetz“-Vorgang beim anschließenden Einsatzhärten her. Dabei wurden in früheren Zeiten die Bauteile in Kohlepulver eingesetzt und darin geglüht. Heute wird der Kohlenstoff bevorzugt gasförmig dem Einsatzhärteofen zugeführt (Kapitel 6.7.10). Die Einsatzstähle ermöglichen ein Härten der Oberfläche, ohne die Zähigkeit des Bauteilkerns zu reduzieren. Einsatzstähle haben Kohlenstoffgehalte von circa 0,1 % bis knapp 0,3 %. Je nach Anwendung können härteerhöhende Elemente wie Chrom oder Molybdän zulegiert werden, wenn direkt unter der harten Randschicht eine höhere Festigkeit zur Abstützung der Randschale oder – bei Verzahnungen – zur Erhöhung der Zahnfußfestigkeit verlangt wird. Elemente wie Nickel erhöhen zudem die Zähigkeit des Werkstücks, besonders bei tiefen Temperaturen. Die typischen Einsatzgebiete sind Getriebeteile und Antriebsteile mit Oberflächenhärtung wie Zahnräder, Wellen und verzahnte Bauteile.

4.1.3 Vergütungsstähle (DIN EN 10083)

Vergütungsstähle sind Stähle, die durch eine Vergütungsbehandlung (Kapitel 6.7.2) eine höhere Festigkeit annehmen. Diese Gruppe beginnt bei den einfachen niedriglegierten Kohlenstoffstählen (laut Norm DIN EN 10083 ab dem C22). Typische Vergütungsstähle sind C45 und für Stähle mit höherer Härbarkeit 33MnCrB5-2 oder 42CrMo4. Die typischen Einsatzgebiete sind Maschinenbauteile und Fahrzeugteile mit hoher dynamischer oder statischer Belastung wie Achsschenkel, Kurbelwellen, Kardanwellen sowie Sicherheitsteile im Fahrzeug- und Seilbahnbau.

4.1.4 Ausscheidungshärtende ferritisch-perlitische Stähle (AFP-Stähle, DIN EN 10267)

AFP-Stähle sind im Wesentlichen Kohlenstoffstähle, die mit Mikrolegierungselementen versehen sind. Die AFP-Stähle erreichen Festigkeitswerte, die in den Bereich der Vergütungsstähle reichen, ohne dass ein zusätzlicher Härte- und Anlassvorgang durchgeführt werden muss. Da durch eine gesteuerte Abkühlung aus der Umformwärme die sonst übliche Wärmebehandlung mit Abschreckvorgang entfällt, können auch keine Härterisse entstehen, sodass die Bauteile, je nach Anforderung des Kunden, auch nicht rissgeprüft werden müssen. Das Zusammenwirken von kostengünstigerer Legierungslage und dem Entfall einer Vergütungsbehandlung sowie gegebenenfalls auch der Rissprüfung resultiert in einer signifikanten Kosteneinsparung gegenüber den Vergütungsstählen. Die Einsatzgebiete entsprechen denen der Vergütungsstähle, bieten aber kostengünstige Alternativen für Motoren- und Fahrwerksteile mit hoher dynamischer Belastung wie Pleuellstangen, Kurbelwellen, Lenkungsteile, Antriebswellen und Achsen.

4.1.5 Induktiv härtbare Stähle (DIN EN 10083 und andere Normen)

Ziel der induktiven Härtung ist es, die Verschleißfestigkeit der Oberfläche zu steigern, ohne Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften im Kern zu beeinträchtigen. Stähle, deren Randschicht induktiv härtbar sein soll, benötigen einen für die martensitische Umwandlung ausreichenden Kohlenstoffgehalt. Geeignet sind unter anderem unlegierte Kohlenstoffstähle (zum Beispiel C55), AFP-Stähle mit höherem Kohlenstoffgehalt (zum Beispiel 38MnVS6 oder 46MnVS3) oder Vergütungsstähle. Die typischen Einsatzgebiete sind Bauteile mit hohen Anforderungen an die Verschleißbeständigkeit, wie Bauteile für Kettenfahrzeuge, für Fördergeräte im Bergbau oder Großwälzlager mit Laufbahnhärtung.

4.1.6 Nitrierstähle (DIN EN 10085)

Bei einigen Anwendungen wird die Verschleißbeständigkeit der Oberfläche durch einen Nitriervorgang bewirkt. Ähnlich wie Kohlenstoff beim Einsatzhärten, diffundiert beim Nitrieren Stickstoff in die Stahloberfläche ein. Dies führt durch verschiedene metallphysikalische Effekte zu einer deutlichen Härtesteigerung in der Randschicht. Alle Stahlsorten sind nitrierbar. Besonders hohe Randhärten und Nitriertiefen lassen sich mit Stählen erreichen, die zusätzlich gezielt mit nitridbildenden Elementen wie Aluminium, Chrom, Molybdän oder Vanadium legiert sind (diese sind in der DIN EN 10085 speziell definiert). Vorteile des Nitrierens gegenüber dem Einsatzhärten sind eine geringere Volumenänderung des Grundwerkstoffs und somit ein geringerer Verzug des Umformteils. Die typischen Einsatzgebiete sind Getriebeteile und Antriebsteile mit Oberflächenhärtung wie Zahnräder, Wellen und verzahnte Bauteile. Sie entsprechen damit den Einsatzgebieten der Einsatzstähle.

4.1.7 Wälzlagerstähle (DIN EN ISO 683-17)

Stähle, welche die für Wälzlager typischen Belastungen ertragen können, bilden eine eigene Werkstoffgruppe. Die DIN EN ISO 683-17 führt hier verschiedene Werkstoffklassen auf (Einsatzstähle, induktiv härtende Stähle, ...), die für die Wälzfunktion geeignet sind. Der prominenteste Vertreter ist der 100Cr6. Dieser Stahl kann bis in den Kern auf eine hohe Härte von etwa 60 HRC vergütet werden. Diese Härte ist erforderlich, um die Hertzsche Pressung bei der Wälzbeanspruchung zu ertragen.

4.1.8 Nichtrostende Stähle (DIN EN 10222-5)

Für Anwendungen, bei denen korrosive Belastungen eine Rolle spielen, werden rost- und säurebeständige Stähle eingesetzt. Höhere Chromgehalte und weitere Legierungselemente, insbesondere Nickel und Molybdän, steigern die Korrosionsbeständigkeit. Hauptmerkmal dieser Stähle ist ein Chromgehalt von über 10,5 %. Ab diesem Chromgehalt bildet sich auf der Stahloberfläche eine dichte Chromoxidschicht, die den weiteren Zugang von Sauerstoff und damit die Korrosion wirksam unterbindet. Die typischen Einsatzgebiete sind Armaturen für die Chemie- und Nahrungsmittelindustrie, Bauteile im Schiffbau, Beschläge für die Bauindustrie, Besteck-, Schneid- und Haushaltswaren, Schrauben und Befestigungselemente in Feuchtbereichen.

4.1.9 Bainitische Stähle

Die Bainitischen Stähle (HDB-Stähle – hochduktiler Bainit) sind eine relativ junge Stahlgruppe, wodurch die Lücke bezüglich der mechanischen Kennwerte zwischen den AFP-Stählen und den kostenintensiven Vergütungsstählen geschlossen wird. Die bainitischen Stähle verdanken ihre erhöhte Festigkeit der Kombination aus bainitischem Grundgefüge mit der festigkeitssteigernden Wirkung von Carbonitriden der Elemente Titan und Niob. Bei kontrollierter Abkühlung aus der Umformwärme werden mechanische Kennwerte erreicht, die mit denen eines Vergütungsstahls vergleichbar sind. Das typische Einsatzgebiet liegt wie bei den AFP- und Vergütungsstählen bei hochbeanspruchten Bauteilen im Fahrwerks- und Motorenbereich.

4.2 Aluminiumwerkstoffe

Aluminium ist der wichtigste metallische Konstruktionswerkstoff nach Stahl. Neben dem Vorteil des niedrigen spezifischen Gewichts von $2,7 \text{ g/cm}^3$ (Stahl $7,85 \text{ g/cm}^3$) bieten die Aluminium-Legierungen bei guter Korrosionsbeständigkeit und guter Zerspanbarkeit Festigkeiten, die bis in den Bereich einfacher Vergütungsstähle reichen. Die in der Massivumformung verwendeten Aluminium-Knetlegierungen werden unterteilt in nichtaushärtbare und aushärtbare Legierungen. Die nichtaushärtbaren Legierungen werden eingesetzt, wenn geringe Anforderungen an die Festigkeit, aber zum Beispiel erhöhte Anforderungen an optische Oberflächenbeschaffenheit und Korrosionsbeständigkeit gefordert sind. Bei höheren Anforderungen an die Belastbarkeit – zum Beispiel Bauteile für den Maschinen- und Fahrzeugbau – werden aushärtbare Legierungen verwendet, die vorzugsweise durch Warmauslagern (Kapitel 6.8) auf hohe Festigkeitswerte gebracht werden. Für die in der DIN EN 586-2 genannten Vorzugslegierungen sind typische mechanische Eigenschaften und Anwendungsbeispiele in Tabelle 4.1 aufgeführt /Oste98/.

4.3 Sonstige Werkstoffe

Neben den Aluminium-Legierungen werden weitere NE-Metalllegierungen in der Massivumformung verarbeitet. Die Spanne der Werkstoffe reicht von den Leichtmetallen – zum Beispiel Magnesium – bis zu den Schwermetallen wie zum Beispiel Kupfer. Die Eigenschaften und Anwendungen einiger wesentlicher NE-Metalle sind nachfolgend aufgeführt.

Bezeichnung der Legierung		Zustand	Zugfestigkeit ¹⁾ R_m in MPa	Bruchdehnung ¹⁾ A in %	Anwendungen und spezielle Eigenschaft
Numerisch EN AW-	Chemisches Symbol EN AW-				
5754	Al Mg3	geschmiedet	180	15	Schiffbau, chemischer Apparatebau, dekorativ anodisierbar (zum Beispiel durch Eloxieren).
5083	Al Mg4,5Mn0,7	geschmiedet	270	12	Schiffbau, chemischer Apparatebau, hohe Korrosionsbeständigkeit.
6082	Al SiMgMn	warmausgelagert	310	6	Standardlegierung für den Fahrzeug-, Schiff- und Maschinenbau.
2024	Al Cu4Mg1	kaltausgelagert	420	8	Hochbeanspruchte Teile im Fahrzeug- und Maschinenbau.
2014	Al Cu4SiMg	warmausgelagert	440	6	Höher beanspruchte Teile im Fahrzeug- und Maschinenbau.
7075	Al Zn5,5MgCu	warmausgelagert	500	6	Höchst beanspruchte Teile im Fahrzeug- und Maschinenbau.
7075	Al Zn5,5MgCu	2-stufige Warmauslagerung	445	6	Sonderbehandlung zur Erzielung bester Spannungsrissschadensbeständigkeit für die Luft- und Raumfahrt.

¹⁾ Die Angaben gelten für die Prüfrichtung parallel zum Hauptfaserverlauf (Kapitel 2)

Tabelle 4.1: Eigenschaften und Anwendungen ausgewählter Aluminium-Legierungen

4.3.1 Magnesium (DIN 1729)

Magnesium ist mit einer Dichte von $1,74 \text{ g/cm}^3$ der leichteste metallische Konstruktionswerkstoff. In der Massivumformung werden Magnesium-Knetlegierungen verwendet, die bei Temperaturen unterhalb 400°C umgeformt werden. Die Festigkeitswerte liegen in Abhängigkeit von der Legierung und dem Behandlungszustand zwischen $R_m = 200$ und 320 MPa . Der Anwendungsbereich von Magnesium-Umformteilen liegt in der Luft- und Raumfahrt und im Fahrzeugbau dort, wo extremer Leichtbau gefordert ist.

4.3.2 Titan (zum Beispiel DIN EN 3312 oder 3351)

Titan und Titanlegierungen vereinigen hohe Festigkeit (R_m bis zu 1200 MPa) und Zähigkeit mit geringer Dichte ($4,5 \text{ g/cm}^3$) und guter Korrosionsbeständigkeit. Aufgrund der hohen Werkstoff- und Verarbeitungskosten ist die Anwendung begrenzt. Die Warmumformung erfolgt in Abhängigkeit von der Legierung im Temperaturbereich von 700°C bis 950°C . Neben Anwendungen in der Luft- und Raumfahrttechnik und im Fahrzeugbau werden Titan und Titanlegierungen aufgrund ihrer guten Biokompatibilität auch zur Fertigung von Implantaten in der Medizintechnik eingesetzt.

4.3.3 Nickelbasislegierungen (zum Beispiel DIN EN 2184)

Nickelbasislegierungen sind Werkstoffe, deren Hauptbestandteil aus Nickel besteht. Die Legierungen weisen eine sehr gute Korrosions- und Hochtemperaturbeständigkeit auf. Die Dichte beträgt $8,2 \text{ g/cm}^3$, die Festigkeit der vielfach genutzten Legierung 718 beträgt in Abhängigkeit von der Wärmebehandlung bis $R_m = 1200 \text{ MPa}$. Die Warmumformtemperatur liegt im Bereich von 985°C bis 1150°C . Die Umformteile werden vorwiegend in der Luft- und Raumfahrtindustrie für Antriebs- und Triebwerkskomponenten eingesetzt.

4.3.4 Kupfer (DIN EN 12420)

Kupfer und die vorrangig genutzte Kupferlegierung Messing weisen bei einer Dichte von ca. $8,5 \text{ g/cm}^3$ Festigkeiten bis $R_m = 700 \text{ MPa}$ auf. Kupferlegierungen sind gut warm- und kaltumformbar. Zu den wesentlichen Eigenschaften zählen neben der guten elektrischen und Wärmeleitfähigkeit die gute Korrosionsbeständigkeit und die sehr guten Reibungs- und Verschleißigenschaften. Die Anwendungsgebiete liegen unter anderem im Fahrzeug- und Schiffbau sowie in der Armaturentechnik.

4.4 Anlieferungszustand

Der Anlieferungszustand des Halbzeugs an den Umformbetrieb wird durch seine mechanischen und metallografischen Eigenschaften und insbesondere durch die Querschnittsgeometrie (Bild 4.3) definiert. Die vorwiegende Lieferform ist Rund- oder Vierkant-Stangenmaterial mit Kreis- oder Quadratquerschnitt. Die Stangenlänge beträgt bis zu 12 m. Bei Kreisquerschnitten mit kleinem Durchmesser kann das Halbzeug als „Endlos-Material“ auf Coils aufgewickelt geliefert werden.

Sonderformen der Querschnittsgeometrie sind Rechteck- und Profilquerschnitte. Die Rechteckquerschnitte – Grobbleche – werden eingesetzt, wenn die Vorproduktfertigung durch Spalten (Kapitel 6.1.3) erfolgt. Profile werden vereinzelt bei Aluminium-Legierungen verwendet.

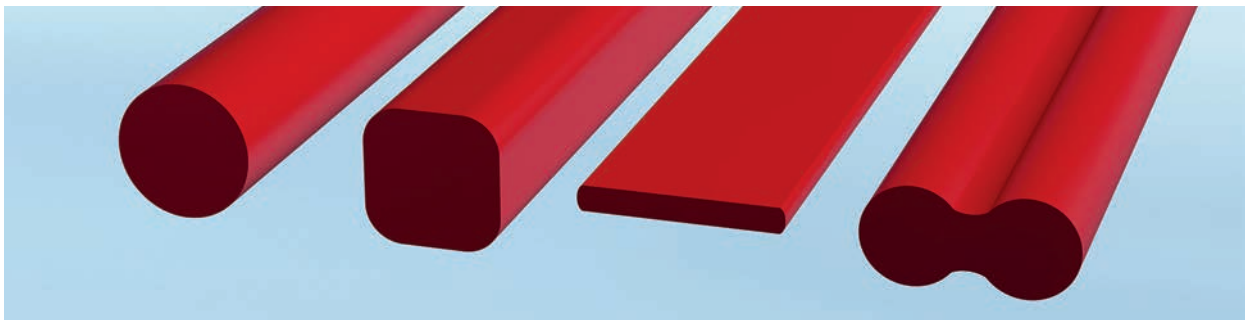


Bild 4.3: Halbzeug-Querschnittsgeometrien

Die geometrischen Toleranzen und die Oberflächenqualität des Halbzeugs sind von dem Herstellverfahren – im Allgemeinen ein Warmwalzverfahren – abhängig. Bei besonders hohen Anforderungen an die Querschnittstoleranz oder die Oberflächenqualität besteht bei Stahlwerkstoffen mit Kreisquerschnitt die Option, ein Halbzeug mit spanend bearbeiteter Oberfläche – geschältes Material – zu verwenden.

Die Eigenschaften und zulässigen Toleranzen des Halbzeugs sind in den technischen Lieferbedingungen spezifiziert. Neben der Spezifikation der Legierungsbestandteile sind unter anderem der Wärmebehandlungszustand, die geometrischen Toleranzen der Querschnittsgeometrie und die Oberflächenqualität des Halbzeugs definiert.

5 Verfahren der Massivumformung

Umformen ist das Fertigen durch bildsames (plastisches) Ändern der Form eines festen Körpers; dabei werden sowohl die Masse als auch der Zusammenhalt beibehalten /DIN 8580/. Umformen ist im Gegensatz zum Verformen das Ändern einer Form unter Beherrschung der Geometrie.

Nachfolgend werden ausschließlich die *Massivumformverfahren* behandelt. Ein wesentliches Merkmal der Massivumformverfahren ist die Erzeugung von Querschnittsänderungen. Nach dem Gesetz der Volumenkonstanz bewirken Querschnittsänderungen entsprechende Längenänderungen. Querschnittsänderungen lassen sich durch Stoffverdrängen und Stoffanhäufen erzielen, wobei die Verfahren des Stoffverdrängens anwendungstechnisch überwiegen. Neben den Querschnittsänderungen werden auch Verfahren zur Richtungsänderung wie zum Beispiel das Biegen eingesetzt.

Die Umformverfahren sind entsprechend der Hauptbelastung nach DIN 8582 eingeteilt in:

- Druckumformen,
- Zugdruckumformen,
- Zugumformen,
- Biegeumformen,
- Schubumformen.

Die für das Massivumformen wichtigste Gruppe „*Druckumformen*“ ist in der DIN 8583 weiter aufgeschlüsselt (Bild 5.1).

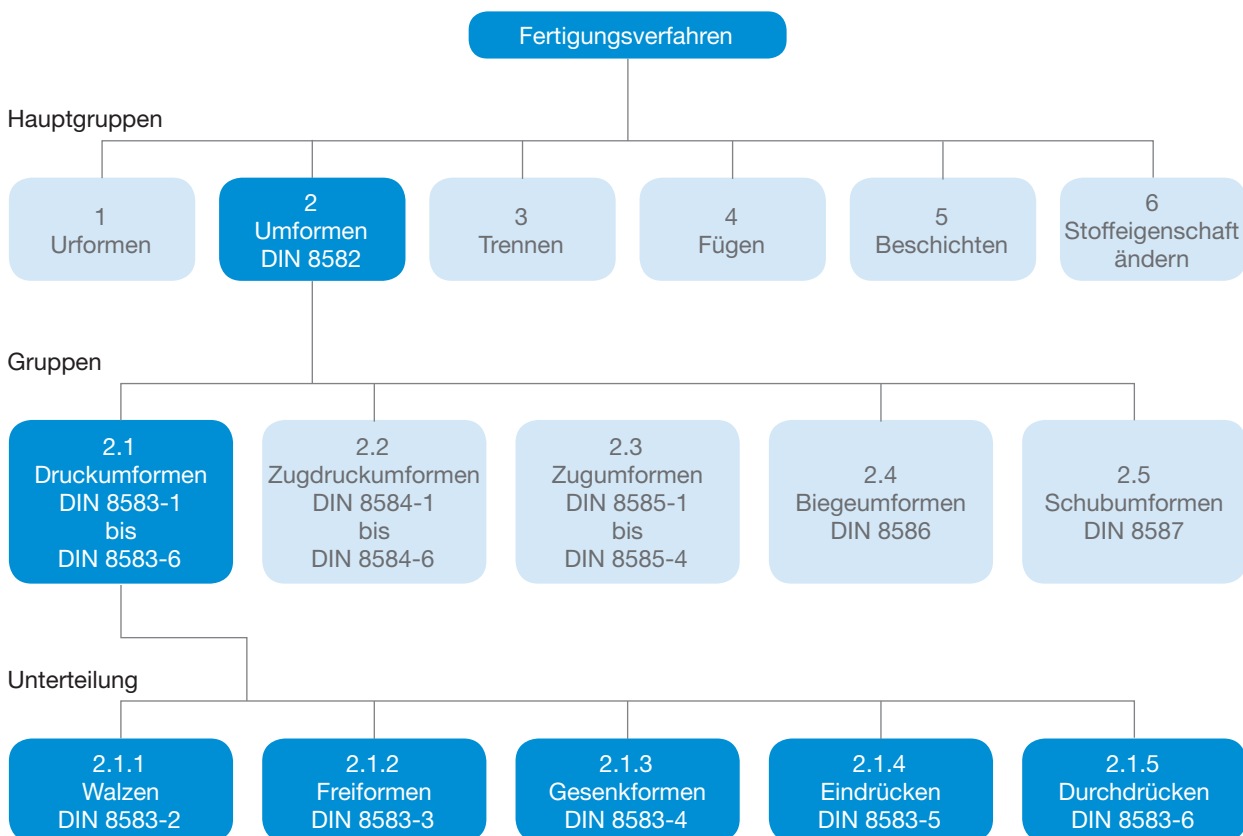


Bild 5.1: Einteilung der Umformverfahren nach der überwiegenden Beanspruchung der Umformzone /DIN8582/

Von den Druckumformverfahren werden in der Praxis vorwiegend die folgenden Verfahren verwendet:

- Walzen
 - Reckwalzen
 - Querkeilwalzen
 - Ringwalzen
- Gesenkformen/Gesenkschmieden
 - Gesenkschmieden mit und ohne Grat
- Freiformen
 - Recken
 - Rundkneten
 - Stauchen
- Durchdrücken
 - Fließpressen

Das Prinzip der einzelnen Verfahren, die Vor- und Nachteile sowie ihre Anwendung werden nachfolgend dargestellt.

5.1 Walzen

Walzen ist ein stetiges oder schrittweises Druckumformen mit einem oder mehreren rotierenden Werkzeugen (Walzen) /DIN 8583-2/.

5.1.1 Reckwalzen

Das *Reckwalzen* ist ein Längswalzen in Walzsegmenten, deren Profil sich in Umfangsrichtung ändert und sich durch den Walzvorgang auf dem Reckwalzprodukt abbildet (Bild 5.2). Dabei durchläuft das Reckwalzprodukt meist mehrere Stufen („Stiche“) und wird beim Übergang von einer zur anderen Stufe um 90° um seine Längsachse gedreht. Das Ziel des Reckwalzens ist die Erzeugung von Vorformprodukten mit einer definierten Massenverteilung über die Produktlängsachse.

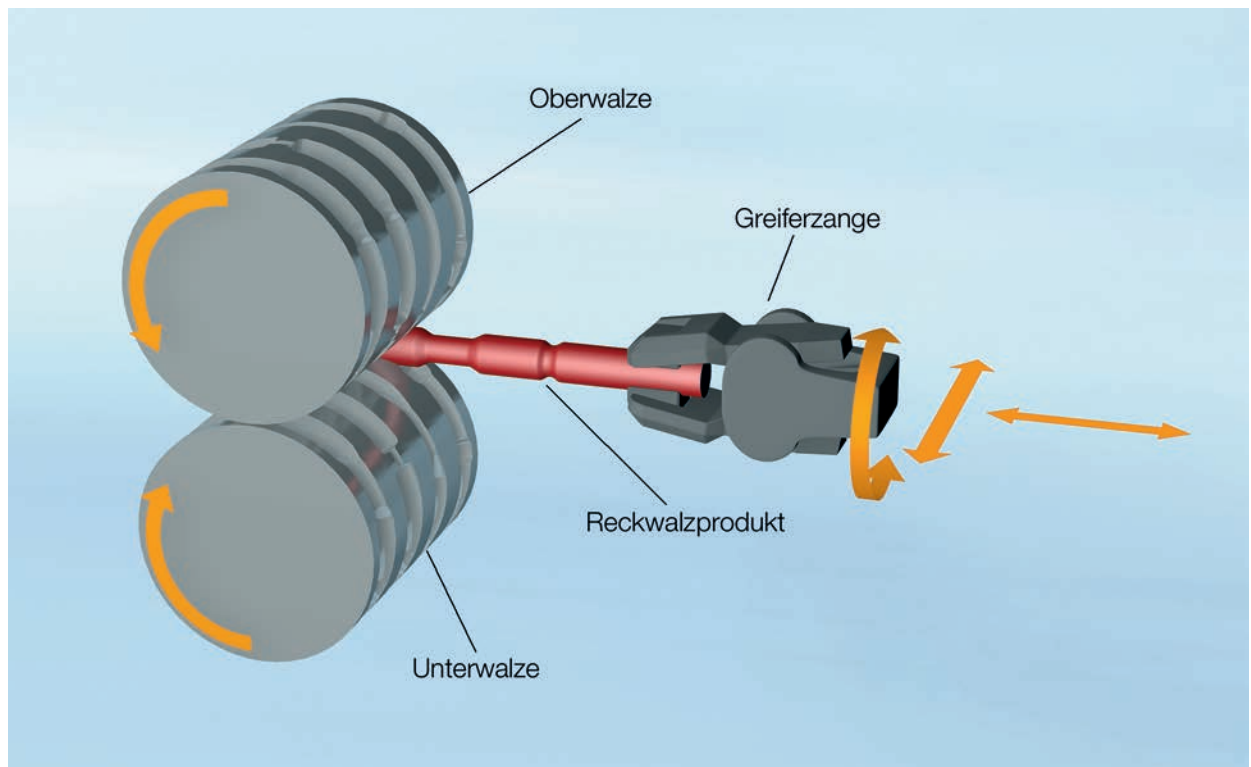


Bild 5.2: Reckwalzen

Vorteile:

- Über die Produktlängsachse können unterschiedliche Querschnittsflächen erzeugt werden.
- Das Vorprodukt wird beim Walzen entzündert.
- Die Halbzeuggeometrie kann Kreis- und Quadratquerschnitte haben.

Nachteile:

- Die Reckwalzprodukte reagieren mit Maßschwankungen relativ empfindlich auf Prozessstörungen wie zum Beispiel Temperaturschwankungen der Vorprodukte.
- Das Reckwalzen ist nur für Langprodukte sinnvoll einsetzbar.

Anwendung:

- Warmumformung von Stahl- und Aluminiumlegierungen.
- Das Reckwalzen wird ausschließlich als Vorformverfahren für ein nachfolgendes Gesenkschmieden eingesetzt.
- Beim Gesenkschmieden von Bauteilen mit stark unterschiedlicher Massenverteilung über der Produktlänge wie zum Beispiel Pleuelstangen, Achsschenkel mit weit ausladenden Armen, Nfz-Achsen etc.

5.1.2 Querkeilwalzen

Beim *Querkeilwalzen* wird ein zylindrisches Vorprodukt zwischen keilförmig profilierten Walzwerkzeugen umgeformt. Durch Materialverdrängung entlang der Drehachse des Werkstücks wird eine Massenverteilung erzielt (Bild 5.3).

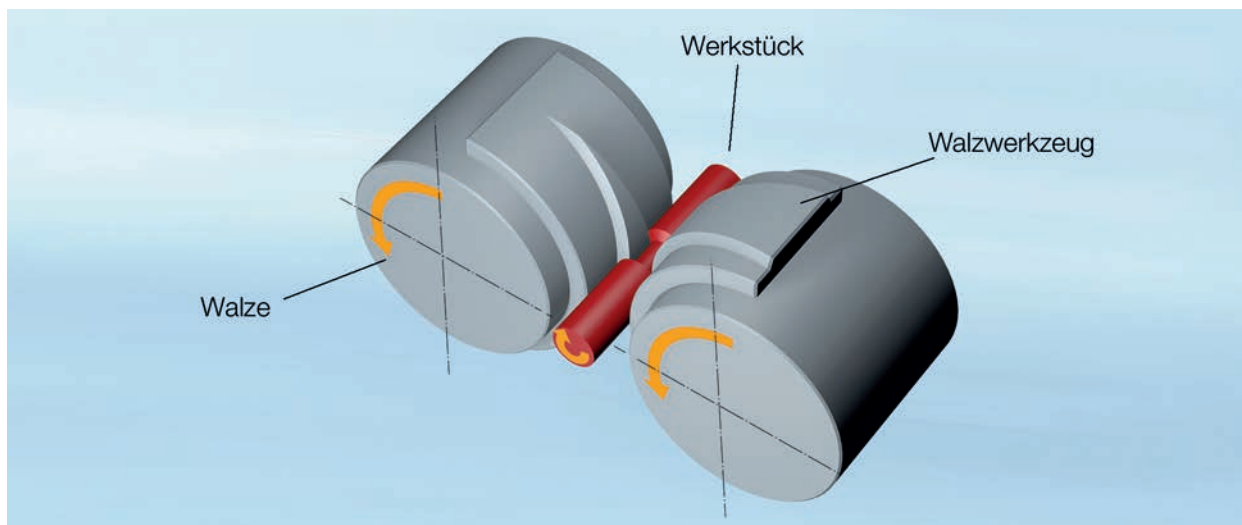


Bild 5.3: Querkeilwalzen

Vorteile:

- Über die Produktlängsachse können unterschiedliche Querschnittsflächen erzeugt werden.
- Hohe Formgenauigkeit und Reproduzierbarkeit der Walzprodukte.
- Das Vorprodukt wird beim Walzen entzündert.

Nachteile:

- Nur für rotationssymmetrische Vorprodukte einsetzbar.

Anwendung:

- Warmumformung von Stahl- und Aluminiumlegierungen.
- Vorformteile für Pleuel, Lenkhebel etc.
- Rohteile, zum Beispiel Getriebewellen, Antriebswellen etc.

5.1.3 Ringwalzen

Ringwalzen ist ein kontinuierliches partielles Umformen von vorgeformten ringförmigen Werkstücken (Vorringe) zu Ringen größeren Durchmessers. Die Vorringe werden durch Stauchen und Lochen auf Freiform- oder Gesenkschmiede-Pressen und -Hämmern hergestellt. Neben geometrisch einfachen, rechteckigen Ringquerschnitten können auch profilierte Ringe gefertigt werden. Die axiale Höhe der fertig gewalzten Ringe kann im Bereich von etwa 20 bis etwa 1.500 mm liegen, die Durchmesser können bis zu mehreren Metern und die Stückgewichte können bis über 10 t betragen. Bei einem Radial-Axial-Ringwalzwerk, dem häufigsten Maschinentyp, werden während des Walzens gleichzeitig Ringhöhe und Ringwanddicke in zwei Walzspalten reduziert (Bild 5.4).

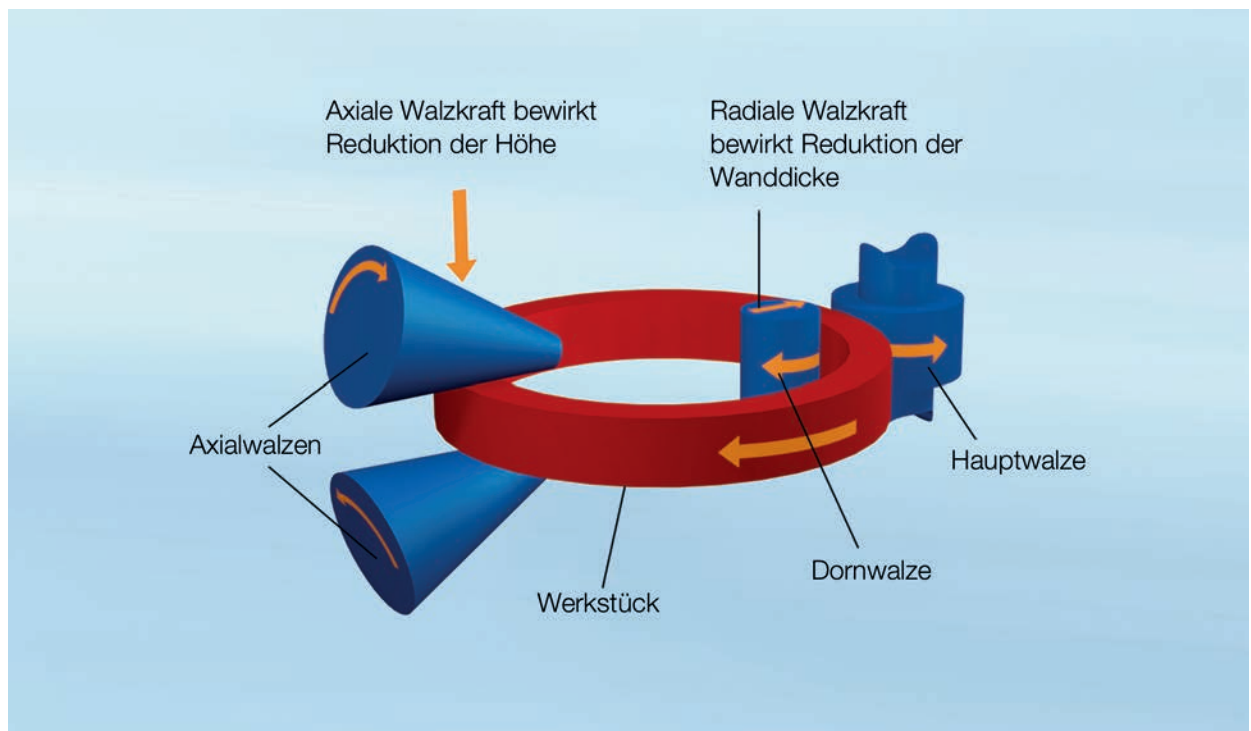


Bild 5.4: Ringwalzen (Radial-Axial-Ringwalzen)

Vorteile:

- Ohne Umrüsten der Werkzeuge lassen sich Ringe mit unterschiedlichen Durchmessern, Wanddicken und Höhen herstellen.

Nachteile:

- Nur für die Herstellung von Ringen geeignet.

Anwendung:

- Warmumformung von Stahl-, Aluminium-, Titan- und Nickellegierungen.
- Fertigung von Lagerringen. Die größten gewalzten Ringe mit Durchmessern oberhalb 6 m finden Anwendung als Lagerringe in Baumaschinen.
- In Flugzeugtriebwerken werden im thermisch weniger belasteten Bereich gewalzte Ringe für Turbinenscheiben oder Gehäuseteile aus Titanlegierungen, im höher belasteten Bereich aus Nickellegierungen verwendet.

5.2 Freiformen

Freiformen ist ein Druckumformen mit nicht oder nur teilweise formgebundenen Werkzeugen. Die Werkstückform entsteht dabei durch freie oder festgelegte Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück (kinematische Gestalterzeugung) /DIN 8583-3/. Das Freiformen als Warmumformverfahren dient außer zur Formgebung des gewünschten Werkstücks auch dem Schließen und Verschweißen von Hohlstellen in gegossenem Vormaterial. Durch Freiformen werden Rohblöcke von bis zu 350 t Gewicht umgeformt. Die herstellbaren Werkstückabmessungen reichen bis zu mehreren Metern.

5.2.1 Recken

Beim *Recken* wird der Querschnitt eines Werkstücks schrittweise vermindert und der Werkstoff vorwiegend in Längsrichtung verdrängt. Meist wird das Werkstück zusätzlich um seine Längsachse gedreht oder gekantet (Bild 5.5).

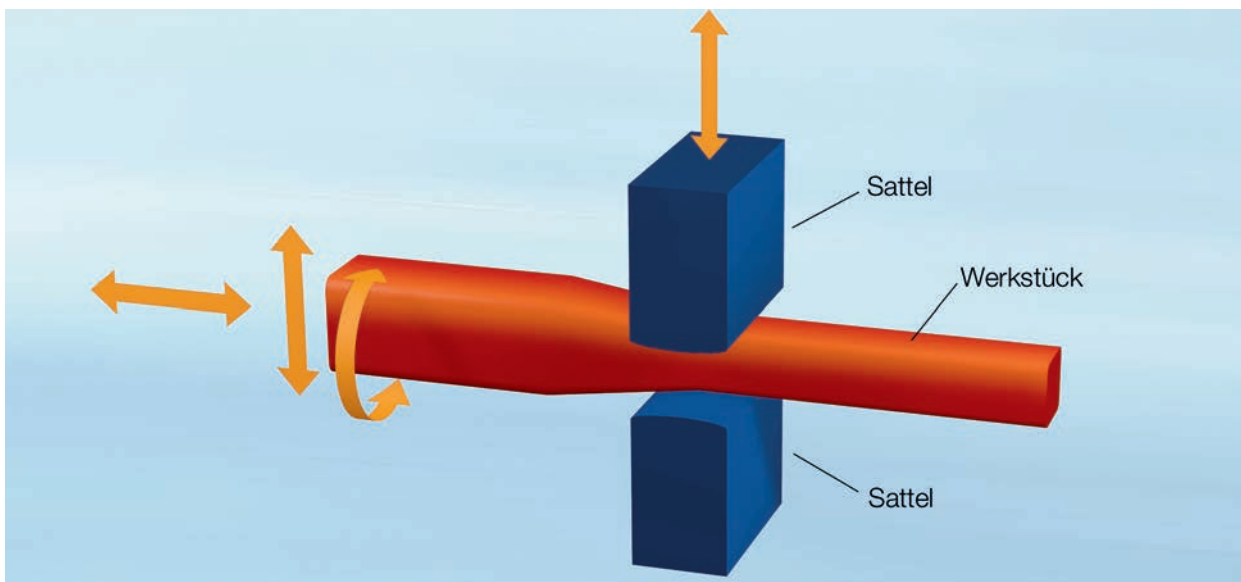


Bild 5.5: Recken

Vorteile:

- Das Recken kann mit einfachen, kostengünstigen Werkzeugen ausgeführt werden, wodurch das Verfahren auch bei kleinsten Losgrößen wirtschaftlich sein kann.
- Da das Recken mit nicht formgebundenen Werkzeugen erfolgt, können unterschiedliche Massenverteilungen mit denselben Werkzeugen hergestellt werden.

Nachteile:

- Aufgrund der freien Umformung ist die Formgenauigkeit der Reckprodukte eingeschränkt.
- Die schrittweise Umformung erfordert einen relativ hohen Zeitaufwand und ist daher nachteilig für die Produktivität und den Wärmehaushalt der Produkte.

Anwendung:

- Warmumformung von Stahl- und Aluminiumlegierungen.
- Das Recken wird hauptsächlich bei Produkten mit hohen Einsatzgewichten und geringen Stückzahlen zur Massenvorverteilung für nachgeschaltete Fertigungsverfahren eingesetzt wie zum Beispiel für große Schiffskurbel- oder Generatorwellen.

5.2.2 Rundkneten

Beim *Rundkneten* üben zwei oder mehrere Werkzeuge eine radiale Kraft in Richtung des Werkstückzentrums aus, während sich das Werkstück dreht oder sich die Werkzeuge um das Werkstück drehen (Bild 5.6). Die Radialschläge haben einen kurzen Hub und werden mit hoher Frequenz ausgeführt.

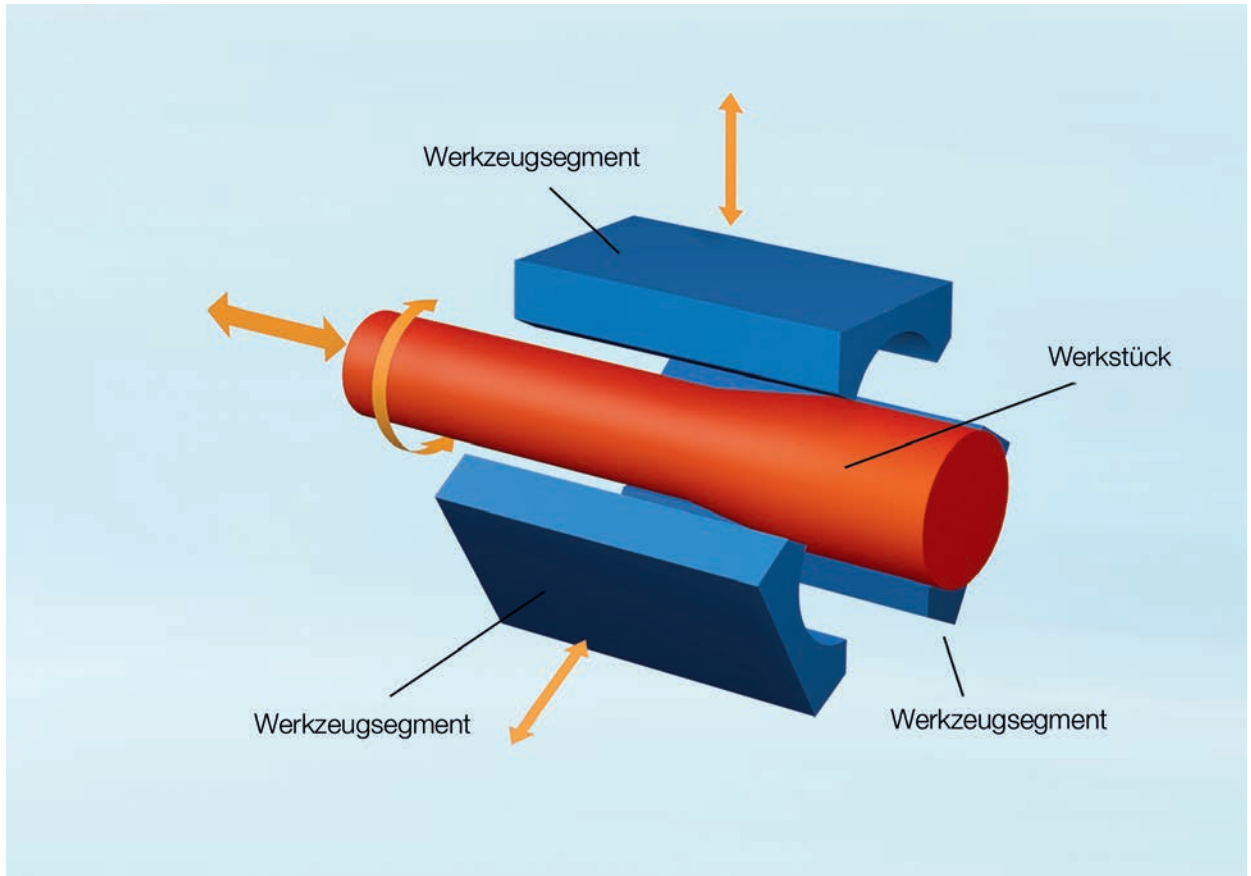


Bild 5.6: Rundkneten

Vorteile:

- Beim Rundkneten mit nicht formgebundenen Werkzeugen können unterschiedliche Werkstückgeometrien mit denselben Werkzeugen hergestellt werden.

Nachteile:

- Durch Rundkneten können nur rotationssymmetrische Rohteile gefertigt werden.
- Die schrittweise Umformung erfordert einen relativ hohen Zeitaufwand und ist daher nachteilig für die Produktivität und – bei der Warmumformung – für den Wärmehaushalt der Produkte.
- Als Vorformverfahren für ein nachfolgendes Gesenkschmieden ist das Rundkneten aufgrund der geringen Mengenleistung nur bedingt geeignet.

Anwendung:

- Das Rundkneten wird bei der Warm-, Halbwarm- und Kaltumformung von Stahl- und Aluminiumlegierungen angewandt.
- Durch Rundkneten werden vorzugsweise wellenförmige Werkstücke mit hoher Wiederholgenauigkeit gefertigt.

5.2.3 Stauchen

Das *Stauen* ist ein Freiformverfahren, bei dem die Ausgangshöhe des Werkstücks reduziert wird (Bild 5.7). Das vorwiegend angewendete Stauchverfahren ist das Parallelstauchen, das auch zum Entzundern eingesetzt wird. Das Formstauchen zählt aufgrund der teilweise formgebundenen Umformung strenggenommen nicht zu den Freiformverfahren, sondern zu den Verfahren des Gesenkformens (siehe Kapitel 5.3), wird hier aber mit aufgeführt, da in der Praxis ein fließender Übergang vom reinen Stauchen (Freiformen) zum Formstauchen besteht.

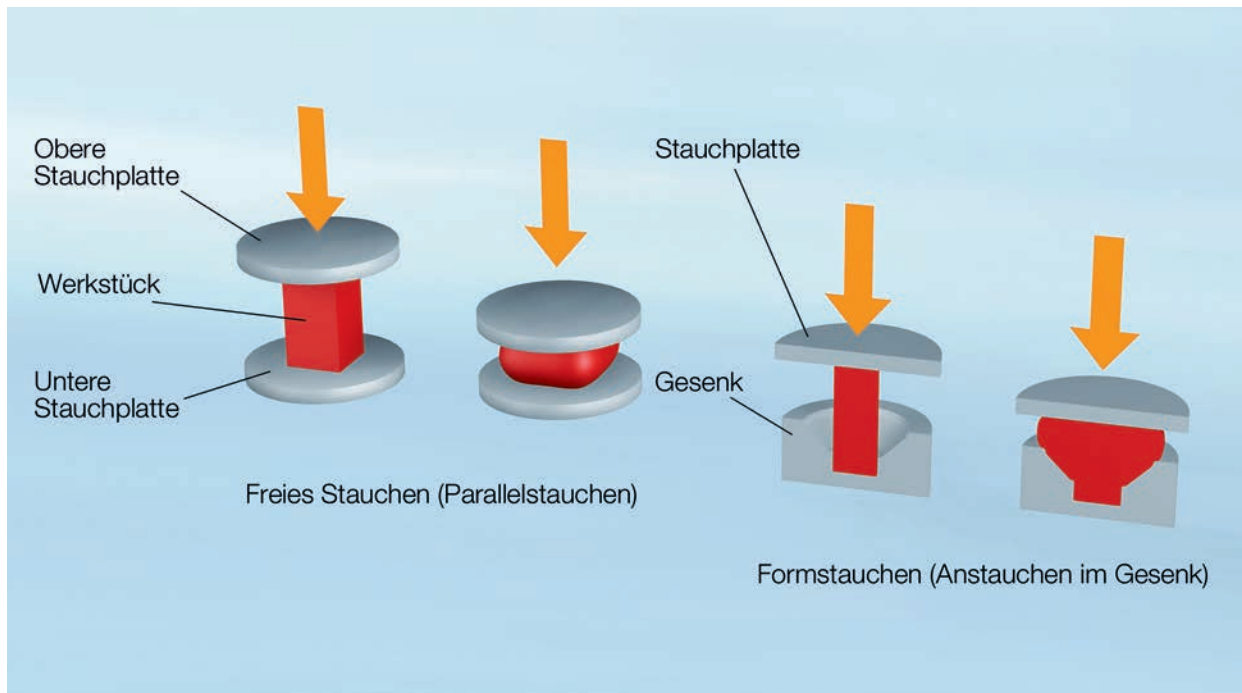


Bild 5.7: Freies Stauchen und Formstauchen

Vorteile:

- Das Stauchen kann mit einfachen, kostengünstigen Werkzeugen ausgeführt werden.
- Die Stauchhöhe und damit die Ausprägung der Massenverteilung ist variabel.
- Das Stauchen ermöglicht auch die Herstellung flacher, scheibenförmiger Vorprodukte.

Nachteile:

- Die Stauchprodukte haben im Allgemeinen eine eingeschränkte Formgenauigkeit, da sie ohne oder nur mit begrenztem Formzwang gefertigt werden.
- Das Verhältnis von Werkstückhöhe zu Werkstückdurchmesser ist begrenzt, ansonsten besteht die Gefahr des Ausknickens.

Anwendung:

- Warm-, Halbwarm- und Kaltumformung von Stahl- und Leichtmetalllegierungen. Sonderwerkstoffe wie Nickel-, Kobalt- und Kupferlegierungen können ebenfalls durch Stauchen umgeformt werden.
- Neben der Massenvorverteilung für nachgeschaltete Fertigungsverfahren (siehe Kapitel 7, Prozessketten der Massivumformung) wird das Stauchen auch zum Entzundern eingesetzt (siehe Kapitel 6.4).
- Durch ihre Vielfältigkeit werden Stauchverfahren bei einer Vielzahl unterschiedlicher Produktgeometrien eingesetzt.

5.3 Gesenkformen/Gesenkschmieden

Das Gesenkformen oder *Gesenkschmieden* ist ein Druckumformverfahren mit formgebundenen, gegeneinander bewegten Werkzeugen. Durch Gesenkschmieden können auch geometrisch komplizierte Produkte hergestellt werden. Ausgangsprodukt für das Gesenkschmieden ist zum Beispiel ein quadratisches oder rundes Ausgangsmaterial, das zwischen zwei Formwerkzeugen umgeformt wird. Durch Gesenkschmieden werden in kürzester Zeit (wenige Sekunden) komplizierte Teile mit sehr vielen Funktionsmaßen erzeugt. Je nachdem, ob überschüssiges Material in die Teilungsfläche der beiden Werkzeughälften fließt oder nicht, unterscheidet man zwischen Gesenkschmieden mit Grat und dem gratlosen Schmieden. Die herstellbare Formenvielfalt ist nahezu beliebig, sofern die Entformbarkeit (siehe Kapitel 10) gewährleistet ist.

5.3.1 Gesenkschmieden mit Grat

Das in der industriellen Praxis vorherrschende Formgebungsverfahren ist das *Gesenkschmieden mit Grat* (Bild 5.8). Beim Gesenkschmieden erzwingt das Werkzeug einen Werkstofffluss in Bewegungsrichtung der Werkzeuge und quer dazu. Das Werkstück wird hierbei fast vollständig von dem Werkzeug umschlossen, wobei überschüssiger Werkstoff durch den Gratspalt abfließen kann.

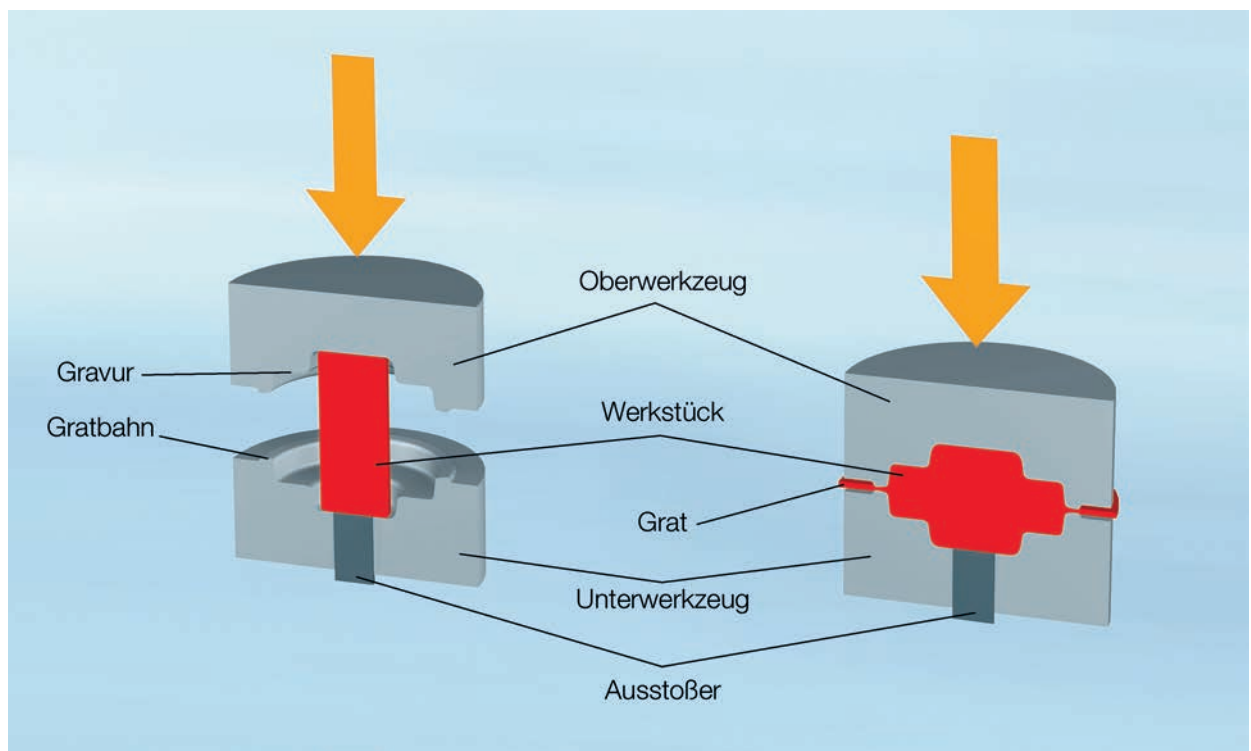


Bild 5.8: Gesenkschmieden (Gesenkformen) mit Grat

Beim Füllen der Gesenkgravuren kann man folgende 3 Grundtypen von Füllvorgängen unterscheiden (Bild 5.9):

1. Stauchen: Vermindern der Ausgangshöhe, wesentlicher Werkstofffluss parallel zur Werkzeugbewegung.
2. Breiten: Seitliches Verdrängen des Werkstoffs von innen nach außen, wesentlicher Werkstofffluss senkrecht zur Werkzeugbewegung.
3. Steigen: Ausfüllen tiefer Gravur-Hohlräume, wesentlicher Werkstofffluss parallel gegen die Werkzeugbewegung.

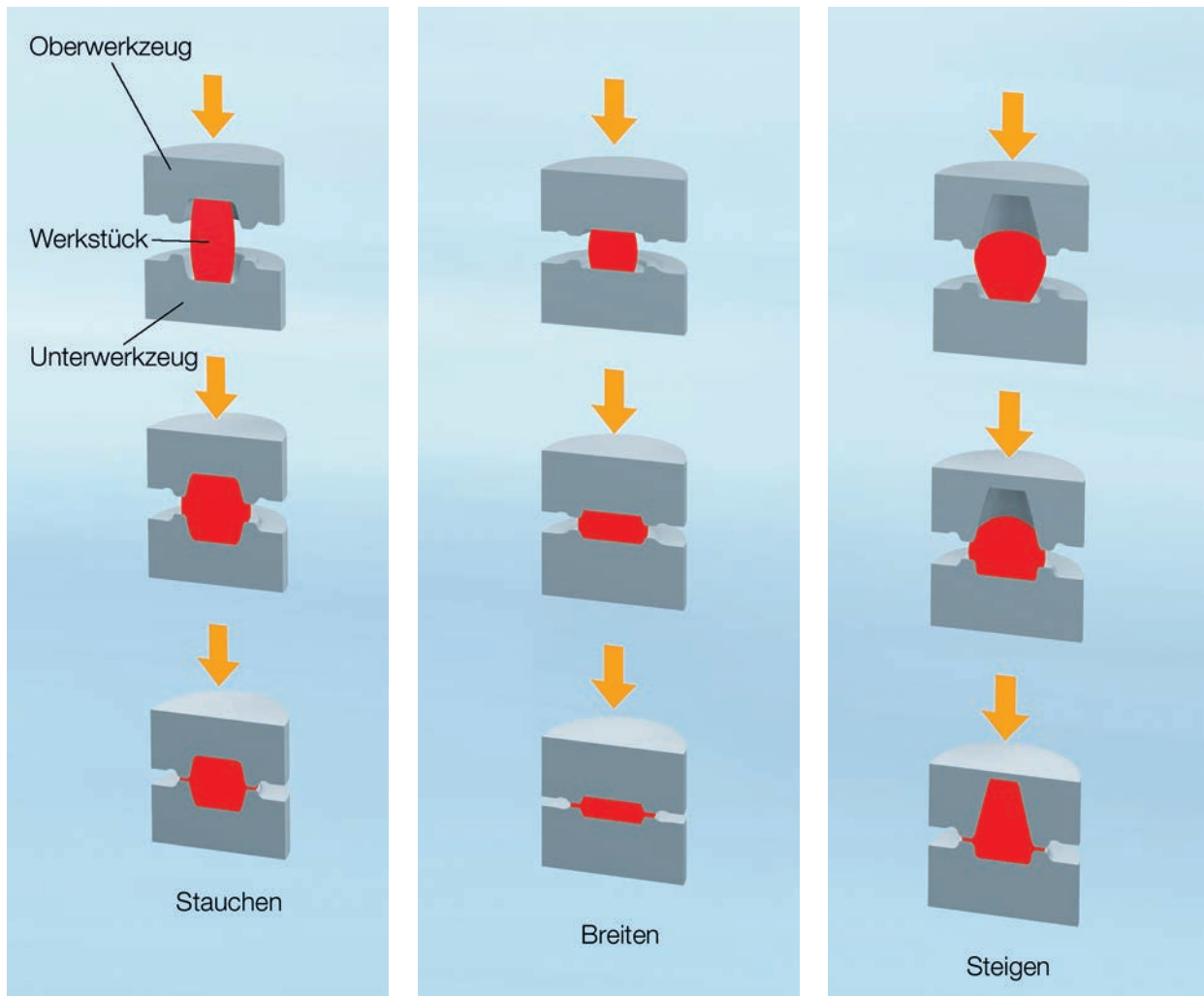


Bild 5.9: Grundtypen der Vorgänge beim Füllen von Schmiedegravuren

Die Füllvorgänge beim Gesenkschmieden beginnen im Allgemeinen mit dem *Stauschen* des Vormaterials. In der nächsten Phase der Umformung, dem *Breiten*, legt sich der Werkstoff an die formgebenden Gravurwände an. Tiefe Gravurhohlräume werden in der Endphase der Umformung durch *Steigen* des Werkstoffs ausgefüllt.

Vorteile:

- Hochproduktives Verfahren, auch bei komplizierten Geometrien.
- Hohe Reproduzierbarkeit der gefertigten Teile.

Nachteile:

- Aufwendige Werkzeuge (Gesenke) notwendig.
- Materialüberschuss erforderlich.

Anwendungen:

- Warm-, Halbwarm- und Kaltumformung von Stahl- und Nichteisenlegierungen.
- Das Gesenkschmieden ist das bedeutendste Verfahren in der Massivumformung und wird für die Produktion geometrisch komplizierter und hochbeanspruchter Bauteile eingesetzt, zum Beispiel:
 - Fahrwerkskomponenten für die Fahrzeug- und Luftfahrtindustrie
 - Motor- und Getriebeteile wie zum Beispiel Kurbelwellen und Pleuelstangen
 - Turbinen- und Verdichterschaufeln

5.3.2 Gesenkschmieden ohne Grat

Beim *Gesenkschmieden ohne Grat* wird das Werkstück bei der Umformung vollständig vom Werkzeug umschlossen, aus dem kein Werkstoff austritt (Bild 5.10). Der prinzipielle Verlauf der Umformung entspricht dem Gesenkschmieden mit Grat (siehe Kapitel 5.3.1).

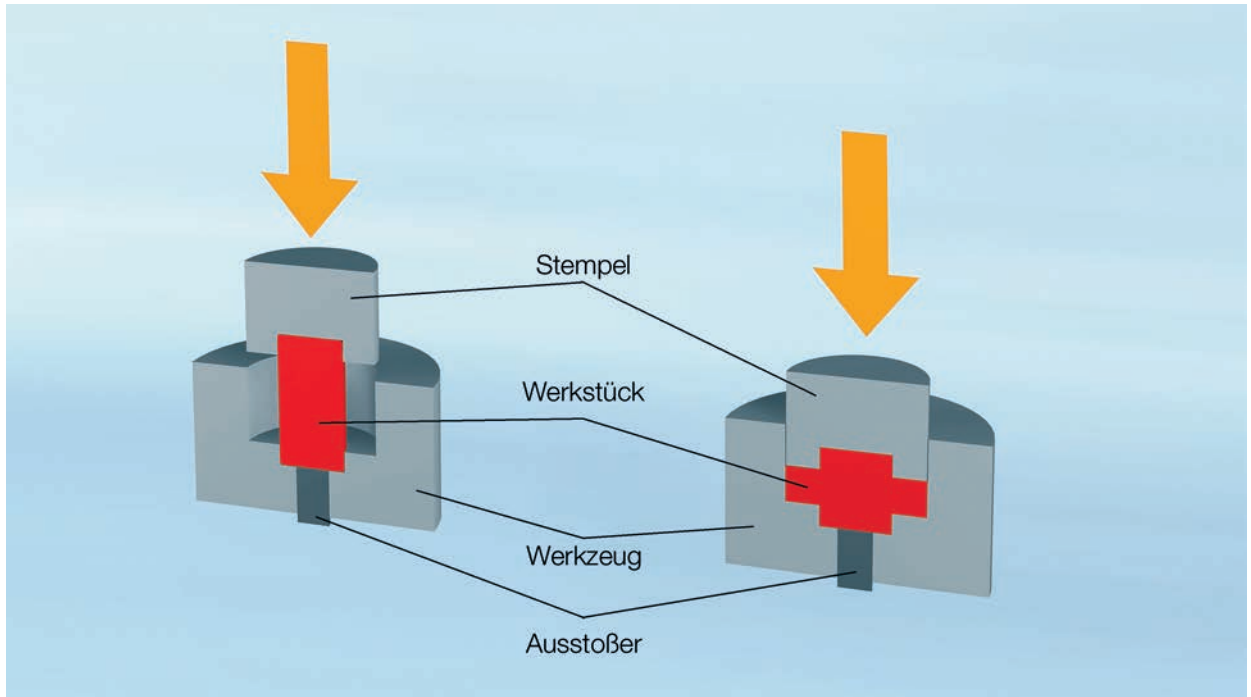


Bild 5.10: Gesenkschmieden (Gesenkformen) ohne Grat

Vorteile:

- Hochproduktives Verfahren.
- Hohe Reproduzierbarkeit der gefertigten Teile.
- Gegenüber dem Gesenkschmieden mit Grat wird Material eingespart und das Abgraten entfällt.

Nachteile:

- Die Werkzeuge (Gesenke) sind gegenüber dem Gesenkschmieden mit Grat aufwendiger.
- Volumenschwankungen der Vorprodukte können entweder zur Überlastung der Werkzeuge führen, wenn keine Ausgleichsräume vorgesehen sind, oder die Gravur wird nicht vollständig gefüllt. Daraus ergibt sich eine besonders hohe Anforderung an die Volumengenauigkeit der Vorprodukte.
- Bei langgestreckten Werkstücken und Werkstücken mit komplizierter Massenverteilung (zum Beispiel Radaufhängungen, Kurbelwellen) kann das gratlose Schmieden nicht eingesetzt werden.

Anwendungen:

- Warm-, Halbwarm- und Kaltumformung von Stahl- und Nichteisenlegierungen.
- Das gratlose Gesenkschmieden wird vorwiegend für die Massenproduktion von Bauteilen mit rotationssymmetrischer Grundstruktur und einfacher Massenverteilung eingesetzt, wie zum Beispiel: Zahnradrohlinge, Wälzlagering, Radnaben.

5.4 Fließpressen

Das *Fließpressen* gehört nach DIN 8583 zur Untergruppe Durchdrücken. Durch Fließpressen werden Werkstücke mit vorwiegend rotationssymmetrischer Grundgeometrie hergestellt.

Beim Fließpressen wird das Werkstück durch eine formgebende Werkzeugöffnung (Matrize) gedrückt. Hierbei unterscheidet man die verschiedenen Fließpressverfahren (Bild 5.11) in Abhängigkeit von der Richtung des Werkstoffflusses relativ zur Stempelbewegung in:

- Vorwärts-Fließpressen,
- Rückwärts-Fließpressen und
- Quer-Fließpressen.

Insbesondere durch Kombination mehrerer Fließpressverfahren in entsprechend vielen Umformstufen lassen sich geometrisch komplizierte Werkstücke in großer Stückzahl wirtschaftlich fertigen.

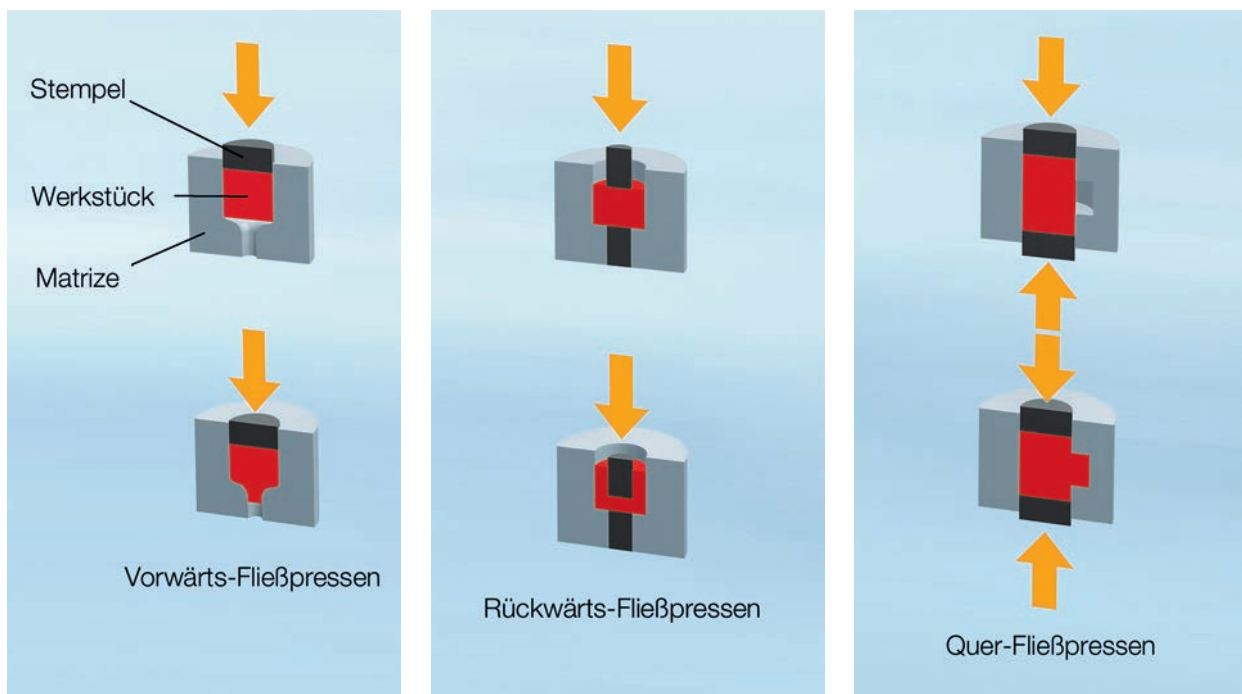


Bild 5.11: Fließpressverfahren

Vorteile:

- Die Fließpressprodukte zeichnen sich durch hohe Maßgenauigkeit und gute Reproduzierbarkeit aus.
- Das Fließpressen ist auch bei schnelllaufenden Umformmaschinen einsetzbar.

Nachteile:

- Das Fließpressen kann nur bei Bauteilen mit vorwiegend rotationssymmetrischer Grundgeometrie eingesetzt werden.

Anwendung:

- Warm-, Halbwarm- und Kaltumformung von Stahl- und Nichteisenlegierungen.
- Fließpressverfahren werden als Vorformverfahren für das nachfolgende Gesenkschmieden und zur Massenherstellung von vorwiegend rotationssymmetrischen Werkstücken mit einem Gewicht von wenigen Gramm bis etwa 30 kg eingesetzt.

5.5 Weitere Verfahren

Neben den in den Kapiteln 5.1 bis 5.4 dargestellten Verfahren sind in den Untergruppen der DIN 8582 (Bild 5.1) eine große Anzahl weiterer Massivumformverfahren genannt, die jeweils für spezielle Produktspektren eingesetzt werden.

Für bestimmte Bauteile werden immer wieder Spezialverfahren im Bereich der Massivumformung entwickelt, die die Herstellung dieser Bauteile in Serie rationell gestalten sollen. Dazu gehören Präzisionsschmiedeverfahren, wie zum Beispiel das Pressen von Ausgleichskegelrädern mit einbaufertiger Verzahnung oder das Pressen von Kupplungsverzahnungen mit Hinterschnitt. Auch das Gratlospressen von Zahnstangen mit veränderlichem Modul (Bishop-Verfahren), das Twisten (Verdrehen) von Kurbelwellen zur Herstellung von Hinterschneidungen bei den Gegengewichten und das Präzisionsschmieden von Turbinenschaufeln zählen zu den Spezialverfahren der Massivumformung, die eng auf das zu fertigende Produktspektrum abgestimmt sind. Wenn die Stückzahl groß genug ist, sodass sich die Entwicklung von Spezialverfahren und -maschinen wirtschaftlich lohnt, lassen sich mit den verschiedenen umformtechnischen Verfahren nahezu alle Bauteile rationell herstellen /Hivo10/.

6 Verfahrensschritte vor und nach der Umformung

Die wesentlichen Massivumformverfahren wurden in Kapitel 5 beschrieben. Die Herstellung eines Massivumformteils erfordert neben der eigentlichen Umformung jedoch meist mehrere vor- und nachgelagerte Prozesse beziehungsweise Prozessschritte, die in diesem Kapitel beschrieben werden. Der Ablauf der gesamten *Prozesskette* ist an mehreren Beispielen in Kapitel 7 dargestellt.

Die der Umformung vor- und nachgelagerten Prozessschritte reichen vom Trennen des Ausgangsmaterials, das in unterschiedlichen Formen beim Umformbetrieb angeliefert wird, bis zur Oberflächenbehandlung und mechanischen Bearbeitung der Rohteile. Die möglichen vor- und nachgelagerten Prozessschritte werden im Folgenden dargestellt.

6.1 Trennen

Zielstellung

Durch das *Trennen* sollen längen- beziehungsweise gewichtsgenaue Vorprodukte hergestellt werden. Wenn die Trennfläche bei der nachfolgenden Umformung innerhalb des Bauteils liegt, ist die Qualität der Trennflächen von großer Bedeutung, da ansonsten Fehler am Bauteil entstehen können.

Varianten

Je nach Materialhärte, Querschnitt und Trenngeschwindigkeit kommen verschiedene Trennverfahren zum Einsatz, wie Scheren, Sägen, Spalten.

6.1.1 Scheren (Scherschneiden)

Beim *Scheren* von Halbzeug wird ein bewegliches Abschnittmesser um die Schnittpaltbreite versetzt an einem stationären Stangenmesser vorbeigeführt. Dabei wird der Werkstoff getrennt. Das Abscheren besteht aus einem anfänglichen Schneidvorgang, bevor das endgültige Trennen durch den Bruch des Restquerschnitts erfolgt. Das Verfahren kann als Kaltscheren (Bild 6.1) oder Warmscheren (Bild 6.2) eingesetzt werden. Das Warmscheren erfolgt im Bereich der Umformtemperatur, unmittelbar vor dem Umformprozess.

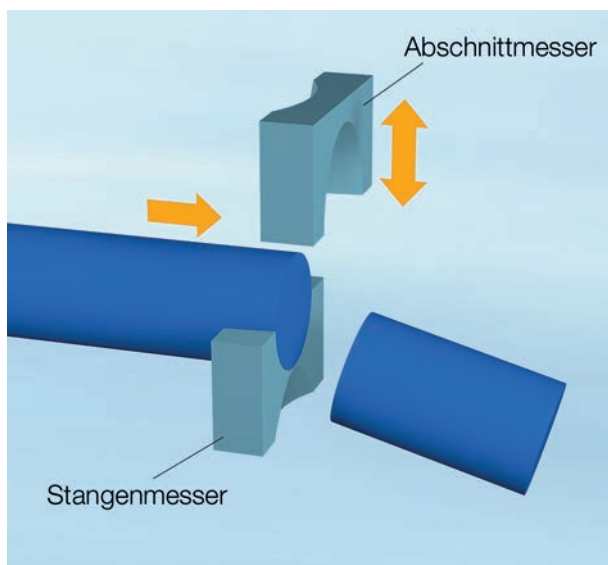


Bild 6.1: Kaltscheren

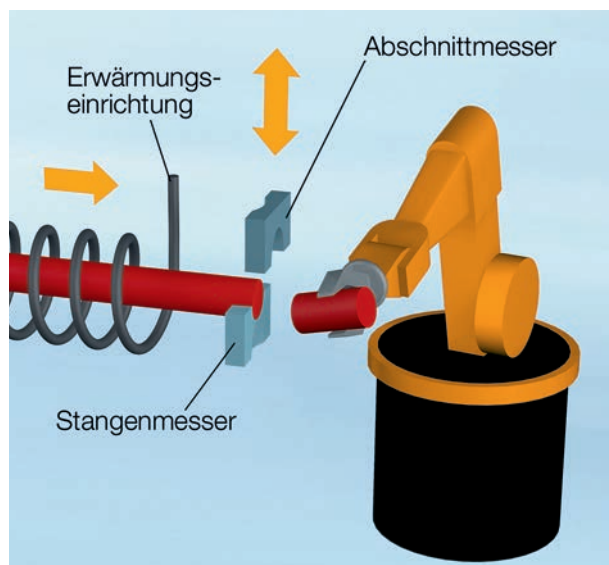


Bild 6.2: Warmscheren

Vorteile:

- Das Trennen durch Scherschneiden geschieht mit Ausnahme der Anfangs- und Endstücke ohne Werkstoffverlust.
- Geringe Taktzeiten gewährleisten eine hohe Produktivität.

Nachteile:

- Durch die Kombination aus Schneid- und Bruchfläche können die Scherflächen uneben sein und Oberflächenungängen aufweisen.
- Für „weiche“ Werkstoffe (zum Beispiel Aluminium) ist das Scherschneiden nicht geeignet.

Anwendung:

- Das Kaltscheren wird beim Trennen von Halbzeug aus Stahl für Durchmesser beziehungsweise Kantenlängen bis circa 120 mm eingesetzt.
- Das Warmscheren ist unabhängig von der Werkstoffhärte und gut geeignet für die Integration in schnelllaufende automatisierte Schmiedeprozesse oder bei großen Halbzeug-Querschnitten.

6.1.2 Sägen

Das **Sägen** ist ein spanabhebendes Trennverfahren (Bild 6.3), das heißt, dass jeder Trennschnitt mit einem Materialverlust verbunden ist. Das Sägen kann bei kleineren Halbzeugquerschnitten auch zum Trennen ganzer Stangenbunde eingesetzt werden (Bild 6.4).

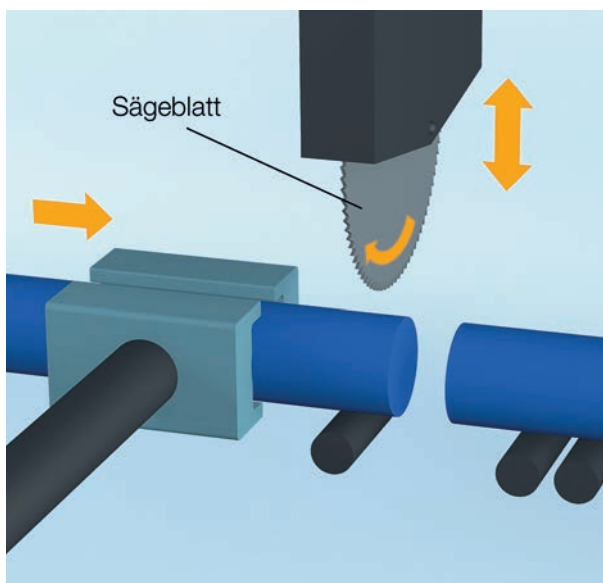


Bild 6.3: Stangen-Sägen

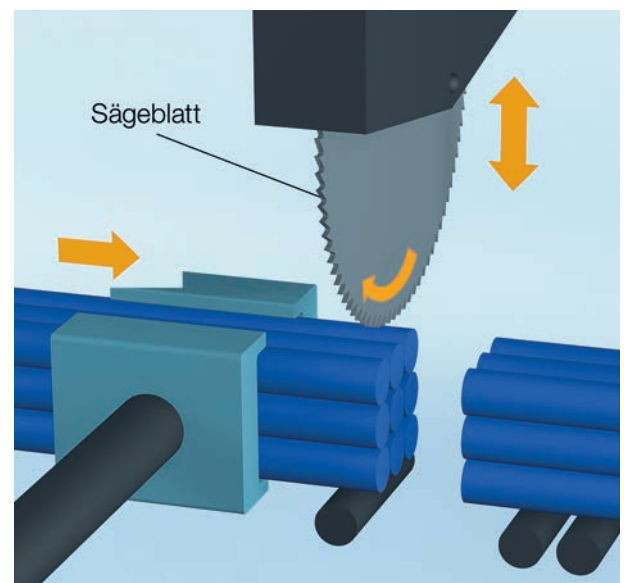


Bild 6.4: Bund-Sägen

Vorteile:

- Das Sägen ermöglicht präzise, wiederholgenaue Abschnittslängen mit einer hochwertigen Schnittflächenqualität.
- Das Sägen kann auch bei sehr großen Halbzeugquerschnitten und bei allen Materialqualitäten und -sorten eingesetzt werden.
- Ein Schnittwerkzeugwechsel beim Sägen verschiedener Halbzeugquerschnitte ist normalerweise nicht notwendig.

Nachteile:

- Das Sägen ist ein spanabhebendes Verfahren und benötigt für den Trennvorgang mehr Zeit als das Scheren und hat daher eine geringere Produktivität.
- Das Sägen verursacht einen Werkstoffverlust, der prozentual mit abnehmender Vorproduktlänge zunimmt.

Anwendung:

- Herstellen von Vorprodukten aus weichen Werkstoffen, wie zum Beispiel Aluminium oder bei hohen Anforderungen an die Genauigkeit der Vorproduktlänge, wie zum Beispiel beim Gratlos-schmieden, und/oder die Oberflächenqualität der Schnittflächen.
- Das Sägen wird beim Trennen von Halbzeug für Durchmesser beziehungsweise Kantenlängen größer 120 mm eingesetzt oder für die Herstellung von Vorprodukten mit kleinem Längen-/ Durchmesser-Verhältnis.

6.1.3 Spalten

Das *Spalten* entspricht prinzipiell dem Scherschneiden und ist eine Kombination aus Trennvorgang und Massenvorverteilung. Das Spaltstück wird aus einem Blechstreifen verlustfrei (mit Ausnahme der Anfangs- und Endstücke) ausgeschnitten (Bild 6.5).

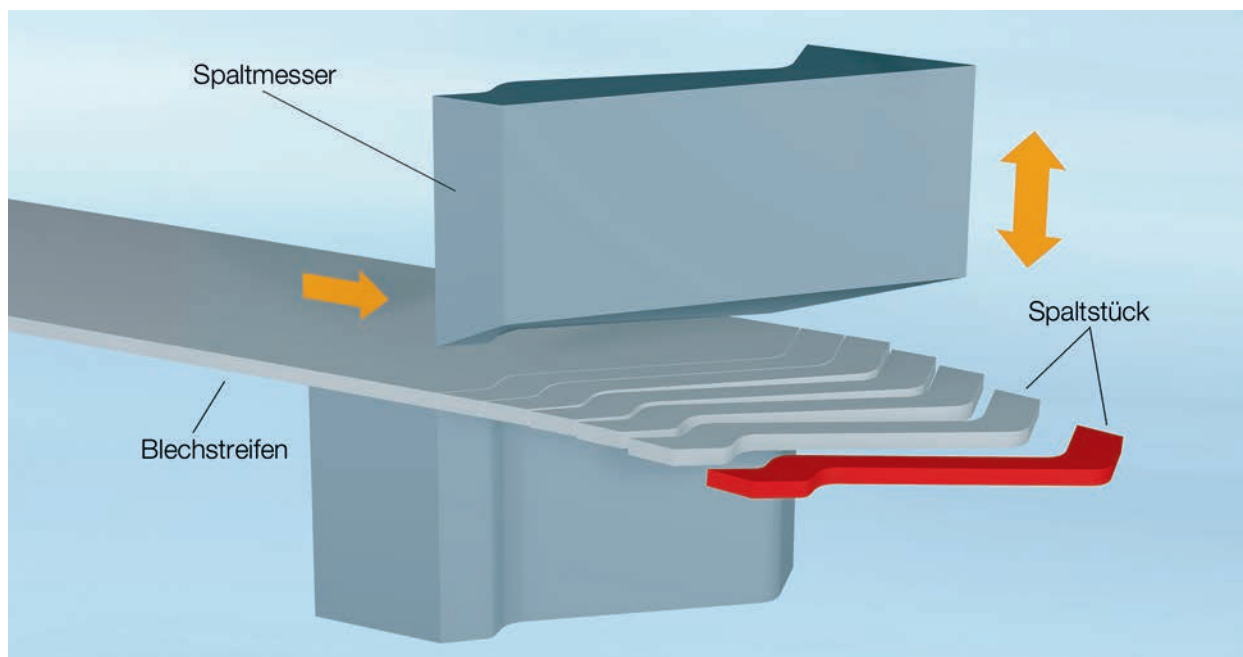


Bild 6.5: Spalten

Vorteile:

- Der Trennvorgang ist mit Ausnahme von Anfangs- und Endstücken frei von Werkstoffverlust.
- Das Spalten ermöglicht eine gleichzeitige Massenverteilung des Vorprodukts.

Nachteile:

- Der Faserverlauf des Spaltstücks kann im Allgemeinen der Form des Schmiedestücks nicht optimal angepasst werden.

Anwendung:

- Herstellung von Vorprodukten für lange und flache Teile wie Schraubenschlüssel, Zangen, Messerklingen, Scheren, etc.

6.2 Vorfertigung für die Kaltumformung

Das *Kaltumformen* von Stahl erfordert eine spezielle Vorbehandlung der Bauteile, um das Gefüge und die Oberfläche für die nachfolgende Umformung zu optimieren. Die Vorbehandlung besteht beispielsweise aus Glühen (Weichglühen, Kapitel 6.7.5), Säuberungsstrahlen und Beschichten. Die Beschichtung der Vorprodukte ist notwendig, um eine Oxidation und bei der nachfolgenden Umformung eine Kaltverschweißung zwischen Werkzeug und Werkstück zu verhindern. Als druckbeständige feste Gleitmittel werden Graphit, Molybdändisulfid, spezielle Seifen oder Wachse eingesetzt [Hivo10]. Neue Entwicklungen in der Werkstoff- und Prozesstechnologie zielen darauf, das gewünschte Gefüge ohne Glühen zu erreichen und die notwendige Beschichtung der Vorprodukte ausschließlich mit umweltverträglicheren Produkten auszuführen.

6.3 Erwärmen

Das Umformvermögen metallischer Werkstoffe steigt mit zunehmender Temperatur, während der notwendige Kraftbedarf für die Umformung sinkt. Diese Eigenschaft wird bei der Halbwarm- und Warmumformung genutzt. Bei der Warmumformung von Stahl beträgt die Erwärmungstemperatur circa 1.100 °C bis 1.300 °C, bei der Halbwarmumformung liegt der Temperaturbereich der Erwärmung bei circa 600 °C bis 950 °C.

Zielstellung

Die erwärmten Vorprodukte sollen eine homogene Durchwärmung über den Produktquerschnitt und über die Längsachse aufweisen. Für einen prozessstabilen Fertigungsablauf ist eine reproduzierbare Erwärmung mit möglichst geringer Temperaturstreuung von Teil zu Teil notwendig. Zur Minimierung der Oberflächenoxidation (Zunderbildung) und der Randentkohlung sollte die Erwärmung in möglichst kurzer Zeit erfolgen. Aufgrund stetig steigender Energiekosten und erhöhter Sensibilität bezüglich der Umweltbeeinflussung sind ein möglichst geringer Energiebedarf und Schadstoffausstoß durch die Erwärmung anzustreben.

Varianten

Die Erwärmung des Vorprodukts kann durch indirekte oder direkte Erwärmungsverfahren erfolgen.

6.3.1 Indirektes Erwärmen

Bei der *indirekten Erwärmung* wird das Vorprodukt von außen mit Wärme beaufschlagt (Bild 6.6). Die Erwärmung erfolgt durch Konvektion, Wärmestrahlung und Wärmeleitung in Kammer- oder Durchlauföfen. Die Wärmeenergie wird durch die Verbrennung von Gas oder Mineralöl erzeugt. Möglich ist auch eine elektrische Beheizung der Öfen.

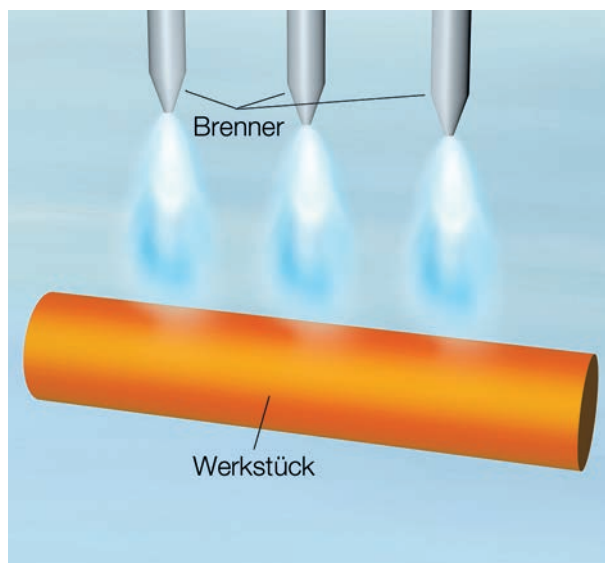


Bild 6.6: Indirekte Erwärmung

Vorteile:

- Geeignet zum Erwärmen großvolumiger Vorprodukte und Umformzwischenprodukte.
- Geringe Energiekosten bei Einsatz von Primärenergie.
- Unabhängig von der Geometrie der Vorprodukte.

Nachteile:

- Erhöhte Verzunderung und Randentkohlung der Vorprodukte infolge relativ langer Wärmzeiten (chemische Reaktion des Teils mit der Ofenatmosphäre).

Anwendung:

- Erwärmen großer Vorprodukte.
- Erwärmen von Schüttgut (zum Beispiel zur Wärmebehandlung)

6.3.2 Direktes Erwärmen

Das *direkte Erwärmen* erfolgt auf Basis elektrischer Energie und kann *induktiv* oder *konduktiv* erfolgen. Dabei entsteht die Wärme im Vorprodukt selbst und braucht nicht durch Wärmeleitung übertragen zu werden.

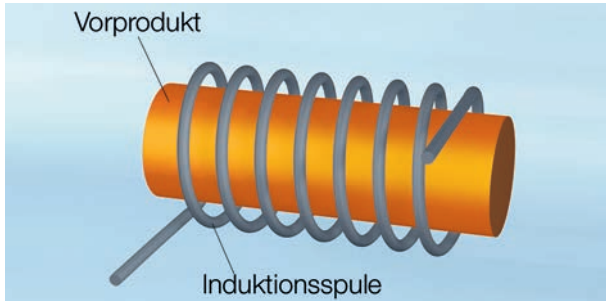


Bild 6.7: Direkte Erwärmung durch Induktion

Induktive Erwärmung

Beim induktiven Erwärmen werden die Vorprodukte in einer Induktionsspule erwärmt, durch die ein hochfrequenter Wechselstrom fließt, der ein elektromagnetisches Wechselfeld erzeugt (Bild 6.7). Dieses Wechselfeld induziert innerhalb des Vorprodukts eine elektrische Spannung, die zur Bildung von Wirbelströmen führt. Diese Wirbelströme bewirken aufgrund des spezifischen elektrischen Widerstands des Materials eine Erwärmung des Vorprodukts.

Vorteile:

- Kurze Erwärmungszeit sowie geringe Verzunderung und Randentkohlung der Vorprodukte.
- Die Anlaufzeit einer Induktionserwärmung nach einem Anlagenstillstand ist relativ kurz.
- Gute Reproduzierbarkeit der Vorprodukttemperatur.
- Geringer Platzbedarf der Erwärmeraggregate.
- Gute Automatisierbarkeit der Zuführung.

Nachteile:

- Für einen optimalen Wirkungsgrad der Erwärmung und eine gute Durchwärmung der Vorprodukte muss die Spule an den Querschnitt der Vorprodukte angepasst sein. Bei einem Vorproduktwechsel mit wesentlicher Querschnittsänderung ist im Allgemeinen ein Wechsel der Spule notwendig. Nachteilig sind hier der Investitionsaufwand für die verschiedenen Spulen unterschiedlicher Größe und der zeitliche Aufwand des Spulenwechsels.

Anwendung:

- Erwärmen aller gängigen Rund- und Vierkantmaterialien mit kleinen bis mittleren Querschnittsabmessungen.

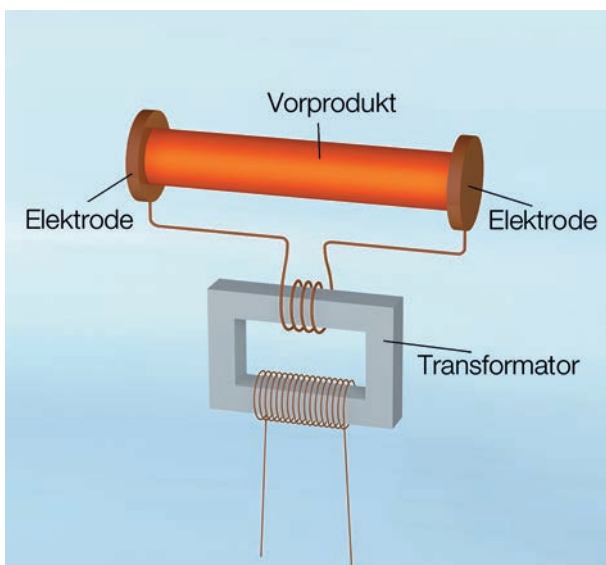


Bild 6.8: Direkte Erwärmung durch Konduktion

Konduktive Erwärmung

Bei der konduktiven Erwärmung bildet das Vorprodukt einen Teil des elektrischen Stromkreises (Bild 6.8). Das Vorprodukt wird somit direkt vom Strom durchflossen und erwärmt sich aufgrund seines elektrischen Widerstands. Die konduktive Erwärmung wird daher auch als Widerstandserwärmung bezeichnet.

Vorteile:

- Sehr kurze Erwärmungszeit.
- Besserer energetischer Wirkungsgrad im Vergleich zur induktiven Erwärmung.
- Keine Anlaufverluste.

Nachteile:

- Kurze Teile sollten wegen der Wärmeverluste an den gekühlten Elektroden nicht konduktiv erwärmt werden. Das Verhältnis Vorproduktlänge/-durchmesser sollte größer als 2,5 sein.
- Die Übertragung der hohen Stromwerte erfordert eine gute Oberflächenbeschaffenheit (Rautiefe, Rost, Zunder, Verschmutzung) der Kontaktflächen der Vorprodukte.
- Aufwendige Automatisierung, da die Vorprodukte immer einzeln zwischen den Elektroden geklemmt werden müssen.

Anwendung:

- Erwärmung von langen und dünnen Stangen.

6.4 Entzundern

Die hohen Erwärmungstemperaturen bei der Warmumformung bewirken in Abhängigkeit von der Erwärmungszeit eine mehr oder weniger starke Oxidation der Oberfläche des Vorprodukts. Die sich hierbei bildende Zunderschicht würde Oberflächenfehler am Schmiedebauteil und erhöhten Werkzeugverschleiß nach sich ziehen. Da Aluminium bei der Erwärmung keine lose anhaftende Oxidschicht bildet, wird das *Entzundern* ausschließlich bei der Warmumformung von Stahlwerkstoffen angewandt.

Zielstellung

Entfernung der lose anhaftenden Zunderschicht von der Oberfläche des erwärmten Vorprodukts.

Varianten

Das Entzundern kann durch Umformung, wie zum Beispiel Anstauchen, durch Druckwasser oder Bürsten erfolgen.

6.4.1 Entzundern durch Anstauchen

Durch das Anstauchen (Bild 6.9) wird das Vorprodukt geringfügig umgeformt, wodurch die spröde Zunderschicht abplatzt.



Bild 6.9: Entzundern durch Anstauchen

Vorteile:

- Bereits durch eine geringfügige Umformung ist ein Entzundern möglich.
- Das Anstauchen kann gleichzeitig auch zur Massenvorverteilung genutzt werden.

Nachteile:

- Die Entzunderung gelingt nicht immer vollständig auf der gesamten Vorproduktoberfläche.

Anwendung:

- Umformprozesse, bei denen kein Reckwalzen oder sonstige Vorformoperationen dem Gesenken vorgeschaltet sind.

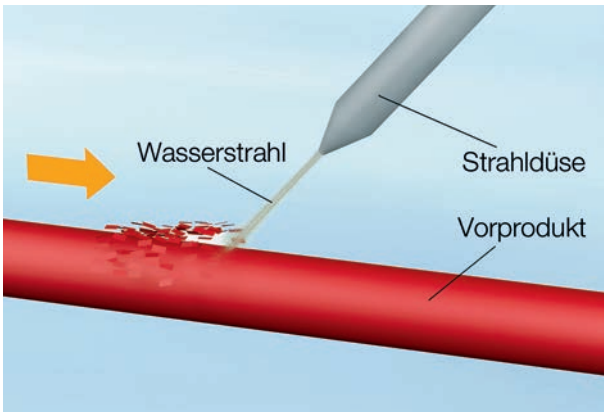


Bild 6.10: Entzundern mit Druckwasser

6.4.2 Entzundern mit Druckwasser

Beim Entzundern mit Druckwasser wird Wasser mit einem Druck von bis zu 500 bar auf die heiße Bauteiloberfläche gespritzt (Bild 6.10). Das explosionsartig verdampfende Wasser, die thermische Oberflächenschrumpfung und die mechanische Energie des Wasserstrahls lösen dabei die lose anhaftende Zunderschicht ab.

Vorteile:

- Die Entzunderung lässt sich gut in die Prozesskette integrieren.

Nachteile:

- Bei kleinen Querschnitten kühlt das Vorprodukt zu stark ab.
- Anwendbar nur bei Vorprodukten, die aufgrund eines höheren Gewichts auch eine stabile Lage beibehalten.
- Die Auflagefläche des Vorprodukts wird nur unvollständig entzundert.

Anwendung:

- Die Druckwasserentzunderung wird hauptsächlich bei Vorprodukten mit hohen Einsatzgewichten eingesetzt.

6.4.3 Entzundern durch Bürsten

Beim Entzundern durch Bürsten werden die lose anhaftende Zunderschicht und andere Verunreinigungen der Oberfläche mechanisch durch die Stahldrähte der rotierenden Bürsten entfernt (Bild 6.11).

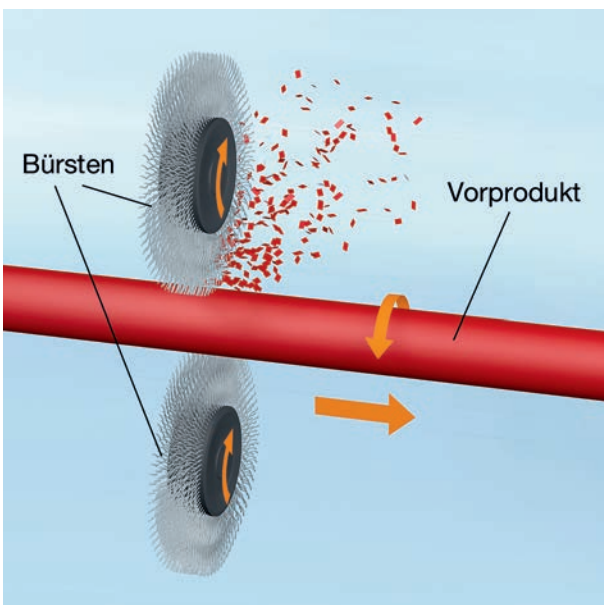


Bild 6.11: Entzundern durch Bürsten

Vorteile:

- Das Entzundern kann automatisiert im Durchlaufverfahren erfolgen.

Nachteile:

- Die Bürsten verschleifen und müssen in Abhängigkeit des Verschleißgrads nachgestellt beziehungsweise ersetzt werden.

Anwendung:

- Aufgrund des starken Verschleißes der Stahldrähte wird das Bürsten vorzugsweise partiell bei der konduktiven Erwärmung eingesetzt, um die Enden der Materialabschnitte zu säubern und leichte Schergrate zu entfernen. Das Ziel ist eine saubere, gratfreie Kontaktfläche an den Elektroden der Konduktivanlage, um Stromspitzen zu vermeiden.

6.5 Abgraten/Lochen

Der beim Gesenkschmieden mit Grat verfahrensbedingte Materialüberschuss fließt während der Umformung in die Teilungsfläche zwischen den beiden Werkzeughälften (Kapitel 5.3.1). Dieser sogenannte Grat wird durch das *Abgraten* entfernt.

Durchbrüche in den Schmiedeteilen lassen sich durch den Umformvorgang nicht erzeugen. Sie werden durch das nachfolgende *Lochen* erzeugt.

Zielstellung

Entfernen des Materialüberschusses, der als Außengrat und/oder Innengrat (Spiegel) vorliegen kann.

Beim Abgraten wird der außen am Teil befindliche Grat entfernt (Bild 6.12). Beim Lochen wird der Innengrat (Spiegel) entfernt (Bild 6.13). Man unterscheidet Kalt- und Warmabgraten. Bei Bauteilen, die sowohl ein Abgraten als auch ein Lochen erfordern, kommen üblicherweise so genannte Kombiwerkzeuge zum Einsatz, mit denen das Abgraten und das Lochen kombiniert in einem Hub mittels eines Verbundwerkzeuges erfolgt.

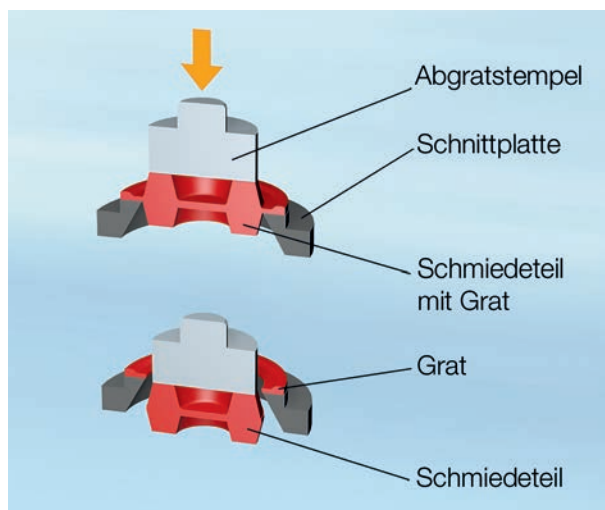


Bild 6.12: Abgraten

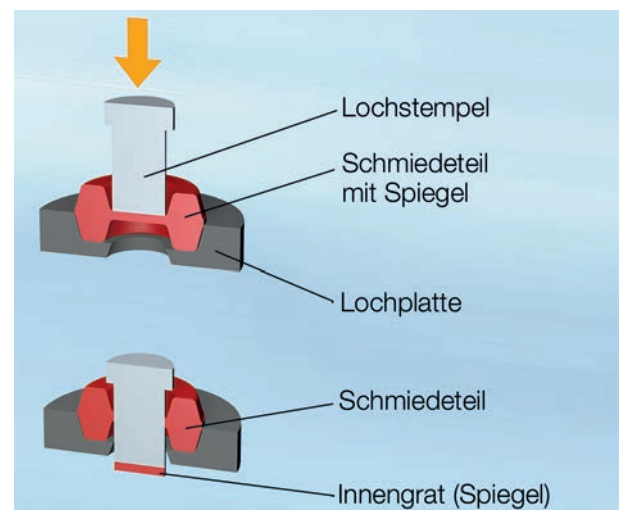


Bild 6.13: Lochen

Vorteile des Warmabgratens/-lochens:

- Das Warmabgraten ist in die Fertigungslinie integriert.
- Die Schnittkräfte sind aufgrund der hohen Temperatur gering.

Nachteile des Warmabgratens/-lochens:

- Streuende Bauteiltemperaturen führen zu Maßschwankungen der Bauteilgeometrie und können die Qualität der Abgrat- und Lochschnitte negativ beeinflussen.
- Die Integration in die Fertigungslinie erhöht den Rüst- und Korrekturaufwand im Warmbetrieb.

Vorteile des Kaltabgratens/-lochens:

- Die Entkopplung des Kaltabgratens vom Arbeitstakt der Schmiedelinie ermöglicht eine höhere Mengenleistung beim Abgraten.

Nachteile des Kaltabgratens/-lochens:

- Der entkoppelte Arbeitsgang erfordert eine Zwischenpufferung und somit eine mehrfache Handhabung der Bauteile.

Anwendung:

- Gesenkschmiedeteile mit Grat und Lochspiegeln aller Art.

6.6 Nachformen

Zielstellung

Das Nachformen ist ein dem Umformen nachgelagerter Prozessschritt und dient der Verbesserung der Maß-, Form- und Lagegenauigkeit, der Verbesserung der Oberflächenrauheit oder, bei Sonderverfahren wie dem Twisten oder Biegen, der abschließenden Formgebung des Rohteils.

Das Nachformen (Richten, Maßprägen, Kalibrieren) ist ein meist partielles Nachdrücken des Rohteils zur Erhöhung der geometrischen Genauigkeit (Bild 6.14) und erfolgt sowohl am warmen als auch am kalten Rohteil. Biegen und Twisten werden zur abschließenden Formgebung eingesetzt. Beim Biegen werden Geometrielemente in eine andere geometrische Lage gebracht. Das Twisten ist ein gegenseitiges Verdrehen benachbarter Bauteilsegmente (Bild 6.15). Biegen und Twisten werden im warmen Bauteilzustand durchgeführt.

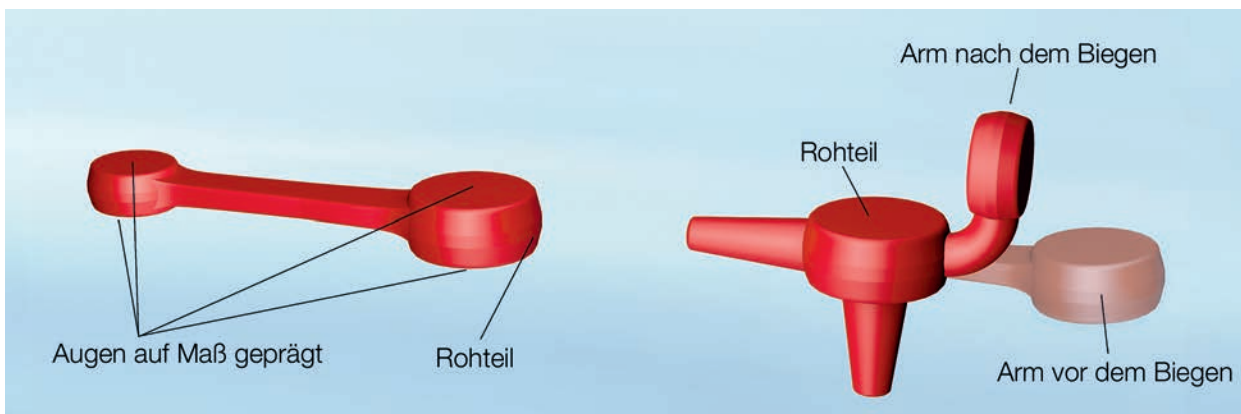


Bild 6.14: Partielles Nachformen durch Maßprägen (links) und Biegen (rechts)

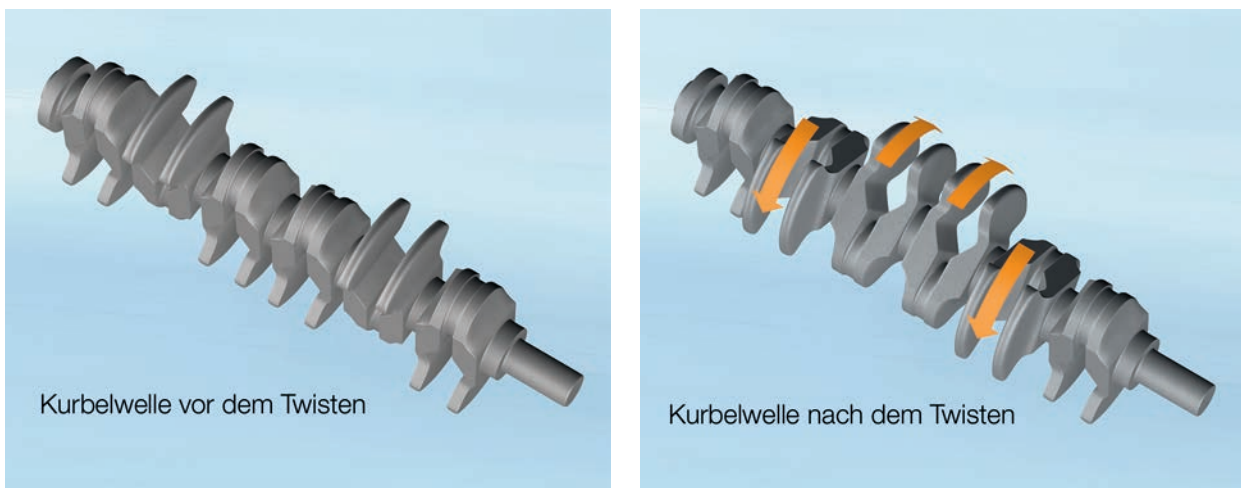


Bild 6.15: Twisten einer Sechszylinder-Kurbelwelle

Vorteile:

- Durch das Richten, Maßprägen und Kalibrieren wird die Genauigkeit des Bauteils erhöht, Maßstreuungen werden verringert.
- Beim Kaltkalibrieren können durch die hohe Maßgenauigkeit und Oberflächengüte einbaufertige Bauteilelemente gefertigt werden (zum Beispiel Verzahnung an Differentialkegelrädern).
- Durch das nachträgliche Biegen und Twisten können Bauteilgeometrien mit Hinterschnitt gefertigt werden, die durch konventionelle Umformverfahren nicht oder nur schwierig herstellbar sind.

Nachteile:

- Das Nachformen ist ein eigener Fertigungsgang und benötigt eine weitere Fertigungsstation.

Anwendung:

- Herstellung eng tolerierter Dickenmaße, zum Beispiel bei Pleuelstangen, Hebeln etc.
- Kaltkalibrieren einbaufertiger Funktionselemente, zum Beispiel Verzahnungen an Kegelrädern.
- Das Twisten wird zum Beispiel bei Kurbelwellen angewendet. Hierbei werden die Kurbelwellen in einer Ebene geschmiedet, um dann die Kurbelzapfen durch Twisten (Verdrehen) in die richtige Lage zueinander zu bringen (Bild 6.15).

6.7 Wärmebehandlung für Rohteile aus Stahl

Der Werkstoffzustand der Rohteile nach der Umformung erfüllt meist noch nicht alle Anforderungen, die sich aus dem Verwendungszweck ergeben. Es ist daher notwendig, den Werkstoffzustand durch eine Nachbehandlung so zu verändern, dass zum Beispiel die Härte, die Festigkeit, die Zähigkeit oder der Verschleißwiderstand den unterschiedlichen Bedingungen der jeweiligen Anwendung optimal angepasst sind. Das erfolgt durch eine *Wärmebehandlung*. Wärmebehandlung ist ein zeit- und temperaturgesteuerter Prozess mit dem Ziel, bestimmte Werkstoffeigenschaften zu erreichen.

Zielstellung

Die Eigenschaften des Stahls können durch eine Wärmebehandlung gezielt beeinflusst und somit dem Verwendungszweck angepasst werden. Hierbei ist sowohl eine Anpassung an die Gebrauchseigenschaften des Bauteils, wie zum Beispiel der Festigkeit und der Zähigkeit, als auch eine Vorbereitung auf einen nachfolgenden Verarbeitungsprozess, wie zum Beispiel das Kaltumformen oder Zerspanen, möglich. Der Ablauf der Wärmebehandlung kann in den Fertigungsprozess integriert sein oder zeitlich und räumlich getrennt vom Umformprozess erfolgen.

Varianten

Abhängig vom Ziel der Wärmebehandlung stehen mehrere unterschiedliche Verfahren zur Auswahl. Bei einigen Verfahren wird der Werkstoffzustand gezielt über den gesamten Querschnitt verändert, zum Beispiel beim Glühen, Härten, Anlassen, Vergüten oder Bainitisieren. Bei anderen Verfahren ist nur eine Veränderung der Randschicht beabsichtigt, wie zum Beispiel beim Randschichthärten, Nitrieren oder Nitrocarburieren. Bei manchen Verfahren wird zwar gezielt die Randschicht verändert, jedoch erfolgt auch eine Beeinflussung des Werkstoffzustands im gesamten Querschnitt. Dies trifft zum Beispiel auf das Einsatzhärten oder die Diffusionsbehandlungen Chromieren und Borieren zu /Lied05/.

Die Verfahren der Wärmebehandlung werden im Wesentlichen durch folgende Parameter definiert:

- Wärmebehandlungstemperatur,
- Erwärmungs- und Haltezeit,
- Ofenatmosphäre,
- Abkühlung.

Die Wahl der *Temperatur* hängt vom Werkstoff und vom gewünschten Wärmebehandlungsergebnis ab. Eine typische Grenze zum Beispiel für Stähle mit 0,8 % Kohlenstoff liegt bei 723 °C (als A_{c1} -Temperatur bezeichnet). Oberhalb dieser Temperatur entsteht eine Gefügestruktur (Kapitel 3), die man durch geeignetes Abkühlen in ihren Eigenschaften gezielt verändern kann. Unterhalb dieser Temperatur wird angelassen oder entspannt, um die Sprödigkeit, die beim Härten entsteht, zu beseitigen. Je nach Temperatur und Material können dadurch verschiedene Festigkeits-/Zähigkeitsverhältnisse eingestellt werden.

Die *Erwärmungszeit* muss so bemessen sein, dass der Temperaturanstieg möglichst gleichmäßig im gesamten Bauteil erfolgt, um so einen Verzug des Bauteils zu vermeiden oder gering zu halten. Die *Haltezeit* ist in einem festgelegten Temperaturbereich so zu wählen, dass sich die gewünschten Gefügeänderungen einstellen oder dass die Elemente Kohlenstoff (beim Einsatzhärten) beziehungsweise Stickstoff (beim Nitrieren) eindiffundieren können. Durch die Auswahl geeigneter *Ofenatmosphären* können Verfärbungen und Verzunderungen an den Bauteiloberflächen während der Wärmebehandlung vermieden werden. Hierbei wird der dafür verantwortliche Sauerstoff durch andere, neutrale „Schutzgase“ ersetzt oder ein Vakuum erzeugt.

Durch die *Abschreckung* beziehungsweise *Abkühlung* wird eine Veränderung der Gefügestruktur erreicht, um so ein neues hartes Gefüge mit dem Namen „Martensit“ zu erzeugen /IHT/. Der prinzipielle Temperatur-/Zeitablauf einer Wärmebehandlung ist in Bild 6.16 dargestellt.

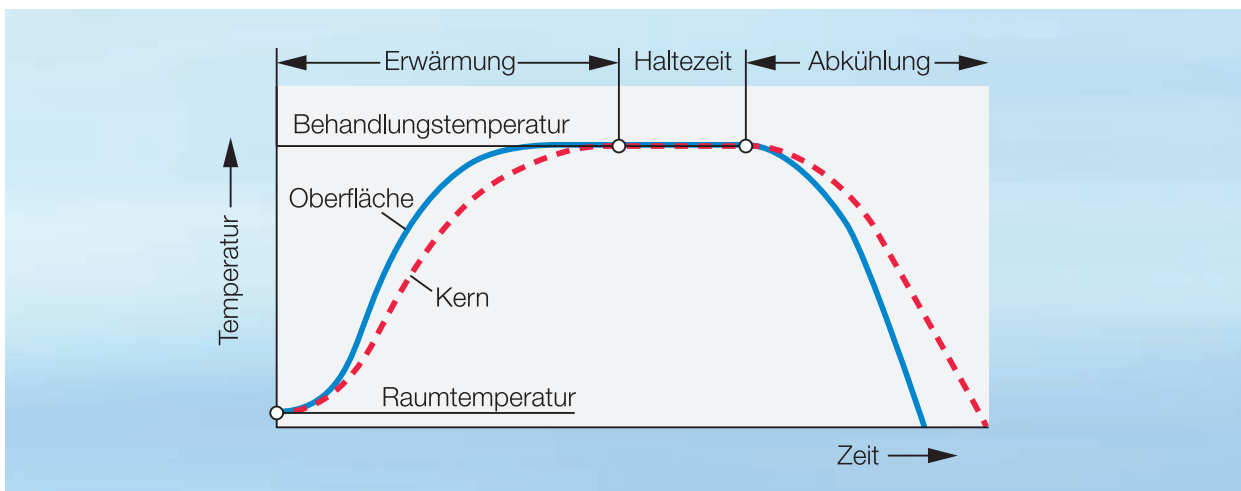


Bild 6.16: Ablauf einer Wärmebehandlung (schematisch) /Lied05/

Die wichtigsten Wärmebehandlungsverfahren – die über den gesamten Bauteilquerschnitt wirken – sind nachfolgend beschrieben und deren Temperatur-/Zeitverläufe schematisch dargestellt.

6.7.1 Normalglühen

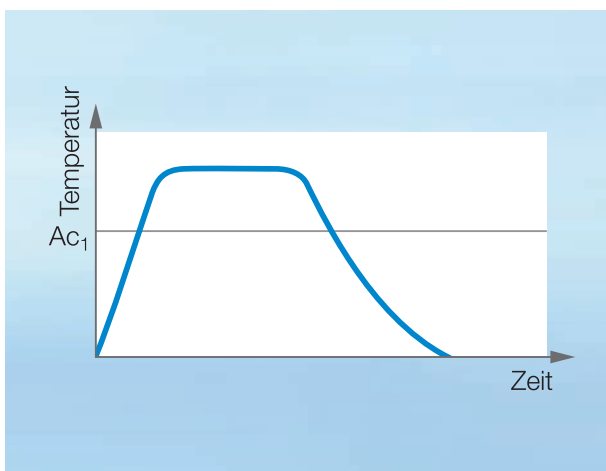


Bild 6.17: Temperatur-/Zeitverlauf beim Normalglühen

Zielstellung:

Erzeugen eines feinkörnigen, gleichmäßigen Gefüges. Das durch Normalglühen erzeugte Gefüge besitzt – zumindest bei unlegierten Stählen – die beste Kombination von Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften. Es wird als „Normalgefüge“ eines Stahls bezeichnet, weil es sich durch diese Wärmebehandlung gezielt und reproduzierbar erzeugen lässt /Barg08/.

Beschreibung:

Die Erwärmung des Stahls erfolgt möglichst schnell auf eine Temperatur oberhalb der Ac_1 -Temperatur, das Abkühlen wird relativ langsam ausgeführt. Das Normalisieren wird beispielsweise bei großen Freiform-Schmiedestücken – die relativ langsam aus der Umformwärme abkühlen und daher ein grobkörniges Gefüge aufweisen – angewendet /Barg08/.

6.7.2 Vergüten

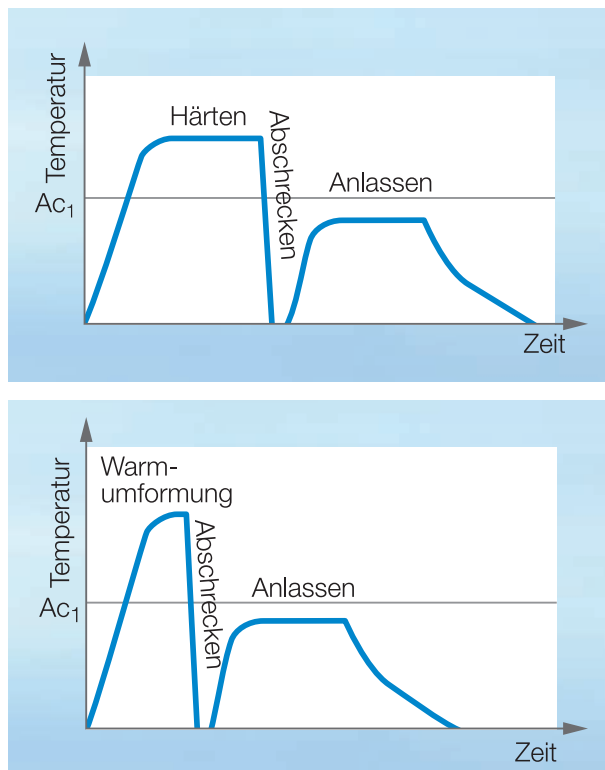


Bild 6.18: Temperatur-/Zeitverlauf beim Vergüten (oberes Bild) und Vergüten aus der Schmiedewärme (unteres Bild)

Zielstellung:

Durch Vergüten soll eine für den jeweiligen Anwendungsfall gezielte Kombination aus Festigkeit und Zähigkeit erreicht werden.

Beschreibung:

Das Vergüten ist eine zweistufige Wärmebehandlung, bestehend aus Härten und nachfolgendem Anlassen. Das Härten besteht aus einem relativ schnellen Erwärmen und, nach einer vorgegebenen Haltezeit, einem Abkühlen mit sehr großer Abkühlgeschwindigkeit (Abschrecken). Durch das nachfolgende Anlassen wird die beim Härten erzielte hohe Festigkeit und geringe Zähigkeit so eingestellt, dass Festigkeit und Zähigkeit den Anforderungen entsprechen. Beim *Vergüten aus der Schmiedewärme* erfolgt das Härten durch das Abschrecken der Werkstücke aus der Umformwärme. Das Anlassen geschieht nachfolgend auf konventionelle Weise. Der Entfall des gesonderten Härteprozesses bietet Kostenvorteile und vermeidet den Energieaufwand für das Erwärmen auf Härtetemperatur.

6.7.3 Kontrollierte Abkühlung aus der Warmumformung

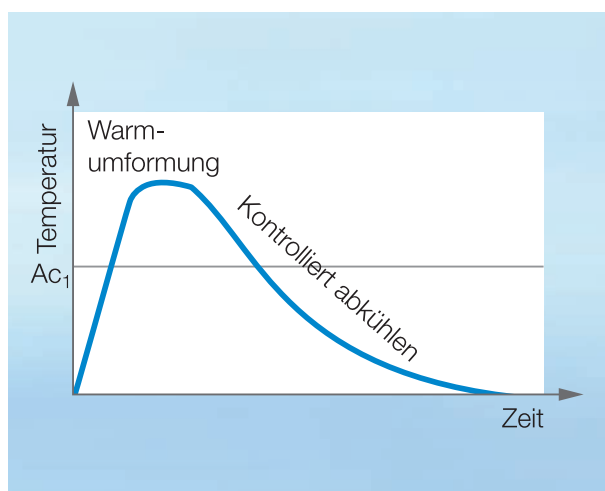


Bild 6.19: Temperatur-/Zeitverlauf bei der kontrollierten Abkühlung aus der Warmumformung

Zielstellung:

Die Zielstellung entspricht dem des Vergütens, der Einstellung der geforderten Festigkeit und Zähigkeit.

Beschreibung:

Die Schmiederohteile werden aus der Umformwärme mit einem vorgeschriebenen Temperatur-Zeitverlauf kontrolliert abgekühlt. Für die Anwendung dieser Art der Wärmebehandlung wurden spezielle Stahlwerkstoffe entwickelt, die sogenannten AFP-Stähle (Kapitel 4.1.4). Dieses Verfahren hat große Kostenvorteile, weil die Wärmebehandlung ausschließlich mit der Umformwärme erfolgt und keine weiteren Ofenanlagen benötigt werden.

6.7.4 FP-Glügen (Isothermglühen)

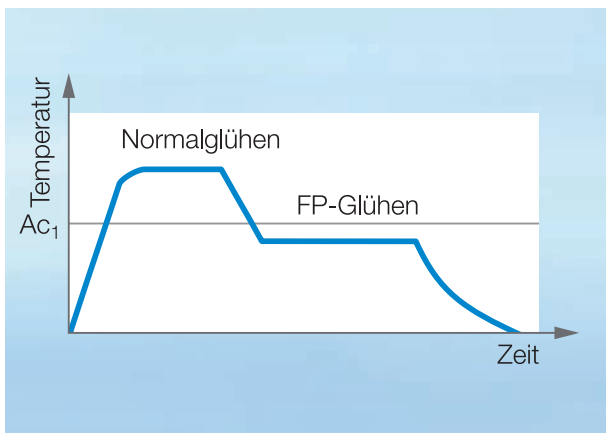


Bild 6.20: Temperatur-/Zeitverlauf beim FP-Glügen (Isothermglühen)

Zielstellung:

Erzeugen eines gleichmäßigen Gefügezustands mit guter Zerspanbarkeit.

Beschreibung:

Bei dem FP-Glügen (FP bedeutet Behandlung auf Ferrit-Perlit-Gefüge) erfolgt nach dem Erwärmen im Temperaturbereich der Normalglühtemperatur eine rasche Abkühlung auf die Isothermglühtemperatur, wo dann bei einer relativ langen Haltezeit die Umwandlung des Gefüges in die FP-Struktur stattfindet.

6.7.5 Weichglühen

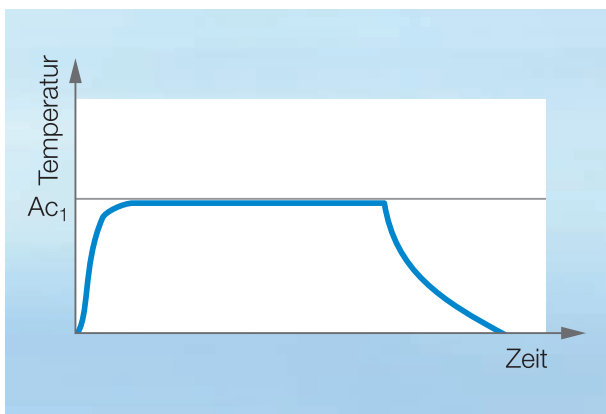


Bild 6.21: Temperatur-/Zeitverlauf beim Weichglühen

Zielstellung:

Durch Weichglühen soll ein möglichst weicher Zustand des Stahls erreicht werden, der die spanabhebende Verarbeitung erleichtert oder eine nachfolgende Kaltumformung des Werkstoffs ermöglicht.

Beschreibung:

Das Weichglühen benötigt relativ lange Haltezeiten geringfügig unterhalb der Ac_1 -Temperatur und endet mit einer langsamen Abkühlung.

6.7.6 Spannungsarmglühen

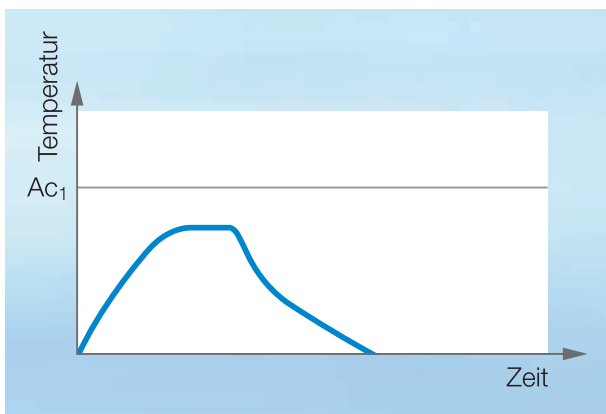


Bild 6.22: Temperatur-/Zeitverlauf beim Spannungsarmglühen

Zielstellung:

Minimierung innerer Bauteilspannungen, ohne die wesentlichen mechanischen Eigenschaften zu beeinflussen. Die inneren Spannungen können als Folge einer Kaltumformung oder einer ungleichmäßigen Abkühlung nach der Warmumformung oder Wärmebehandlung entstehen.

Beschreibung:

Zur Vermeidung von großen Temperaturdifferenzen innerhalb der Werkstücke erfolgt das Erwärmen und Abkühlen möglichst langsam. Bei vergüteten Werkstücken liegt die Glühtemperatur unterhalb der Anlasstemperatur.

6.7.7 Rekristallisationsglühen

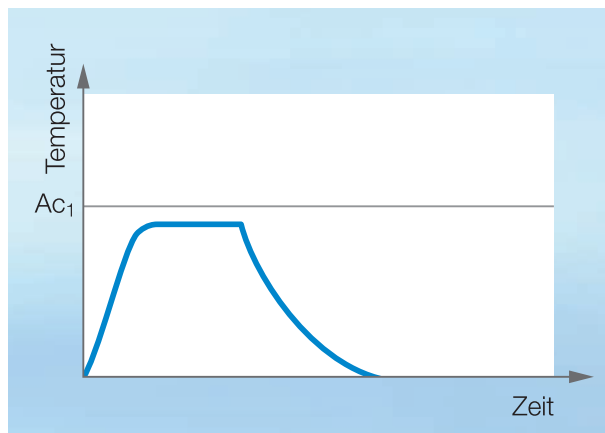


Bild 6.23: Temperatur-/Zeitverlauf beim Rekristallisationsglühen

Zielstellung:

Die durch Kaltumformung bedingte Verfestigung des Werkstoffs soll rückgängig gemacht werden.

Beschreibung:

Die Höhe der Glühtemperatur ist im Wesentlichen vom Ausgangsgefüge und dem Kaltumformgrad abhängig und beträgt im Allgemeinen etwa 600 °C bis 700 °C. Die Erwärmung erfolgt relativ schnell und die Abkühlung üblicherweise an ruhender Luft.

6.7.8 Lösungsglühen

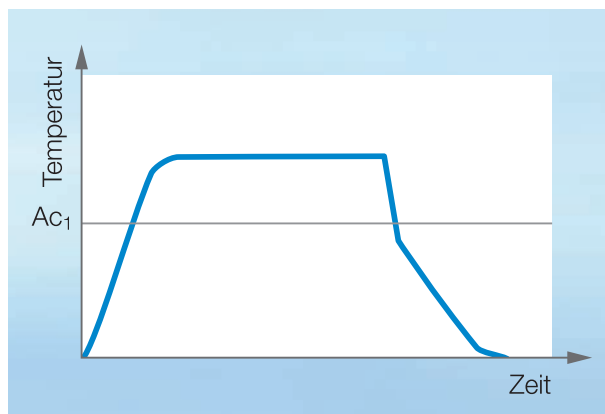


Bild 6.24: Temperatur-/Zeitverlauf beim Lösungsglühen

Zielstellung:

Das Lösungsglühen wird durchgeführt, um gleichmäßige, homogene Gefüge- und Werkstoffeigenschaften zu erhalten.

Beschreibung:

Das Glühen wird im Temperaturbereich zwischen 950 °C und 1.200 °C durchgeführt. Die Abkühlung erfolgt durch Abschrecken im Wasser oder bei dünnen Querschnitten durch schnelle Luftabkühlung.

Im Folgenden sind die Verfahren beschrieben, die vorzugsweise nur die Eigenschaften der Bauteiloberflächen beeinflussen. Ein Härten der Oberfläche zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit und der Druckbelastbarkeit wird zum Beispiel bei Bauteilen wie Zahnrädern, Bolzen oder Wellen durchgeführt.

6.7.9 Randschichthärten

Zielstellung:

Härten der Oberfläche, ohne die Zähigkeit des Bauteilkerns zu reduzieren.

Beschreibung:

Durch eine räumlich begrenzte Wärmeeinbringung wird die oberflächennahe Schicht auf Härtetemperatur erwärmt und nachfolgend abgeschreckt. Das Randschichthärten kann durch Flammhärten oder Induktionshärten erfolgen. Beim Flammhärten erfolgt das Erwärmen der Oberfläche durch Gasbrenner. Beim Induktionshärten gewährleistet die induktive Erwärmung der Randschicht eine kurze Anwärmzeit und bei hoher Reproduzierbarkeit eine Gleichmäßigkeit des Härteverlaufs und der Härtewerte.

6.7.10 Einsatzhärten

Zielstellung:

Härten der Oberfläche, ohne die Zähigkeit des Bauteilkerns zu reduzieren.

Beschreibung:

Das Einsatzhärten zählt zu den thermochemischen Verfahren. Im Rahmen dieses Verfahrens wird die Randschicht von Bauteilen und Werkzeugen mit einem Kohlenstoff abgebenden Medium aufgekühlt und anschließend abgeschreckt. Die Abschreckung kann entweder direkt aus der Aufkohlungstemperatur oder nach einem Zwischenkühlen und Wiedererwärmen auf eine werkstoffspezifische Härtetemperatur erfolgen. Die Aufkohlung erfolgt in der Regel zwischen 880 °C und 980 °C. Nach dem Abschrecken der aufgekohlten Bauteile ist meist ein Anlassen erforderlich, um die aus der Härtung entstandenen Spannungen zu mindern und die geforderten Gebrauchsfestigkeiten einzustellen. Partielles Einsatzhärten ist mittels geeigneter Isoliertechniken möglich. Hierbei werden Bereiche, die nicht einsatzgehärtet werden sollen, mit einem hitzebeständigen Oberflächenschutz, zum Beispiel Kupferpaste, abgedeckt /IHT/.

6.7.11 Plasmanitrieren

Zielstellung:

Zu den Zielstellungen zählen neben dem Härten der Oberfläche die Verbesserung der Reib- und Gleiteigenschaften und die Schaffung korrosionsbeständiger Schichten.

Beschreibung:

Das Plasmanitrieren zählt zu den thermochemischen Wärmebehandlungsverfahren und wird bei Temperaturen zwischen 350 °C und 600 °C durchgeführt. Die Härtesteigerung wird durch Bildung äußerst harter Stickstoffverbindungen in der Randschicht des Werkstücks erzielt. Das Plasmanitrieren findet in einer Vakuumkammer unter ionisierter Gasatmosphäre statt. Als Behandlungsgase stehen Ammoniak, Stickstoff, Methan und Wasserstoff zur Verfügung. Zur Bildung verschleißbeständiger Schichten werden auch Mischgase eingesetzt. Qualitätsbestimmend sind die Gaszusammensetzung, der Druck, die Temperatur und die Behandlungszeit. Zu den Hauptvorteilen des Verfahrens zählen die Verbesserung der Reib- und Gleiteigenschaften, die Schaffung korrosionsbeständiger Schichten und der geringe Bauteilverzug. In der Regel werden nur fertiggearbeitete Bauteile plasmanitriert, die nach dieser thermochemischen Wärmebehandlung keiner weiteren mechanischen Fertigungsoperation wie zum Beispiel dem Schleifen unterzogen werden müssen /IHT/.

6.8 Wärmebehandlung für Rohteile aus Aluminium

Die in der Massivumformung verwendeten Aluminiumwerkstoffe gehören vorwiegend zur Gruppe der aushärtbaren Legierungen und erhalten ihre gewünschte Festigkeit durch eine Wärmebehandlung, die aus den Prozessschritten Lösungsglühen, Abschrecken und Auslagern besteht (Bild 6.25). Das Auslagern findet entweder bei Raumtemperatur – Kaltauslagern – oder bei erhöhten Temperaturen, dem sogenannten Warmauslagern, statt. Die Auslagerungstemperatur ist abhängig von der verwendeten Aluminiumlegierung und den gewünschten Werkstoffeigenschaften. Die in der Massivumformung verwendeten Legierungen werden vorwiegend warm ausgelagert.

Wird bei der Warmumformung die Lösungsglühtemperatur erreicht, so ist auch ein Abschrecken unmittelbar aus der Umformung möglich. Das Auslagern geschieht nachfolgend auf konventionelle Weise. Der Entfall des gesonderten Lösungsglühprozesses bietet Kostenvorteile und reduziert den Energieaufwand für das Erwärmen auf Lösungsglühtemperatur.

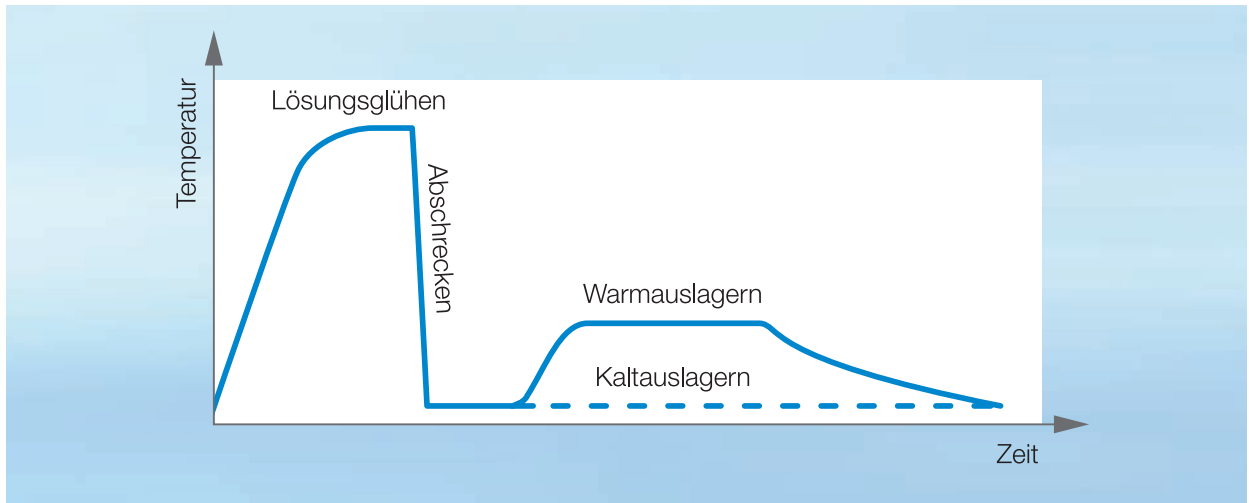


Bild 6.25: Temperatur-/Zeitverlauf bei der Wärmebehandlung von Aluminiumlegierungen

6.9 Oberflächenbehandlung

Die Oberflächenbehandlung der Umformteile kann in zwei wesentliche Gruppen eingeteilt werden, das Reinigen und Entzundern der kalten Teile nach der Umformung sowie das Beschichten der Oberfläche. Das Reinigen/Entzundern erfolgt vorzugsweise durch Strahlverfahren – *Reinigungsstrahlen* – und wird bei der Vorfertigung der Kaltumformung und bei der Endfertigung eingesetzt. Das Beschichten wird aus prozesstechnischen Gründen beim Umformprozess – zum Beispiel dem Auftrag von Gleitmittel bei der Kaltumformung – oder zum Beispiel bei der Endfertigung als Korrosionsschutz der Fertigteile vorgenommen.

6.9.1 Reinigungsstrahlen

Zielstellung:

Das Reinigungsstrahlen dient in erster Linie der Reinigung der Bauteiloberfläche, kann aber auch zur Erhöhung der Dauerfestigkeit der Bauteile genutzt werden.

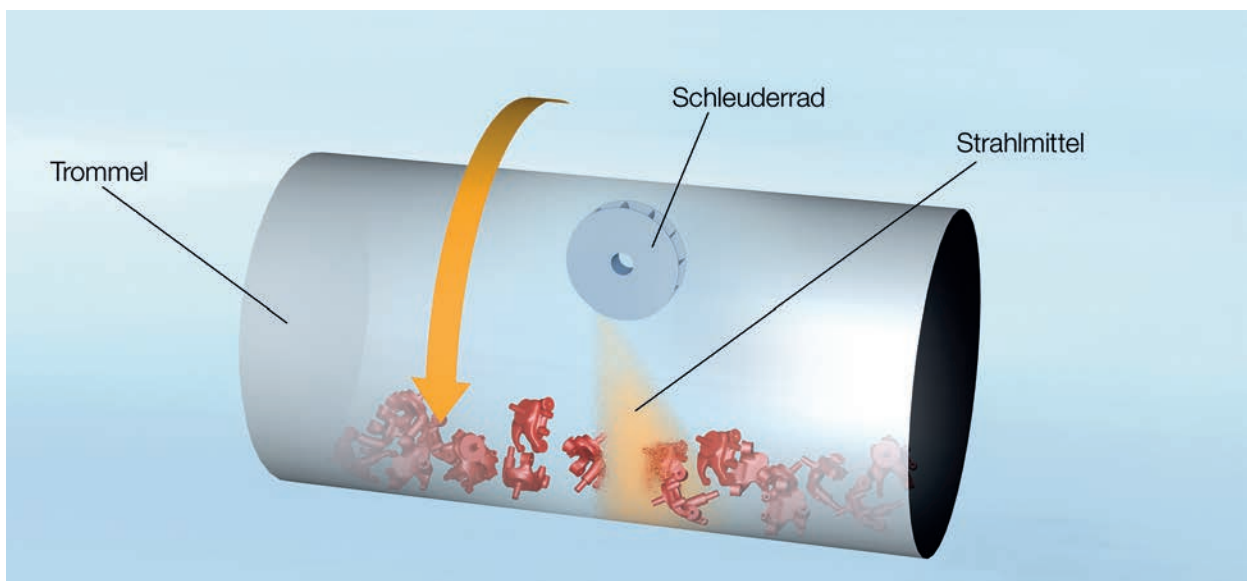
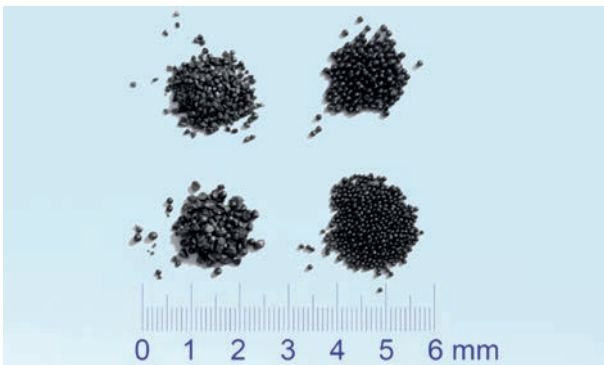


Bild 6.26: Schematische Darstellung des Reinigungsstrahlens in einer Strahlanlage

Das Reinigen der Bauteile durch Strahlen erfolgt mittels Kugeln oder Drahtkorn. Infolge der mit dem Strahlen einhergehenden Oberflächenverfestigung und der Druckeigenspannungen des Werkstücks kann die dynamische Belastbarkeit durch das Strahlen erhöht werden. Als Strahlverfahren wird überwiegend das Schleuderradverfahren eingesetzt.

Beim *Schleuderradverfahren* wird das Strahlmittel durch ein sich mit hoher Drehzahl drehendes Schleuderrad beschleunigt und mit hoher Geschwindigkeit auf die Oberfläche des Bauteils gestrahlt (Bild 6.26). Die kinetische Energie der Strahlpartikel zerstört die Zunder- oder Oxidschicht und führt – entsprechend hohe Energien vorausgesetzt – zu einer lokalen plastischen Verformung der Bauteiloberfläche. Die drehende Trommel der Strahlanlage gewährleistet eine kontinuierliche Bewegung der Bauteile innerhalb der Strahlanlage, sodass alle Bauteile und die gesamte Bauteiloberfläche vom Strahlkegel erfasst werden.

In Abhängigkeit der Anforderungen an die Oberflächengüte erfolgt die Auswahl des Strahlmittels. Das vorwiegend eingesetzte metallische Strahlmittel gibt es in kantiger oder kugelförmiger Grundform, in vielfältigen Kornungsgrößen (Bild 6.27) und unterschiedlichen Härtegraden.



Schmiedeteile aus Aluminium sind durch die Warmumformung beziehungsweise die Wärmebehandlung mit einer festhaftenden Oxidschicht überzogen. Die Entfernung dieser Schicht kann außer durch Strahlen auch durch chemisches Abtragen (Beizen) erfolgen.

Bild 6.27: Strahlmittel-Varianten

6.9.2 Beschichten

Zielstellung:

Das Beschichten kann, wie bei der Kaltumformung, aus prozesstechnischen Gründen notwendig sein (Kapitel 6.2) oder dient dem Korrosionsschutz der Fertigteile. Bei Fertigteilen kann das Beschichten auch nur aus optischen Gründen erfolgen. Das Auftragen der Beschichtungen geschieht überwiegend im Tauch- oder Sprühverfahren (Bild 6.28). Die Auswahl des Beschichtungsmittels richtet sich nach dem Beschichtungszweck.

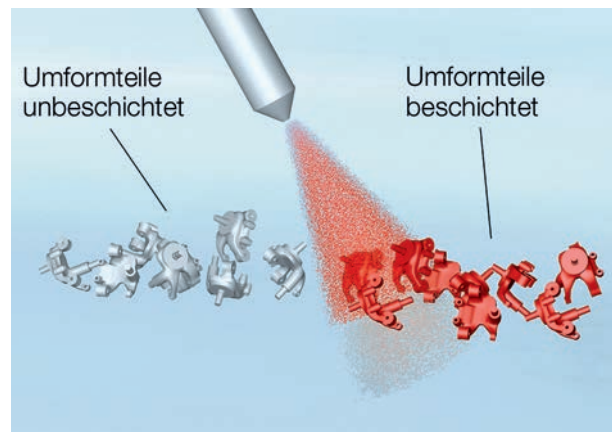
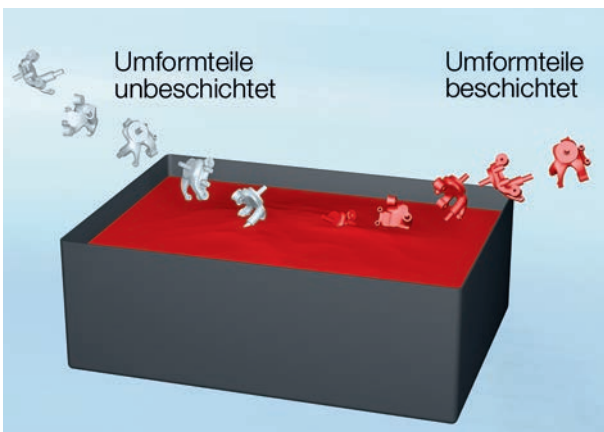


Bild 6.28: Beschichtungsverfahren: Tauch- (links) und Sprühverfahren (rechts)

6.10 Mechanische Bearbeitung

Während Massivumformverfahren sich auszeichnen durch

- hohe Produktivität und
- hohe Materialeffizienz,

sind mechanische Bearbeitungsverfahren gekennzeichnet durch

- sehr hohe Genauigkeit und
- sehr gute Oberflächenqualität der Bearbeitungsflächen.

Durch eine Verfahrenskombination von Massivumformverfahren und mechanische Bearbeitungsverfahren ist es möglich, die spezifischen Vorteile beider Verfahren zu nutzen, um ein einbaufertiges Bauteil mit weitgehend beliebiger Geometrie und höchstmöglicher Qualität wirtschaftlich herzustellen. Deshalb werden Umformprodukte durch meist partielle spanende Weiterverarbeitung zum einbaufertigen Bauteil. Die mechanische Bearbeitung eines Rohteils und Komplettierung zum einbaufertigen Bauteil ist beispielhaft in Bild 6.29 dargestellt. Normalerweise bleibt der überwiegende Anteil des Rohteils unbearbeitet, nur einige wenige Funktionsflächen, wie die Aufnahmepunkte der Lagerstellen und die Befestigungspunkte, werden durch spanende Verfahren bearbeitet.



Bild 6.29: Schmiedeteil vor (links) und nach der mechanischen Bearbeitung (rechts)

Abhängig vom Rohteilwerkstoff, seiner Zusammensetzung und seinem Wärmebehandlungszustand sowie dem Bearbeitungsvolumen und der gewünschten Qualität der bearbeiteten Flächen werden die Bearbeitungsverfahren, die Schneidstoffe und die Schnittparameter für die mechanische Bearbeitung ausgewählt. Zur Anwendung kommen alle klassischen Bearbeitungsverfahren wie zum Beispiel Drehen, Bohren, Fräsen sowie Sonderverfahren.

Bei den Schneidstoffen hat es in den vergangenen Dekaden eine enorme Entwicklung gegeben, sodass heute eine sehr große Palette an Schneidstoffen mit unterschiedlichsten Eigenschaften zur Verfügung steht.

Die Thematik der mechanischen Bearbeitung mit besonderem Bezug zu den Massivumformteilen wird ausführlich in /Töns10/ behandelt.

7 Prozessketten der Massivumformung

Die Fertigung eines Massivumformteils vom Halbzeug zum fertigen Umformteil ist bei den unterschiedlichen Umformverfahren prinzipiell gleich und erfordert die Prozesse Vorfertigung, Erwärmen, Umformen und Endfertigung. Die Abfolge dieser Prozesse stellt die *Prozesskette* dar (Bild 7.1). Die einzelnen Prozesse bestehen aus einem oder mehreren Prozessschritten. Die einzelnen Prozessschritte können zeitlich und räumlich miteinander verkettet innerhalb einer Produktionslinie oder auch zeitlich und räumlich getrennt erfolgen. Eine Trennung der Prozessschritte erfolgt sinnvollerweise dann, wenn die Produktionsleistungen der einzelnen Prozessschritte sehr unterschiedlich sind. So erfolgt zum Beispiel das Trennen des Halbzeugs meist unabhängig von der übrigen Prozesskette. Eine Zusammenführung einzelner Prozessschritte ist ebenso möglich, so sind zum Beispiel die Wärmebehandlungsverfahren „Vergüten aus der Schmiedewärme“ und „Kontrollierte Abkühlung aus der Warmumformung“ unmittelbar mit dem Umformprozess verknüpft.

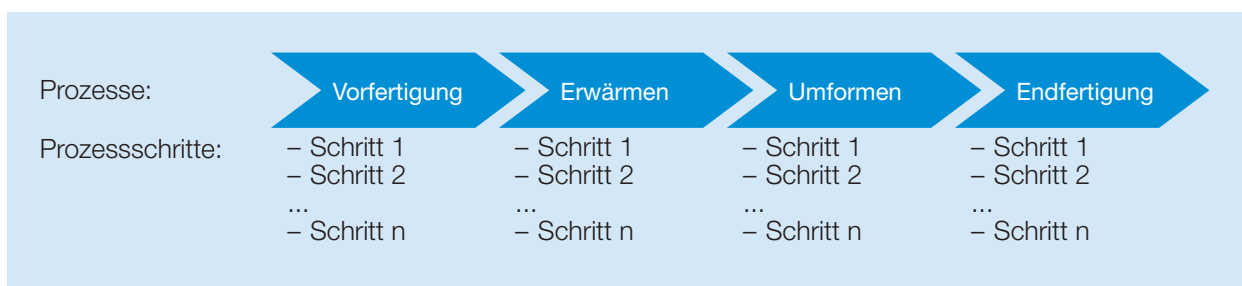


Bild 7.1: Prinzipielle Prozesskette der Massivumformverfahren

Die Prozesskette beginnt mit der *Vorfertigung*. Hier erfolgt das maßgenaue Trennen des Ausgangsmaterials in einzelne Abschnitte, die bei sehr hohen Anforderungen an die Gewichtsgenauigkeit gewogen und mittels Sortieranlagen definierten Gewichtsklassen zugeordnet werden.

Das *Erwärmen* des Vorprodukts kann mittels indirekter oder direkter Erwärmungsverfahren erfolgen.

Das *Umformen* ist das wesentliche Glied der Prozesskette. Der Umformprozess kann aus unterschiedlichen Formgebungsverfahren oder deren Kombination bestehen.

Bei der *Endfertigung* erhält das Bauteil durch eine Wärmebehandlung die geforderten mechanischen Eigenschaften (Festigkeit, Zähigkeit). Anschließend erfolgt durch eine Oberflächenbehandlung die Reinigung des Bauteils. Die Qualitätsprüfung der Bauteile erfolgt meistens nach der Reinigung, wird aber vereinzelt auch zwischen den Prozessen durchgeführt. Die letzten Prozessschritte zum einbaufertigen Bauteil sind die – meist partielle – spanende Weiterverarbeitung.

In Abhängigkeit des Umformverfahrens ändern sich die Art und die Anzahl der Prozesse und Prozessschritte. So entfällt zum Beispiel bei der Kaltumformung der Prozess „Erwärmen“.

Eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen Verfahren der Massivumformung ist in Kapitel 5 dargestellt, Kapitel 6 zeigt die Prozessschritte vor und nach der Umformung.

Für die Massivumformverfahren

- **Gesenkschmieden (Warmumformung),**
- **Fließpressen (Kaltumformung),**
- **Kombinationsverfahren (Warm- und Kaltumformung) und**
- **Freiformen (Warmumformung) und Ringwalzen (Warmumformung)**

ist nachfolgend je ein Beispiel einer Prozesskette aufgeführt. Die dargestellten Bauteile und Prozessketten wurden aus dem weitreichenden Spektrum der Möglichkeiten der Massivumformung ausgewählt; sie stehen jeweils repräsentativ für das gewählte Massivumformverfahren.

7.1 Prozesskette Gesenkschmieden

Das Gesenkschmieden ist hinsichtlich Produktionsmenge und Werkstoffvielfalt das bedeutendste Verfahren der Massivumformung und wird für die Produktion geometrisch komplizierter Bauteile eingesetzt. Exemplarisch für das Gesenkschmieden ist die Prozesskette (Bild 7.2) zur Fertigung eines Querlenkers (Fahrwerkelement eines sportlichen Kleinwagens). Die nachfolgenden Darstellungen zeigen jeweils die Änderung des Werkstücks in den einzelnen Prozessschritten. Die Bilder wurden im kalten Zustand der Werkstücke aufgenommen.



Bild 7.2: Prozesskette Gesenkschmieden am Beispiel der Fertigung eines Querlenkers

7.1.1 Vorfertigung

Das vom Stahlwerk angelieferte Halbzeug – Stangenmaterial mit Kreisquerschnitt und einer Länge von 6 bis 8 m – wird durch Kaltscheren (Kapitel 6.1) in längengenaue Vorprodukte getrennt.

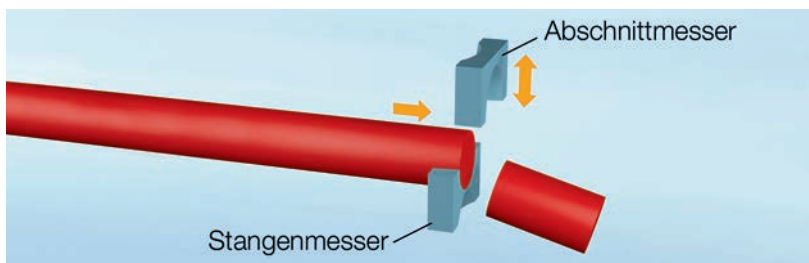


Bild 7.3: Vorfertigungsprozess: Kaltscheren

7.1.2 Erwärmen

Vor dem Umformprozess erfolgt die Erwärmung des Vorprodukts in Induktionsspulen (Kapitel 6.3.2) auf eine Temperatur von 1.250 °C.

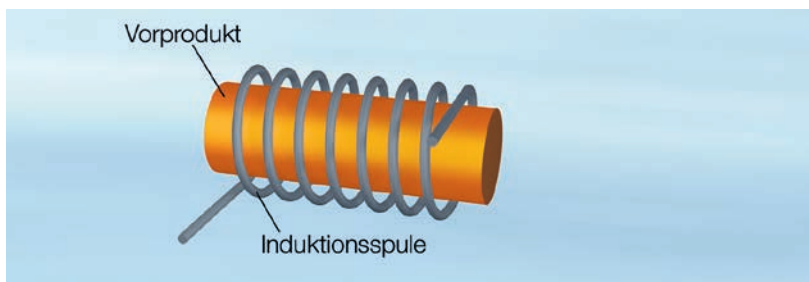


Bild 7.4: Erwärmungsprozess: Induktive Erwärmung

7.1.3 Umformen

Im ersten Prozessschritt der Umformung wird durch ein vierstufiges Reckwalzen (Kapitel 5.1.1) ein Vorformprodukt mit einer der Endgeometrie angenäherten Massenverteilung erzeugt. Durch das Reckwalzen erfolgt gleichzeitig eine Entzunderung des Vorprodukts.

Verwendete Umformmaschine: Reckwalze.

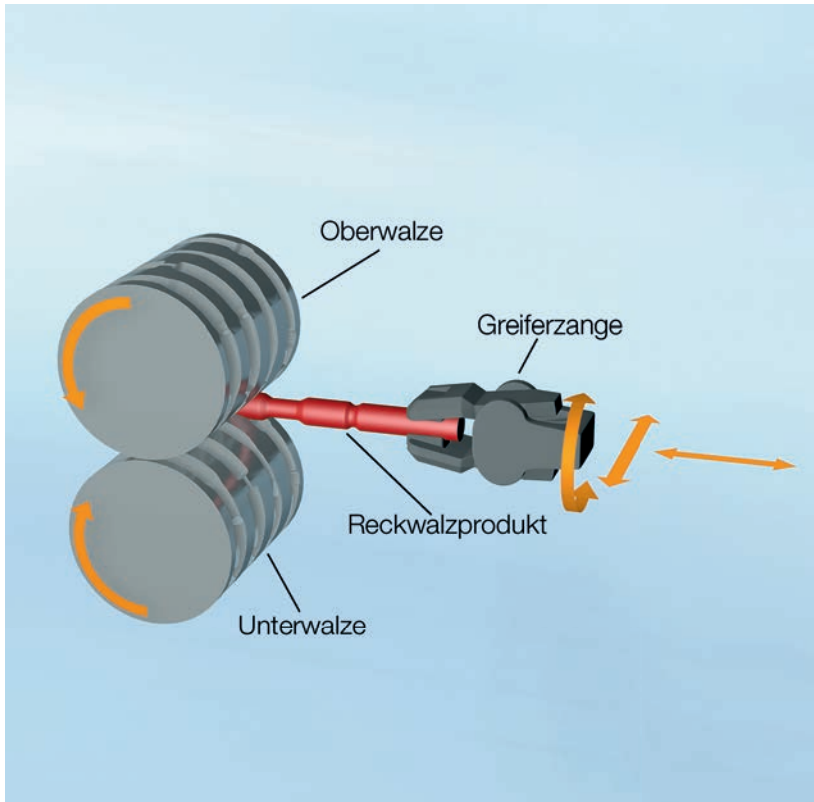


Bild 7.5: Erster Schritt des Umformprozesses: Reckwalzen in 4 Stufen

Im zweiten Prozessschritt der Umformung wird das Vorprodukt durch Biegen der Krümmung der Endgeometrie angepasst, in dem dritten Prozessschritt erfolgt in der gleichen Umformmaschine durch einen Stauchvorgang (Kapitel 5.2.3) die geometrische Annäherung an die nachfolgende Vorschmiedegeometrie.

Verwendete Umformmaschine: Exzenterpresse mit 8.000 kN Presskraft.

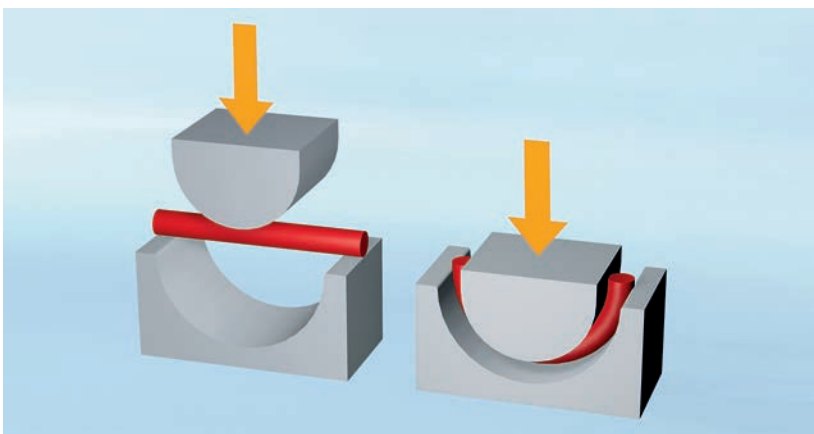


Bild 7.6: Zweiter Schritt des Umformprozesses: Biegen

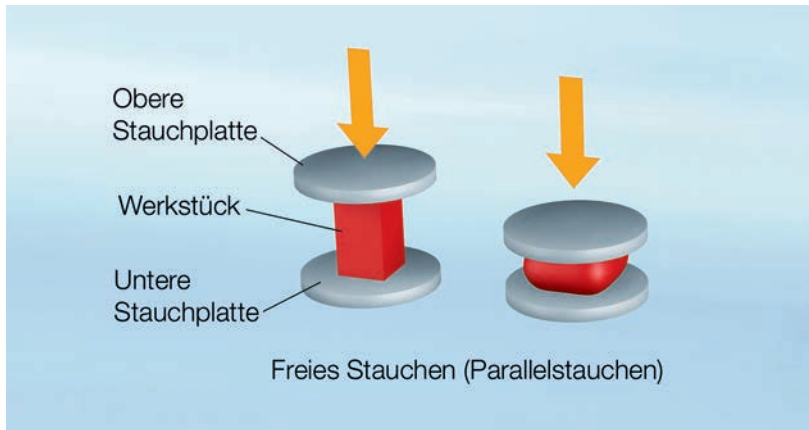


Bild 7.7: Dritter Schritt des Umformprozesses: Stauchen

Der vierte Prozessschritt der Umformung besteht aus dem Gesenkschmieden mit Grat (Kapitel 5.3.1), das in einer Vorschmiedeoperation und einer Fertigschmiedeoperation erfolgt. Beim Vorschmieden wird eine geeignete Zwischenform für das nachfolgende Fertigschmieden erzeugt.

Verwendete Umformmaschine: Exzenterpresse mit 40.000 kN Presskraft.

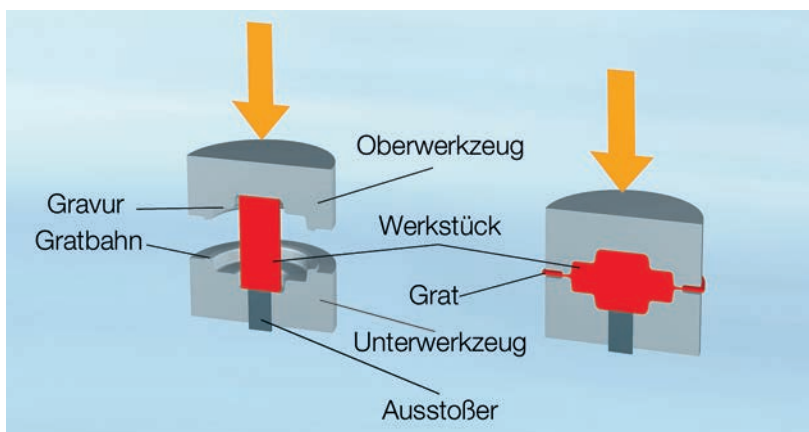


Bild 7.8: Vierter Schritt des Umformprozesses: Gesenkschmieden mit Grat

Im fünften Prozessschritt der Umformung erfolgt das Abgraten und Lochen (Kapitel 6.5) in einem Verbundwerkzeug. Hier werden der Grat entfernt und die Durchbrüche im Umformteil erzeugt.

Verwendete Umformmaschine: Exzenterpresse mit 6.300 kN Presskraft.

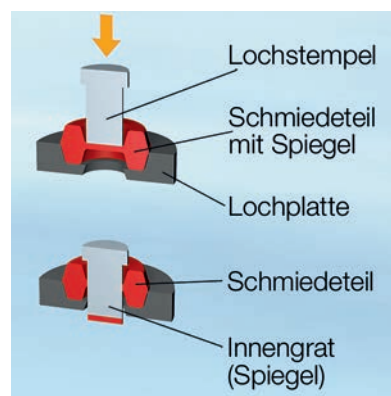
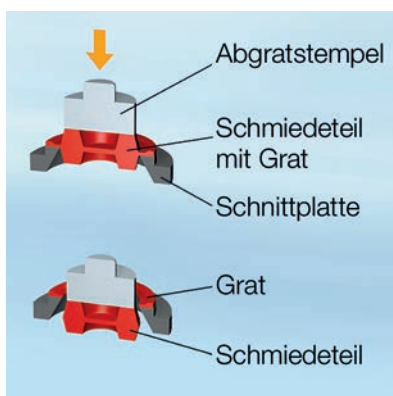


Bild 7.9: Fünfter Schritt des Umformprozesses: Abgraten und Lochen

7.1.4 Endfertigung

Die Verwendung eines AFP-Stahls (Kapitel 4.1.4) ermöglicht es, die Wärmebehandlung auf ein kontrolliertes Abkühlen aus der Umformwärme (Kapitel 6.7.3) zu reduzieren.

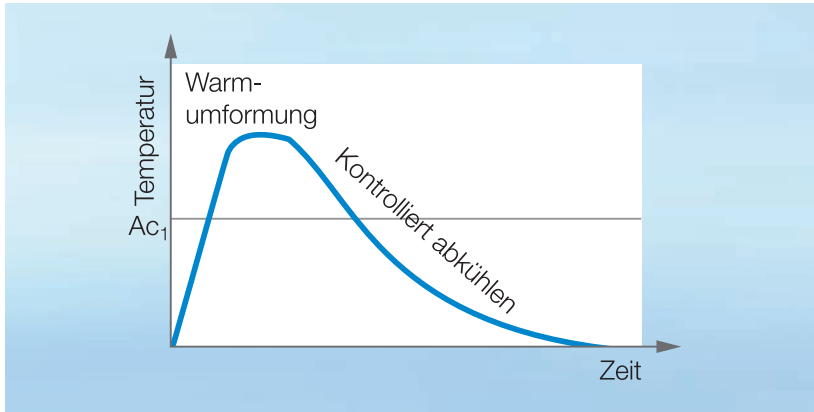


Bild 7.10: Erster Schritt der Endfertigung: Wärmebehandeln

Bevor die fertigen Umformteile den abschließenden Qualitätsprüfungen unterzogen werden, erfolgt die Reinigung der Oberfläche durch Strahlen mit Stahlkorn (Kapitel 6.9).

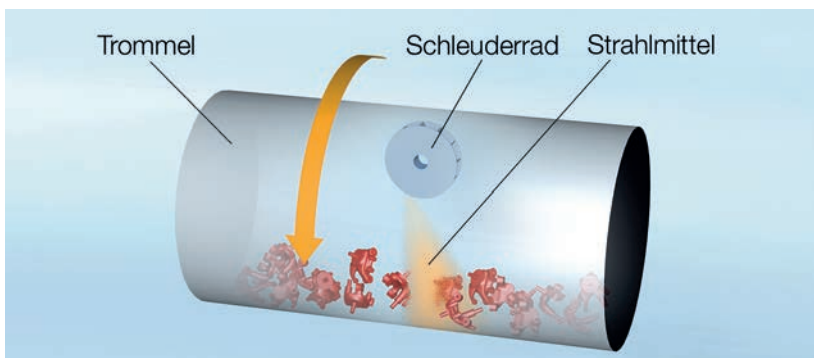


Bild 7.11: Zweiter Schritt der Endfertigung: Reinigungsstrahlen

Die abschließende Qualitätsprüfung (Kapitel 11.2) der Umformteile besteht aus einer Magnetpulverrissprüfung sowie einer Sicht- und Maßprüfung. Die Maßprüfung wird mit einer Mehrstellenmeßeinrichtung durchgeführt.

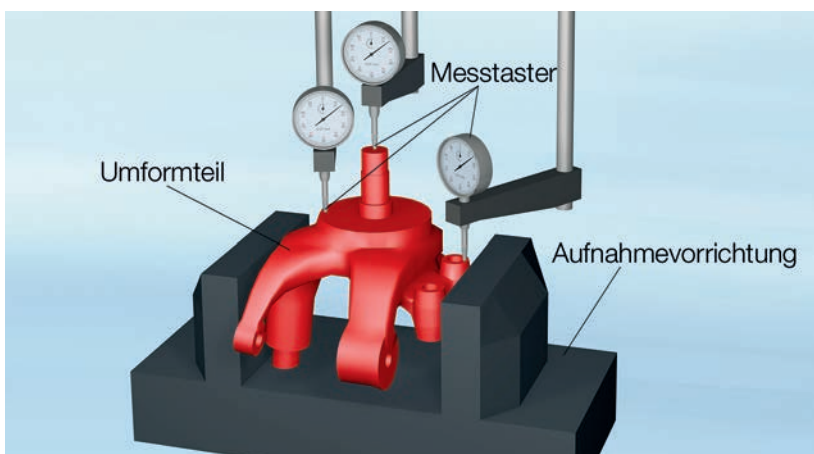


Bild 7.12: Dritter Schritt der Endfertigung: Qualitätsprüfung (hier Maßprüfung)

Der überwiegende Anteil des Umformteils bleibt mechanisch unbearbeitet, nur einige wenige Funktionsflächen wie die Aufnahmepunkte der Lagerstellen und die Befestigungspunkte werden nach der Oberflächenbeschichtung (Lackieren) durch spanende Verfahren beim Kunden fertiggestellt (Kapitel 6.10).

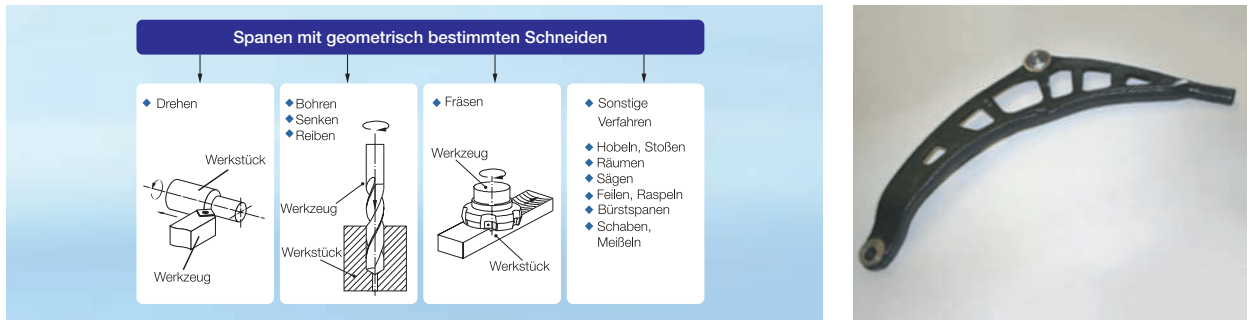


Bild 7.13: Vierter Schritt der Endfertigung: Mechanische Bearbeitung

7.2 Prozesskette Fließpressen

Durch Fließpressen werden Werkstücke mit vorwiegend rotationssymmetrischer Grundstruktur hergestellt. Exemplarisch für das Fließpressen ist die Prozesskette zur Fertigung einer Abtriebswelle für ein Pkw-Automatikgetriebe (Bild 7.14). Die Umformung erfolgt in dem dargestellten Beispiel im kalten Werkstoffzustand. Die nachfolgenden Darstellungen zeigen jeweils die Änderung des Werkstücks in den einzelnen Prozessschritten.

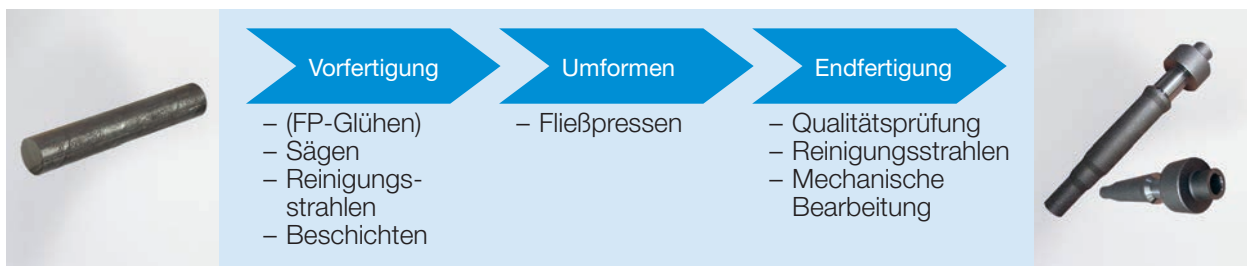


Bild 7.14: Prozesskette Fließpressen am Beispiel der Fertigung einer Abtriebswelle

7.2.1 Vorfertigung

Das Kaltumformen von Stahl erfordert eine spezielle Vorbehandlung der Bauteile, um das Gefüge und die Oberfläche für die nachfolgende Umformung zu optimieren (Kapitel 6.2). Die notwendige Wärmebehandlung (FP-Glühen, Kapitel 6.7.4) erfolgt in diesem Beispiel schon im Stahlwerk. Das vom Stahlwerk angelieferte Halbzeug – Stangenmaterial mit Kreisquerschnitt und einer Länge von 6 bis 8 m – wird durch Sägen (Kapitel 6.1) in längengenaue Vorprodukte getrennt, durch Reinigungsstrahlen gesäubert und anschließend beschichtet.

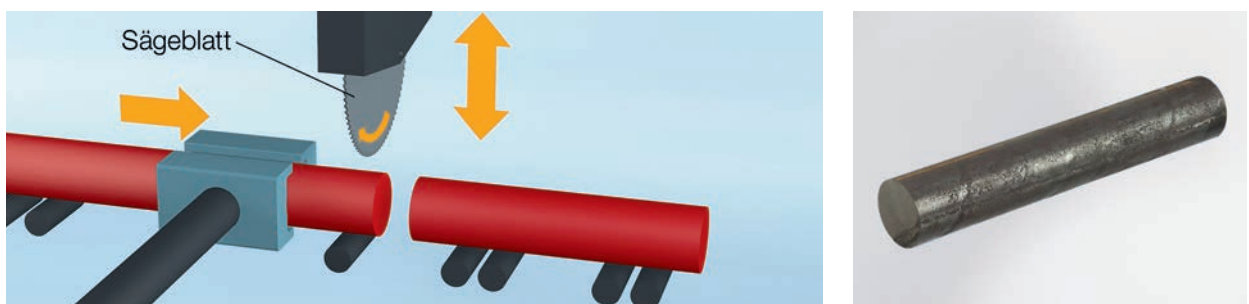


Bild 7.15: Erster Schritt der Vorfertigung: Sägen

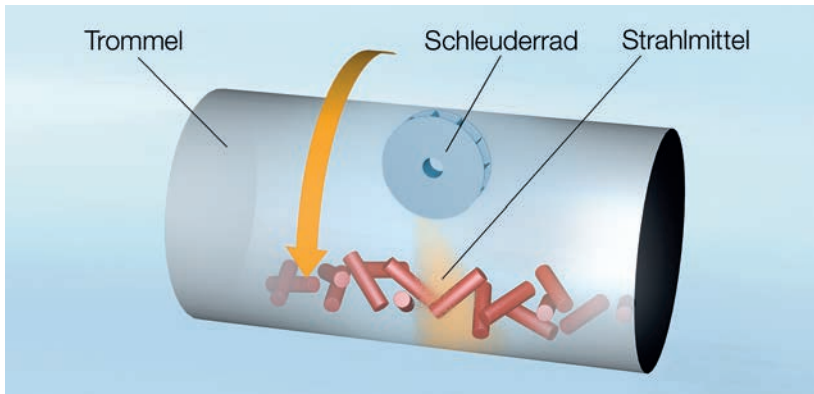


Bild 7.16: Zweiter Schritt der Vorfertigung: Reinigungsstrahlen

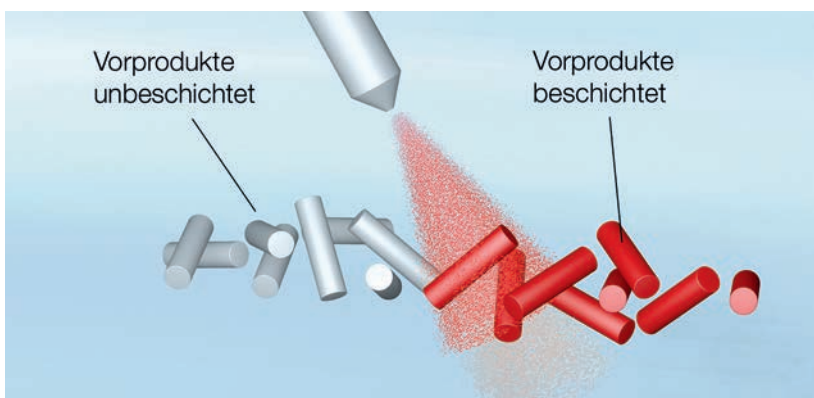


Bild 7.17: Dritter Schritt der Vorfertigung: Beschichten

7.2.2 Umformen

Die Umformung erfolgt durch ein 3-stufiges Fließpressen (Kapitel 5.4) mit mehrfachem, beidseitigem Reduzieren und Stauchen.

Verwendete Umformmaschine: Hydraulikpresse mit 20.000 kN Presskraft.

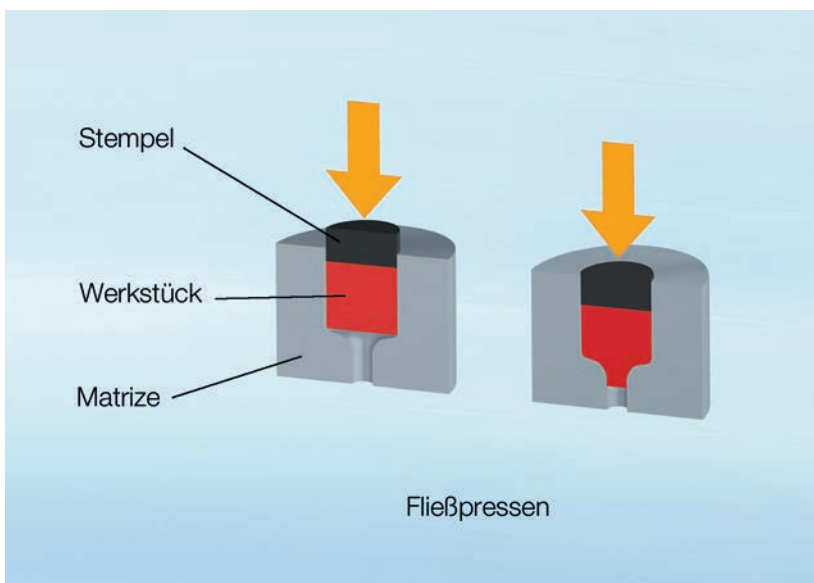


Bild 7.18: Umformprozesse: Fließpressen in 3 Stufen

7.2.3 Endfertigung

Der erste Schritt der Endfertigung ist die Reinigung der Oberfläche durch Strahlen mit Stahlkorn (Kapitel 6.9).

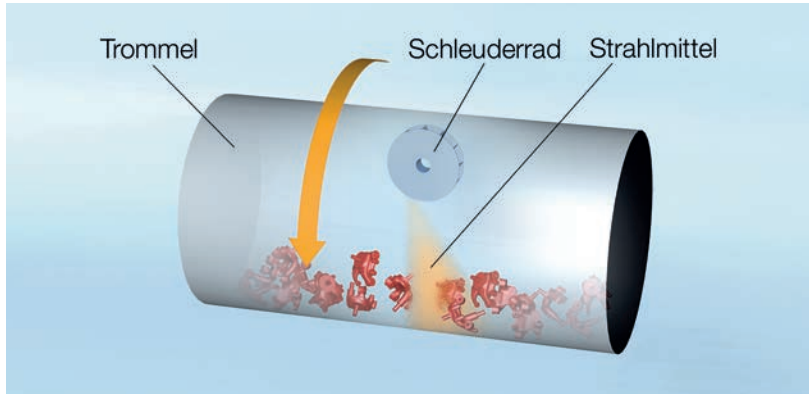


Bild 7.19: Erster Schritt der Endfertigung: Reinigungsstrahlen

Bevor die Umformteile spanend bearbeitet werden, erfolgt eine Sichtprüfung (Kapitel 11.2.1) aller Umformteile auf Oberflächenfehler.



Bild 7.20: Zweiter Schritt der Endfertigung: Sichtprüfung

Ein Teil der mechanischen Bearbeitung (partielle Drehbearbeitung, Tieflochbohren, Endenbearbeitung, Kapitel 6.10) erfolgt im Umformbetrieb, die weitere Bearbeitung erfolgt in diesem Fall beim Kunden.



Bild 7.21: Dritter Schritt der Endfertigung: Mechanische Bearbeitung

7.3 Prozesskette Kombinationsverfahren Warm- und Kaltumformung

Die Kombination von Warm- und Kaltumformung vereint die Vorteile beider Verfahren miteinander. Bei der Warmumformung wird das große Formänderungsvermögen des warmen Werkstoffs ausgenutzt und bei der anschließenden Kaltumformung die hohe Formgenauigkeit und die gute Oberflächenqualität der gefertigten Werkstücke.

Exemplarisch für ein Kombinationsverfahren ist die Prozesskette zur Fertigung eines Kegelrads für ein Differentialgetriebe (Bild 7.22). Die nachfolgenden Darstellungen zeigen jeweils die Änderung des Werkstücks in den einzelnen Prozessschritten. Die Bilder wurden im kalten Zustand der Werkstücke aufgenommen.

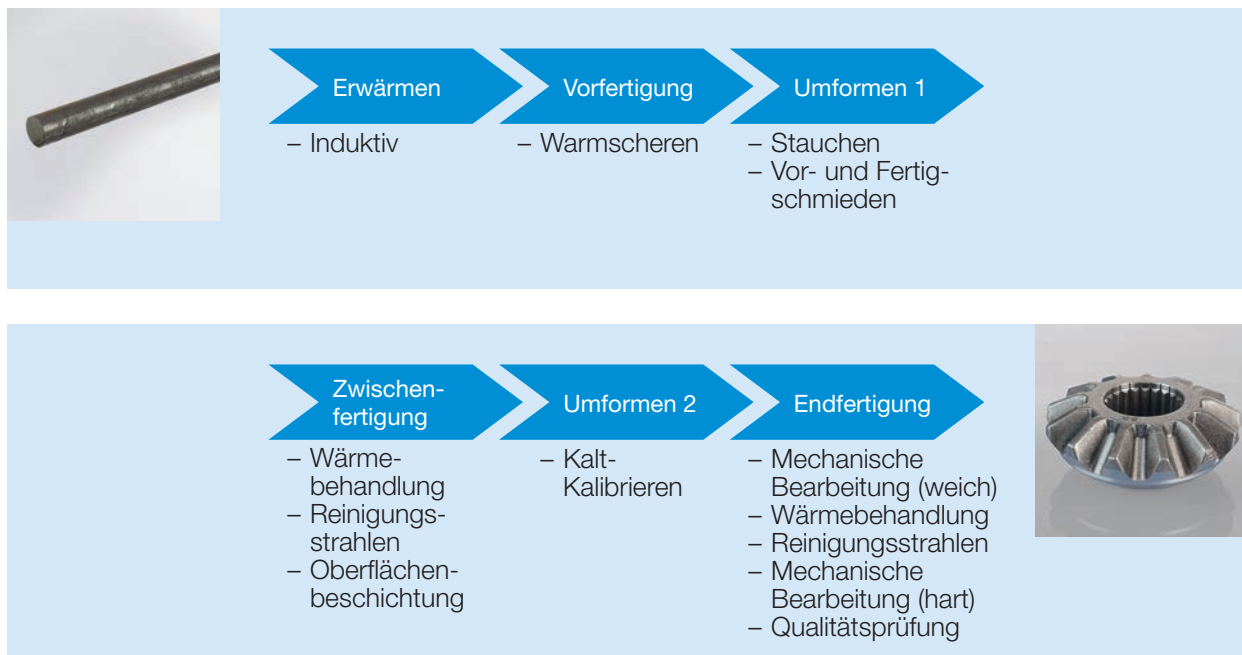


Bild 7.22: Prozesskette Kombinationsverfahren Warm-/Kaltumformung am Beispiel der Fertigung eines Kegelrads

7.3.1 Erwärmen

Das vom Stahlwerk angelieferte Halbzeug – Stangenmaterial mit Kreisquerschnitt und einer Länge von 9 m – wird in einer Induktionsanlage mit mehreren Spulen (Kapitel 6.3.2) im Durchlauf auf eine Temperatur von 1.250 °C erwärmt.

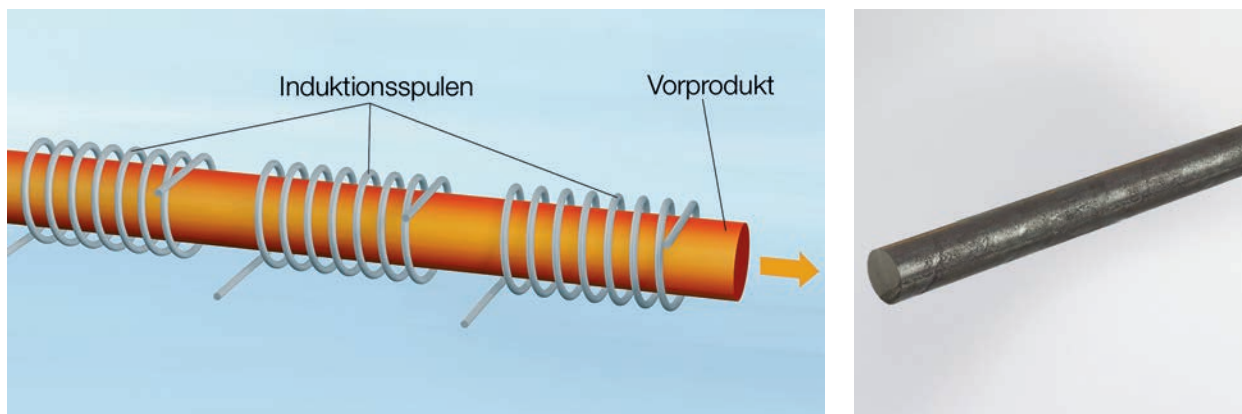


Bild 7.23: Erwärmungsprozess: Induktive Erwärmung

7.3.2 Vorfertigung

Das erwärmte Stangenmaterial wird durch Warmscheren (Kapitel 6.1.1) in längen- und gewichtsgenaue Vorprodukte getrennt. Die Warmschere ist in die Umformanlage integriert.

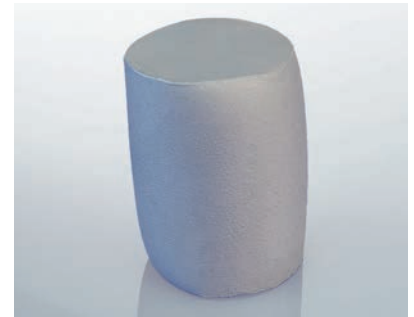
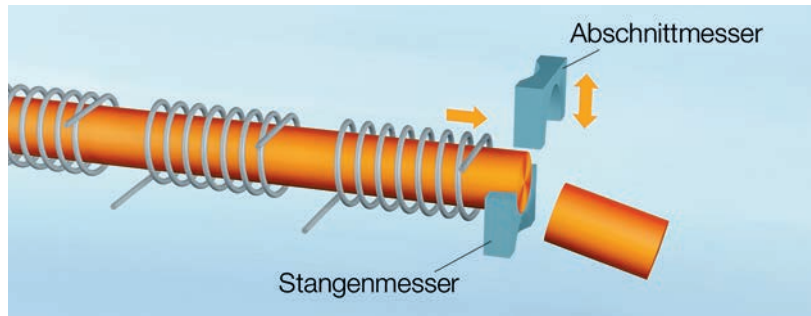


Bild 7.24: Vorfertigungsprozess: Warmscheren

7.3.3 Umformen 1

Der erste Umformprozess ist eine 3-stufige Warmumformung bestehend aus einem Entzunderungsstauchen (Kapitel 6.4.1) und einem 2-stufigen Gesenkschmieden ohne Grat (Vorformen und Fertigformen) (Kapitel 5.3.2). Verwendete Umformmaschine: Vollautomatische horizontale Mehrstufenpresse mit 5.000 kN Presskraft.

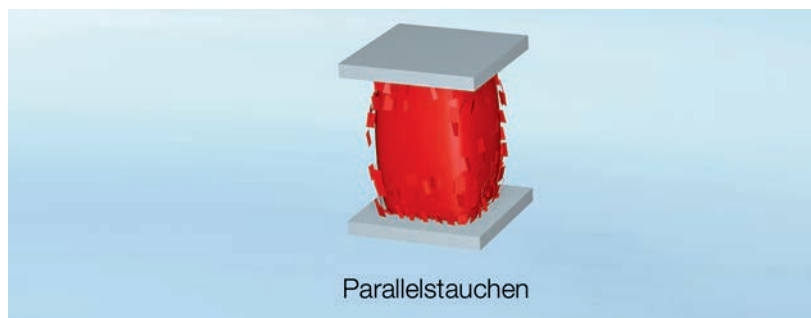


Bild 7.25: Erster Schritt von Umformprozess 1: Entzundern durch Parallelstauchen

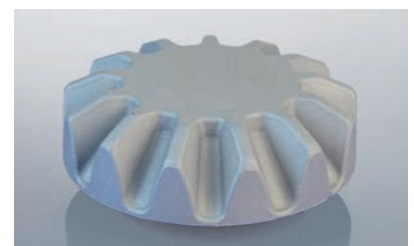
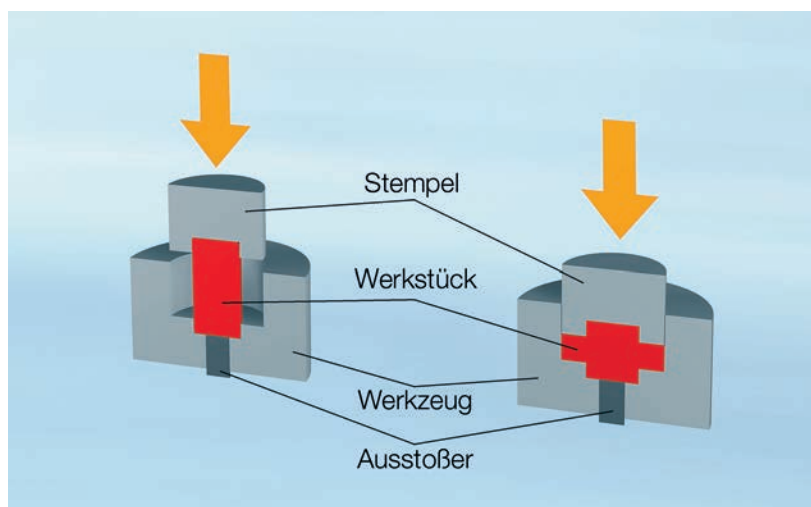


Bild 7.26: Zweiter und dritter Schritt von Umformprozess 1: Gesenkschmieden ohne Grat.
Vorschmieden zur Massenverteilung und Fertigschmieden

7.3.4 Zwischenfertigung

Nach der Warmumformung erfolgt eine Wärmebehandlung durch Weichglühen. Hierdurch wird ein möglichst weicher Zustand des Stahls erreicht, der die anschließende Kaltumformung des Werkstoffs ermöglicht und die spanabhebende Bearbeitung erleichtert.

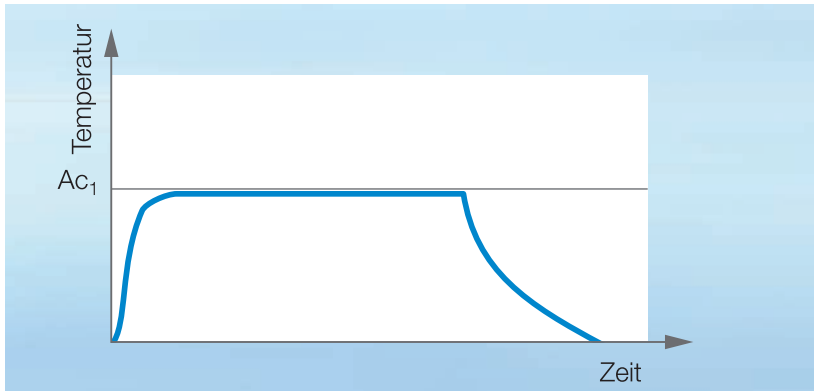


Bild 7.27: Erster Schritt der Zwischenfertigung: Wärmebehandeln

Vor der notwendigen Beschichtung (Kapitel 6.2) der Umformteile für die Kaltumformung erfolgt die Reinigung der Oberfläche durch Strahlen mit Stahlkorn (Kapitel 6.9).

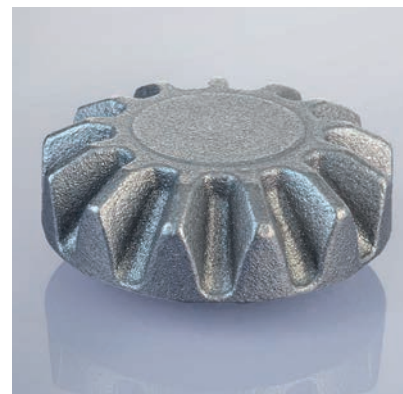
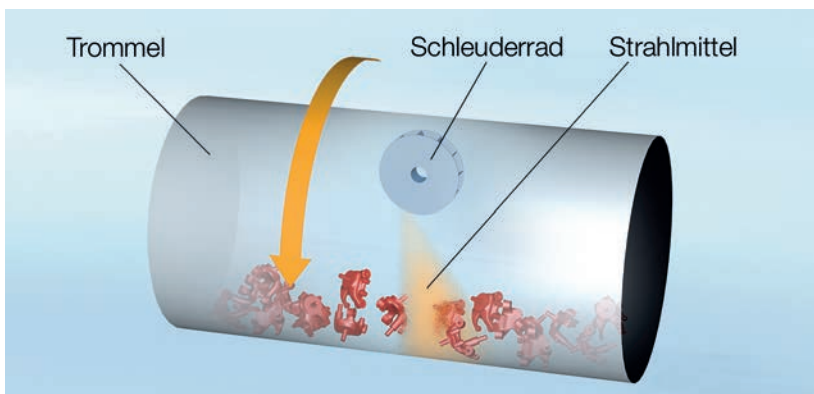


Bild 7.28: Zweiter Schritt der Zwischenfertigung: Reinigungsstrahlen

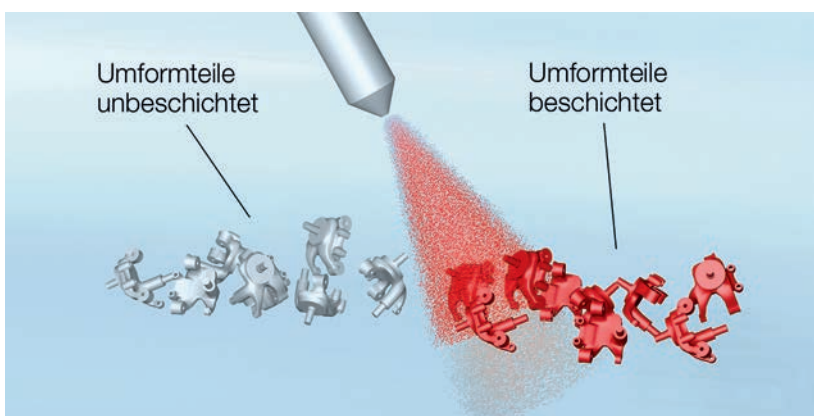


Bild 7.29: Dritter Schritt der Zwischenfertigung: Beschichten

7.3.5 Umformen 2

Bei dem zweiten Umformprozess erfolgt die abschließende Formgebung der Außenverzahnung durch Kalt-Kalibrieren (Kapitel 6.6), die dann einbaufertig ist und nicht weiter bearbeitet wird.

Verwendete Umformmaschine: Kniehebelpresse mit 10.000 kN Presskraft.

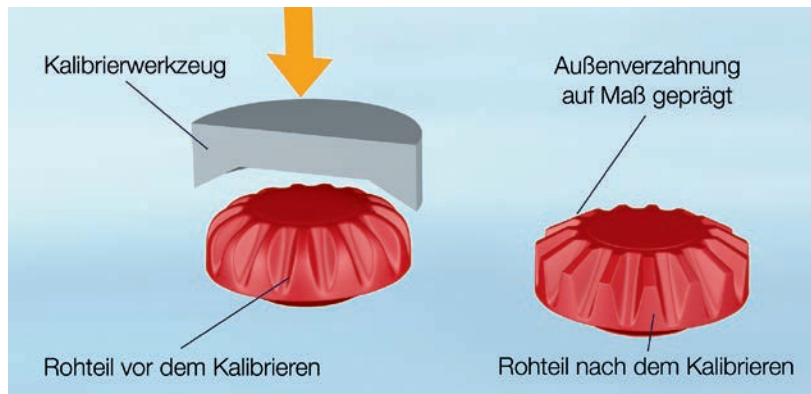


Bild 7.30: Umformprozess 2: Kalt-Kalibrieren

7.3.6 Endfertigung

Bei der Endfertigung erfolgt in einem ersten Schritt die mechanische Bearbeitung im weichen Werkstoffzustand. Hierbei werden die Außenbearbeitung des Kegelrads und die Bearbeitung der Bohrung für die Innenverzahnung ausgeführt. Die Innenverzahnung wird anschließend durch Räumen erstellt.

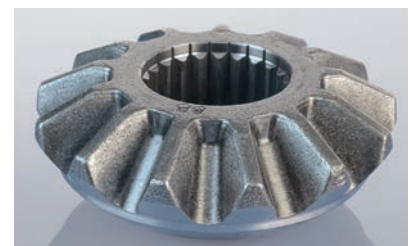


Bild 7.31: Erster Schritt der Endfertigung: Mechanische Bearbeitung bei weichem Werkstoffzustand

Der zweite Schritt der Endfertigung ist eine Wärmebehandlung durch Einsatzhärten (Kapitel 6.7.10). Hierbei wird die Härte der Werkstückoberfläche gesteigert, ohne die Zähigkeit des Bauteilkerns zu reduzieren. Bevor die fertigen Umformteile den abschließenden Qualitätsprüfungen



unterzogen werden, erfolgen eine relativ sanfte Reinigung der Oberfläche durch Strahlen (Kapitel 6.9) und die abschließende mechanische Hartbearbeitung der Kegelradkalotte.

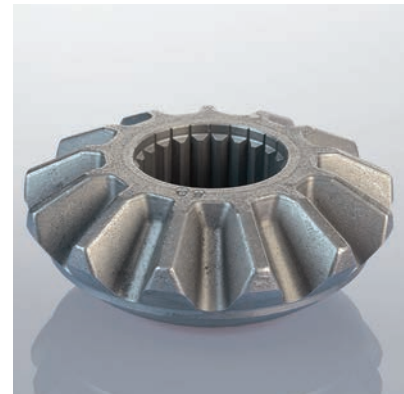
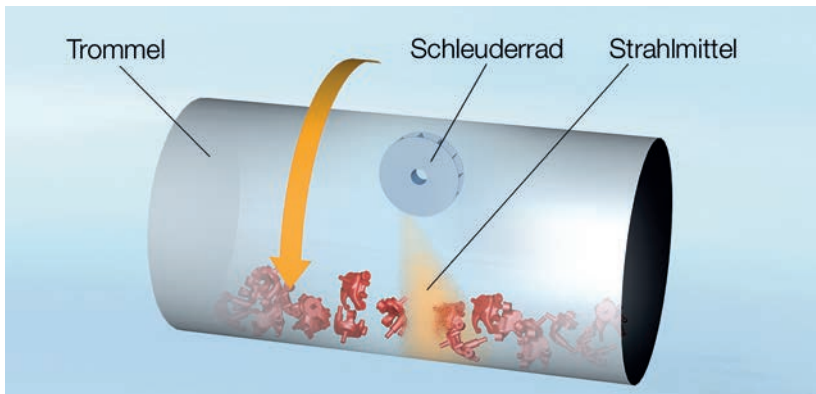


Bild 7.32: Dritter Schritt der Endfertigung: Reinigungsstrahlen

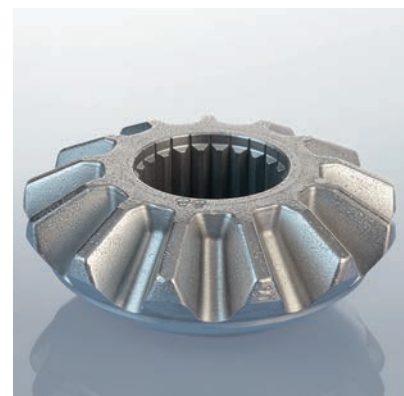
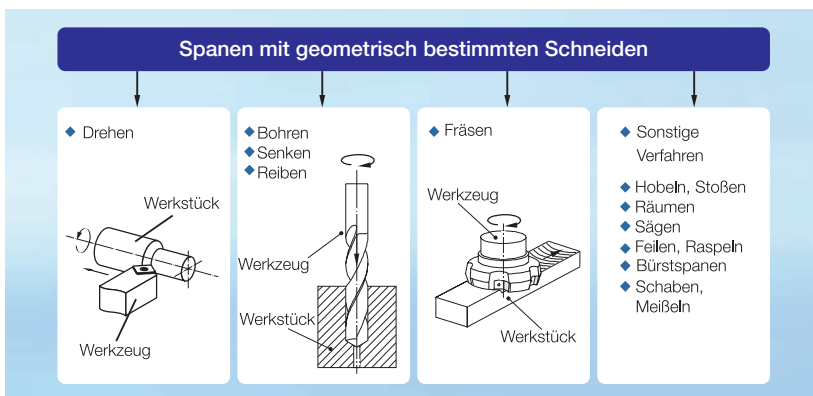


Bild 7.33: Vierter Schritt der Endfertigung: Mechanische Bearbeitung im harten Werkstoffzustand

Die abschließende Qualitätsprüfung (Kapitel 11.2) der Umformteile besteht aus einer Oberflächenüberprüfung der Innenverzahnung durch ein Bildverarbeitungssystem, einer Rissprüfung durch Wirbelstromverfahren und einer Sichtprüfung des gesamten Bauteils.

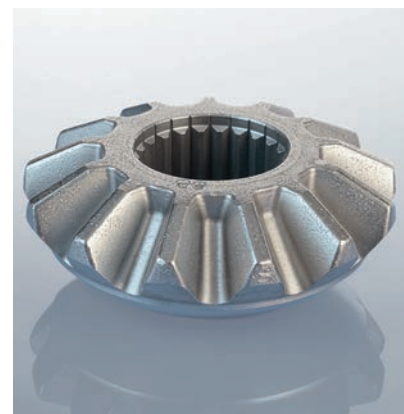
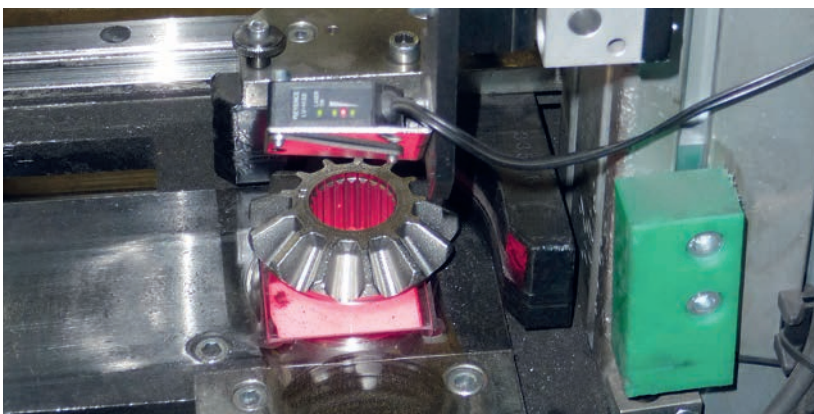


Bild 7.34: Fünfter Schritt der Endfertigung: Qualitätsprüfung

Das auf diese Weise hergestellte Kegelrad ist einbaufertig und kann in einem Differentialgetriebe verbaut werden.

7.4 Prozesskette Freiformschmieden und Ringwalzen

Freiformschmieden ist ein Warmumformverfahren mit nicht formgebundenen Werkzeugen (Kapitel 5.2). Durch Freiformschmieden werden unter anderem Vorringe für das nachfolgende Ringwalzen erstellt. Die Durchmesser der Ringe können bis zu mehrere Meter und die Stückgewichte können bis über 10 t betragen.

Exemplarisch für das Freiformschmieden mit nachfolgendem Ringwalzen ist die Prozesskette (Bild 7.35) zur Fertigung eines Rings (Zahnradrohling für ein Windkraftgetriebe). Die nachfolgenden Darstellungen zeigen jeweils die Änderung des Werkstücks in den einzelnen Prozessschritten.

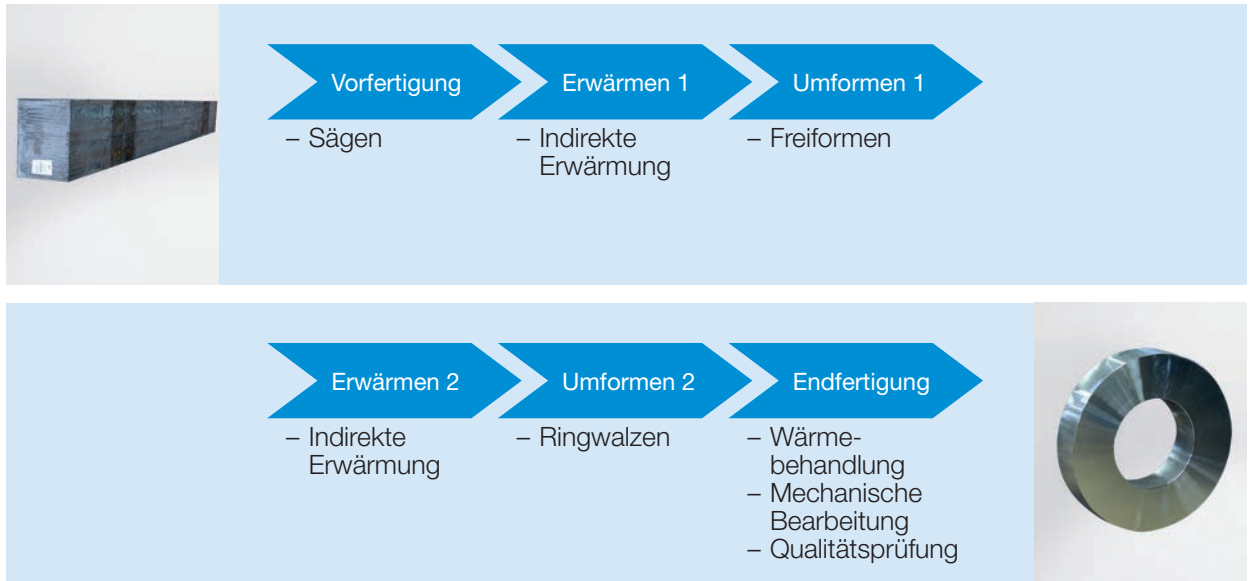


Bild 7.35: Prozesskette Freiformschmieden und Ringwalzen am Beispiel der Fertigung eines Zahnradrohlings für ein Windkraftgetriebe

7.4.1 Vorfertigung

Das vom Stahlwerk angelieferte Halbzeug (Strangguss) – Stangenmaterial mit Vierkantquerschnitt und einer Länge bis 8 m – wird durch Sägen (Kapitel 6.1) in gewichtsgenaue Vorprodukte getrennt.

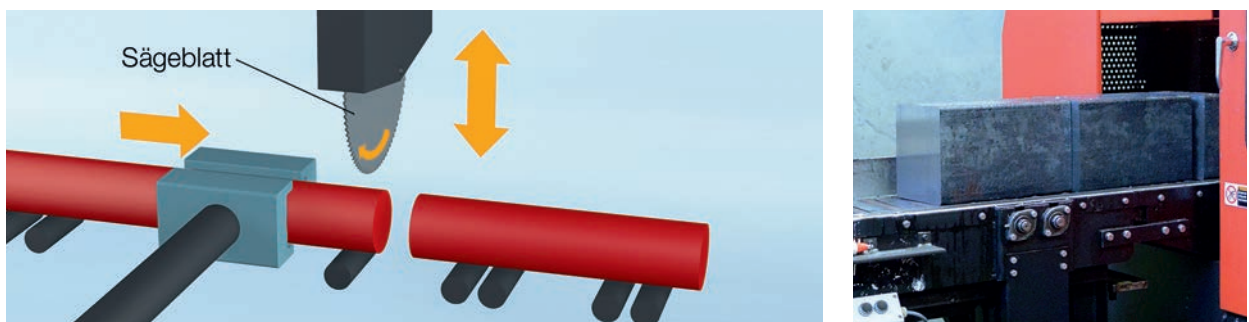


Bild 7.36: Vorfertigungsprozess: Sägen

7.4.2 Erwärmen 1

Vor dem Umformprozess erfolgt die Erwärmung des Vorprodukts in einem gasbetriebenen Kammerofen (Kapitel 6.3.1) auf eine Temperatur von 1.200 bis 1.250 °C.

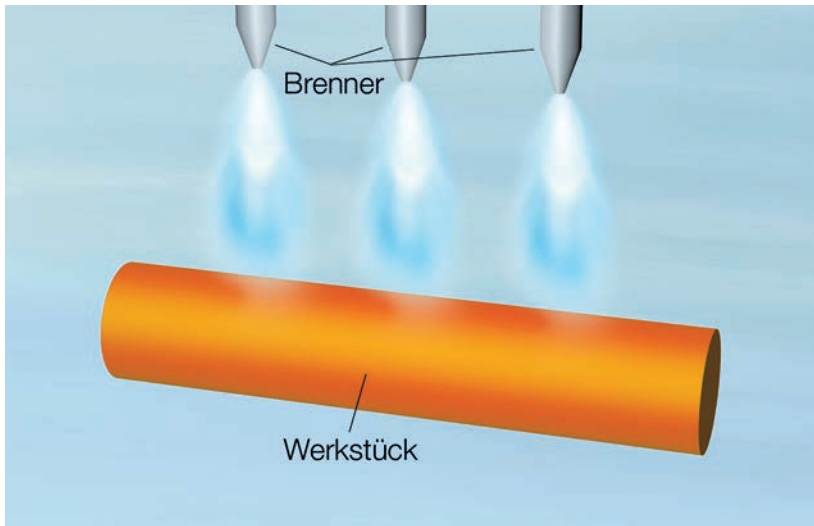


Bild 7.37: Erwärmungsprozess: Indirekte Erwärmung. Das Foto rechts zeigt die Ofenentnahme des Vorprodukts bei geöffneter Ofentür.

7.4.3 Umformen 1

Im ersten Umformprozess wird der Vorring durch Freiformschmieden erzeugt. Wegen des hohen Stückgewichts wird das Werkstück bei allen Prozessschritten durch einen manuell bedienten Manipulator bewegt und positioniert (Bild 7.38).



Bild 7.38: Manipulator zur Handhabung der Werkstücke

Das Freiformschmieden des Vorrings erfolgt durch Stauchen (Kapitel 5.2.3), Rundieren und Lochen. Rundieren ist ein Sonderverfahren des Stauchens und dient zur Fertigung von Kreisscheiben.

Da als Halbzeug Stranggussmaterial verwendet wird, dienen die ersten Stauchvorgänge neben der Formgebung auch der Umformung des Gussgefüges und dem Schließen und Verschweißen von Hohlstellen. Das Entzndern des Vorprodukts erfolgt durch den ersten Stauchvorgang.

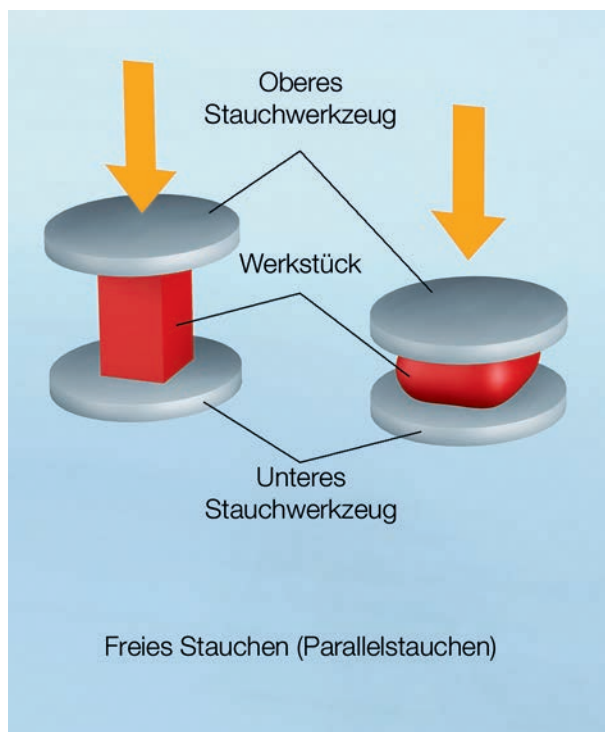
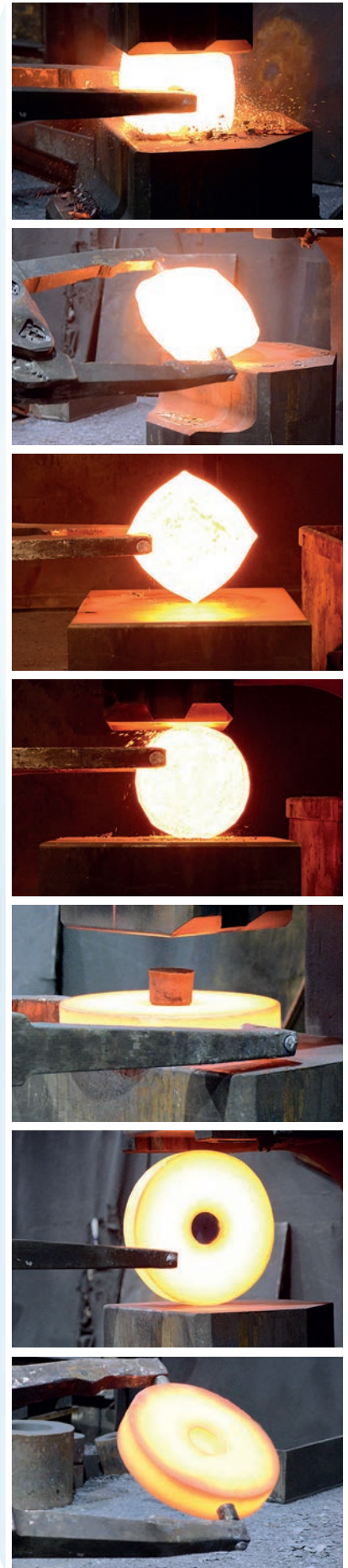


Bild 7.39: Erster Umformprozess: Freiformschmieden

Das Vorprodukt wird zuerst über die Hochachse in mehreren Schritten zu einem scheibenförmigen Produkt gestaucht, dann um 90° gewendet und durch Rundieren zu einer Kreisscheibe geformt. Für das Lochen wird ein Dorn auf dem Werkstück platziert und eingedrückt. Durch das abschließende Rundieren zur endgültigen Kreisscheibe wird der Dorn gelöst und fällt aus der Kreisscheibe heraus.

Verwendete Umformmaschine: Banning Einständer Dampfhammer, Schlaggewicht: 1.500 kg.



7.4.4 Erwärmen 2

Vor dem Ringwalzen wird der Vorring in einem gasbetriebenen Kammerofen auf eine Temperatur von 1.200 °C erwärmt.

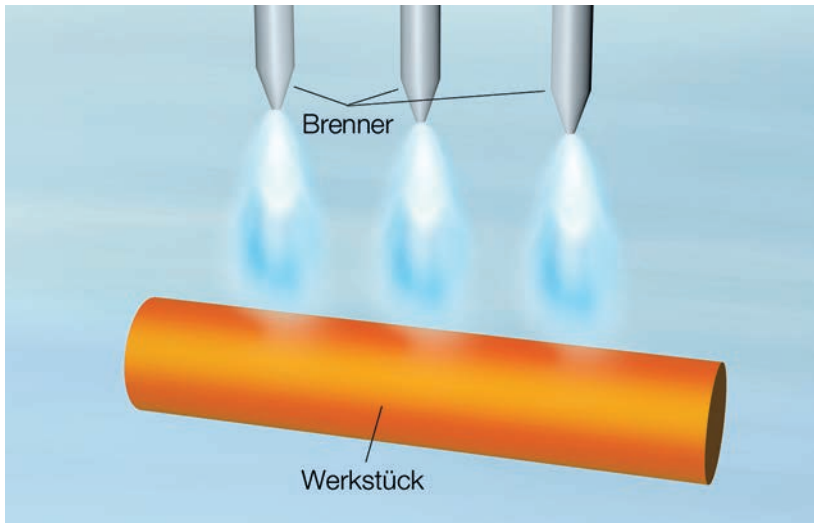


Bild 7.40: Erwärmungsprozess: Indirekte Erwärmung

7.4.5 Umformen 2

Im zweiten Umformprozess, dem Ringwalzen, erfolgt die abschließende Formgebung. Verwendete Umformmaschine: RAW 200/200 (Radial- und Axialwalzkraft je 2.000 kN).

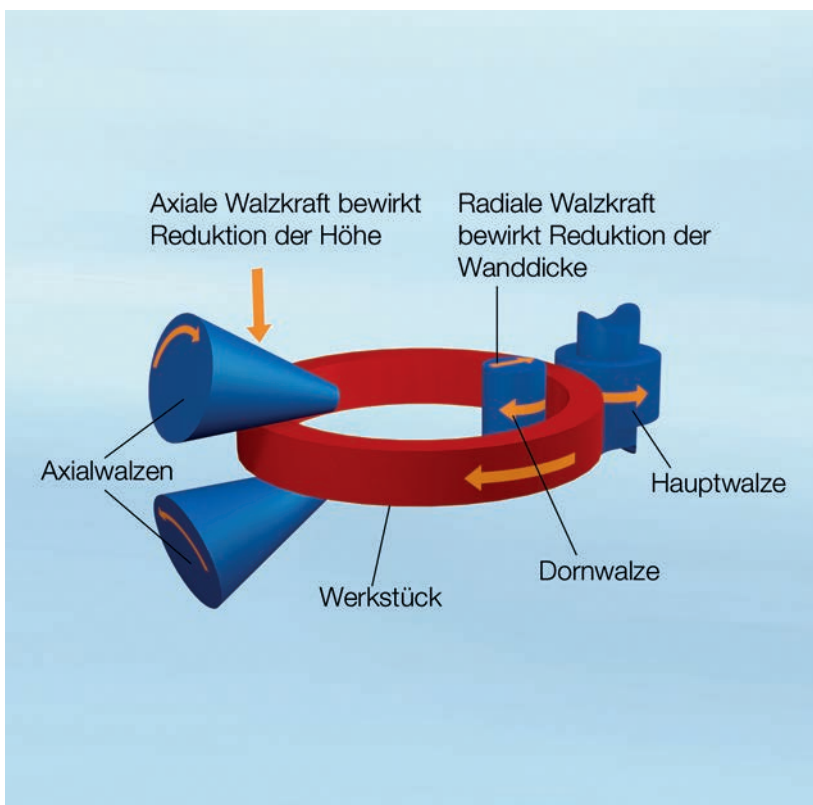


Bild 7.41: Zweiter Umformprozess: Ringwalzen

7.4.6 Endfertigung

Der erste Schritt der Endfertigung – die Wärmebehandlung – besteht aus einem FP-Glühen (Isothermglühen) (Kapitel 6.7.4).

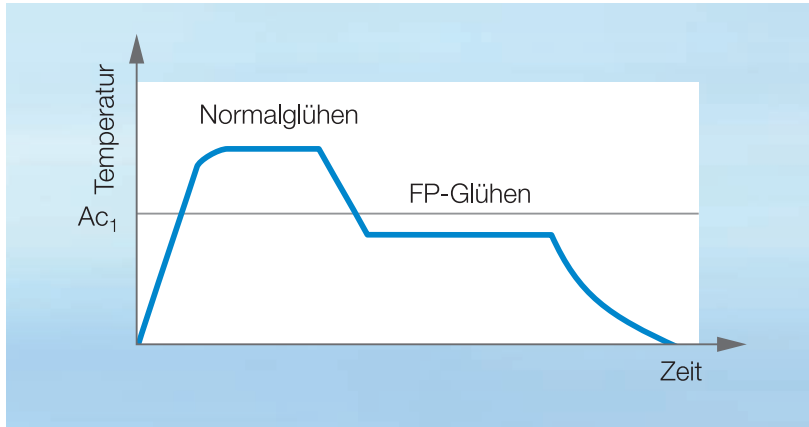


Bild 7.42: Erster Schritt der Endfertigung: Wärmebehandeln. Das Foto zeigt eine Charge wärmebehandelter Ringe vor der geöffneten Ofentüre

Im zweiten Schritt der Endfertigung wird die gesamte Oberfläche des Umformteils durch Drehen mechanisch bearbeitet. Die abschließende Qualitätsprüfung besteht aus einer Maßkontrolle der Ringgeometrie, einer Ultraschallprüfung und einer Rissprüfung (Kapitel 11.2).

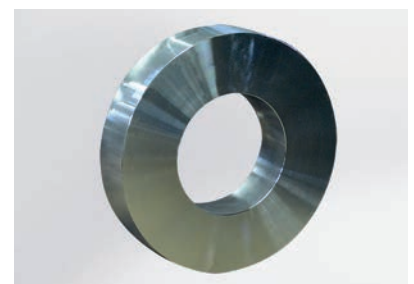
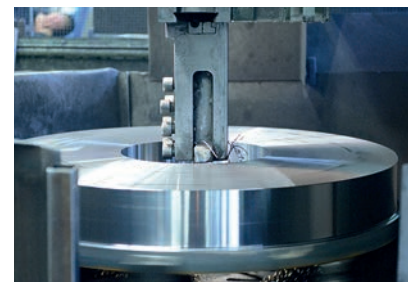
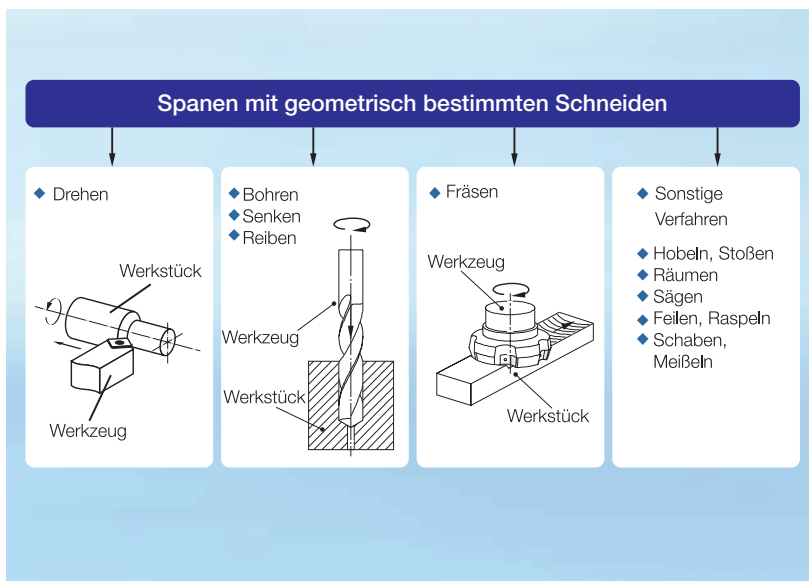


Bild 7.43: Zweiter Schritt der Endfertigung: Mechanische Bearbeitung

8 Maschinen der Massivumformung

Die Maschinen der Massivumformung sind neben den Umformwerkzeugen die wichtigsten Betriebsmittel zur Herstellung eines Umformteils.

Die Umformmaschinen haben generell die Aufgabe

- die hohen Umformkräfte und -energien bereitzustellen,
- die Umformwerkzeuge gegen die Umformkräfte und -momente genau zu führen und dabei möglichst präzise in eine definierte Endlage zu bringen.

Diese Anforderungen bedingen in Verbindung mit einem rauen Produktionsumfeld robuste und leistungsfähige Umformmaschinen, die hohe Investitionskosten zur Folge haben. Aus den hohen Investitionskosten leitet sich eine weitere Anforderung ab:

- Umformmaschinen müssen eine hohe Produktivität haben, damit sich die hohen Investitionskosten auf möglichst viele produzierte Teile verteilen.

8.1 Einteilung der Umformmaschinen

Zur Umformung eines metallischen Körpers benötigt man eine Arbeit (beziehungsweise Energie), die sogenannte Umformarbeit. Die Größe dieser Umformarbeit ergibt sich aus dem Produkt, aus der für die Umformung notwendigen Umformkraft und dem zurückgelegten Umformweg, also

$$\text{Umformarbeit (W)} = \text{Umformkraft (F)} \times \text{Umformweg (s)}^{1)}$$

Die Umformmaschinen unterscheiden sich in ihrer Arbeitscharakteristik dadurch, dass jeweils eine der genannten drei physikalischen Größen durch das Maschinensystem vorgegeben wird, während die beiden anderen sich je nach der Art des Umformvorgangs innerhalb konstruktionsbedingter Grenzen frei einstellen, also

- **bei energiegebundenen Maschinen ist die Energieabgabe (Arbeit) als charakteristische Größe vorbestimmt,**
- **bei kraftgebundenen Maschinen ist die Kraft als charakteristische Größe vorbestimmt und**
- **bei weggebundenen Maschinen ist der Umformweg als charakteristische Größe vorbestimmt.**

In Bild 8.1 sind die drei Grundprinzipien von Umformmaschinen schematisch dargestellt.

¹⁾ Da die Umformkraft im Allgemeinen nicht konstant ist, sondern sich mit dem Umformweg ändert, lautet der korrekte Zusammenhang $W = \int F \cdot ds$. Aus Gründen der Vereinfachung wird die oben genannte Form benutzt.

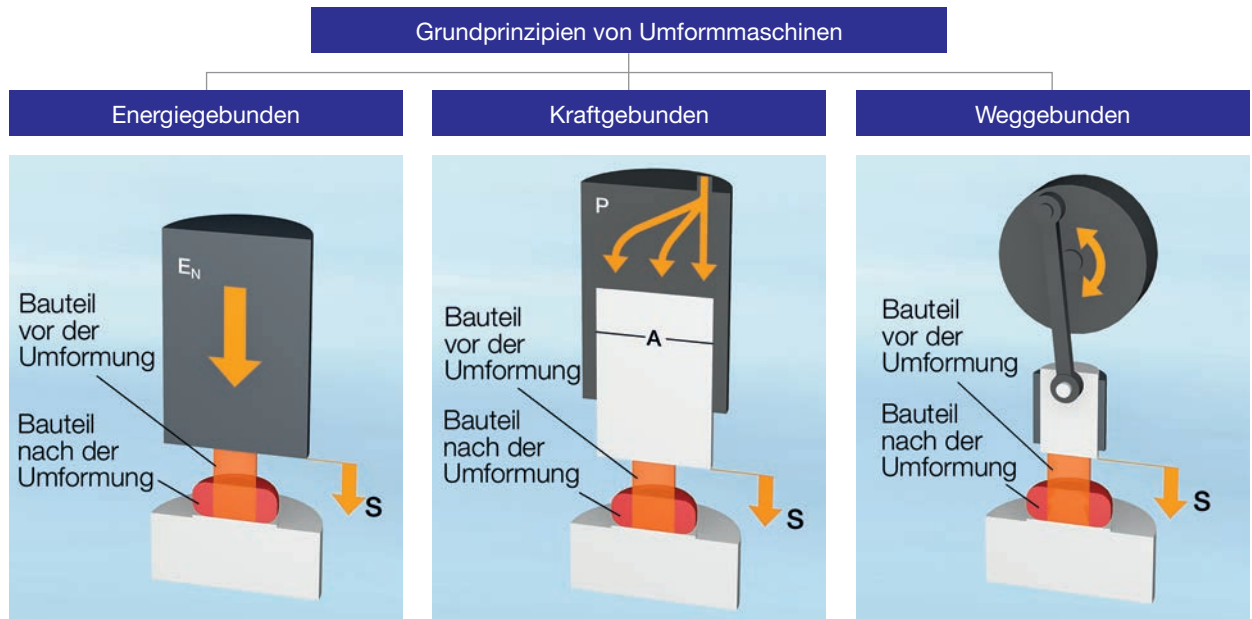


Bild 8.1: Einteilung von Umformmaschinen mit linearer Arbeitsbewegung

Aus diesen drei unterschiedlichen Antriebssystemen leitet sich die jeweilige Arbeitscharakteristik der Umformmaschinen ab, die in Form der Kraft-Weg-Diagramme in Bild 8.2 schematisch dargestellt ist.

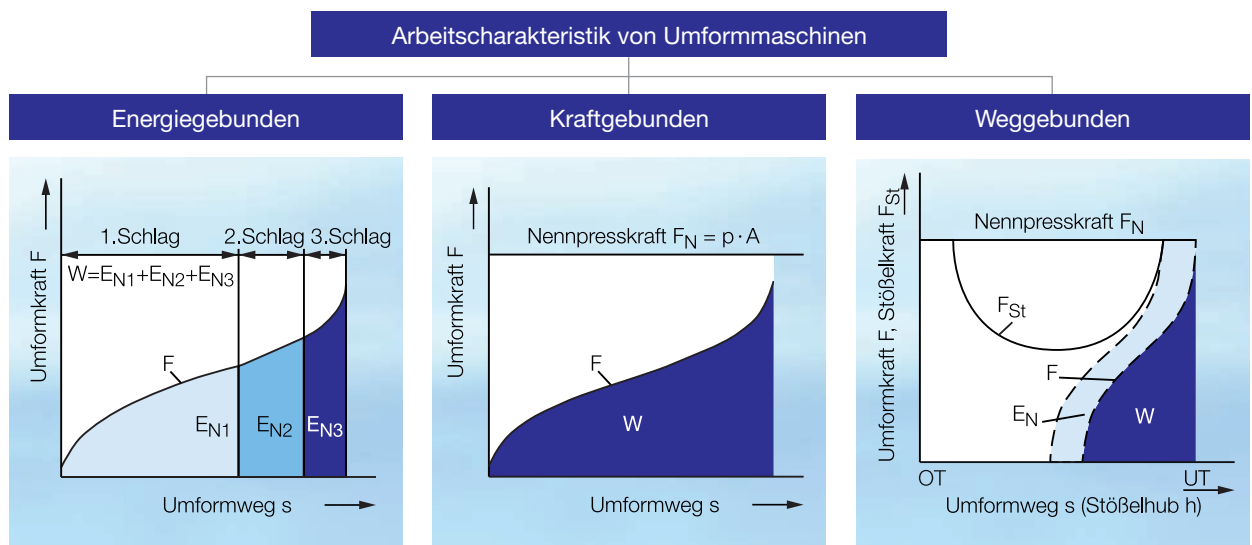


Bild 8.2: Arbeitscharakteristik von Umformmaschinen mit linearer Arbeitsbewegung

Nennenergie E_N

Die Nennenergie ist die Energie, die eine Umformmaschine bei Nennbetriebsbedingungen vor Auslösen eines Hubs gespeichert hat.

Nutzarbeit W

Die Nutzarbeit ist die von der Umformmaschine tatsächlich abgegebene Umformarbeit. Sie ist abhängig von der Umformkraft und dem Umformweg.

Nennpresskraft F_N

Die Nennpresskraft ist die für die Auslegung einer Umformmaschine maßgebende Kraft.

Stößelkraft F_{St}

Die Stößelkraft ist diejenige Kraft, die von der Umformmaschine in Abhängigkeit des Stößelhubes zur Verfügung gestellt wird.

Die Flächen unter den Kurven in Bild 8.2 stellen die (Umform-) Arbeit (= Kraft x Weg) dar. Bei den energiegebundenen Maschinen ist die verfügbare Kraft vom Umformweg abhängig; so steht zum Beispiel bei einem sehr kurzen Umformweg eine sehr hohe Kraft zur Verfügung. Bei kraftgebundenen Maschinen bleibt die verfügbare (Nennpress-) Kraft über dem gesamten Umformweg konstant. Bei weggebundenen Maschinen verändert sich die verfügbare Stoßelkraft F_{St} über dem Umformweg, um dann in der untersten Stößellage (unterer Totpunkt UT) zumindest theoretisch „unendlich“ groß zu werden.

Alle Maschinenarten verfügen über spezifische Besonderheiten, die für bestimmte Umformprozesse und deren Charakteristika besonders geeignet sind.

8.2 Maschinenarten

Aus den 3 Grundprinzipien leiten sich die in Bild 8.3 aufgeführten Hauptmaschinenarten ab.

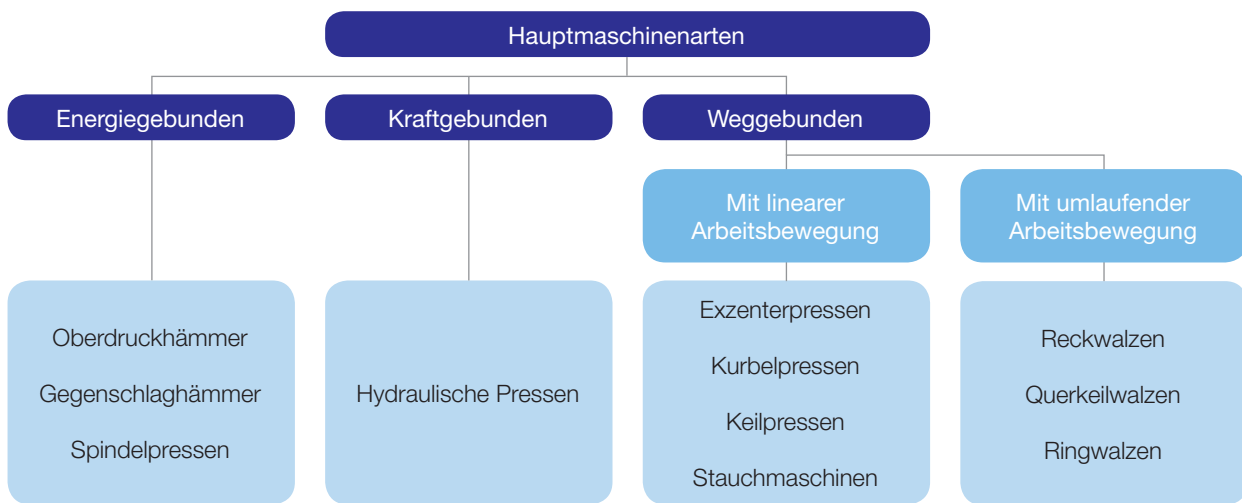


Bild 8.3 Hauptmaschinenarten für die Umformtechnik

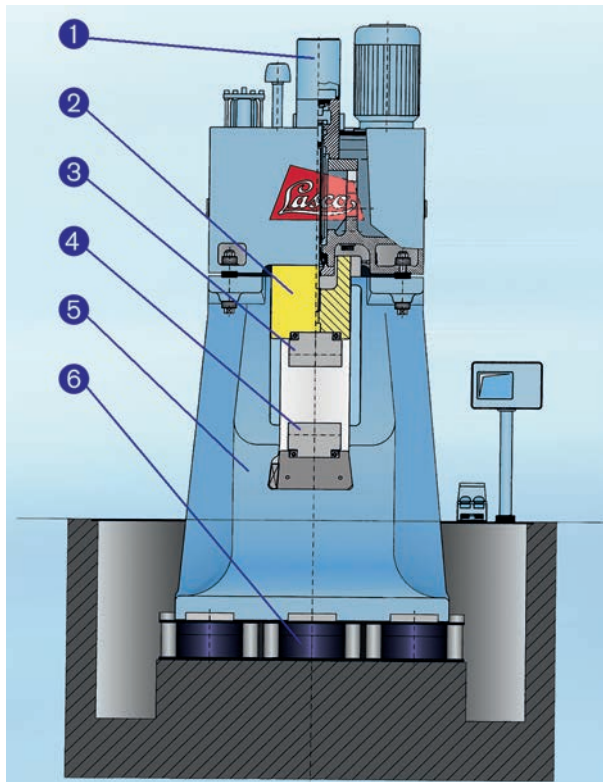
8.2.1 Energiegebundene Maschinen

Energiegebundene Maschinen setzen das in der Maschine gespeicherte Arbeitsvermögen bei jedem Arbeitspiel in Umformarbeit um, formen das Umformteil also solange um, bis die von der Maschine bereitgestellte Arbeit verbraucht ist. Typische Vertreter energiegebundener Maschinen sind Hämmer und Spindelpressen.

Bei Hämmern (Bild 8.4) wird die Energie – bestehend aus hydraulischer oder pneumatischer Oberdruckenergie und Fallenergie – in kinetische Energie des Bären (auch Bewegungsenergie genannt) und dann in Umformenergie umgesetzt.

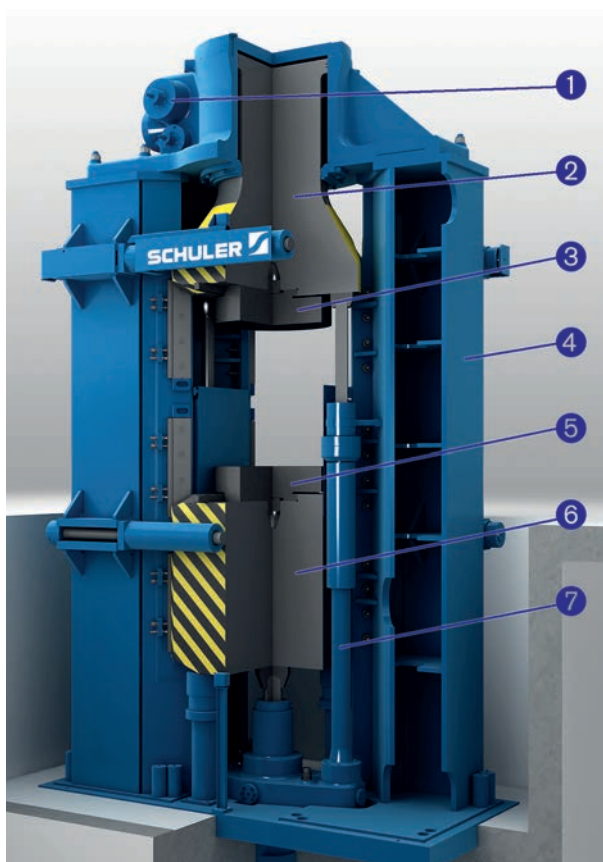
Typische Eigenschaften von Hämmern sind:

- **relativ niedrige Investitionskosten,**
- **sehr kurze Schlagfolgezeit,**
- **sehr kurze Druckberührzeit zwischen Werkzeug und Werkstück,**
- **hohe und genau dosierbare Schlagenergie, die im Falle kurzer Umformwege in enorm hohe Umformkräfte umgesetzt wird,**
- **meist mehrere Schläge (Hübe) bis zur Fertigstellung des Umformteils erforderlich,**
- **hohe Schallemissionen, die durch Schutzmaßnahmen gedämpft werden müssen.**



1. Oberdruckantrieb
2. Bär
3. Obergesenk
4. Untergesenk
5. Schabotte
6. Dämpferelement

Bild 8.4: Schematische Darstellung eines (Oberdruck-) Hammers in der Bauart eines Schabottehammers

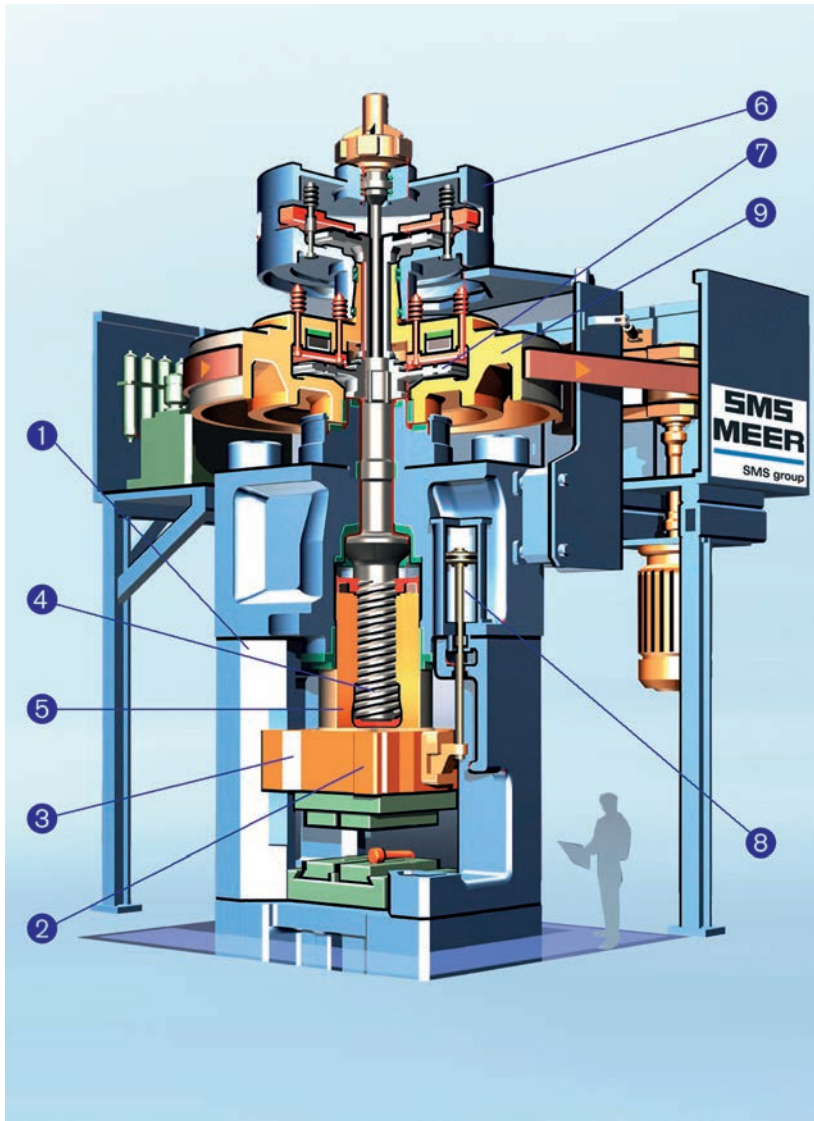


Für die Herstellung sehr großer und schwerer Umformteile wird auch eine entsprechend große Umformenergie benötigt, wofür sich die Schabotte-hämmer nicht mehr eignen. Die dann zum Einsatz kommenden Gegenschlaghämmer (Bild 8.5) haben dann keine Schabotte mehr, sondern zwei sich aufeinander zubewegende Bären, mit dem Vorteil, dass die Schwingungen des Maschinensystems reduziert und die harten Schläge nicht mehr auf das Fundament und von dort nicht mehr auf das Erdreich übertragen werden.

1. Antrieb
2. Oberbär
3. Obergesenk
4. Hammergestell
5. Untergesenk
6. Unterbär
7. Hydraulische Bärkupplung

Bild 8.5: Schematische Darstellung eines Gegenschlaghammers

Bei Spindelpressen wird die Energie aus einem sich drehenden Schwungrad gewonnen und in Umformarbeit umgesetzt. Eine erhöhte Energie liefert die Bauform Kupplungsspindelpresse (Bild 8.6), bei der das Schwungrad permanent rotiert und die Spindel nur während des Arbeitshubs gekoppelt wird.



1. Ständer
2. Stößel
3. Stößelführung
4. Spindel
5. Spindelmutter
6. Spindelbremse
7. Kupplung
8. Pneumatischer Gewichtsausgleich
9. Schwungrad

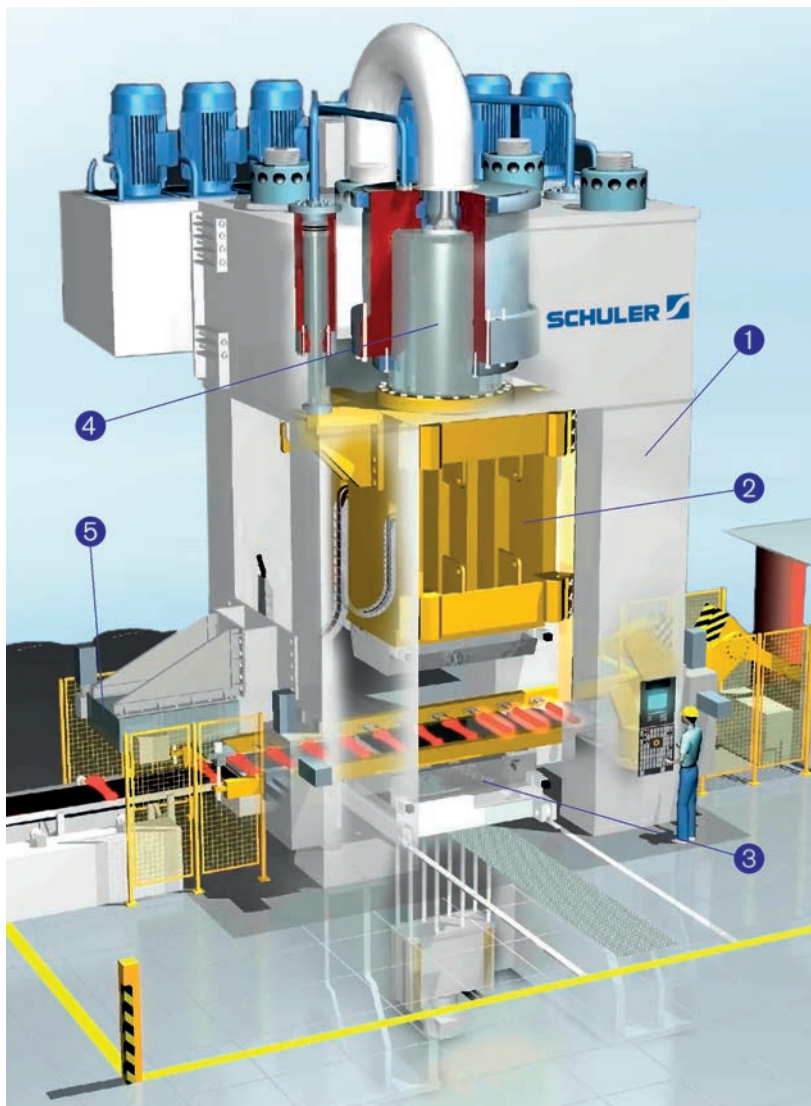
Bild 8.6: Schematische Darstellung einer (Kupplungs-) Spindelpresse

Typische Eigenschaften von Spindelpressen sind:

- **große Arbeitshübe,**
- **hohe und genau dosierbare Umformenergie, die im Falle kurzer Umformwege in hohe Umformkräfte umgesetzt wird,**
- **gute Automatisierbarkeit.**

8.2.2 Kraftgebundene Maschinen

Kraftgebundene Maschinen verfügen aufgrund ihres Antriebprinzips über eine konstante Stößelkraft über den gesamten Umformweg. Typische Vertreter kraftgebundener Maschinen sind die Hydraulikpressen (Bild 8.7).



1. Ständer
2. Stößel
3. Tisch
4. Hydraulikzylinder
5. Hubbalken-Automat

Bild 8.7: Schematische Darstellung einer Hydraulikpresse

Typische Eigenschaften von Hydraulikpressen sind:

- verfügbare Kraft konstant über dem Umformweg,
- große Arbeitshübe möglich,
- großer Arbeitsraum,
- gute Automatisierbarkeit,
- hohe Flexibilität,
- geringe Umformgeschwindigkeit,
- große Druckberührzeit.

8.2.3 Weggebundene Maschinen

Weggebundene Maschinen verfügen über eine fest vorgegebene Weg-Zeit-Charakteristik, die abhängig vom Antriebskonzept unterschiedlich ist. Typische Vertreter weggebundener Maschinen sind Exzenterpressen (Bild 8.8) sowie Kurbel-, Keil- und Kniehebelpressen, die auch als mechanische Pressen bezeichnet werden.

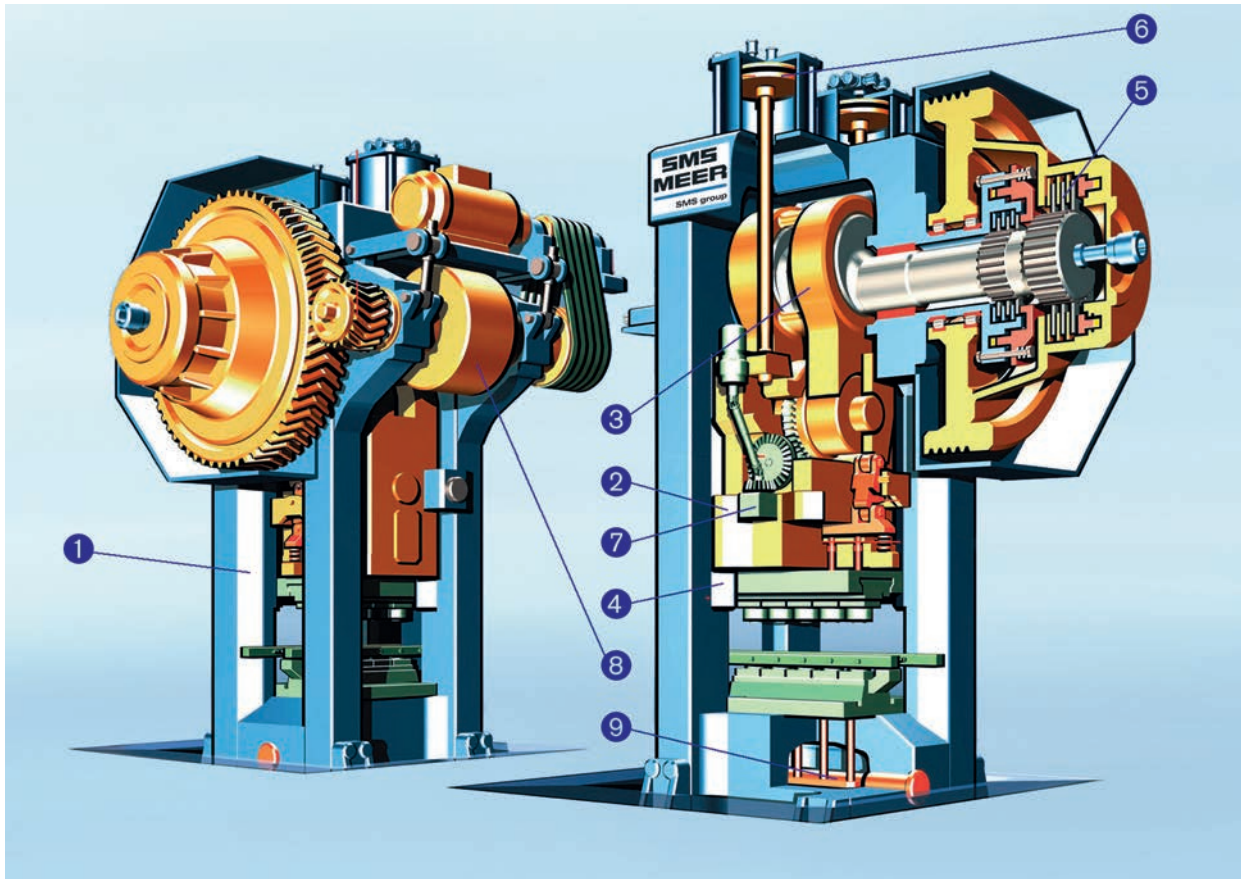


Bild 8.8: Schematische Darstellung einer Exzenterpresse

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| 1. Ständer | 6. Gewichtsausgleich |
| 2. Stößel | 7. Stößelverstellung |
| 3. Druckstange | 8. Vorgelege |
| 4. Stößelführung | 9. Untere Auswerfer |
| 5. Kupplungs-/Bremsystem | |

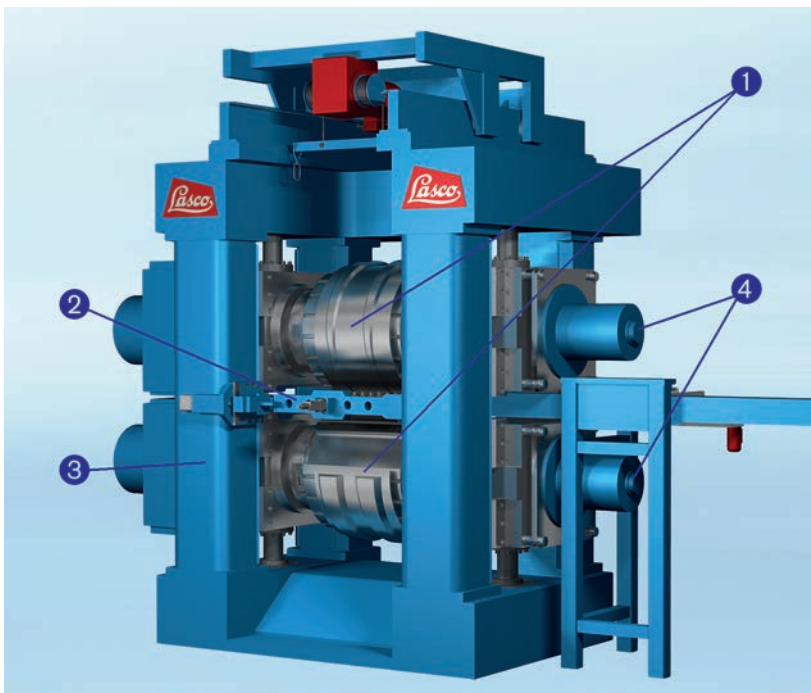
Typische Eigenschaften weggebundener Pressen sind:

- **hohe verfügbare Kraft im unteren Totpunkt,**
- **hohe Umformgeschwindigkeit,**
- **kurze Takt- und Druckberührzeit,**
- **sehr gute Automatisierbarkeit.**

Zu den weggebundenen Maschinen gehören auch Reckwalzen (Bild 8.9), Querkeilwalzen (Bild 8.10) und Ringwalzen (Bild 8.11).



Bild 8.9: Reckwalze mit 4 Walzsegmenten



1. Walzsegmente
2. Zentrierlineal
3. Maschinenständer
4. Antriebsmotoren

Bild 8.10: Darstellung einer Querkeilwalze

Typische Eigenschaften von Reck- und Querkeilwalzen sind:

- relativ hoher Werkzeugaufwand,
- mittlere Taktzeiten,
- gute Automatisierbarkeit.

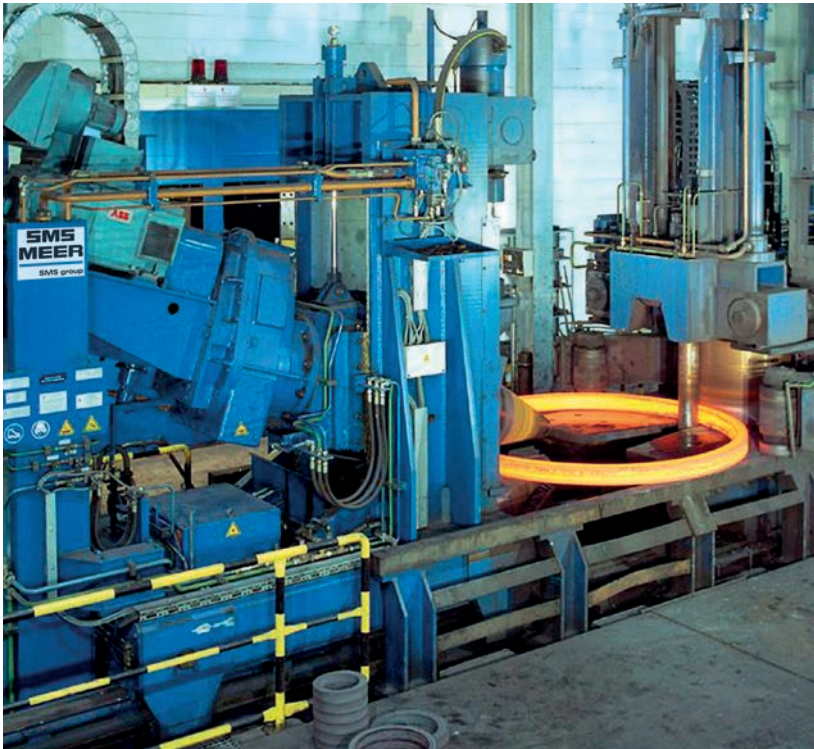


Bild 8.11: Radial-Axial-Ringwalzmaschine

Typische Eigenschaften von Ringwalzen sind:

- **geringer Werkzeugaufwand,**
- **lange Taktzeiten,**
- **große Flexibilität.**

In den Tabellen 8.1 und 8.2 sind die Eigenschaften der verschiedenen Umformmaschinen sowie typische Teilespektren sowohl für die Warmmassiv- als auch die Kaltmassivumformung zusammenfassend dargestellt.

Warmumformung		
Maschinentyp	Eigenschaften	Teilespektrum
Hämmer	Niedrige Investitionskosten, geringe Rüstzeiten, kurze Druckberührzeit, hohe Schlagenergie.	Flache Gesenkschmiedestücke, Pleuelstangen, Hebel, Flansche, Ringe, Turbinenschaufeln.
Spindelpressen	Große Arbeitshübe, kurze Rüstzeiten, gute Automatisierbarkeit.	Flanschwellen, Zahnräder, Antriebs-/Abtriebswellen.
Hydraulische Pressen	Kraft über gesamten Umformweg, Umformweg und Kraft voneinander unabhängig, große Arbeitshübe, lange Druckberührzeit.	Warmfließpressteile, Hülsen, Napfteile, Freiformschmiedeteile, Vorformen von Ringen, Flansche, Räder, etc.
Exzenter- und Kurbelpressen	Großer Arbeitsraum, geringe Taktzeiten, gute Automatisierbarkeit, hohe Rüstzeiten.	Flansche, Naben, Räder, liegende Wellen und Verteilerrohre, Kurbelwellen, Schwenklager, Achsschenkel, Pleuel.
Ringwalzen	Längere Taktzeiten, große Flexibilität, geringer Werkzeugaufwand.	Ringe, Tellerräder.
Querkeilwalzen	Hoher Werkzeugaufwand, mittlere Taktzeiten.	Einfache Wellen, Wellen mit Hinterschnitt, Massenvorverteilung.
Reckwalzen	Hoher Werkzeugaufwand, mittlere Taktzeiten.	Massenvorverteilung.

Tabelle 8.1: Eigenschaften der verschiedenen Umformmaschinen sowie typische Teilespektren für die Warmmassivumformung

Kaltumformung		
Maschinentyp	Eigenschaften	Teilespektrum
Hydraulische Pressen	Langsamere Umformgeschwindigkeit, geeignet für Klein-, Mittel- und Großserien, längere Taktzeit, Kraft über gesamten Umformweg, große Arbeitshübe möglich.	Lange Getriebewellen, Achswellen, Antriebskegelräder, Hohlteile, Bauteile mit Verzahnungen.
Mechanische Pressen, (Kurbelpressen, Kniehebelpressen, Gelenkpressen)	Großserie, kürzere Taktzeit, kurzhubige Teile.	Achszapfen, Getriebewellen, Antriebswellen, Hohlteile, Prägeteile.

Tabelle 8.2: Eigenschaften der verschiedenen Umformmaschinen sowie typische Teilespektren für die Kaltmassivumformung

8.3 Automatisierung von Umformmaschinen

Mit der Automatisierung von Umformmaschinen werden unterschiedliche Ziele verfolgt, zum Beispiel

- **Reduzierung der Lohnkosten durch Wegfall oder Reduzierung des Bedienpersonals,**
- **Steigerung der Produktivität durch Reduzierung der Taktzeit oder**
- **Erhöhung der Prozessstabilität durch reproduzierbare Prozessabläufe.**

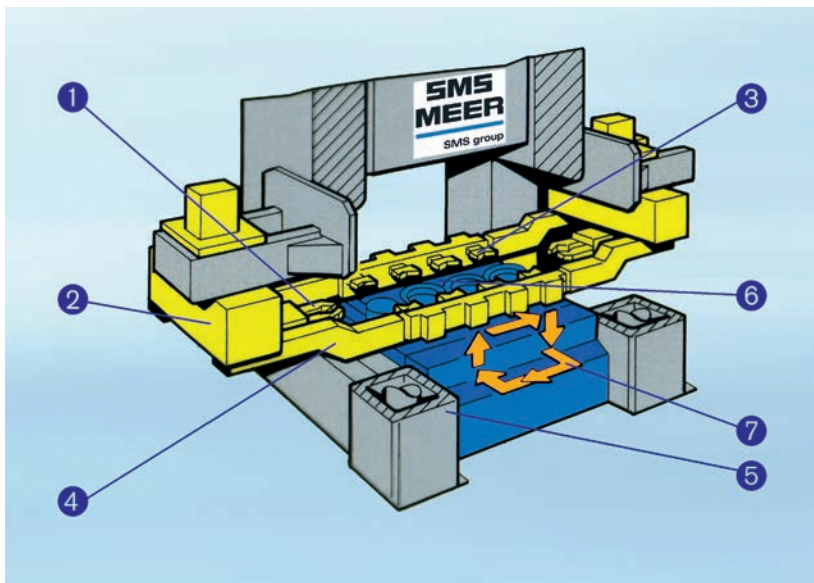
Andererseits setzt eine wirtschaftlich sinnvolle Automatisierung im Allgemeinen hohe Losgrößen voraus.

Bei der Konzeption einer Automatisierung von Umformanlagen ist zwischen Flexibilität (zum Beispiel großes Teilespektrum oder unterschiedlichste Losgrößen) und Produktivität zu unterscheiden. Das Eine schließt das Andere vielfach aus. Mit steigendem Automatisierungsgrad einer Anlage steigt im Allgemeinen die Produktivität – gleichzusetzen mit Steigerung der Ausbringungsmenge – während die Flexibilität sinkt.

In der Massivumformtechnik haben sich zwei wesentliche Automatisierungskonzepte durchgesetzt:

8.3.1 Hubbalkensysteme

Mit Hubbalkensystemen lassen sich bei mehrstufigen Umformprozessen innerhalb einer Maschine sehr kurze Taktzeiten und somit eine hohe Produktivität realisieren (Bild 8.12). Allerdings beschränkt das Greifprinzip die Flexibilität, die durch einseitige Transferbalkensysteme zum Beispiel mit hydraulisch betätigten Aktivgreifern gesteigert werden kann.



1. Einlegezange
2. Antriebseinheit
3. Transportzangen
4. Hubbalken
5. Pressenständer
6. Untergesenk
7. Bewegungsablauf des Hubbalkens

Bild 8.12: Schematische Darstellung einer Automatisierung mit Hubbalkensystem

8.3.2 Robotersysteme

Bei Robotern wird ein sehr flexibles Greifprinzip mit einer nahezu beliebigen Bahnführung kombiniert. Das führt dazu, dass auch geometrisch komplizierte Umformteile gegriffen und auf nahezu beliebigen Bahnen im Raum transportiert werden können, auch über die Grenzen einer Maschine hinweg (Bild 8.13). Die in der Massiv-



Bild 8.13: Schematische Darstellung einer Anlagenautomatisierung durch Robotersysteme

umformtechnik zur Anwendung kommenden Roboter sind im Allgemeinen aber Taktzeit begrenzend. Die Taktzeitbegrenzung kann manchmal umgangen werden, indem die Anzahl der eingesetzten Roboter erhöht wird, die sich dann die Arbeit teilen.

Aufgrund der vielfältigen Anforderungen in der Massivumformtechnik haben beide Automatisierungssysteme ihre Berechtigung.

8.4 Spezielle Anlagen

8.4.1 Mehrstufenpressen

Bei Anwendungen, wo die Anforderungen hoher Stückzahlen und mehrerer Umformstufen in Kombination zu erfüllen sind, müssen Umformmaschinen und -prozesse auf hohe Produktivität ausgelegt werden.

Im Falle einer Automatisierung des Teiletransports zwischen den einzelnen Umformstufen und gleichzeitiger Belegung aller Umformstufen redet man von *automatisierten Mehrstufenpressen*. Bei Mehrstufenpressen mit vertikaler Stößelbewegung (Bild 8.14) werden hohe Stückzahlen von bis zu 30 – 50 Teilen/Min. erreicht.

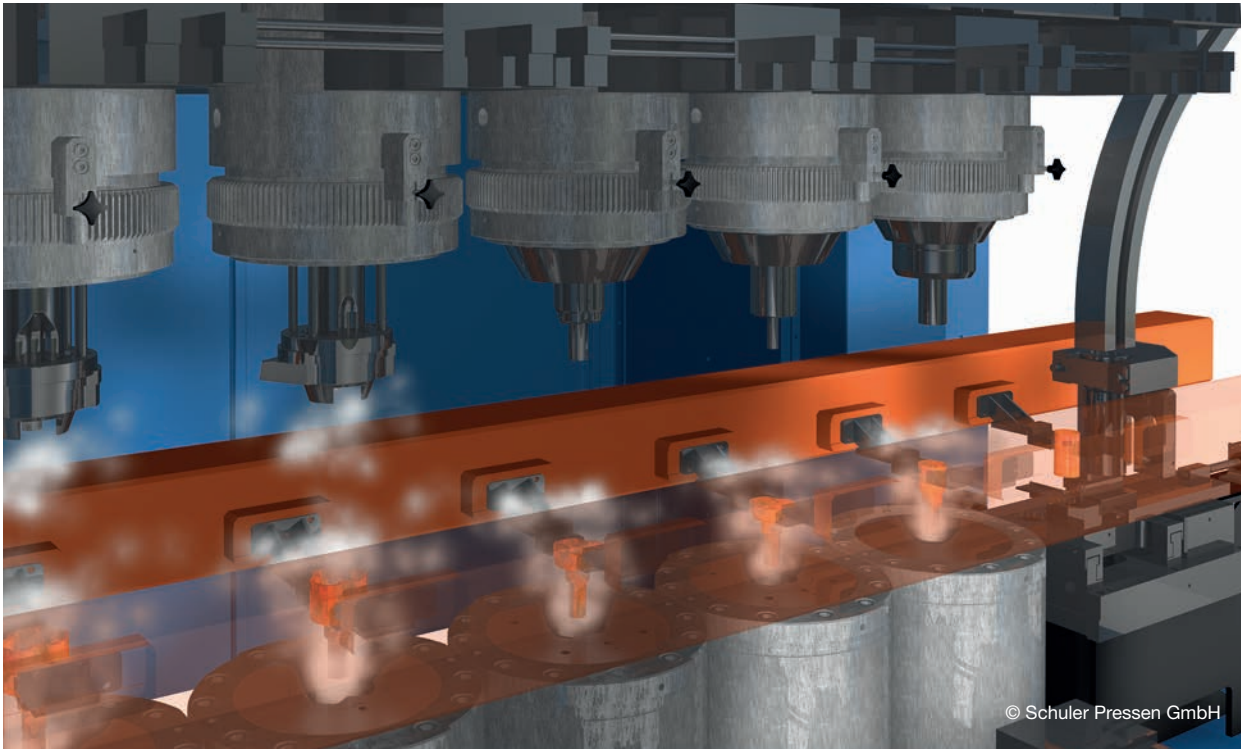


Bild 8.14: Prinzip einer vertikalen Mehrstufenpresse mit Hubbalkentransfer

Bei Mehrstufenpressen mit horizontaler Stößelbewegung (Bild 8.15) werden abhängig vom Teilgewicht sehr hohe Stückzahlen von 100 bis 200 Teilen/Min erreicht.

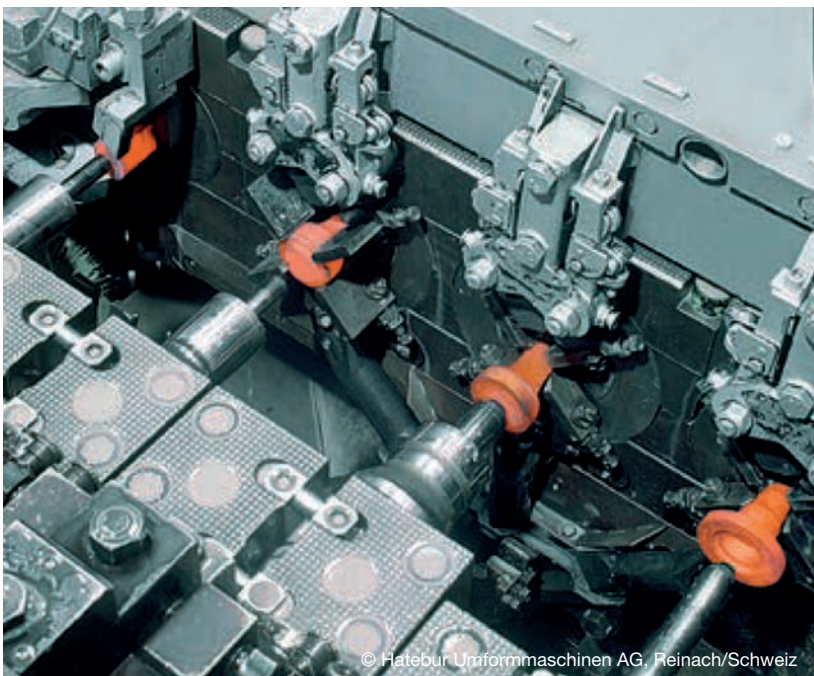


Bild 8.15: Horizontale Mehrstufenpresse

Die höheren Investitionen, die aufwendigeren Werkzeugsysteme und die längeren Rüstzeiten bei Mehrstufenpressen sind wirtschaftlich nur zu rechtfertigen, wenn große Stückzahlen und hohe Losgrößen gefertigt werden.

8.4.2 Servomaschinen

Bei den in den Kapiteln 8.1 und 8.2 dargestellten Maschinenarten ist die Maschinencharakteristik durch das Antriebssystem fest vorgegeben. Bei steigenden Anforderungen an die Massivumformtechnik ist es wünschenswert, dass die Antriebskinematik einer Umformmaschine an die jeweiligen Prozessbedingungen flexibel angepasst werden kann, also zum Beispiel eine frei wählbare Weg-/Zeit-Kinematik. Diese Möglichkeit eröffnen die Servoantriebe. Das sind hochdynamische elektrische Antriebe mit elektronischer Lage-, Geschwindigkeits- und Momentenregelung, oder eine Kombination davon. Das Prinzip ist immer das Gleiche: Der Servoantrieb mit seinen flexiblen Möglichkeiten wird genutzt, um die Umformmaschine direkt oder über ein nachgeschaltetes Getriebe mit gleichförmiger (zum Beispiel servohydraulischer Antrieb Bild 8.16) oder ungleichförmiger Übersetzung (zum Beispiel Servoexzenter-Antrieb Bild 8.17) anzutreiben.

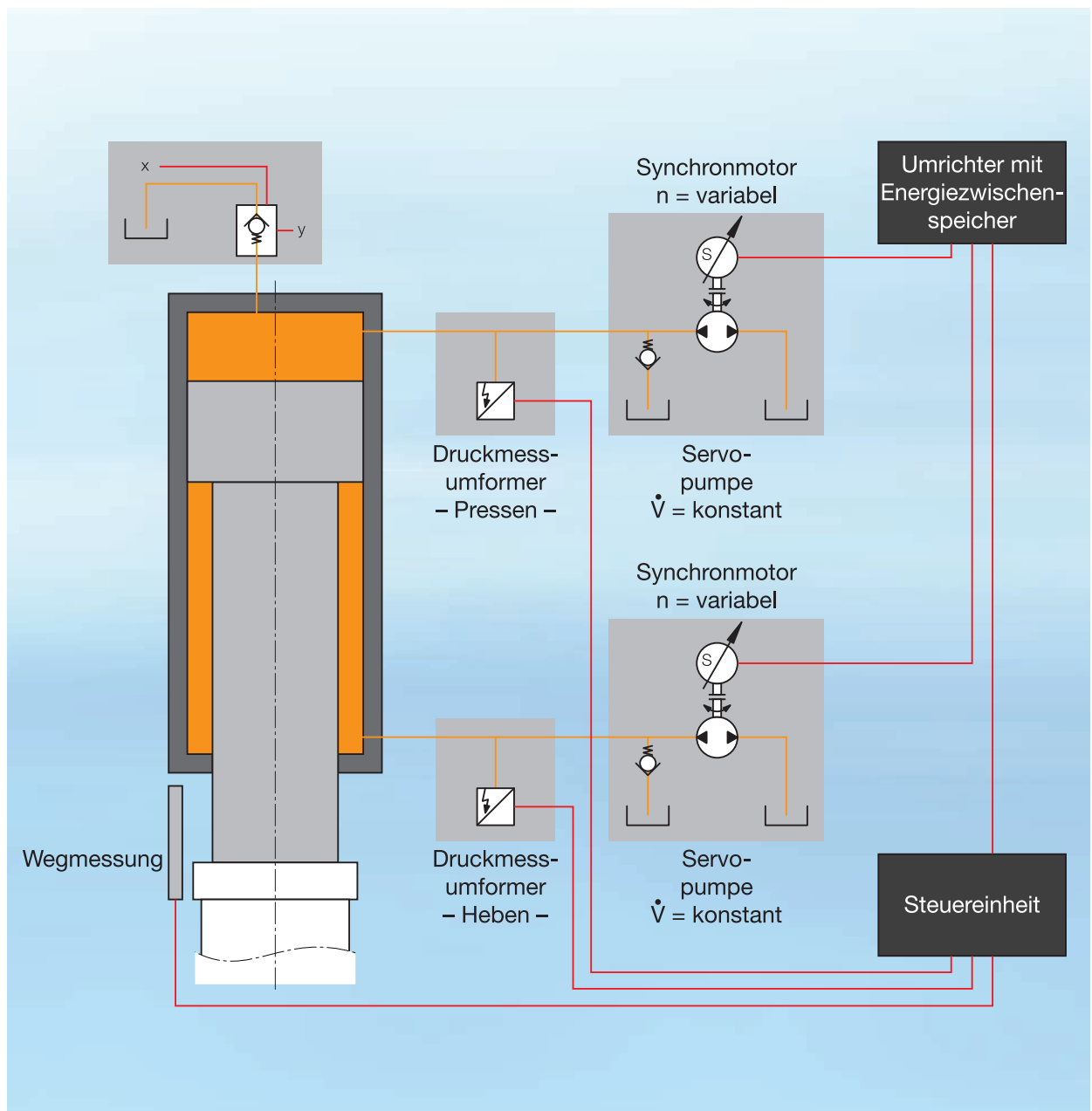
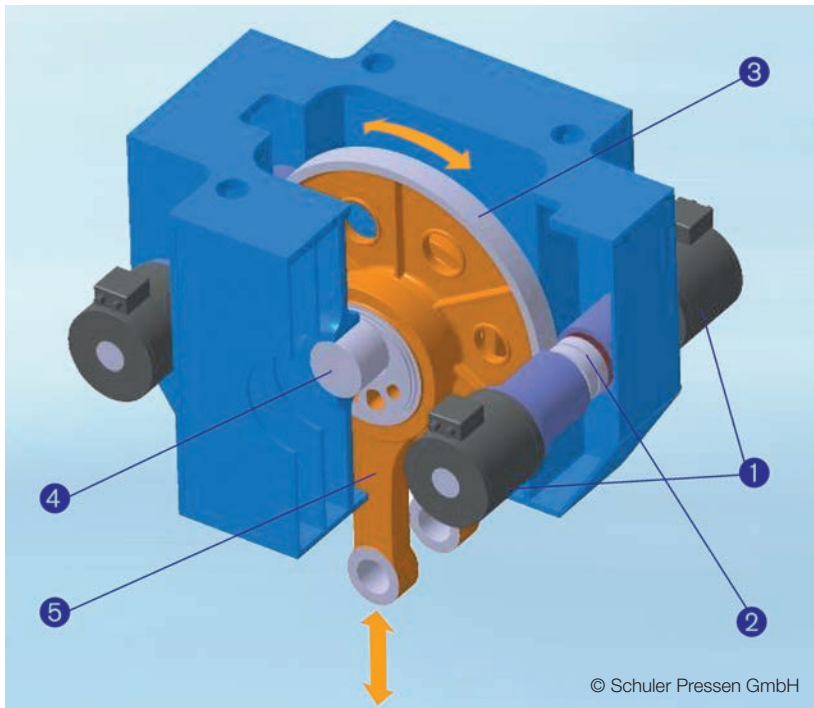


Bild 8.16: Prinzip eines Servoantriebs für eine Hydraulikpresse



1. Servoantrieb
2. Ritzel
3. Antriebsrad
4. Exzenterwelle
5. Druckstange

Bild 8.17: Prinzip eines Servoantriebs für eine mechanische Presse

In Bild 8.18 sind zwei Beispiele für die Nutzung der hohen Flexibilität für einen Servoexzenter-Antrieb dargestellt. Im linken Bildteil ist die Weg-/Zeitcharakteristik bei derselben Zykluszeit auf die speziellen Prozessbedingungen angepasst worden. Bei der Warmumformung von Stahl ist eine kurze Druckberührzeit zwischen Werkzeug und Werkstück wünschenswert, damit die thermische Belastung der Werkzeuge möglichst gering ist. Bei Aluminium spielt dieser Aspekt aufgrund der deutlich niedrigeren Umformtemperatur keine so wesentliche Rolle. Diesem Werkstoff will man im unteren Totpunkt mehr Zeit lassen, um auch engste Gravurradien in dünnen Stegen noch ausfüllen zu können.

Im rechten Bildteil ist die Weg-/Zeitcharakteristik auf kürzeste Zykluszeit optimiert worden. Weil die gesamte Hubhöhe in diesem Fall nicht benötigt wird, kann die Presse auf Pendelmodus programmiert werden und der nicht benötigte Hub wird zur Taktzeitreduzierung genutzt ($t_{z2} < t_{z1}$).

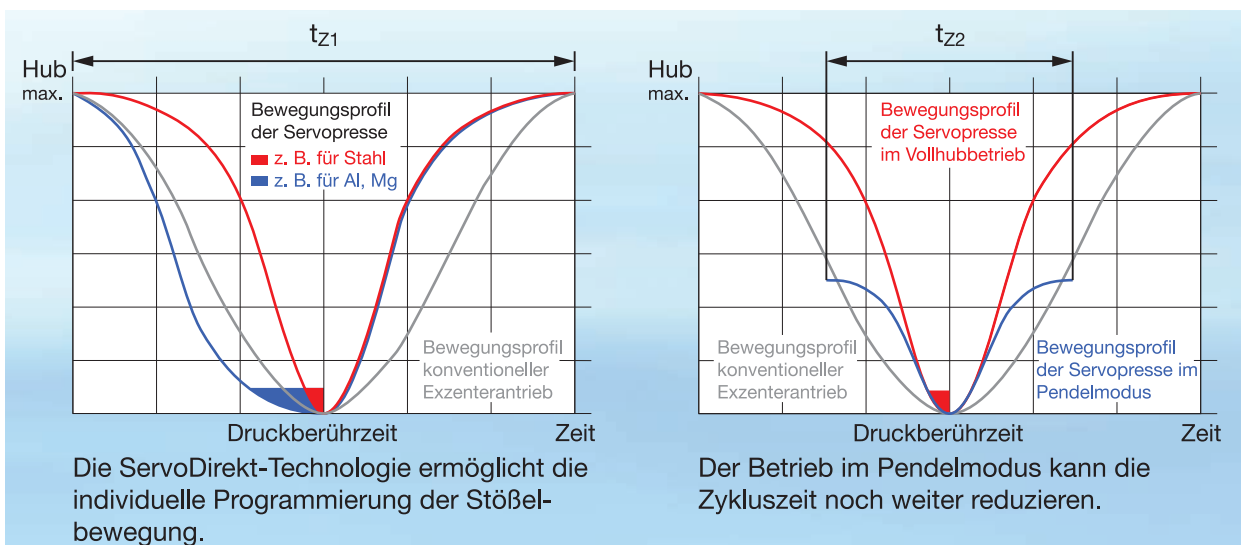


Bild: 8.18: Beispiele für die flexible Anpassung des Servoantriebs an die gewünschten Prozessbedingungen

Mögliche Vorteile von Servopressen sind zum Beispiel:

- Steigerung der Ausbringungsmenge,
- Stößelgeschwindigkeit und -bewegung individuell programmierbar,
- optimale Anpassung an den Umformprozess,
- Anpassung der Stößelbewegung an den Teiletransport und den Sprühzyklus.

Auch bei Spindelpressen kommen Servo-Direktantriebe zur Anwendung (Bild 8.19) und bieten dort folgende Vorteile:

- Entfall der verschleiß- und spielbehafteten Getriebeelemente,
- hohe dynamische Regelbarkeit der Stößelbewegung,
- hoher elektrischer Wirkungsgrad,
- hohe Energieeffizienz.



Bild 8.19: Spindelpresse mit Servo-Direktantrieb

Die Anwendung der Servopressentechnologie in der Massivumformung befindet sich noch in den Anfängen, während sie in der Blechumformung schon breiten Einsatz gefunden hat.

Die Servoantriebstechnologie fand auch schnell Anwendung bei den Reckwalz- und Querkeilwalzmaschinen. Dadurch konnten folgende Vorteile gegenüber den herkömmlichen rein mechanischen Antriebskonzepten erreicht werden:

- Der Torquemotorenantrieb macht Schwungrad, Kupplung und Bremse im Antrieb überflüssig,
- hohe Dynamik und Regelgenauigkeit durch Antrieb über zwei elektronisch synchronisierte Servo-Synchron-Torquemotoren,
- Drehrichtungsänderung (Gleich- oder Gegenlauf) durch Direktantriebe möglich,
- entkoppelte Antriebe ermöglichen eine optimale Walzspaltdimensionierung und Walzspaltverstellung während des Walzvorgangs.

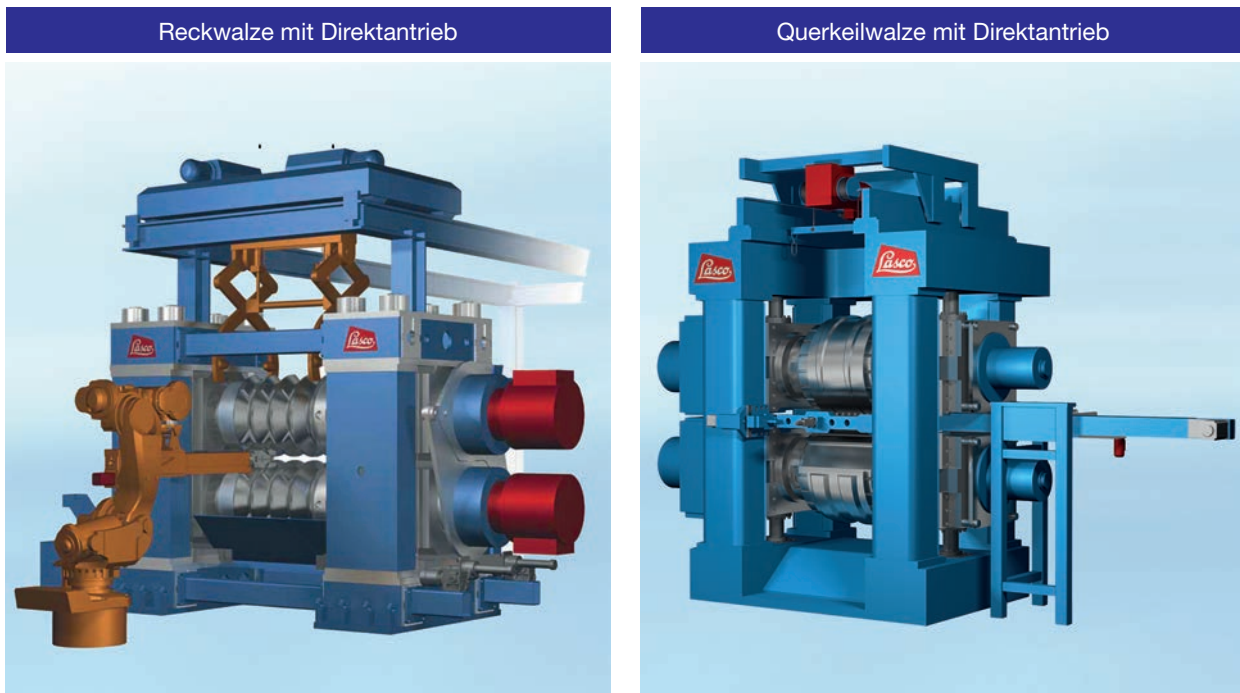


Bild 8.20: Mit Servotechnologie direkt angetriebene Reck- und Querkeilwalzmaschinen

Die aufgeführten Beispiele – die nur einen kleinen Ausschnitt aus den verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten zeigen können – machen deutlich, welche Vorteile mit der Servoantriebstechnologie verbunden sind und welche Möglichkeiten sich hierüber in der Umformtechnik ergeben.

9 Werkzeuge der Massivumformung

Die in der Massivumformung eingesetzten Werkzeuge sind vorwiegend formabbildende Werkzeuge, die sich dadurch auszeichnen, dass sie die Geometrie des herzustellenden Produkts als „Formspeicher“ enthalten. Durch die geometrische Bindung zwischen Werkzeug und Bauteil sind sie nicht flexibel einsetzbar, sondern immer auf ein Bauteil abgestimmt (Bild 9.1). Hierbei spricht man von formgebundenen Werkzeugen.

Eine Ausnahme bildet das Freiformen. Die beim Freiformen vorrangig eingesetzten Werkzeuge – sogenannte Sattelwerkzeuge – haben eine einfache Geometrie in Form von Flach-, Spitz- oder Rundsattel (Bild 9.2) und können für verschiedene, geometrisch einfache Umformprodukte verwendet werden. Hierbei spricht man von nicht-formgebundenen Werkzeugen.



Bild 9.1: Gesenkhälfte („Formspeicher“)

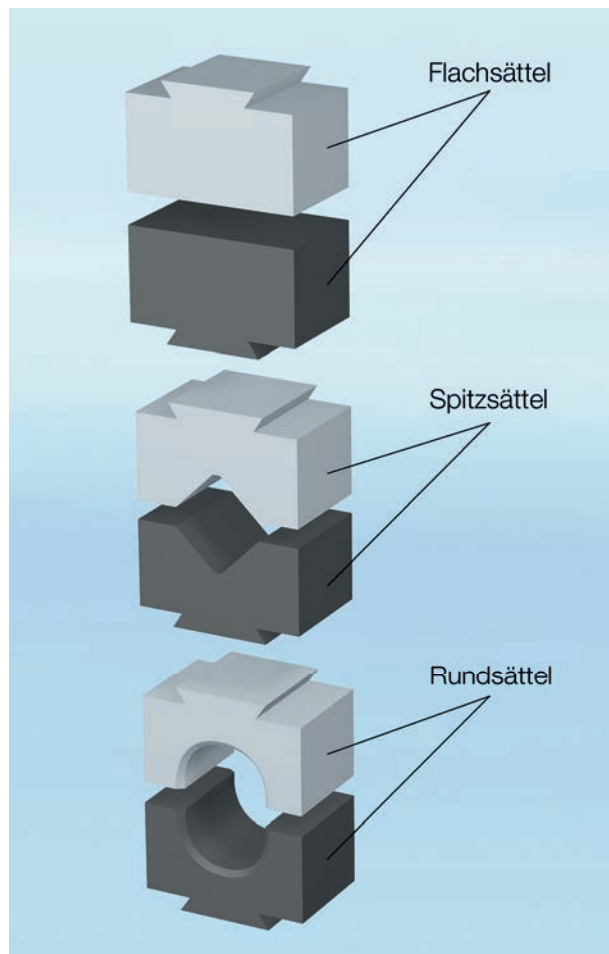


Bild 9.2: Sattelwerkzeuge für das Freiformschmieden

Der Aufbau und die Komplexität des gesamten Werkzeugs – des sogenannten Werkzeugsatzes – ist im Wesentlichen abhängig vom Umformverfahren und der Umformmaschine. Bei der Umformung an einem Oberdruckhammer besteht zum Beispiel der Werkzeugsatz nur aus zwei Einzelwerkzeugen, dem Ober- und Untergesenk (Bild 9.3), gegebenenfalls mit mehreren Gravuren. Bei der Umformung mit Mehrstufenpressen besteht oftmals jede Umformstufe aus mehreren Werkzeugelementen. Die einzelnen Umformstufen werden zu einem Werkzeugsatz zusammengefasst (Bild 9.4 und 9.5). Der Anteil der produktspezifischen, formgebenden Werkzeugelemente ist hierbei relativ gering, sodass ein Großteil der nicht formgebenden Werkzeugelemente für unterschiedliche Bauteile verwendet werden kann.

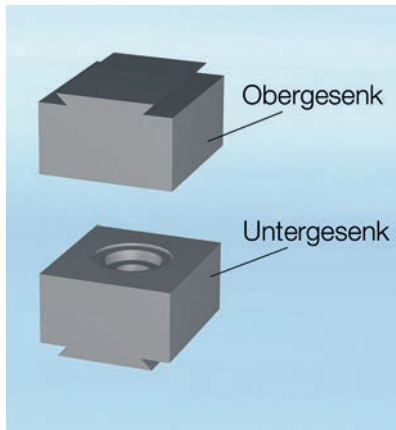


Bild 9.3: Werkzeugsatz für einen Oberdruckhammer (Warmumformung)

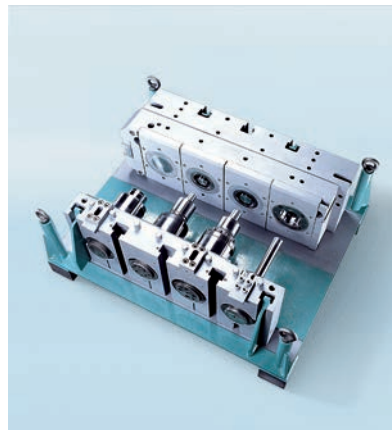


Bild 9.4: Werkzeugsatz für eine horizontale Mehrstufenpresse (Warmumformung)

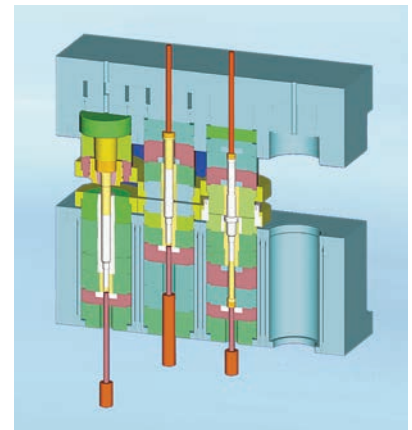


Bild 9.5: Werkzeugsatz für eine vertikale Mehrstufenpresse (Kaltumformung)

Die Aufgaben der Werkzeuge sind:

- Die Kräfte von der Umformmaschine auf das Werkstück übertragen,
- die gewünschte Geometrie des Werkstücks erzeugen,
- die Beibehaltung der Form (möglichst geringe Deformation und Verschleiß).

Bei der Umformung sind die Werkzeuge sehr hohen mechanischen und (im Falle der Warm- und Halbwarmumformung) thermischen Belastungen ausgesetzt.

Um die spezifischen Werkzeugkosten (Kosten je hergestelltem Umformteil) gering zu halten, bedarf es einer kostengünstigen Herstellung, einer hohen Lebensdauer und einer großen Funktionssicherheit der Werkzeuge.

Nachfolgend werden exemplarisch die formgebenden Werkzeuge des Gesenkschmiedens – Schmiedegesenke oder auch Gesenke genannt – behandelt.

9.1 Gesenkaufbau

Ein Gesenk besteht aus einer mindestens zweiteiligen Hohlform (auch Gravur genannt), die die *Negativform* des herzustellenden Werkstücks darstellt (Bild 9.6). Die Einteilung der Gesenke kann anhand unterschiedlicher Merkmale erfolgen:

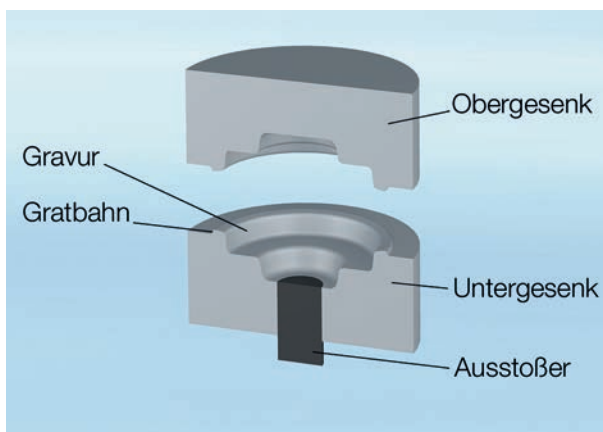


Bild 9.6: Prinzipieller Gesenkaufbau

- Gesenke mit Gratspalt oder geschlossene Gesenke,
- Einfach- oder Mehrfach-Gesenke,
- Einstufen- oder Mehrstufengesenke,
- Gesenke mit einer oder mehreren Teilfugen,
- Voll- oder Einsatzgesenke,
- Einsatzgesenke mit oder ohne Vorspannung,
- Gesenke mit oder ohne Führung.

9.1.1 Gesenke mit Gratspalt oder geschlossene Gesenke

Beim *Gesenkschmieden mit Grat* wird der überschüssige Werkstoff durch den Gratspalt nach außen verdrängt (Bild 9.7). Die Geometrien von Gratspalt und Gratbahn beeinflussen den Gesenkinnendruck und somit die Gravurfüllung sowie die Umformkräfte.

Beim *gratlosen Schmieden* werden geschlossene Gesenke verwendet, die schon bei geringem Materialüberschuss aufgrund des hohen Gravurinnendrucks sehr stark belastet werden, wenn nicht Materialspeicher als Ausgleichsvolumen vorhanden sind.

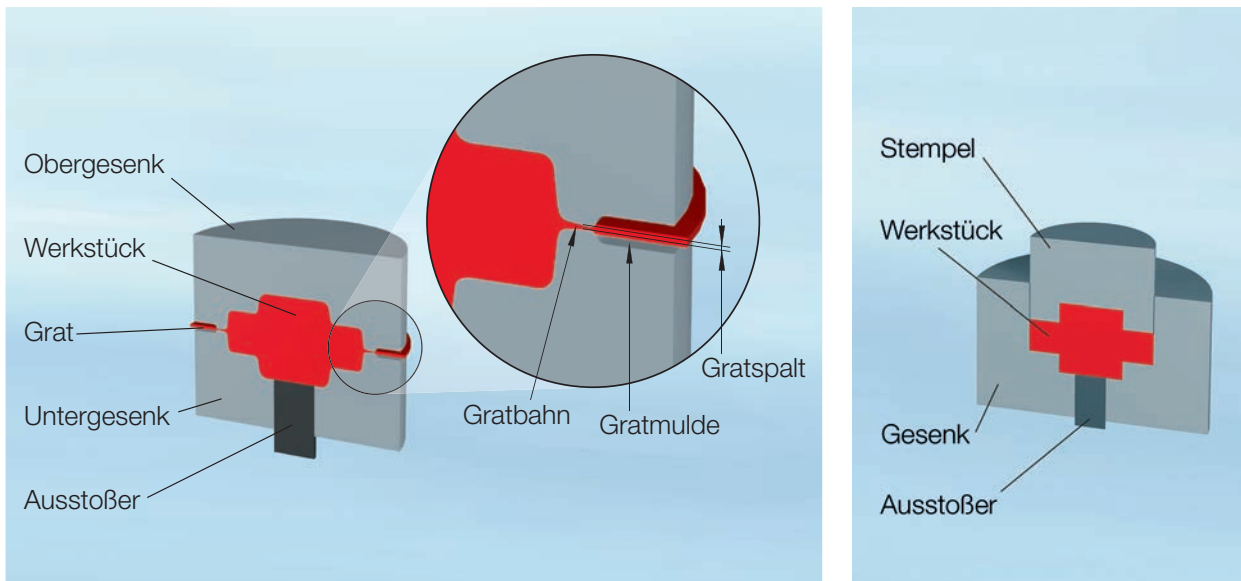


Bild 9.7: Gesenk mit Gratspalt (links) und geschlossenes Gesenk (rechts)

9.1.2 Einfach- oder Mehrfach-Gesenke

Ein *Einfach-Gesenk* enthält **eine** Gravur, das bedeutet, dass mit einem Arbeitsvorgang **ein** Werkstück gefertigt wird (Bild 9.8).

Bei *Mehrfach-Gesenken* ist dieselbe Gravur mehrfach in einem Gesenkblock enthalten. Dadurch wird die Fertigung mehrerer Werkstücke in einem Arbeitsvorgang ermöglicht, wodurch eine erhebliche Produktivitätssteigerung erzielt werden kann. Die Anwendung von Mehrfach-Gesenken ist vornehmlich auf kleinere Werkstücke begrenzt.

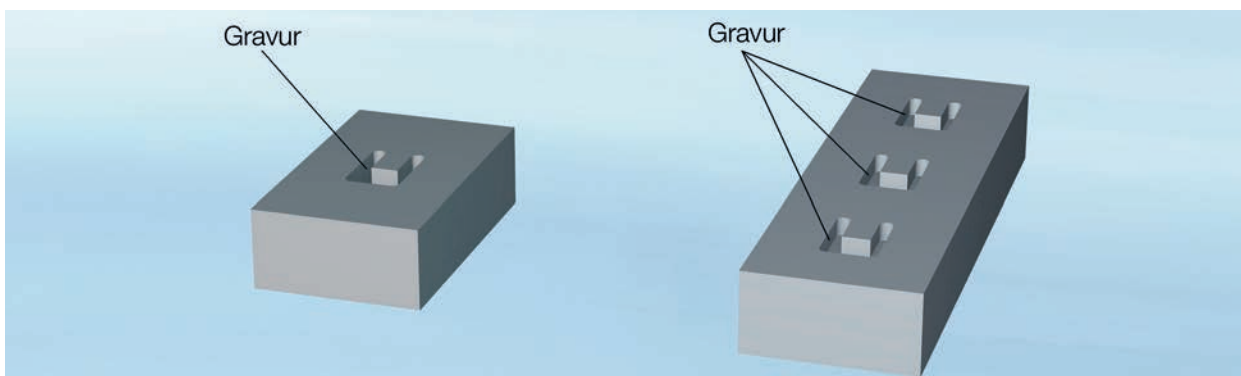


Bild 9.8: Einfach-Gesenk (links) und Mehrfach-Gesenk (rechts)

9.1.3 Einstufen- oder Mehrstufengesenke

Einstufengesenke enthalten nur **eine** Stufe eines mehrstufigen Stadiengangs. Um einen mehrstufigen Stadiengang abzubilden, sind also mehrere Gesenckblöcke mit jeweils unterschiedlichen Gravuren notwendig.

Mehrstufen-Gesenke enthalten alle Gravuren eines mehrstufigen Stadiengangs in einem Gesenckblock, wie zum Beispiel Biegen, Vor- und Fertigschmieden (Bild 9.9).

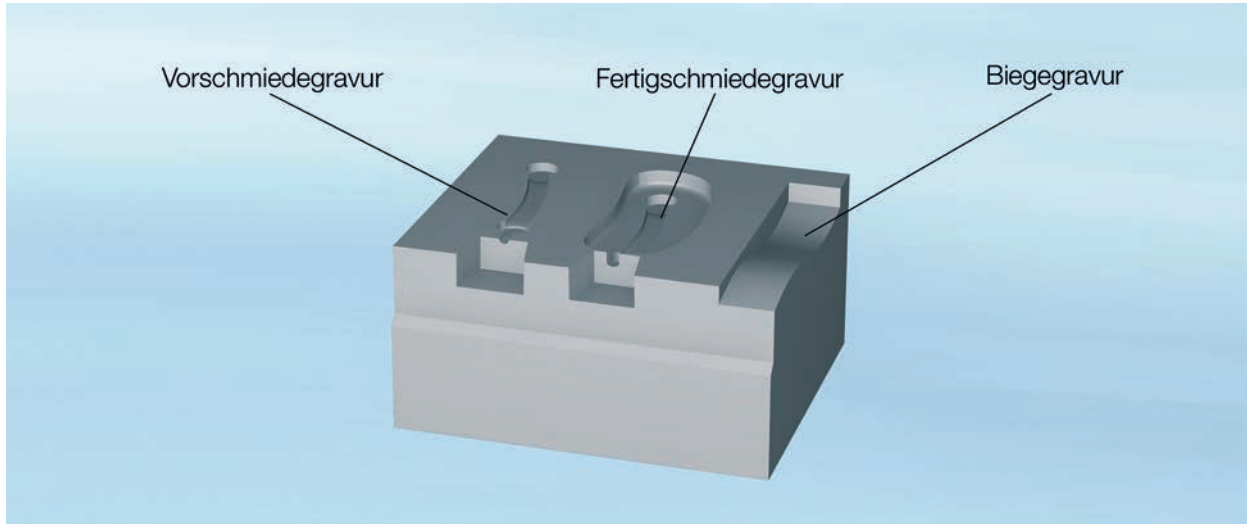


Bild 9.9: Mehrstufen-Gesenk

9.1.4 Gesenke mit einer oder mehreren Teilfugen

Ein Gesenckpaar hat üblicherweise nur eine Teilfuge und besteht aus Ober- und Untergesenk (Bild 9.6). Für Sonderfälle wie zum Beispiel Werkstücke mit *Hinterschneidung* werden Werkzeuge mit mehreren Teilfugen benötigt (Bild 9.10).

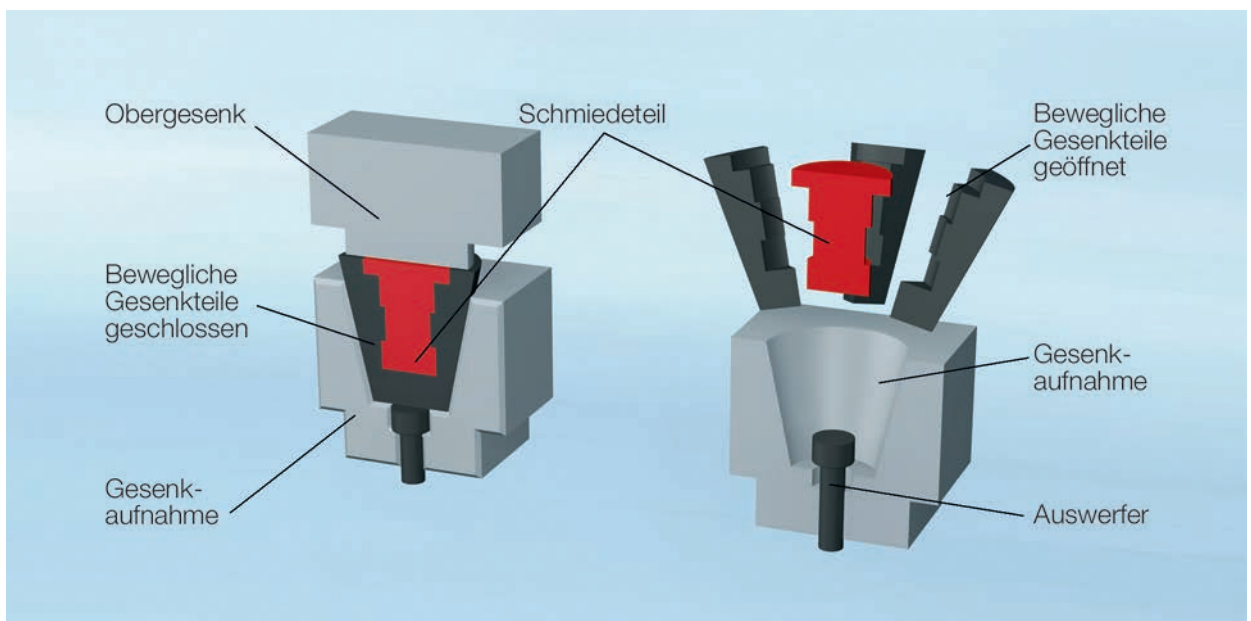


Bild 9.10: Gesenk mit mehreren Teilfugen

9.1.5 Voll- oder Einsatzgesenke

Bei *Vollgesenken* wird die Gravur direkt in den Materialblock eingearbeitet (Bild 9.11).

Einsatzgesenke sind mehrteilig und bestehen aus einem Gesenkeinsatz und einem Gesenkhalter. Die *Gesenkeinsätze*, die die Gravur enthalten, werden im Gesenkhalter befestigt. Der Vorteil hierbei ist die sparsame Verwendung von kostenintensiven Gesenkwerkstoffen. Der durch die Umformung hochbelastete Gesenkeinsatz wird aus hochwertigen Werkstoffen gefertigt. Für den weniger belasteten Gesenkhalter können preiswertere Werkstoffe verwendet werden.

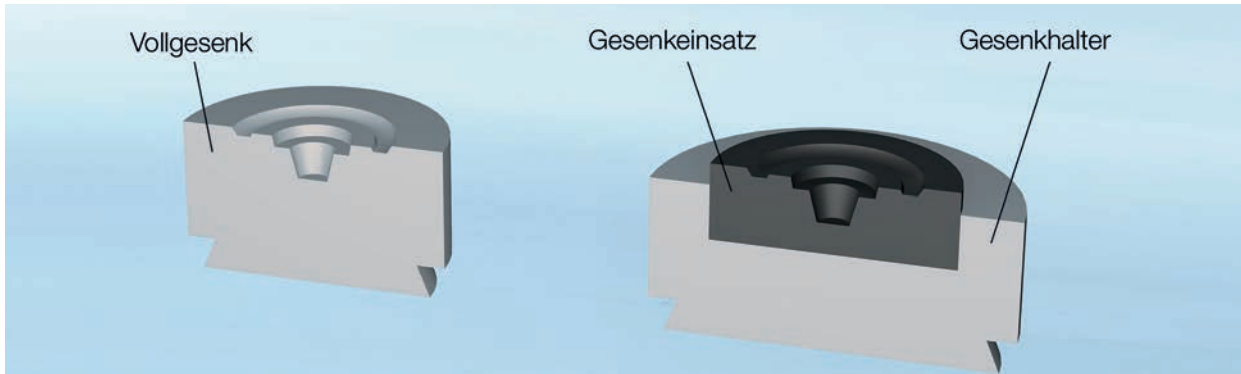


Bild 9.11: Vollgesenk (links) und Einsatzgesenk (rechts)

9.1.6 Einsatzgesenke mit oder ohne Vorspannung

Das formgebende Werkzeugelement wird bei Einsatzgesenken mit Vorspannung als Matrize bezeichnet. Die radiale Vorspannung der Matrize erfolgt durch eine Armierung. Diese wird erzielt, indem ein harter Matrizenkern mit Übermaß durch thermisches Einschrumpfen oder Einpressen in einen Armierungsring eingebracht wird. Dadurch werden Druckspannungen im Innenring (von außen) aufgezwungen und Zugspannungen (die durch die Umformbelastung entstehen) reduziert /Liew12/. In Bild 9.12 ist der Armierungsverband eines Umformwerkzeugs, bestehend aus einem äußeren und inneren Armierungsring sowie einem Matrizenkern, schematisch dargestellt.

Vorgespannte Werkzeuge werden wegen der hohen Umformbelastungen häufig beim Kaltfließpressen eingesetzt.

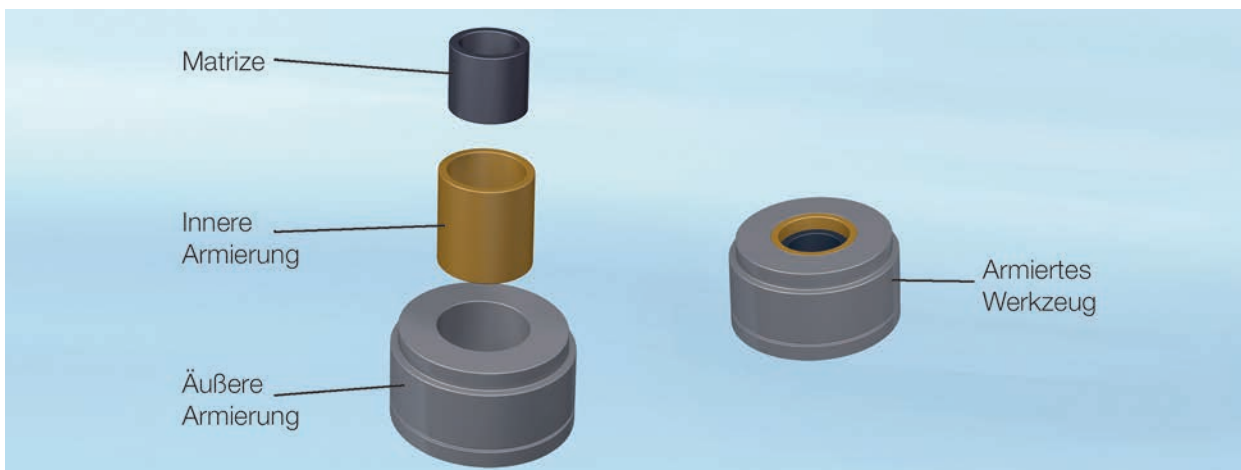


Bild 9.12: Armierungsverband eines Kaltumformwerkzeugs

9.1.7 Gesenke mit und ohne Führung

Werkzeugführungen werden zur Minimierung des horizontalen Versatzes zwischen Unter- und Obergesenk eingesetzt. Die wesentlichen Ausführungsvarianten sind Flachführungen, Bolzenführungen und Rundführungen (Bild 9.13). Flachführungen können als Leisten- oder Eckenführung gestaltet werden, Rundführungen in offener oder geschlossener Form.

Die Führungen erfordern bei der Gesenkfertigung einen erhöhten Material- und Bearbeitungsaufwand und werden daher nur bei entsprechenden Anforderungen an die Versatztoleranz verwendet.

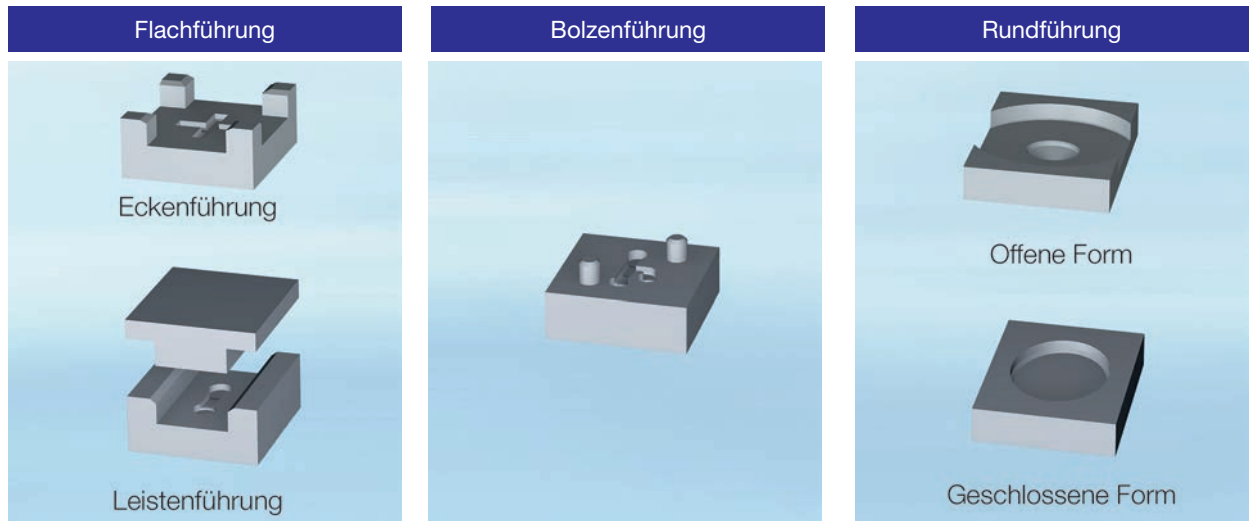


Bild 9.13: Führungen an Gesenken

9.2 Beanspruchung von Umformwerkzeugen

Die Umformwerkzeuge sind sehr hohen mechanischen und (im Falle der Warm- und Halbwarmumformung) thermischen Beanspruchungen ausgesetzt. Die mechanische Belastung – die in Kombination mit einer Relativbewegung von Werkzeug und Umformteil auftritt – resultiert aus den notwendigen hohen Umformkräften, die hohe Spannungen im Werkzeug verursachen. Die thermische Belastung entsteht aus der Berührung eines heißen Umformteils mit dem deutlich kälteren Werkzeug. Sie wird wesentlich beeinflusst durch Umformgeschwindigkeit und Werkstücktemperatur. Mechanische und thermische Einflüsse zusammen bilden das Belastungskollektiv des Umformwerkzeugs. Ob und wie lange das Werkzeug dieser Belastung standhält, ist von seiner *Belastbarkeit* abhängig, die wiederum vom Werkzeugwerkstoff, der Wärme- und Oberflächenbehandlung, der Werkzeugtemperatur sowie der Kühlung und Schmierung der Werkzeuge wesentlich beeinflusst wird.

Abhängig vom Verhältnis aus Belastung und Belastbarkeit stellen sich früher oder später mehr oder weniger große Schäden an den Umformwerkzeugen in Form von Verschleiß, plastischer Verformung und Rissbildung bis hin zu Werkzeugbrüchen ein.

Bei der Massivumformung von Stahl ist der Werkzeugverschleiß meist die maßgebliche Ausfallursache und bewirkt, dass die Werkzeuggravur durch den verschleißbedingten Werkstoffabtrag kontinuierlich größer wird und als Folge dessen auch die darin abgeformten Umformteile immer größer werden. Wenn die Bauteilgeometrie partiell die vorgegebene Toleranzgrenze erreicht hat, muss das Werkzeug ausgetauscht werden. Die bis dahin produzierte Bauteilmenge wird auch als *Standmenge* des Werkzeugs bezeichnet, wodurch die Wirtschaftlichkeit des Umformverfahrens signifikant beeinflusst wird. Die spezifischen Werkzeugkosten, als

Verhältnis von Werkzeugherstellungskosten und Standmenge, sind **ein** Anteil an den Stückkosten des Umformteils und werden auch als *Werkzeugrate* oder *Werkzeugamortisationsrate* bezeichnet. Insofern ist jedes Unternehmen permanent bestrebt, die Werkzeugherstellungskosten zu reduzieren und die Standmenge der Umformwerkzeuge durch Prozessoptimierungen zu erhöhen.

9.3. Werkzeugfertigung

Die Werkzeuge werden aus hochwertigen *Werkzeugstählen* hergestellt, an die hohe Anforderungen bezüglich Härte, Zähigkeit, Formbeständigkeit und Temperaturwechselfestigkeit gestellt werden. Die Wärmebehandlung der Werkzeugstähle erfolgt in Abhängigkeit des Fertigungsprozesses vor oder nach der Bearbeitung oder in Einzelfällen auch zwischen den einzelnen Bearbeitungsschritten. Die Bearbeitung der Außenflächen der Gesenkböcke oder der Gesenkeinsätze erfolgt durch *Fräsen* oder *Drehen*. Die Fertigung der Gravur erfolgt durch Fräsen – bei rotationssymmetrischen Gravuren auch durch Drehen – oder durch *Erodieren*.

Der übliche Ablauf einer Gravurherstellung (Bild 9.14) besteht aus:

- der CAD-Konstruktion der Gravurgeometrie,
- der Ableitung des Fräsprogramms für die Gesenkgravur oder für die Elektrode,
- dem Fräsen der Gesenkgravur oder der Elektrode,
- beim Erodieren ferner aus dem Erodieren des Gesenks mit der Elektrode,
- der Feinbearbeitung des Gesenks,
- (optional) der Oberflächenveredlung der Gravur.

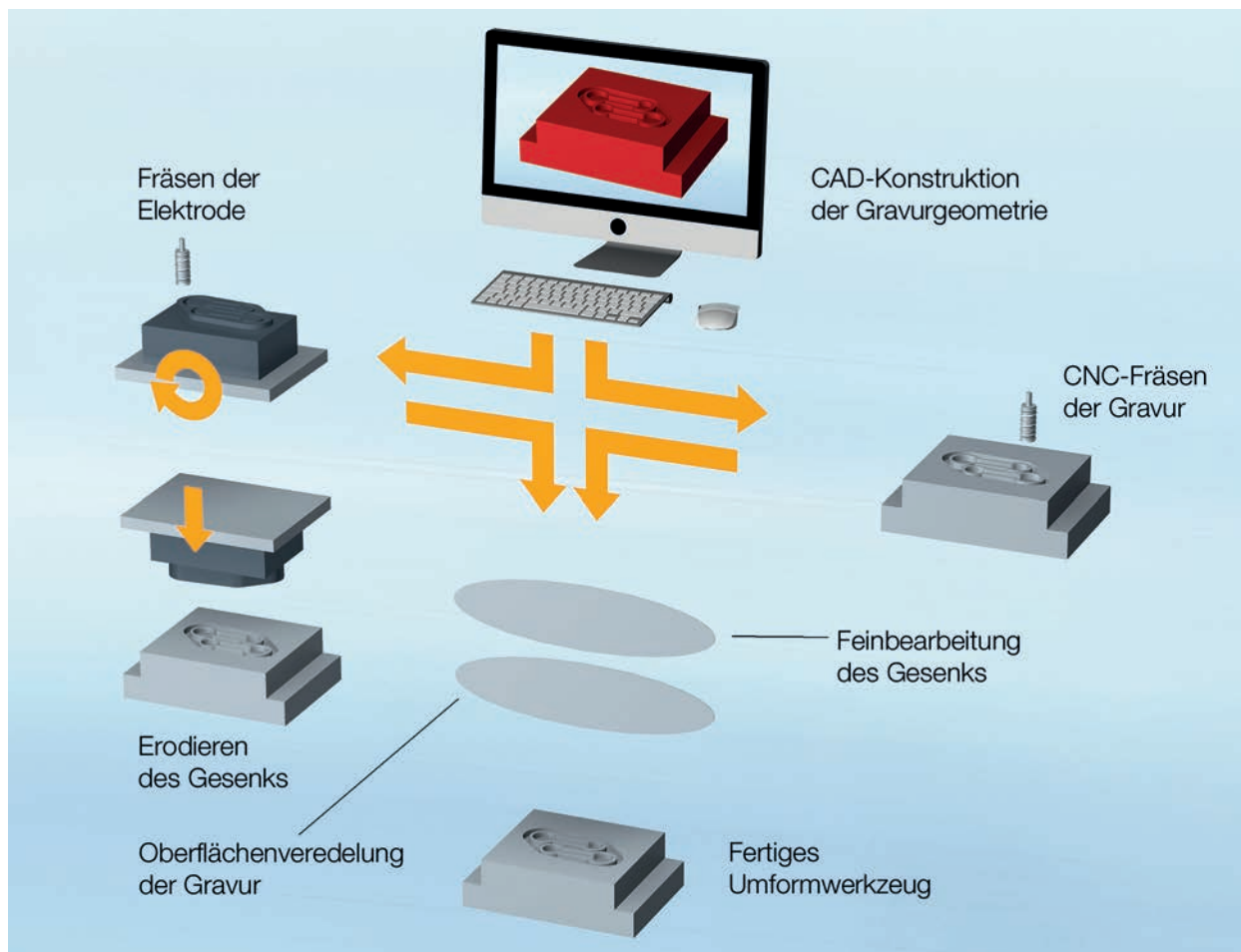


Bild 9.14: Schematische Darstellung der Gravurherstellung

Ausgangspunkt der Werkzeugfertigung ist die herzustellende Bauteilgeometrie, aus der die Gravurgeometrie abgeleitet wird (Kapitel 10 und 12). Bei der Festlegung der Gravurgeometrie ist insbesondere bei der Warm- und Halbwarmumformung die *thermische Schwindung* der Bauteilgeometrie zu berücksichtigen. Unter thermischer Schwindung versteht man das Verhältnis zwischen der Geometrie des heißen Bauteils zum Zeitpunkt der Umformung und der Geometrie des Bauteils bei Raumtemperatur. Aufgrund dieses Schwindungsprozesses ist die Gravurgeometrie immer größer als die Bauteilgeometrie.



Für das Fräsen der Gravur oder der Elektrode ist ein NC-Programm erforderlich. Dieses NC-Programm wird über ein CAM-Modul (**C**omputer **A**ided **M**anufacturing) erstellt, Grundlage dafür ist das CAD-Modell der Gravur (siehe Kapitel 12).

Die derzeit üblicherweise verwendete Fertigungstechnologie zur Gravurerzeugung ist das *Hochgeschwindigkeitsfräsen*, auch HSC-Fräsen (**H**igh **S**peed **C**utting) genannt. Das Verfahren zeichnet sich durch eine sehr hohe Spindeldrehzahl, eine hohe Vorschubgeschwindigkeit der Frässpindel und somit ein hohes Spanvolumen sowie geringe Schnittkräfte und sehr gute Oberflächenqualität aus (Bild 9.15).

Bild 9.15: Durch HSC-Fräsen erstellte Gravur für eine Kurbelwelle

Erodieren ist die geläufige Bezeichnung für das Fertigungsverfahren funkenerosives Abtragen oder auch EDM-Verfahren (**E**lectrical **D**ischarge **M**achining). Das Erodieren ist ein elektrothermisches Verfahren, das auf elektrischen Entladevorgängen zwischen einer Elektrode (Positivform der Gravur) und einem Werkstück (Gesenk) beruht und bei elektrisch leitenden Werkstücken eingesetzt werden kann. Die Elektrode wird aus Kupfer oder Grafit gefertigt.

Das Erodieren ist im Vergleich zum Fräsen relativ zeitaufwendig und kostenintensiv und wird daher nur eingesetzt, wenn spanende Abtragsverfahren aufgrund der Bearbeitungsaufgabe nicht angewendet werden können. Die Gründe sind entweder die Eigenschaften des Werkstoffs, insbesondere dessen Härte, oder die zu erzielende Kontur, zum Beispiel tiefe, schmale Gravuren.

In Abhängigkeit von den Anforderungen an die Oberflächenqualität der Gravur erfolgt abschließend eine *Feinbearbeitung* durch Schleifen oder Polieren.

Zur Minimierung des Gravurverschleißes und damit zur Steigerung der Standmenge (Anzahl der Bauteile, die mit einer Gravur erstellt werden können) erfolgt vielfach eine *Veredelung* der Gravuroberfläche durch thermische oder thermochemische Verfahren.

Gesenke, die die Verschleißgrenze erreicht haben, können oft wieder aufgearbeitet werden.

10 Gestaltung und Eigenschaften der Umformteile

Als *Umformteil* oder Rohteil wird das Werkstück nach den umformenden Prozessen – einschließlich Wärmebehandlung und Reinigungsprozesse – bezeichnet. Durch nachträgliche, meist partielle spanende Bearbeitung wird das Rohteil zum einbaugerechten Fertigteil. Aus den Anforderungen an das *Fertigteil* resultiert schlussendlich ein Lastenheft für das Rohteil (Bild 10.1), das Grundlage für dessen Entwicklung und Konstruktion ist.

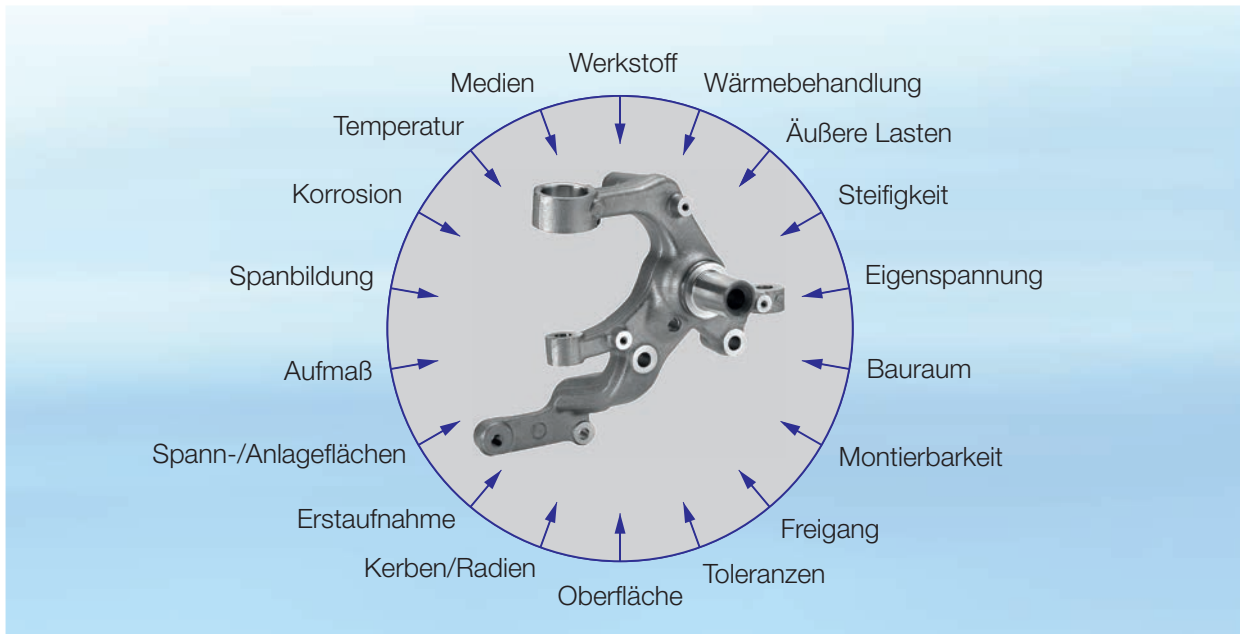


Bild 10.1: Wichtige Einflussparameter auf die Entwicklung und Konstruktion eines Fertigteils

Grundlage für die Rohteilkonstruktion ist die Geometrie und/oder Funktion des Fertigteils, das in den meisten Fällen allein durch umformende Fertigungsverfahren nicht herstellbar ist. Verfahrensbedingt müssen geometrische Änderungen vorgenommen werden, die dann zum Rohteil führen (Bild 10.2).



Bild 10.2: Rohteil und Fertigteil am Beispiel eines gesenkgeschmiedeten Pkw-Schwenklagers

Bei der Auslegung des Rohteils sind umformtechnische *Gestaltungsregeln* zu beachten. Neben dem Umformverfahren und dem Mengenbedarf sind der Werkstoff und die Umformtemperatur wesentliche Einflussgrößen auf die Rohteilgestaltung und -eigenschaften (Bild 10.3).

Einflussgrößen			
Umformverfahren	Werkstoff	Umformtemperatur	Menge
• Gesenkschmieden • Fließpressen • Ringwalzen • Freiformschmieden • Sonstige	• Stahl • Aluminium • Sonstige	• Warm • Halbwarm • Kalt	• Einzelstücke • Klein- und Mittelserie • Großserie

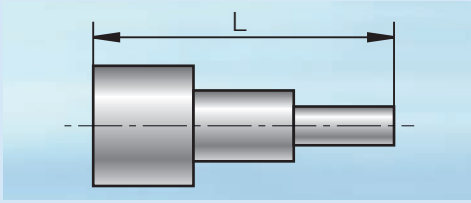
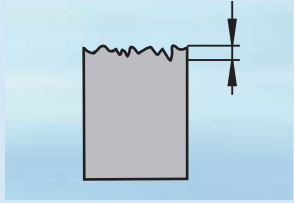
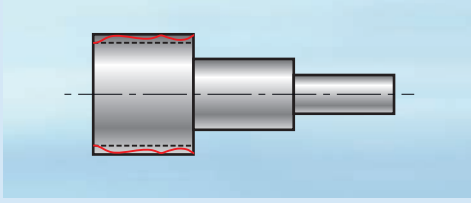
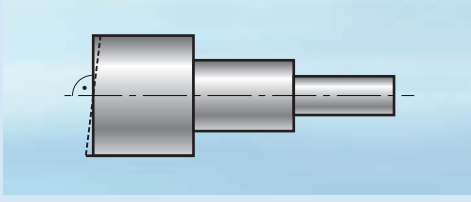
Geometrische Rohteileigenschaften		
Makrogeometrie (Beispiele: Wellen)	Toleranzen	Mikrogeometrie (Oberfläche)
Gesenkschmieden 	Maß 	Rauheit 
Fließpressen 	Form 	
Freiformschmieden 	Lage 	

Bild 10.3: Wesentliche Einflussgrößen auf die geometrischen Rohteileigenschaften

Die Kombination von Umformverfahren, Werkstoff und Umformtemperatur entscheidet zusammen mit der Bedarfsmenge letztendlich darüber, welche Geometrien mit welcher geometrischen Genauigkeit zu welchen Kosten hergestellt werden können. So benötigt zum Beispiel ein durch Freiformschmieden und Ringwalzen in kleinen Stückzahlen hergestellter Zahnradrohling (Bild 10.4) ein relativ großes Bearbeitungsaufmaß für die spanende Fertigbearbeitung, während ein mittels Verfahrenskombination in Großserie gefertigtes Differential-Kegelrad (Bild 10.5) einbaufertige Oberflächen aufweist, die keiner weiteren mechanischen Bearbeitung bedürfen.



Bild 10.4: Rohteil für ein Zahnrad ($m = 1.300 \text{ kg}$)
Die Prozesskette zur Fertigung ist in Kapitel 7.4 beschrieben.



Bild 10.5: Rohteil für ein Differential-Kegelrad ($m = 0,35 \text{ kg}$)
Die Prozesskette zur Fertigung ist in Kapitel 7.3 beschrieben.

Die Eigenschaften der Rohteile hinsichtlich makroskopischer Gestalt, Toleranzen, Oberflächenqualität und mechanischer Kennwerte sind teilweise in Normen beziehungsweise Richtlinien und teilweise in Kundenvorschriften definiert.

10.1 Allgemeine Gestaltungsregeln

Unabhängig vom Umformverfahren erfolgt die Gestaltung der Rohteile unter Beachtung einer Vielzahl technischer und wirtschaftlicher Einflussgrößen wie zum Beispiel

- der beanspruchungsgerechten Gestaltung,
- der Beachtung von umformtechnischen Gestaltungsregeln – insbesondere der stofffluss- und werkzeuggerechten Gestaltung,
- der Berücksichtigung der wirtschaftlichen Herstellung sowie
- den Anforderungen aus der Weiterverarbeitung zum Fertigteil.

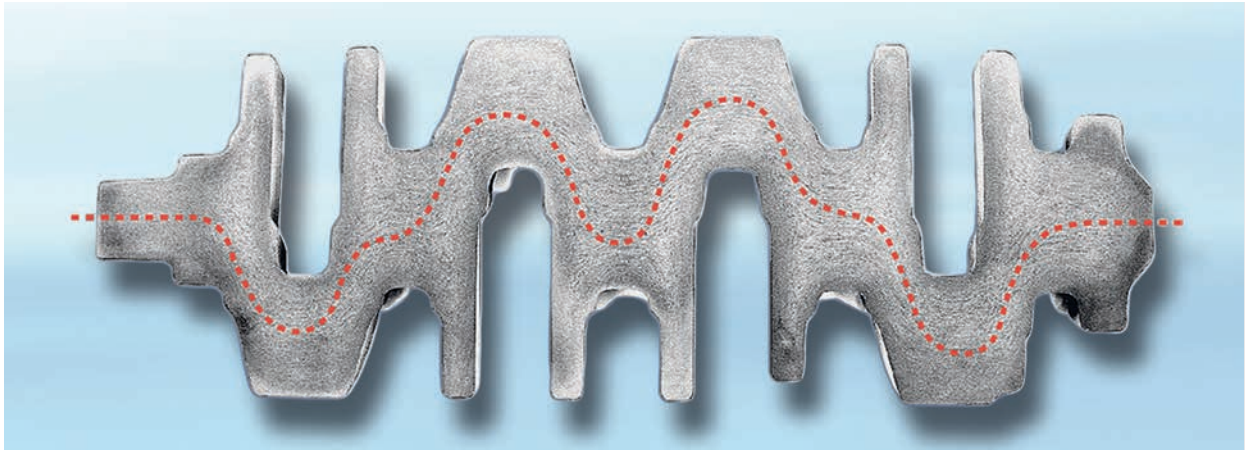
Bei der beanspruchungsgerechten Gestaltung ist insbesondere der dem Belastungsfall angepasste Faserverlauf zu beachten. Das bei der Massivumformung eingesetzte Halbzeug hat durch die Vorfertigungsprozesse zumeist einen ausgeprägten Faserverlauf, der in vielen Fällen durch geeignete Umformung gezielt der späteren Bauteilbeanspruchung angepasst werden kann (Bild 10.6).

Bei der materialfluss- und werkzeuggerechten Gestaltung ist darauf zu achten, dass eine Formgebung durch das ausgewählte Massivumformverfahren prozessstabil möglich ist und eine große Standmenge der Umformwerkzeuge erzielt wird. Daher sollten scharfe Kanten im Werkzeug vermieden werden, weil sie zu hohen Spannungsbelastungen und hohem Verschleiß führen.

Bei der Berücksichtigung der wirtschaftlichen Herstellung müssen die Gesamtkosten des Fertigteils – die Summe aus Rohteilkosten und den Kosten einer nachfolgenden spanenden Bearbeitung – beachtet werden. Kann zum Beispiel die Rohteilgeometrie durch zusätzliche Vorformstufen und aufwendigere Werkzeuge der Fertigteilgeometrie besser angenähert werden, so führt das zwar zu höheren Rohteilkosten, die Gesamtkosten des Fertigteils sinken aber bei großen Stückzahlen, da der Bearbeitungsaufwand reduziert wird (Bild 10.7).



Halbzeug (Schnittdarstellung) mit ausgerichtetem Faserverlauf



Rohteil (Vierzylinder-Kurbelwelle mit Gegengewichten)

Bild 10.6: Faserverlauf in Halbzeug und Rohteil (jeweils Schnittdarstellung)

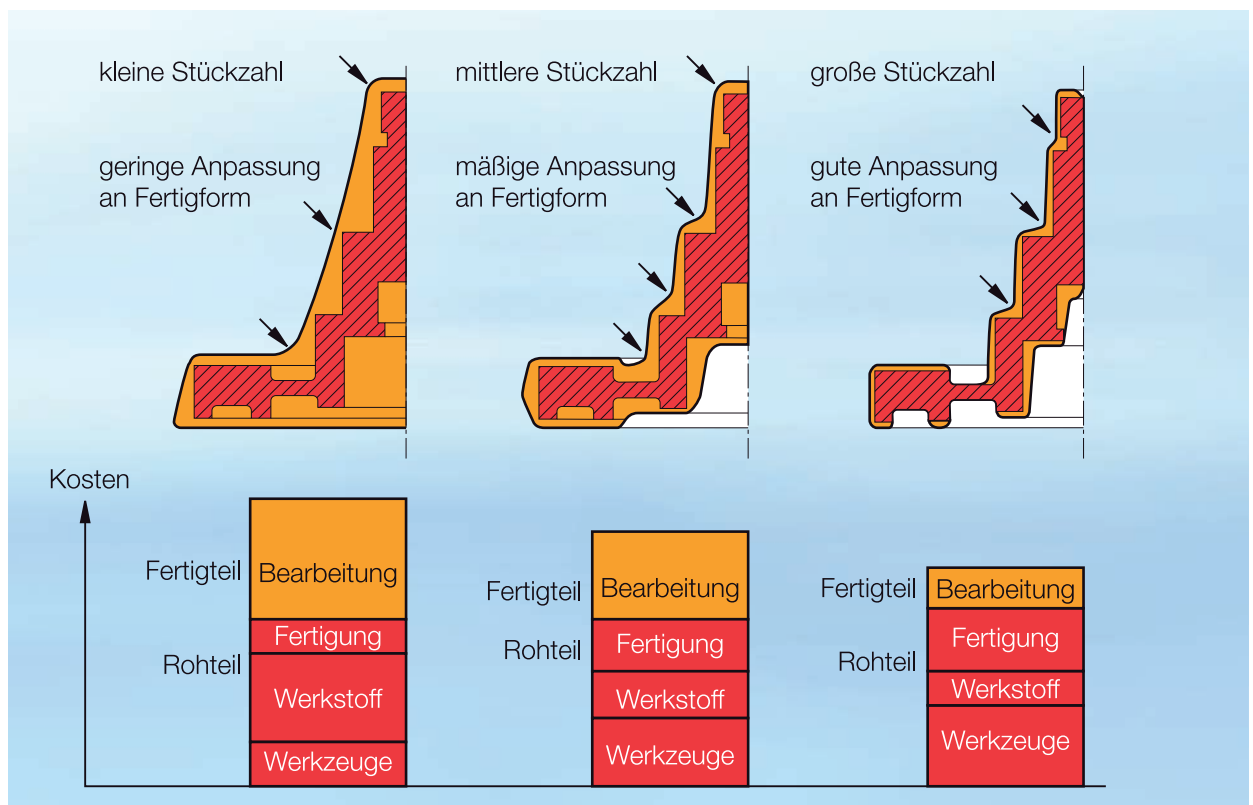


Bild 10.7: Abhängigkeit der Kosten des Rohteils und des Fertigteils von der Stückzahl

Werden die Rohteile noch durch spanabhebende Fertigungsverfahren zum Fertigteil weiterverarbeitet, dann muss den Spann- und Anlageflächen für die Erstaufnahme in den Bearbeitungsmaschinen besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die Flächen der Erstaufnahme des Rohteils bilden den Maßbezug und haben dadurch wesentlichen Einfluss auf die Toleranzen und Bearbeitungszugaben.

10.2 Gestaltungsregeln für das Gesenkschmieden (Gesenke mit **einer** Teilfuge)

Exemplarisch für das Umformverfahren Gesenkschmieden werden nachfolgend wesentliche verfahrensspezifische Gestaltungsregeln aufgeführt, die über die allgemeinen Gestaltungsregeln hinausgehen:

- Aushebe- oder Seitenschrägen,
- Lage der Gesenkteilung,
- Rundungsradien (Kantenrundungen und Hohlkehlen),
- Wand- und Rippengeometrie,
- Bearbeitungszugaben.

Die parallel zur Umformrichtung liegenden Flächen des Werkzeugs – und damit auch des Rohteils – müssen geneigt sein, damit sich das Rohteil leicht aus dem Werkzeug lösen lässt. Die Winkel der *Aushebe-* oder *Seitenschrägen* (Bild 10.8) sind im Wesentlichen abhängig von der Lage (innen oder außen), der Art des Umformaggregats und der Verfügbarkeit von maschinenseitigen Auswerfern.

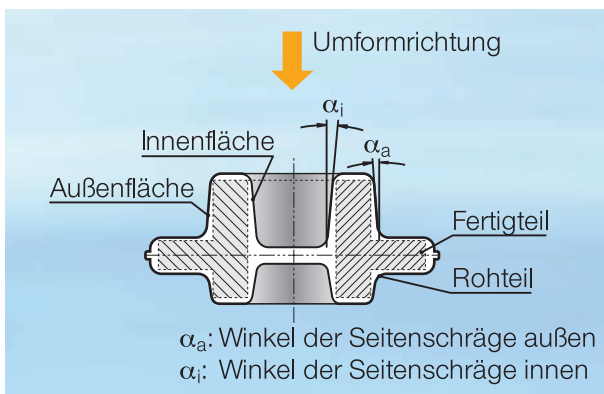


Bild 10.8: Seitenschrägen am Rohteil

Als *Gesenkteilung* oder *Teilfuge* wird die Fläche bezeichnet, die die beiden Gesenkhälften trennt (Bild 10.9). Sie legt die Aufteilung in Ober- und Untergesenk fest. Ihre Lage und ihr räumlicher Verlauf sind in gewissen, durch die Rohteilgeometrie bestimmten Grenzen frei wählbar. Am Rohteil stellt sie sich als umlaufende Trennlinie dar.

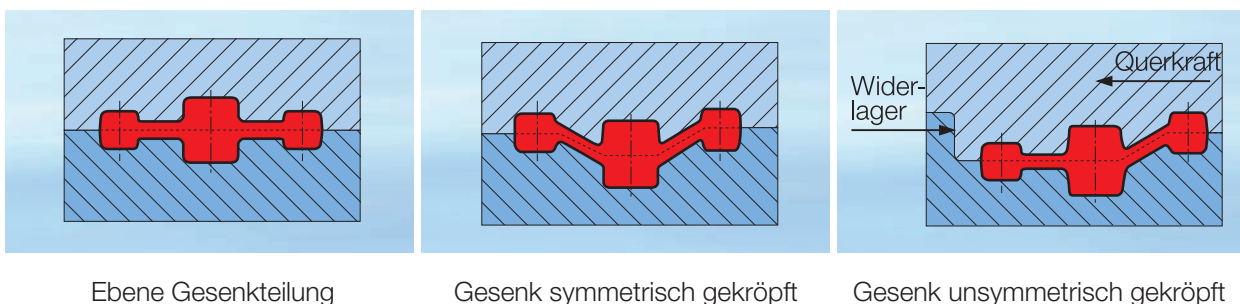


Bild 10.9: Grundformen der Gesenkteilung

Wann immer es die Rohteilgeometrie ermöglicht, wird eine ebene Gesenkteilung mit symmetrischer Lage zum Rohteil angestrebt, da hier der Konstruktionsaufwand, der Materialeinsatz und der Aufwand zur Herstellung der Gesenke und der Folgewerkzeuge – wie Abgrat- und Prägewerkzeuge – am geringsten sind.

Bei unsymmetrisch gekröpften Gesenken werden Querkkräfte hervorgerufen, die zu einem erhöhten *Versatz* zwischen Ober- und Untergesenk führen können. Die Querkkräfte werden daher oftmals durch eine gesonderte Gesenkführung – ein Widerlager – aufgenommen.

Bei Werkzeugen mit **einer** Teilfuge darf das Rohteil keine sogenannten *Hinterschnitte* (Bild 10.10) aufweisen, da eine Entformung des Rohteils aus dem Gesenk dann nicht mehr möglich ist.



Bild 10.10: Rohteil mit Hinterschnitt (links) und ohne Hinterschnitt (rechts)

Für die Herstellung von Rohteilen mit Hinterschnitt sind Gesenke mit mehreren Teilfugen (Kapitel 9.1.4) notwendig, was aber einen wesentlich höheren Werkzeug- und Fertigungsaufwand erfordert.

Scharfe Kanten beziehungsweise kleine Radien im Gesenk – und damit am Rohteil – sind zu vermeiden, um die Werkzeugbelastung und den Werkzeugverschleiß zu minimieren.

Wände und *Rippen* sind langgestreckte Formelemente mit einem Verhältnis Höhe zu Dicke beziehungsweise Höhe zu Breite von mindestens 1,25 : 1 (Bild 10.11). Beim Gesenkschmieden muss der Werkstoff in diese schlanken Formelemente steigen. Durch großzügige Bemessung der Rippenfuß- beziehungsweise der Wandfußradien kann der Werkstofffluss in die Rippen und Wände erleichtert werden.

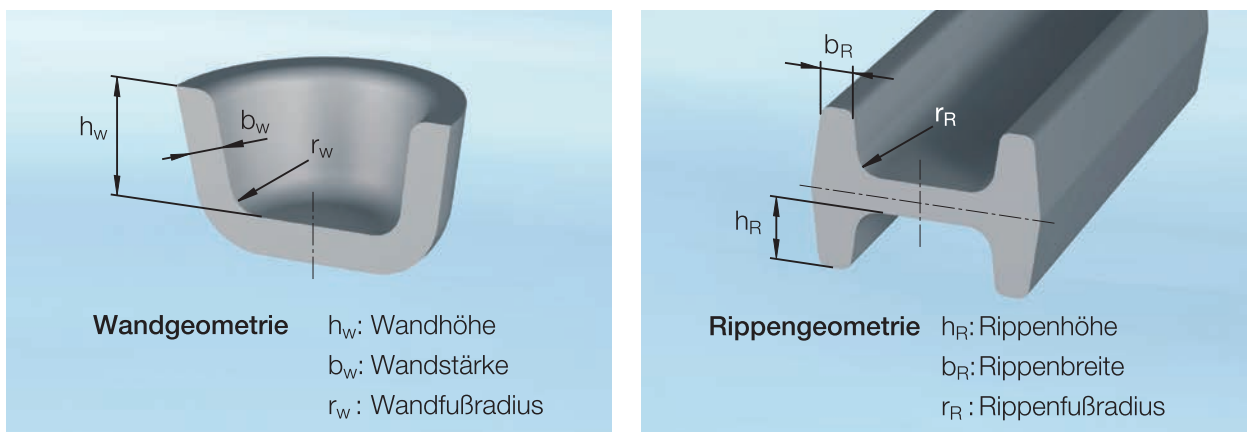


Bild 10.11: Wand- und Rippengeometrie

Flächen an Rohteilen, die nachträglich spanend bearbeitet werden, erhalten eine Bearbeitungszugabe, die eine ausreichende Mindestspanabnahme unter Berücksichtigung der zulässigen Maßabweichungen und Toleranzen ermöglicht.

10.3 Allgemeingültige Toleranzen

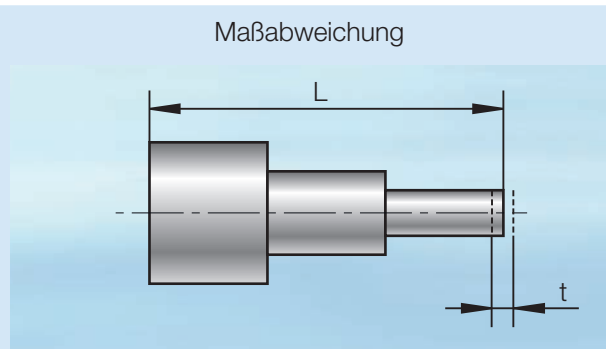
Die Konstruktion von Umformteilen erfolgt auf Basis einer idealen Geometrie (Nenngeometrie). Die bei der Serienfertigung zwangsläufigen Schwankungen von Prozessparametern haben zur Folge, dass die produzierten Werkstücke (Ist-Zustand) nicht der Idealform (Soll-Zustand) entsprechen. Durch Toleranzen werden die zulässigen Abweichungen des Ist-Zustands vom Soll-Zustand definiert.

Bei der Festlegung von Toleranzen ist zu beachten, dass enge Toleranzen meistens eine aufwendigere und damit auch eine kostenintensivere Fertigung bedeuten. Als Grundsatz für die Toleranzbestimmung gilt daher: Die Toleranz sollte so groß wie möglich und nur so eng wie nötig sein!

Bei den Geometrietoleranzen wird zwischen Maß-, Form- und Lagetoleranzen unterschieden (Bild 10.12). *Maßtoleranzen* bestimmen die maßlichen Grenzabmessungen **eines** Formelements. Bauteile bestehen aber in der Regel aus mehreren Formelementen, die auch Abweichungen von der idealen geometrischen Form und Lage zueinander aufweisen können. *Form-* und *Lagetoleranzen* definieren die Zone, innerhalb der diese Abweichungen noch zulässig sind.

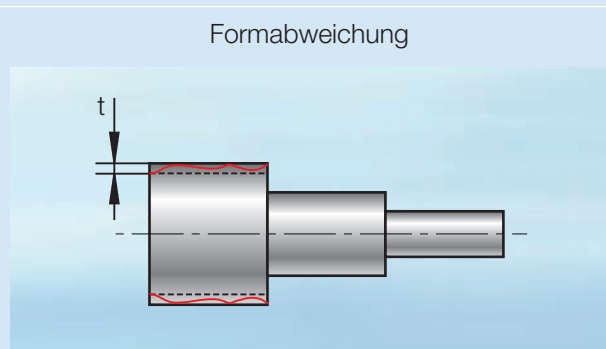
Maßtoleranz

bezeichnet die Abweichung, die ein Maß bezüglich seines Soll-Werts haben darf
(zum Beispiel muss das Längenmaß L innerhalb der Toleranz t liegen).



Formtoleranz

bezeichnet die Abweichung, in der sich ein Geometrielement bezüglich seiner geometrisch idealen Form bewegen darf
(zum Beispiel muss die Zylinderform innerhalb einer minimalen beziehungsweise maximalen idealen Zylindergeometrie liegen).



Lagetoleranz

bezeichnet die Abweichung, in der sich ein Geometrielement bezüglich seiner geometrisch idealen Lage zu einem oder mehreren anderen Geometrielementen ändern darf. Man unterscheidet Richtungstoleranzen (zum Beispiel darf die Winkelabweichung t zwischen Stirnfläche und Wellenachse nicht überschritten werden), Ortstoleranzen und Lauftoleranzen.

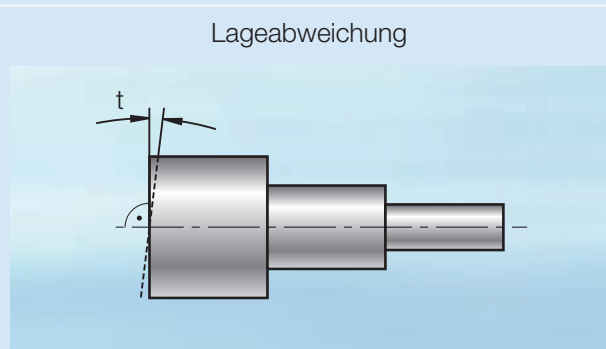


Bild 10.12: Geometrische Toleranzarten

Die Grundlagen für die Form- und Lagetolerierung sind in der DIN EN ISO 1101 aufgeführt.

Die erreichbare Maßgenauigkeit der Rohteile ist ganz wesentlich vom gewählten Umformverfahren abhängig (Bild 10.13). Die Spanne der Maßtoleranzen reicht zum Beispiel von Toleranzen im hundertstel Millimeter Bereich, die durch Präzisionsumformung erzielt werden können, bis hin zu mehreren Zentimetern bei großen Freiformschmiedestücken.

Umformverfahren	IT-Angaben nach DIN ISO 286 Teil 1											
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Gesenkschmieden						oooo	oooo	oooo	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●
Präzisionsschmieden			oooo	●●●●	●●●●							
Warmfließpressen						oooo	oooo	oooo	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●
Halbwarmfließpressen					oooo	oooo	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●		
Kaltfließpressen		oooo	oooo	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●					

●●●● = mit herkömmlichen Fertigungseinrichtungen erreichbar.

oooo = durch Sondermaßnahmen und in Ausnahmefällen erreichbar.

Bild 10.13: Erreichbare Maßgenauigkeit der Rohteile in Abhängigkeit des Umformverfahrens

Zur Erläuterung der IT (International Tolerance) Grundtoleranzen in Bild 10.13 sind in Bild 10.14 beispielhaft für die Nennmaßbereiche 80 bis 120 mm und 250 bis 315 mm die Grundtoleranzen für die IT-Grade 5 bis 16 aufgeführt.

Nennmaß mm		Grundtoleranzgrade											
		IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
über	bis einschließ- lich	Grundtoleranzen											
		µm						mm					
80	120	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2
250	315	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2

Bild 10.14: Werte der Grundtoleranzgrade für Längenmaße

10.4 Toleranzen für Gesenkschmiedeteile aus Stahl

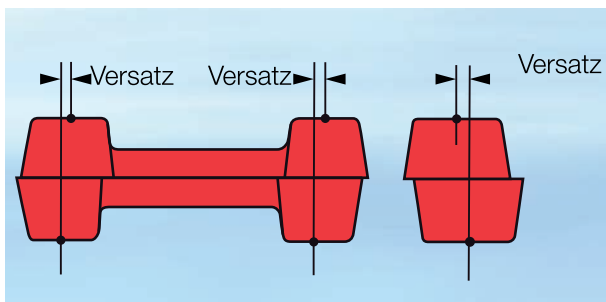
In Abhängigkeit des Umformverfahrens, des Werkstoffs und der Toleranzart existieren verschiedene Normen. Exemplarisch für ein Umformverfahren, einen Werkstoff und eine Toleranzart ist nachfolgend die DIN EN 10243-1 – Gesenkschmiedeteile aus Stahl – Maßtoleranzen – beschrieben. Diese Norm gilt für Rohteile, die warm in Hämmern oder Pressen geschmiedet werden. Die nach dieser Norm zulässigen Toleranzen werden beeinflusst von

- den Nennmaßen,
- dem Rohteilgewicht,
- dem Verlauf der Teilungsfläche,
- der Stoffschwierigkeit,
- und der geometrischen Komplexität des Rohteils.

Die *Stoffschwierigkeit* berücksichtigt, dass beim Umformen hoch kohlenstoffhaltiger und hochlegierter Stähle größere Maßschwankungen durch größeren Werkzeugverschleiß auftreten als bei Stählen mit geringem Kohlenstoffgehalt und geringeren Legierungsanteilen.

Die geometrische Komplexität des Rohteils – definiert über den *Feingliedrigkeitsfaktor* – berücksichtigt die Tatsache, dass beim Schmieden von geometrisch komplexen Bauteilen gegenüber Teilen mit einfachen, gedungenen Formen größere Maßschwankungen auftreten, die auf unterschiedliches thermisches Schwinden, höhere Umformkräfte und größeren Werkzeugverschleiß zurückzuführen sind /DIN EN 10243-1/.

Neben den Maßtoleranzen werden auch die zulässigen Grenzen für Versatz, Gratansatz oder Durchbiegung toleriert.



Die Toleranzen für den *Versatz* geben das Maß an, um welches ein Punkt auf der einen Seite der Gesenkteilung zu dem entsprechenden Punkt auf der anderen Seite in paralleler Richtung zur Hauptebene der Gesenkteilung verschoben sein darf (Bild 10.15). Versatztoleranzen sind abhängig von der Masse des Schmiedeteils und von der Ausführungsart der Gesenkteilung /DIN EN 10243-1/.

Bild 10.15: Versatz

Unterschiedliches Abgraten (Kapitel 6.5) kann entweder einen Gratansatz oder eine Anschnitttiefe bewirken. Beim Gratansatz ist der Grat nicht vollständig vom Rohteil getrennt (Bild 10.16), bei der Anschnitttiefe ist hingegen der Grat zu eng am Rohteil abgetrennt worden (Bild 10.17).

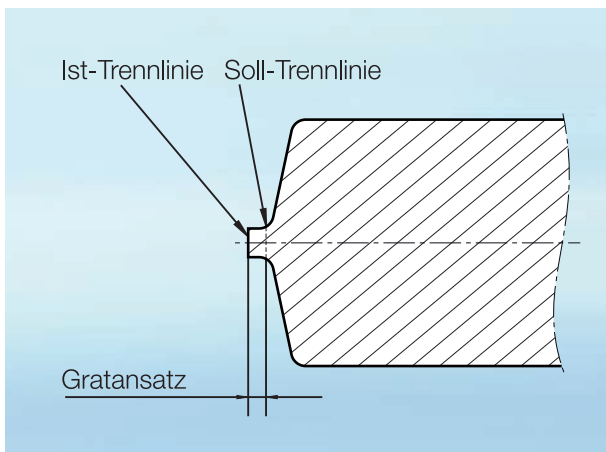


Bild 10.16: Gratansatz

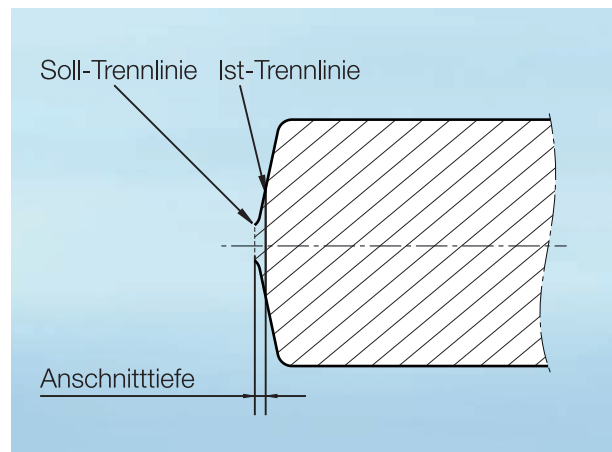


Bild 10.17: Anschnitttiefe

Toleranzen für die Durchbiegung beziehen sich auf die Abweichung der Mittellinie von ihrem vorgeschriebenen Verlauf (Bild 10.18).

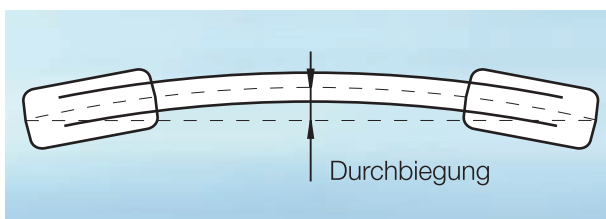


Bild 10.18: Durchbiegung

Bild 10.19 zeigt einen Auszug der Toleranzen und der zulässigen Abweichungen für Längen-, Breiten-, Höhenmaße, Versatz, Gratansatz und Anschnittiefe.

Versatz	Gratansatz (+) Anschnittiefe (-)	Gratnaht Asymmetrisch Ebener oder symmetrisch	Masse (kg) über/bis	Stoffschwierigkeit M1 M2 S1 S2 S3 S4	Feingliedrigkeit $> 0,63 \leq 1$ $> 0,32 \leq 0,63$ $> 0,16 \leq 0,32$ $\leq 0,16$	Nennmaß-Bereiche								
						0	>32	>100	>160	>250	>400	>630	>1000	>1600
						≤ 32	≤ 100	≤ 160	≤ 250	≤ 400	≤ 630	≤ 1000	≤ 1600	≤ 2500
						Toleranzen ¹⁾								
0,3	0,3		0 – 0,4											
0,3	0,4		0,4 – 1,0											
0,4	0,4		1,0 – 1,8											
0,4	0,5		1,8 – 3,2			$1,0^{+0,7}_{-0,3}$	$1,1^{+0,7}_{-0,4}$	$1,2^{+0,8}_{-0,4}$	$1,4^{+0,9}_{-0,5}$	$1,6^{+1,1}_{-0,5}$	$1,8^{+1,2}_{-0,6}$	$2,0^{+1,3}_{-0,7}$	$2,2^{+1,5}_{-0,7}$	
0,5	0,6		3,2 – 5,6											
0,6	0,7		5,6 – 10											

Beispiel zur Bestimmung der Längen-, Breiten- und Höhentoleranzen und der zulässigen Abweichungen für Versatz, Gratansatz und Anschnittiefe:

Angaben zum Rohteil:

Größte Länge: 142 mm

Größte Breite: 61 mm

Größte Höhe: 22 mm

Masse des Schmiedeteils 1,5 kg

Aus dem Tabellenauszug ergeben sich die zulässigen Abweichungen:

Länge: + 0,8 mm; – 0,4 mm

Breite: + 0,7 mm; – 0,4 mm

Höhe: + 0,7 mm; – 0,3 mm

Gratnaht (Gesenkteilung): asymmetrisch

Feingliedrigkeitsfaktor: S2

Stahlsorte C 45: Stoffschwierigkeit M1

Versatz: 0,4 mm

Gratansatz und Anschnittiefe: 0,5 mm

Im Allgemeinen werden die zulässigen Abweichungen für die größten Bauteilmaße aus den Tabellen entnommen und auf alle übrigen Längen-, Breiten- und Höhenmaße angewendet.

Bild 10.19: Beispiel der Toleranzen und Abweichungen für verschiedene Abmessungsarten (Auszug aus /DIN EN 10243-1/)

Die Toleranzen und zulässigen Abweichungen sind heute in den CAD-Systemen hinterlegt und werden automatisch bei der Erstellung der Rohteilkonstruktion/-zeichnung berücksichtigt.

Die hier beispielhaft dargestellten Toleranzwerte sind Normwerte. Durch zusätzliche konstruktive und/oder fertigungstechnische Maßnahmen sind engere Toleranzen möglich, die zwischen Hersteller und Kunde individuell vereinbart werden können.

10.5 Oberflächenqualität

Die Oberflächenqualität, auch als *Rauheit* bezeichnet, definiert die Unebenheit der Oberfläche im mikroskopischen Bereich.

Die Oberflächengüte von Rohteilen aus Stahl wird wesentlich durch die Oxidation (Zunderbildung) und damit durch die Umformtemperatur bestimmt. Mit sinkender Umformtemperatur steigt die erreichbare Oberflächenqualität. Die beste Oberflächenqualität wird bei der Kaltumformung erreicht (Bild 10.20).

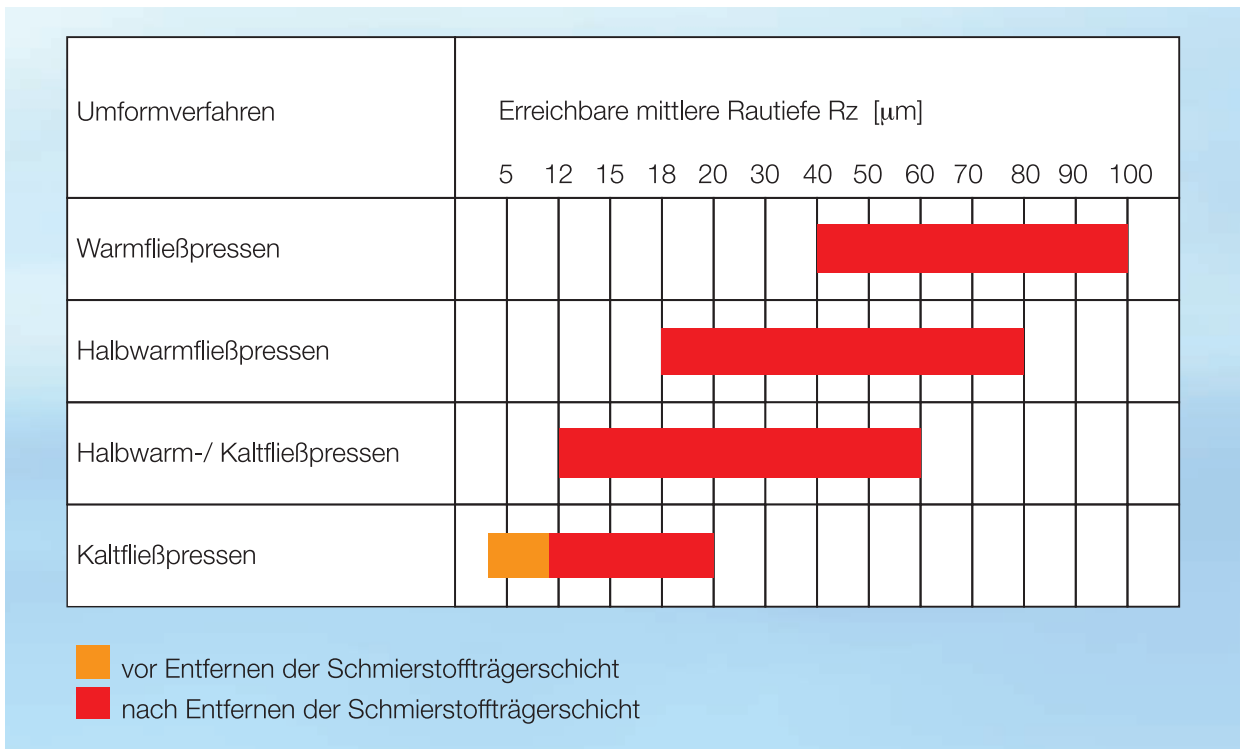


Bild 10.20: Erreichbare Oberflächenqualität in Abhängigkeit der Umformtemperatur am Beispiel des Fließpressens

Bei der Warmumformung werden die Rohteile zur Entfernung des Zunders üblicherweise reinigungsgestrahlt. Die Rautiefe gestrahlter Oberflächen wird von der Art und der Korngröße des Strahlmittels beeinflusst. Ohne Sonderaufwand werden Rautiefen (R_z) von 40 bis 100 μm erreicht.

Beim Präzisionsschmieden können Funktionsflächen so genau hergestellt werden, dass keine spanende Bearbeitung erforderlich ist. Die Oberflächennachbehandlung – zum Beispiel durch Kaltprägen – wird der geforderten Oberflächengüte angepasst. So werden zum Beispiel an Zahnflanken von Zahnrädern Rautiefen (R_z) bis 10 μm erreicht.

Bei der Kaltmassivumformung ergeben sich im Allgemeinen Oberflächen mit sehr geringer Rauheit. Es können Rautiefen (R_z) bis zu 4 μm erreicht werden.

Bei Rohteilen aus Aluminium wird die Rautiefe im Wesentlichen von der Oberflächengüte der Umformwerkzeuge bestimmt. Erreichbar sind Rautiefen (R_z) bis 5 μm .

Die Anforderungen an die Oberflächenqualität der Umformteile werden von den Funktionen des Fertigteils bestimmt und sind oftmals partiell unterschiedlich. Geringe Rautiefen bedingen eine aufwendigere und damit auch eine kostenintensivere Fertigung. Auch hier gilt der Grundsatz bei der Toleranzbestimmung: Die Rauheit sollte so groß wie möglich und nur so klein wie nötig sein.

11 Qualitätssicherung

Heute wird Qualität sehr umfassend und als ein „messbarer und bewertbarer“ Zustand eines gesamten Unternehmens verstanden. Dazu gehören alle Bereiche, Prozesse und Produkte eines Unternehmens. Nur die Sicherstellung einer vereinbarten und zugesagten Qualität in diesem Sinne wird die Kunden dauerhaft zufriedenstellen und die Wettbewerbsfähigkeit des eigenen Unternehmens sichern. Hierfür hat sich die Einführung und Anwendung eines Qualitätsmanagementsystems bewährt, wodurch sichergestellt werden soll, dass die Kundenanforderungen erfüllt sowie alle behördlichen und rechtlichen Auflagen eingehalten werden. Als weitere zentrale Funktion gibt es den Unternehmen eine Prozessstruktur, um sich kontinuierlich zu verbessern.

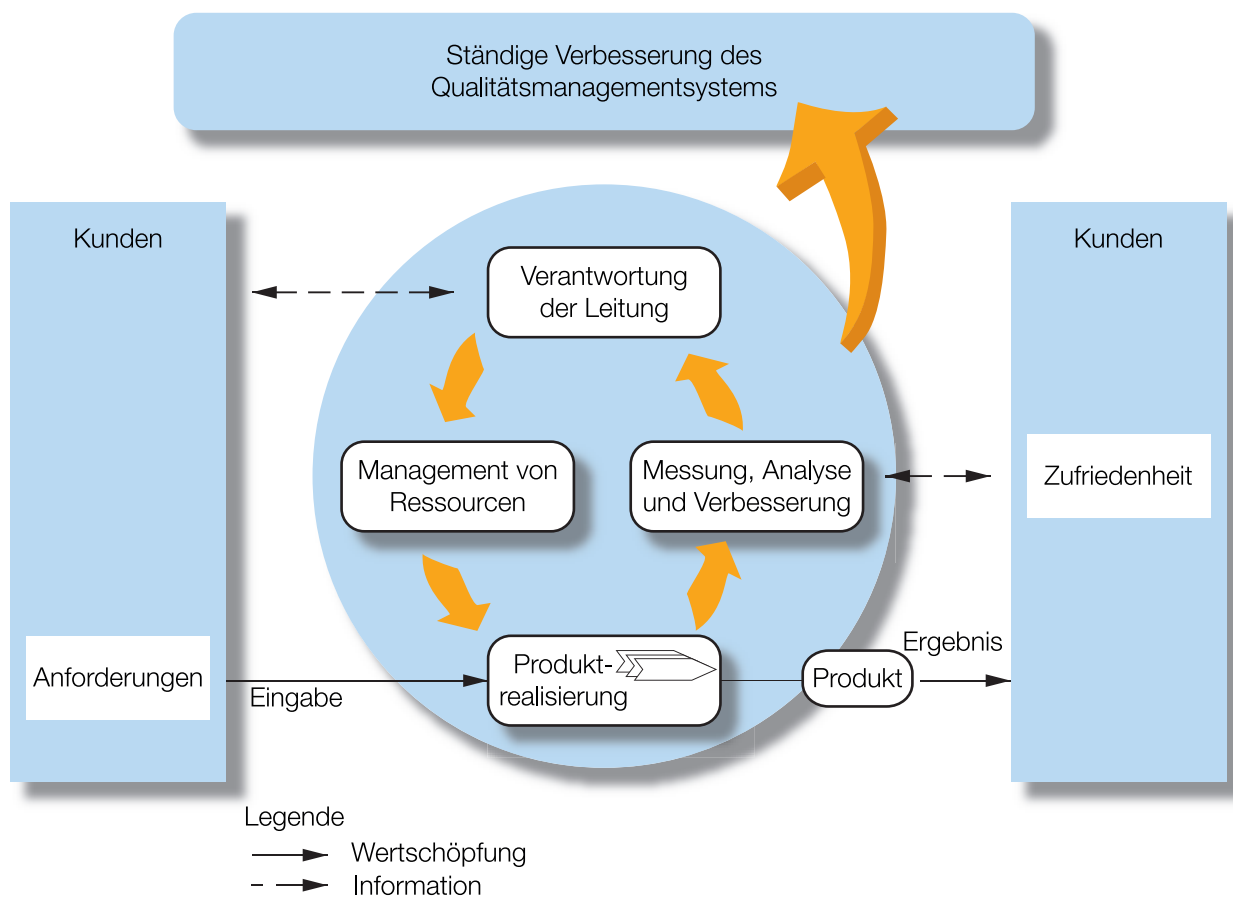


Bild 11.1: Modell eines prozessorientierten Qualitätsmanagementsystems

Das Qualitätsmanagementsystem beschreibt alle Maßnahmen, die der Qualitätssicherung und -verbesserung von Prozessen, den Produkten oder den sonstigen Leistungen des Unternehmens dienen. Es soll sicherstellen, dass alle organisatorischen, kaufmännischen und technischen Vorgänge in einem Unternehmen geplant, gesteuert, überwacht und dokumentiert werden.

Die Anforderungen an ein Qualitätsmanagementsystem sind in Normen und technischen Spezifikationen festgelegt. Für Unternehmen, die beispielsweise Produkte für die Automobilindustrie herstellen – wie das bei Umformbetrieben häufig der Fall ist – wird in erster Linie die ISO/TS 16949 als Grundlage für das eigene Qualitätsmanagementsystem verwendet. Im Rahmen von regelmäßigen Zertifizierungen wird von unabhängiger Stelle geprüft, ob die Anforderungen von dem jeweiligen Unternehmen auch eingehalten werden. Für eine detaillierte Beschreibung bezüglich Umfang und Inhalt eines Qualitätsmanagementsystems wird auf die oben genannte Norm verwiesen. Hier sollen nur die beiden bei der Produktentstehung wesentlichen Elemente

- Planungsverfahren und
- Prüfverfahren

herausgestellt werden.

11.1 Planungsverfahren

Bereits während des Entwicklungsprozesses, in den der Lieferant vielfach eingebunden ist, werden Maßnahmen zur Qualitätssicherung in der Serienproduktion festgelegt. Einige Methoden, die dabei bedeutsam sind, werden im Folgenden vorgestellt.

11.1.1 Qualitätsvorausplanung (APQP)

Die *Qualitätsvorausplanung* hat zum Ziel, dass die Erwartungen des Kunden an das Produkt in allen Phasen des Entwicklungs- und Herstellungsprozesses bekannt sind und erfüllt werden. Dafür stehen anerkannte Methoden zur Verfügung.

Eine dieser Methoden ist der „Advanced Product Quality Planning (APQP)/Qualitätsvorausplanungs-Prozess“. Die einzelnen Phasen und Meilensteine sind in Bild 11.2 dargestellt.

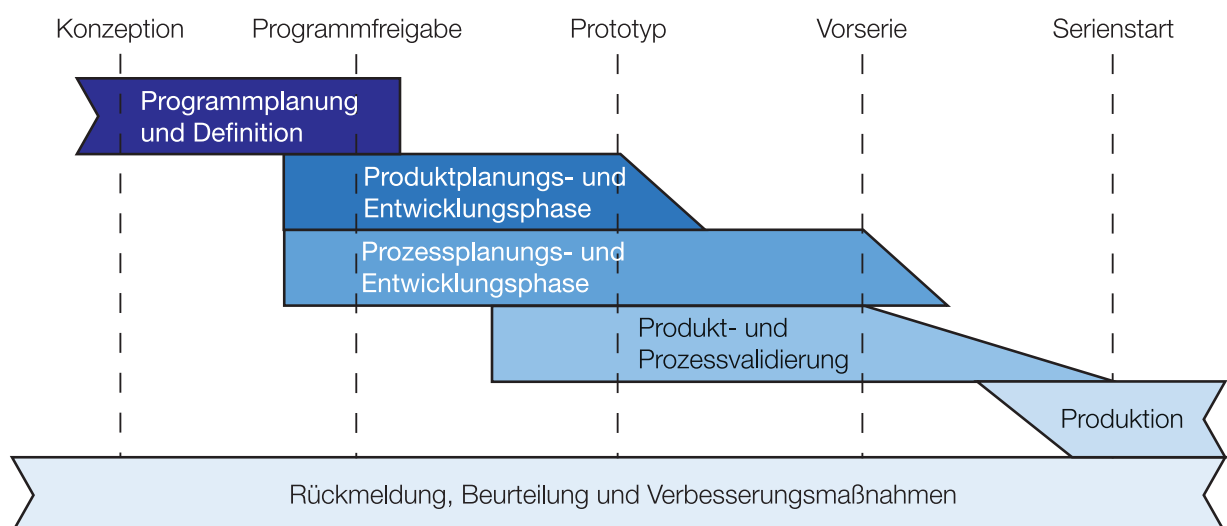


Bild 11.2: Prozessablauf APQP

Der detaillierte inhaltliche Ablauf eines Qualitätsvorausplanungsprozesses ist in Bild 11.3 dargestellt.

Bei der Qualitätsvorausplanung werden standardisierte Werkzeuge eingesetzt, von denen einige wesentliche im Folgenden dargestellt werden.



Bild 11.3: Prozess einer Qualitätsvorausplanung

11.1.2 Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA)

Die Fehler-Möglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) ist eine systematische Methode, um das Risiko eines möglicherweise auftretenden Fehlers frühzeitig aufzuzeigen und zu bewerten. Sie ist ein wirksames Mittel, um bereits in den Vorphasen der Serienfertigung potenzielle Fehler zu identifizieren und vorbeugend zu vermeiden. Es wird zwischen Produkt- und Prozess-FMEA unterschieden. Der Kern der Methode ist, dass im Rahmen einer Risikoanalyse die vorstellbaren Fehler- und/oder Ausfallmöglichkeiten gesammelt und hinsichtlich

- A: Folgen des Fehlers,
- B: Entdeckungswahrscheinlichkeit des Fehlers,
- C: Auftretenswahrscheinlichkeit des Fehlers

bewertet und zu einer

- Risikoprioritätszahl: $RPZ = A \times B \times C$

zusammengefasst werden. Auf diese Weise wird das Risiko eines zunächst nur unterstellten Fehlers an der Höhe der RPZ erkennbar. Liegt die RPZ über dem definierten Grenzwert, müssen Maßnahmen zur Risikominimierung eingeleitet und danach eine neue FMEA durchgeführt werden. Dieser Prozess wird solange wiederholt, bis die RPZ unter der zulässigen RPZ liegt. Da definitionsgemäß die Werte der Faktoren A, B, C alle zwischen 1 und 10 liegen, können die RPZ Werte zwischen 1 und 1.000 annehmen.

11.1.3 Messmittelfähigkeitsuntersuchung (MSA)

Um die Qualität eines Bauteils beurteilen zu können, werden Messmittel benötigt, die befähigt sind, die betroffenen Merkmale mit hinreichender Genauigkeit und Reproduzierbarkeit zu erfassen. Um das objektiv beurteilen zu können, müssen für die eingesetzten Messmittel sogenannte *Messmittelfähigkeitsuntersuchungen* durchgeführt werden. Dabei wird nicht nur das Messmittel selbst betrachtet, sondern auch alle Einflussgrößen, die unter normalen Einsatzbedingungen den Messwert beeinflussen können (Bild 11.4).

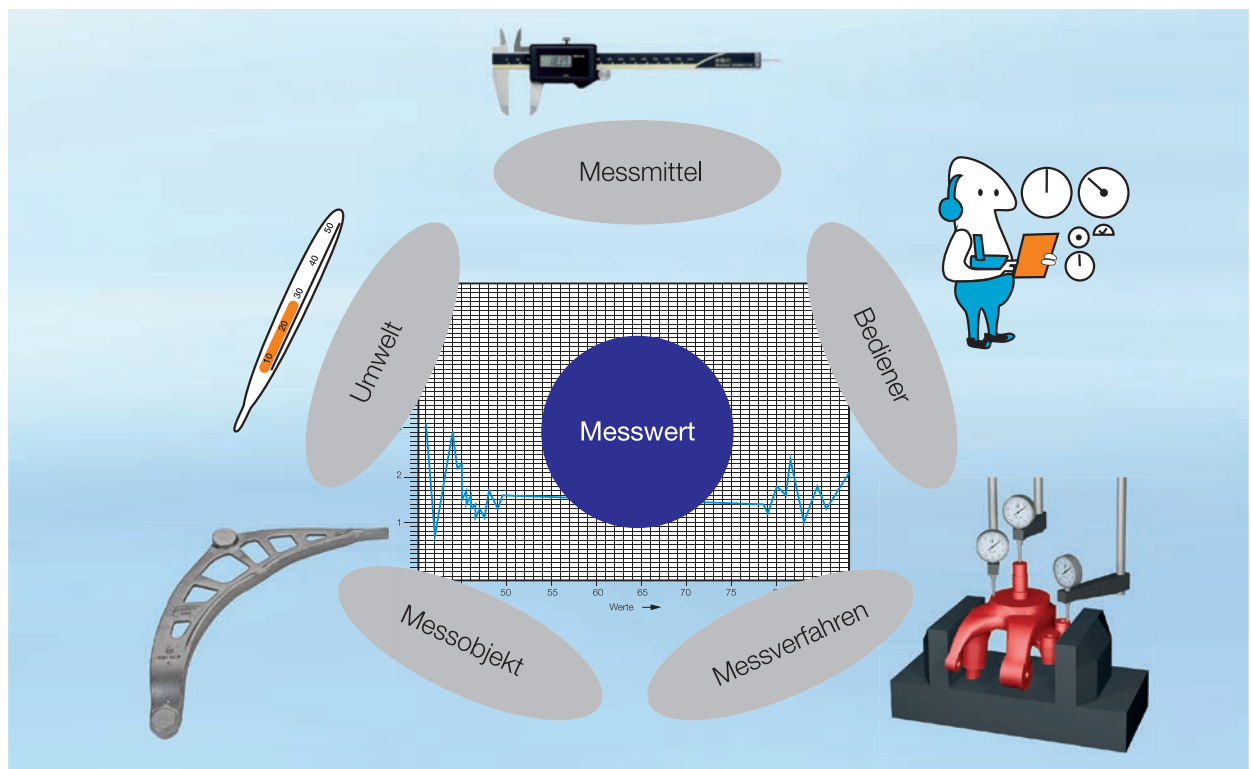


Bild 11.4: Mögliche Einflussgrößen auf den Messwert

11.1.4 Statistische Prozessregelung (SPC)

Bei einer Großserienproduktion ist es aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht möglich, jedes Qualitätsmerkmal an jedem Produkt zu prüfen. Deshalb werden aus der laufenden Produktion Stichproben entnommen, an denen die Qualitätslage bewertet wird. Um das Ergebnis der Stichprobe auf alle produzierten Teile übertragen zu können, bedient man sich statistischer Methoden. Dadurch wird erreicht, dass trotz reduzierter Datenquelle (Stichprobe) die Beurteilungsgüte hoch ist, bei deutlich reduziertem Aufwand.

Die *Statistische Prozessregelung* dient zur Überwachung von Fertigungsprozessen. Anstelle einer 100 % Prüfung werden die vorher festgelegten Merkmale durch Stichproben erfasst und ausgewertet (zum Beispiel eine 5 Teile umfassende Stichprobe nach jeweils 100 produzierten Teilen).

Zur Auswertung und Darstellung der Qualitätslage werden unterschiedliche Qualitätsregelkarten (kurz Regelkarten) eingesetzt. Eine sehr häufig eingesetzte Regelkarte ist die $\bar{x} / s$ Regelkarte (Bild 11.5). Mit dieser kombinierten Regelkarte wird zum einen die Prozesslage in Form des Mittelwertes ($\bar{x}$) und zum anderen die Prozessstreuung (s) überwacht. Spätestens wenn einer dieser beiden Werte eine vorher festgelegte Eingriffsgrenze überschreitet, muss der Anlagenbediener in den Prozess regelnd eingreifen, um zu verhindern, dass Teile außerhalb der zulässigen Toleranz produziert werden. Die Eingriffsgrenzen werden auf Basis von Messwerten eines längeren Produktionsvorlaufs berechnet. Grundlage für die Berechnung sind der Stichprobenumfang, die Verteilung der Messwerte und die gewünschte statistische Sicherheit.

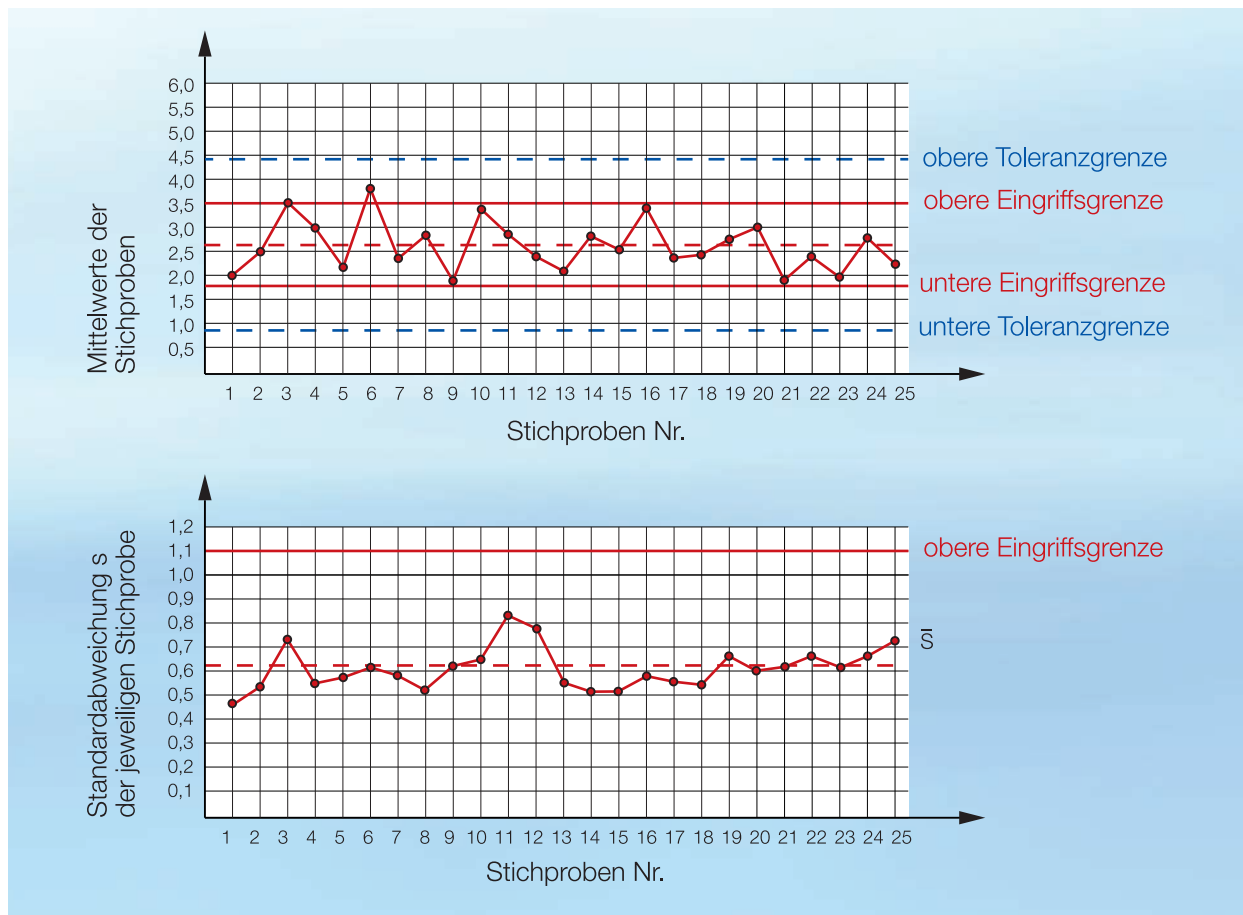


Bild 11.5: Schematische Darstellung einer $\bar{x}/s$ -Regelkarte für ein Merkmal

11.1.5 Prozessfähigkeitsuntersuchung (PCA)

Durch die *Prozessfähigkeitsuntersuchungen* wird beurteilt, ob Prozesse geeignet sind, die geforderte Produktqualität reproduzierbar herzustellen. Die Beurteilung erfolgt mit Hilfe eines Fähigkeitsindex, im einfachsten Fall mit

$$c_p = \frac{OT - UT}{6\hat{\sigma}}$$

c_p :	Prozessfähigkeitsindex (Capability of Process)
OT und UT:	Obere und untere Toleranzgrenze der Merkmalswerte
$\hat{\sigma}$:	Prozessstreuung der Merkmalswerte

Ein Prozess wird als „fähig“ bezeichnet, wenn der Wert des Fähigkeitsindex zum Beispiel größer als 1,67 ist. Vereinfacht steckt im Kern dahinter, dass die Streuung immer um ein Vielfaches kleiner sein muss als die zulässige Toleranz (Bild 11.6). Nur dann wird der Prozess als fähig bezeichnet.

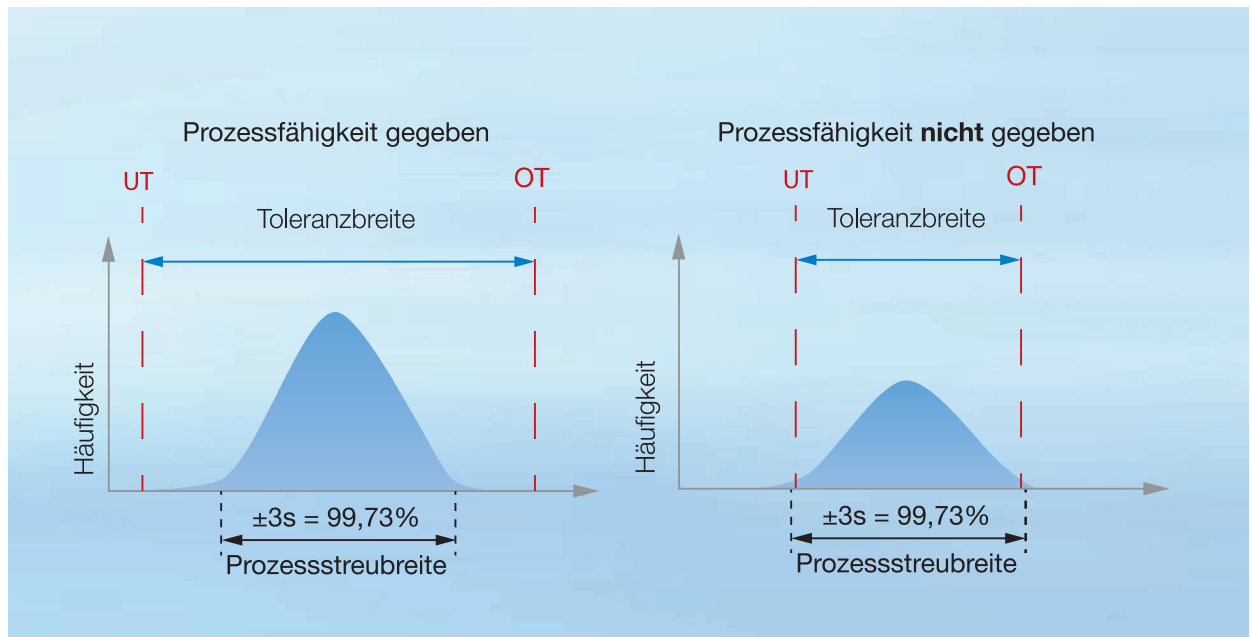


Bild 11.6: Schematische Darstellung der Prozessfähigkeit

In einer erweiterten und verschärften Betrachtung wird neben der Streuung des Prozesses auch die Prozesslage (Mittelwert der Merkmalswerte einer Stichprobe) relativ zur Toleranzmitte durch den Fähigkeitsindex c_{pk} bewertet. Auch dieser Wert muss zum Beispiel größer als 1,67 sein, um von einem fähigen Prozess sprechen zu können. Ein entsprechendes Verfahren gibt es auch für die Maschinenfähigkeitsuntersuchung.

11.1.6 Weitere Werkzeuge und Methoden zur Qualitätssicherung

Außer den beschriebenen gibt es weitere Methoden, die nachfolgend nur noch bezüglich ihrer Zielsetzung erläutert werden.

DoE	Design of Experiments / Statistische Versuchsplanung: Optimierung von Produkt- und Prozessparametern durch Quantifizierung der Wirkzusammenhänge anhand minimaler Versuchsaufwendungen.
Kaizen	Wandel zum Besseren: Stetige Verbesserung von Produkten, Prozessen und Abläufen durch alle Mitarbeiter des Unternehmens.
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess: siehe Kaizen.
Qualitätsaudit	Überwachung und Verbesserung aller Teile eines Qualitätsmanagementsystems.
Benchmarking	Vergleich der eigenen Produkte / Prozesse mit dem Branchenbesten, um hieraus Verbesserungspotenziale und Maßnahmen abzuleiten.
QFD	Quality-Function-Deployment / Qualitätsfunktionendarstellung QFD ist eine Methode zur Ermittlung der Kundenanforderungen und deren direkter Umsetzung in technische Lösungen.
Poka Yoke	Narrensicher: Ziel ist es, Fehler durch vorbeugende Maßnahmen zu vermeiden. Durch das Einrichten von Hilfsmitteln – wie zum Beispiel Sensoren – soll die Entstehung von Fehlern vermieden beziehungsweise ein entstandener Fehler sofort behoben werden.

11.2 Prüfverfahren

Um die Qualität eines Bauteils beurteilen zu können, muss man es prüfen. Abhängig vom zu prüfenden Merkmal und der zulässigen Toleranz kommen unterschiedliche *Prüfverfahren* zur Anwendung. Im Folgenden sind einige in der Massivumformung wichtige Prüfverfahren aufgeführt.

11.2.1 Sichtprüfung

Die *Sichtprüfung* wird angewendet, um makroskopische Oberflächenfehler wie zum Beispiel unzureichende Gravurfüllung oder Kerben zu erkennen. Prozessbegleitend werden hiermit Stichprobenprüfungen vorgenommen. Vor Auslieferung der Bauteile an die Kunden wird oft eine 100 % Sichtprüfung durchgeführt. In den meisten Fällen wird diese Art der Prüfung manuell durch erfahrene Mitarbeiter ausgeführt. Die Sichtprüfung als schnelles und einfaches Verfahren ist mit geringem Geräte- und ohne Materialeinsatz möglich, erfordert aber einen nicht vernachlässigbaren Personaleinsatz. In einigen speziellen Fällen wird heute auch schon eine automatisierte Oberflächenprüfung unter Verwendung von Bildverarbeitungssystemen eingesetzt.

11.2.2 Rissprüfung



Bild 11.7: Blick in eine Fluxkabine



Bild 11.8: Rissanzeige

Es ist nicht auszuschließen, dass Massivumformbauteile teils mikroskopisch kleine Risse enthalten, die mit bloßem Auge meist nicht zu detektieren sind. Die Ursachen für die Rissentstehung können sehr unterschiedlich sein. Sie können zum Beispiel bereits im Vormaterial vorhanden sein, sie können aber auch bei der Wärmebehandlung oder durch den Umformprozess entstehen. Solche Mikrorisse sind meist nicht zulässig, insbesondere nicht bei Sicherheitsteilen.

Genauere Beschreibung

Für die *Rissprüfung* stehen mehrere Verfahren zur Auswahl. Das in der Massivumformung am häufigsten eingesetzte Verfahren ist das *Magnetpulverprüfen* (auch „Fluxen“ genannt). Mit diesem Rissprüfverfahren können unter UV-Licht (Bild 11.7) Risse in magnetisierbaren Materialien bis zu Fehlerbreiten von 1 µm nachgewiesen werden (Bild 11.8). Hierzu wird das zu prüfende Bauteil zunächst magnetisiert und mit einem fluoreszierenden Magnetpulverprüfmittel benetzt. Hat das Bauteil an der Oberfläche Risse, dann werden dort die Magnetfeldlinien abgelenkt, was unter UV-Licht sichtbar wird. Bei nicht zu tiefen Rissen kann das Bauteil durch Schleifen noch nachgearbeitet werden.

Bei Sicherheitsteilen wird häufig eine 100 % Rissprüfung gefordert.

Ein weiteres Verfahren zur Prüfung auf Oberflächenrisse ist die *Farbeindringprüfung*. Hierbei wird auf die Bauteiloberfläche ein Eindringmittel aufgebracht, das in vorhandene Risse eindringt. Nach einer Reinigung der Oberfläche wird ein Entwickler aufgetragen, der das in den Rissen befindliche Eindringmittel wieder an die Oberfläche bringt. Hierbei wird der tatsächliche Riss optisch stark vergrößert, sodass Fehlstellen gut zu erkennen sind. Das Farbeindringverfahren wird überwiegend bei nicht magnetisierbaren Werkstoffen angewendet, wie zum Beispiel bei Aluminium und nichtrostenden Stählen.

Weitere Rissprüfverfahren sind:

- Ultraschallprüfung (hauptsächlich für Innenfehler) und
- Wirbelstromprüfung (hauptsächlich für Oberflächen- und oberflächennahe Risse).

11.2.3 Maßprüfung

Bei der *Maßprüfung* werden geometrische Größen wie zum Beispiel Länge, Dicke oder Breite erfasst und ausgewertet. Darüber hinaus werden aber auch Form- und Lageabweichungen wie zum Beispiel Versatz oder Rundlaufabweichung überprüft. In der Regel werden Maßprüfungen produktionsbegleitend als Stichprobenprüfung durchgeführt. Insbesondere bei kritischen Merkmalen kann aber auch eine 100 %-Prüfung notwendig sein. Da die Merkmalsausprägungen, die Nennmaße und Toleranzen sehr unterschiedlich sein können, kommen auch unterschiedlichste Messmittel zum Einsatz, wie zum Beispiel:

- Messschieber,
- Bügelmessschrauben,
- Messuhren,
- Messtaster.

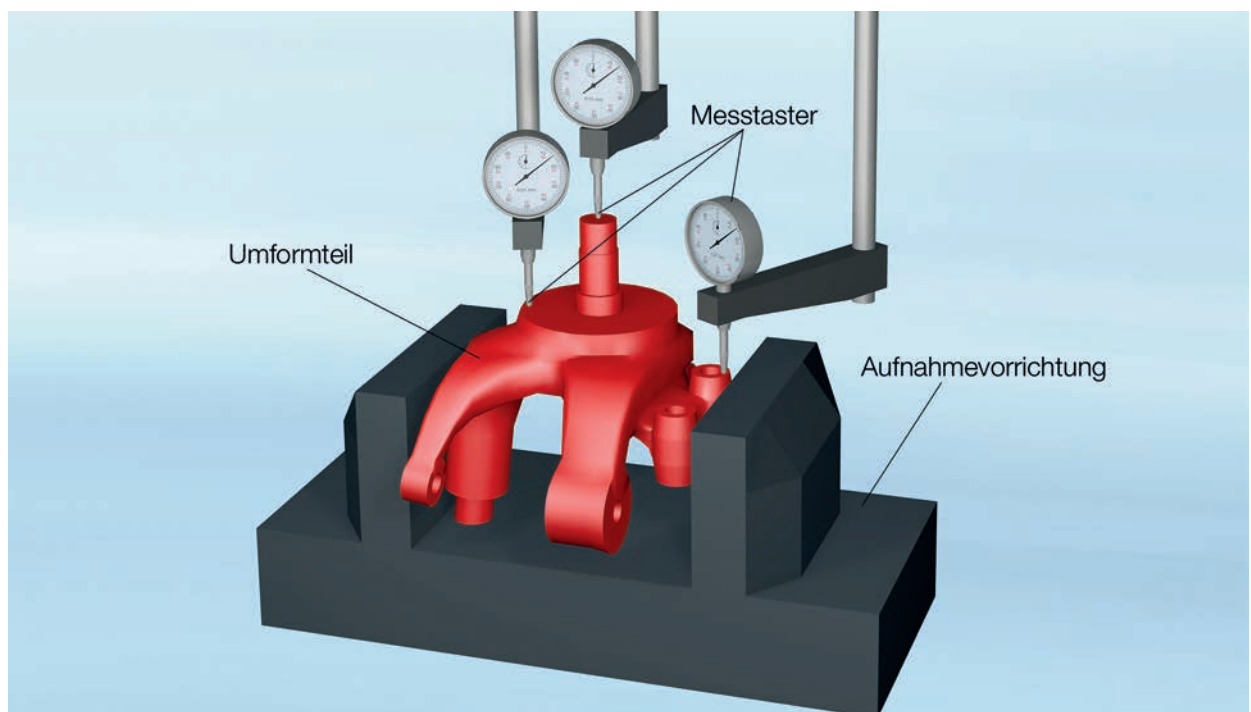


Bild 11.9: Beispiel eines Mehrstellenmessgeräts

Wenn bei einer Großserie viele Maße an einem Bauteil geprüft werden müssen, dann kann es aus wirtschaftlichen Gründen sinnvoll sein, ein bauteilspezifisches Mehrstellenmessgerät zu entwickeln, mit dem es möglich ist, mehrere Maße gleichzeitig zu prüfen, zu beurteilen und zu dokumentieren (siehe Bild 11.9).

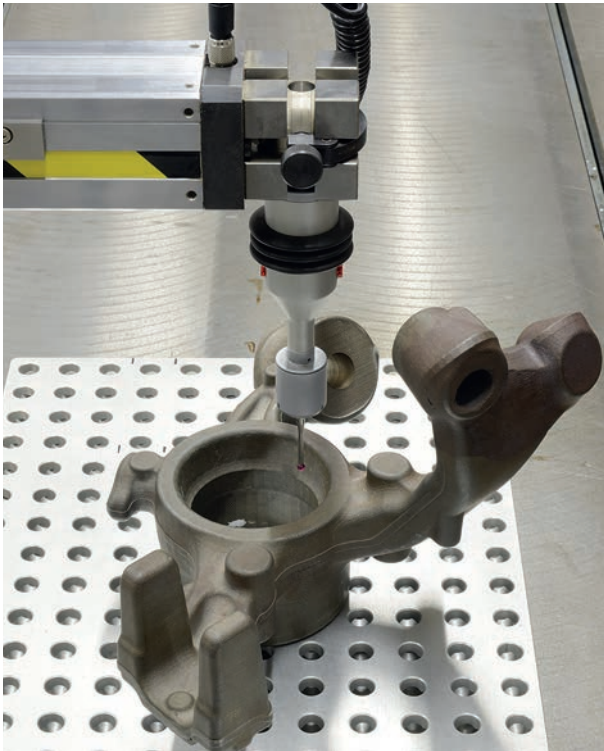


Bild 11.10: Messung und Beurteilung eines Bauteils mittels Koordinatenmessgerät

Soll ein Bauteil umfassend vermessen werden (zum Beispiel für die Erstbemusterung oder die Produktionsfreigabe), so bieten sich Koordinatenmessgeräte an (siehe Bild 11.10). Mit dem Taster eines Koordinatenmessgeräts werden die Oberflächenpunkte eines Bauteils durch ihre x, y, z Koordinaten erfasst. Mit Hilfe einer Software werden diese Punkteinformationen zu aussagefähigen Messergebnissen verdichtet. Durch diese Vorgehensweise können verschiedenste Bauteilmerkmale erfasst und ausgewertet werden, wie zum Beispiel:

- Längen-, Dicken- und Breitenmaße,
- Positions-, Form- und Lagemaße,
- SOLL-IST Flächenvergleiche (SOLL = zum Beispiel CAD Geometrie; IST = Fläche, die aus mehreren Messpunkten generiert wurde).

Auf Grund des relativ hohen Messaufwands ist die Koordinatenmesstechnik für die serienbegleitende Prüfung nur bedingt geeignet.

11.2.4 Prüfung mechanischer Eigenschaften

Durch Prüfung und Beurteilung der mechanischen Werkstoffeigenschaften soll sichergestellt werden, dass das Bauteil den unter Betriebsbedingungen auftretenden Belastungen standhält, entsprechend den Vorgaben des Lastenhefts. Dies ist insbesondere für Sicherheitsteile wie zum Beispiel Fahrwerksteile relevant. Nachfolgend werden einige wichtige Prüfverfahren vorgestellt, die sich in zerstörungsfreie und zerstörende Prüfverfahren unterteilen.

Die Härteprüfung wird angewendet, um

- die Wirksamkeit einer Werkstoffbehandlung (zum Beispiel Wärmebehandlung) zu überprüfen und
- Rückschlüsse auf weitere Werkstoffeigenschaften zu ziehen (zum Beispiel die Festigkeit).

Für Metalle sind die wichtigsten Härteprüfverfahren:

- Brinell,
- Vickers und
- Rockwell.

Bei all diesen Verfahren wird mit einem definierten Prüfkörper unter definierten Bedingungen ein Eindruck in das zu prüfende Bauteil eingebracht. Dieser Eindruck wird geometrisch vermessen. Aus diesem Messwert wird dann die Härte des Bauteils in einer verfahrensspezifischen Skalierung bestimmt. Da die erzeugten Eindrücke sehr klein sind und die Bauteile in der Regel weiter verwendet werden können, werden die genannten Härteprüfverfahren in die Gruppe der zerstörungsfreien Werkstoffprüfungen eingeordnet.

Der Zugversuch wird an einer Probe (aus dem zu prüfenden Werkstück / Werkstoff) mit genormter Geometrie durchgeführt. Er dient der Beurteilung des Werkstoffs unter gleichmäßiger Zugbelastung. Die Zugprobe wird bis zum Bruch in einer Zugprüfmaschine einer kontinuierlich ansteigenden Zugkraft ausgesetzt.

Die beim Zugversuch ermittelten Werkstoffkennwerte sind (siehe Kapitel 3):

- Elastizitätsmodul E (MPa),
- 0,2% – Dehngrenze $R_{p0,2}$ (MPa),
- Streckgrenze R_e (MPa),
- Zugfestigkeit R_m (MPa),
- Bruchdehnung A (%),
- Brucheinschnürung Z (%).

Da das Bauteil zur Entnahme der Zugprobe zerstört werden muss, gehört der Zugversuch zu der Gruppe der zerstörenden Werkstoffprüfungen

Der *Kerbschlagbiegeversuch* dient der Beurteilung der Zähigkeit eines Werkstoffs. Ein zäher Werkstoff wird sich unter Belastung erst merklich verformen, bevor er bricht. Im Gegensatz dazu wird ein spröder Werkstoff sich vor dem Bruch nur wenig verformen. Beim Kerbschlagbiegeversuch wird die Verformungsarbeit an einer gekerbten Probe bis zum Bruch gemessen, die dann ein Maß für die Zähigkeit des Werkstoffs ist. Da das Bauteil zur Entnahme der Probe zerstört werden muss, gehört der Kerbschlagbiegeversuch zu der Gruppe der zerstörenden Werkstoffprüfungen.

12 Produktentwicklung

Die Entwicklung von Massivumformprodukten umfasst die gesamte Kette vom einbaufertigen Bauteil über das Rohteil, die Stadiengangentwicklung bis hin zur Fertigungsprozessentwicklung. Immer kürzere Entwicklungszyklen, steigende Variantenvielfalt und zunehmender Kostendruck erfordern eine zielgerichtete Produktentwicklung unter Anwendung neuester und effizienter Entwicklungswerkzeuge.

Die Entwicklung technischer Systeme – zum Beispiel eines Fahrzeugs – erfolgt nach dem Top-Down-Prinzip, sozusagen vom Allgemeinen zum Speziellen. Zunächst werden die übergeordneten Systemanforderungen festgeschrieben, die dann auf Komponenten- und schließlich auf Bauteilebene heruntergebrochen und in *Lastenheften* spezifiziert werden. Die Entwicklung eines Massivumformbauteils erfolgt in mehreren Entwicklungsschritten (Bild 12.1) unter Berücksichtigung der im Lastenheft spezifizierten Anforderungen.

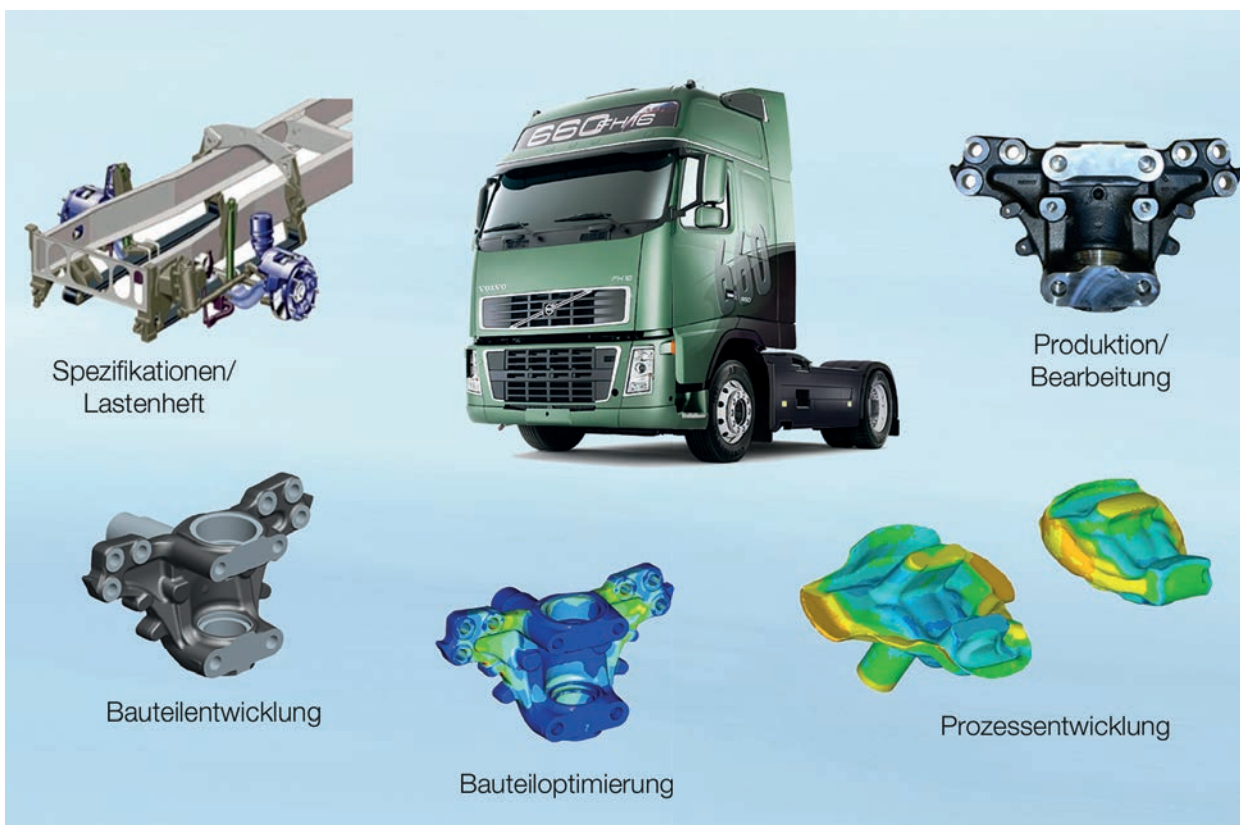


Bild 12.1: Entwicklungsprozesskette: Vom Lastenheft zum massivumgeformten Bauteil

Die Anforderungen an ein Massivumformbauteil ergeben sich beispielsweise durch

- den verfügbaren Bauraum und die Anbindungspunkte zu den benachbarten Bauteilen,
- die geforderte Festigkeit und Steifigkeit des Bauteils,
- die geforderte Bauteillebensdauer und
- die Kostenziele.

Um vom Lastenheft zum konkreten Bauteilentwurf zu gelangen, kommen moderne Entwicklungswerkzeuge zum Einsatz. Nachfolgend werden einige Stufen der Entwicklungsprozesskette exemplarisch durchlaufen und für unterschiedliche Bauteile der Einsatz der Entwicklungswerkzeuge dargestellt.

12.1 Bauteilentwicklung

Wichtiger Bestandteil einer Bauteilentwicklung ist die *Topologieoptimierung*, was bedeutet, dass unter Beachtung des verfügbaren Bauraums, der vorgegebenen Anbindungspunkte und der äußeren Bauteilbelastungen die bestmögliche Bauteilgestalt gefunden werden muss, die den Festigkeits- und Steifigkeitsanforderungen genügt. Als Ergebnis entsteht ein Funktionsmodell, das fertigungstechnische Randbedingungen noch nicht berücksichtigt. Der Ablauf einer Topologieoptimierung ist in Bild 12.2 schematisch dargestellt.



Bild 12.2: Schematischer Ablauf einer Topologieoptimierung

Die Topologieoptimierung erfolgt mit Hilfe numerischer Rechenverfahren, womit in mehreren Optimierungszyklen schrittweise eine Bauteilgestalt ermittelt wird, die idealerweise zu homogenen Spannungsbelastung an jeder Stelle des Bauteils führt und das Bauteilgewicht minimiert. Dieses optimierte Grobmodell wird häufig umformtechnisch so nicht herstellbar sein und muss deshalb unter Berücksichtigung fertigungstechnischer Randbedingungen in einen ersten Bauteilentwurf überführt werden.

Der Ablauf einer Topologieoptimierung bis hin zum Schmiedeteilentwurf ist in Bild 12.3 für ein Aluminium-Serienbauteil dargestellt.

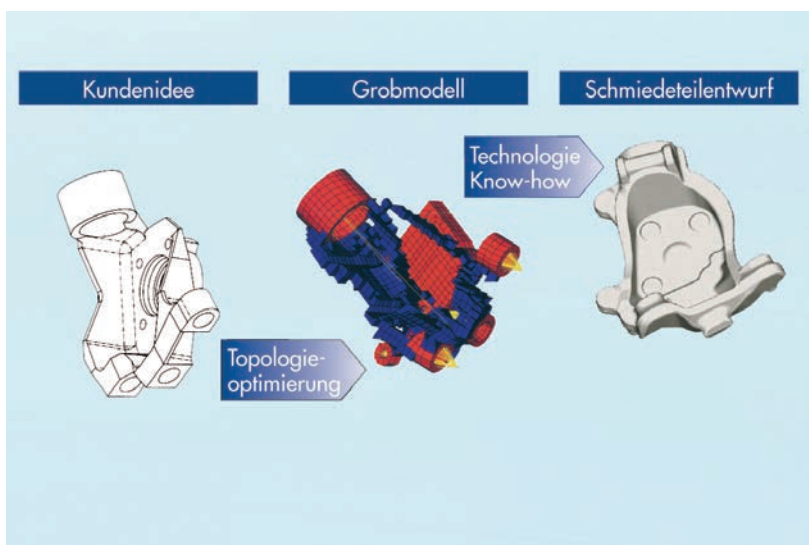


Bild 12.3: Topologieoptimierung für einen Radträger

Der beschriebene topologieoptimierte Bauteilentwurf führt zwar generell zu einer bestmöglichen Spannungsverteilung im Bauteil, lokal ist aber meist noch Gestaltoptimierungspotenzial vorhanden, das durch linear-elastische FEM-Berechnungen anhand von Spannungen und Verformungen sichtbar gemacht werden kann. Die Zielsetzung der *Gestaltoptimierung* ist es, das Bauteil unter fertigungstechnischen Randbedingungen gewichtsmäßig weiter zu optimieren, wobei die werkstoffbedingten elastischen Maximalspannungen und die vorgegebenen Grenzen der Bauteilverformungen nicht überschritten werden dürfen und die resultierende Lebensdauer gleich oder höher der Lastenheftanforderung ist.

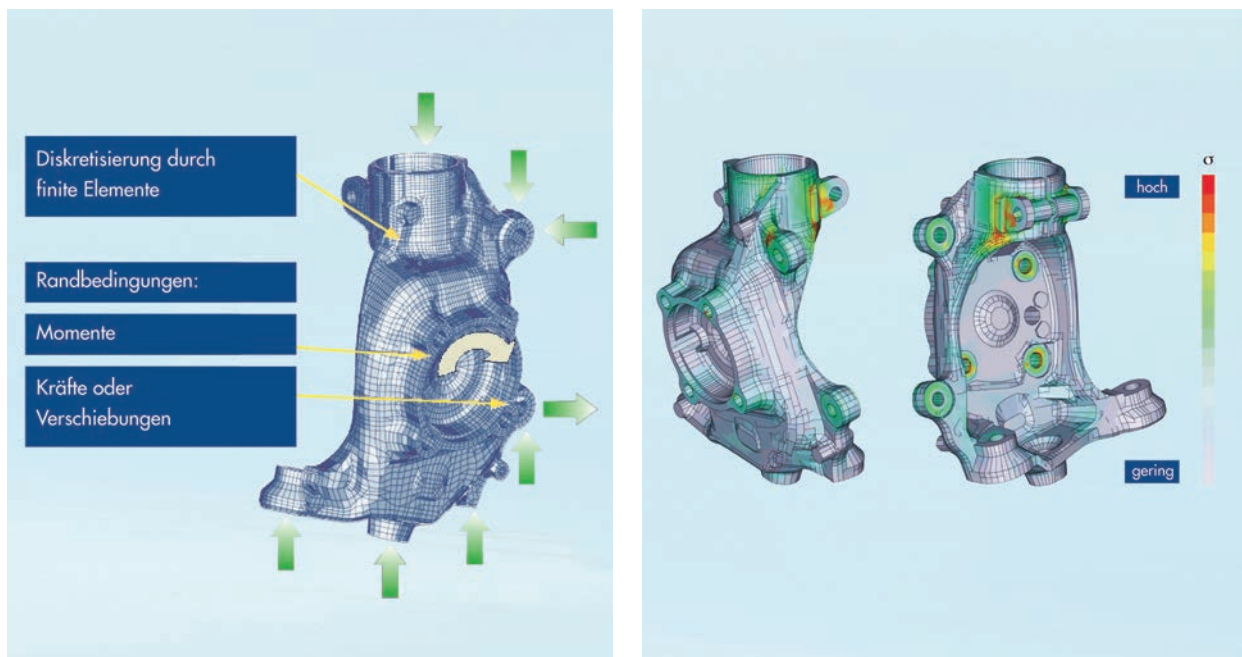


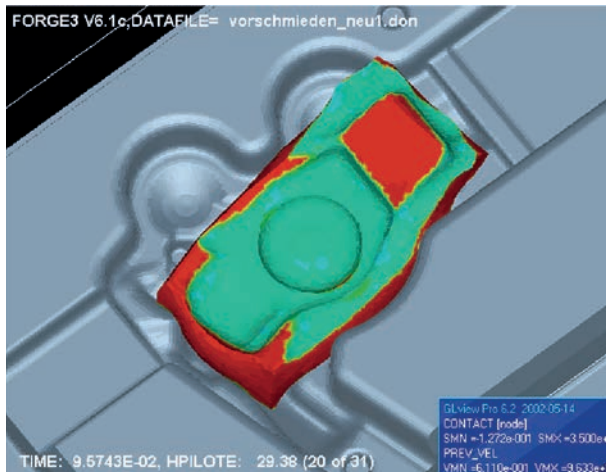
Bild 12.4: Schematischer Ablauf einer Gestaltoptimierung auf Basis der FEM-Berechnung

Wie bei der Topologieoptimierung sind auch bei der Gestaltoptimierung die 3D-CAD-Technik und die **F**inite **E**lemente **M**ethode (FEM) unverzichtbare Hilfsmittel.

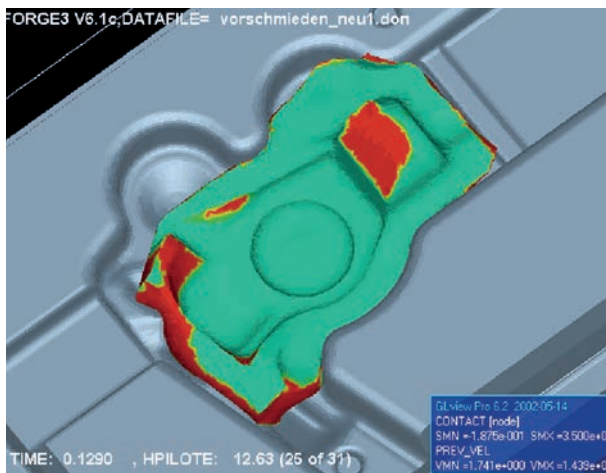
12.2 Fertigungsprozessentwicklung

Die Fertigungsprozessentwicklung beinhaltet die Festlegung aller notwendigen Fertigungsoperationen ausgehend vom Ausgangsmaterial bis zum fertigen Umformteil, auch Rohteil genannt. Ganz wesentlicher Bestandteil der Fertigungsprozessentwicklung ist die Festlegung des Stadiengangs (siehe Kapitel 7). Hier müssen die Anzahl und die geometrische Form der jeweiligen Zwischenoperationen genau festgelegt werden. Beides ist von der geometrischen Komplexität des Umformteils abhängig, aber auch von den verfügbaren Fertigungseinrichtungen und der Erfahrung des Werkzeugkonstruktors. Während dieser Schritt in früheren Zeiten ein sehr zeit- und kostenintensiver Trial and Error Prozess im Produktionsumfeld war, erfolgt die Entwicklung heute weitgehend auf Basis von FEM-Simulationen, womit der Stofffluss in den Werkzeugen während der Umformung sichtbar gemacht werden kann, mögliche Fehler erkannt werden und die Umformkräfte ermittelt werden können. Bild 12.5 zeigt das Ergebnis einer Stoffflusssimulation zu verschiedenen Zeitpunkten der Umformung. Das Umformwerkzeug ist grau, das Umformteil grün dargestellt. Die blau-grünen Flächen zeigen in diesem Fall die Kontaktstellen des ausgeblendeten Oberwerkzeuges mit dem Umformbauteil.

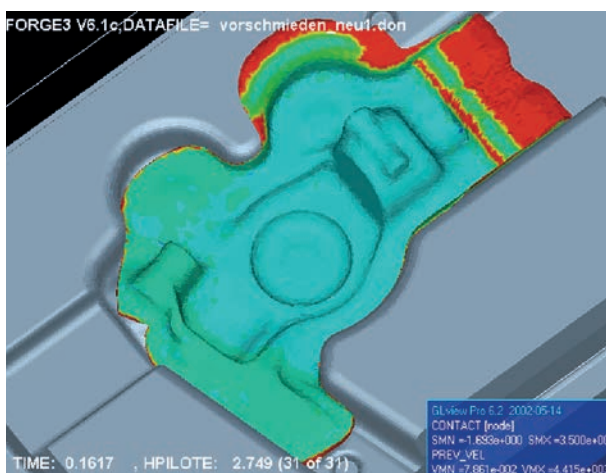
1. Zustellung kurz nach Beginn der Umformung



2. Zwischenstellung



3. Zustellung zum Ende der Umformung



Ausgehend von einem als CAD-Modell abgebildeten Planentwurf eines Stadiengangs wird der Stofffluss innerhalb der Werkzeuge simuliert, mögliche Fehler werden erkannt und Korrekturmaßnahmen an den CAD-Modellen durchgeführt. Dieser iterative Prozess wird solange fortgeführt, bis ein fehlerfreier Stadiengang vorliegt. Die prinzipielle Vorgehensweise bei der Prozess- und Werkzeugentwicklung hat sich also nicht grundlegend geändert, nur die Methodik. Was früher mit realen Werkzeugen und auf Produktionsanlagen abgewickelt wurde, vollzieht sich heute weitgehend in virtuellen Räumen. Die Folgen sind weitreichend: Werkzeuge und Produktionseinrichtungen werden erst eingesetzt, wenn die Entwicklung im Computerumfeld abgeschlossen ist; durch Produktionsexperimente erfolgt nur noch eine Feinabstimmung. Diese Vorgehensweise hat dazu geführt, dass Fertigungsprozessentwicklungen heute schneller, treffsicherer und kostengünstiger erfolgen.

Für die Stoffflusssimulation stehen leistungsfähige numerische Rechenprogramme auf Basis der FEM (Finite Elemente Methode) zur Verfügung, die nach vergleichbaren Algorithmen arbeiten. Deshalb ist für die Ergebnisqualität weniger das jeweilige Simulationsprogramm entscheidend, sondern die den Prozess beschreibenden Parameter, zum Beispiel für den Werkstoff (Fließkurve), den Wärmehaushalt, die Reibung, den Verschleiß. In der Kenntnis dieser Parameter und deren angemessener Gewichtung liegt das Know-how bei der virtuellen Fertigungsprozessentwicklung.

Bild 12.5: Beispiel einer Stoffflusssimulation in einer Vorformoperationsstufe bei verschiedenen Zustellungen des Pressenstößels

12.3 3D-CAD-Modell

Die Kapitel 12.1 und 12.2 haben schon deutlich gemacht, dass die 3D-CAD-Modelle des zu entwickelnden Bauteils und der dafür erforderlichen Werkzeuge eine zentrale Bedeutung haben. Diese Modelle beinhalten im Wesentlichen das Funktions- und Prozess-Know-how, abgebildet in der Geometrie. Ein vollständiges 3D-CAD-Modell als Werkzeugsatz ist in Bild 12.6 am Beispiel eines Kreuzgelenks dargestellt.

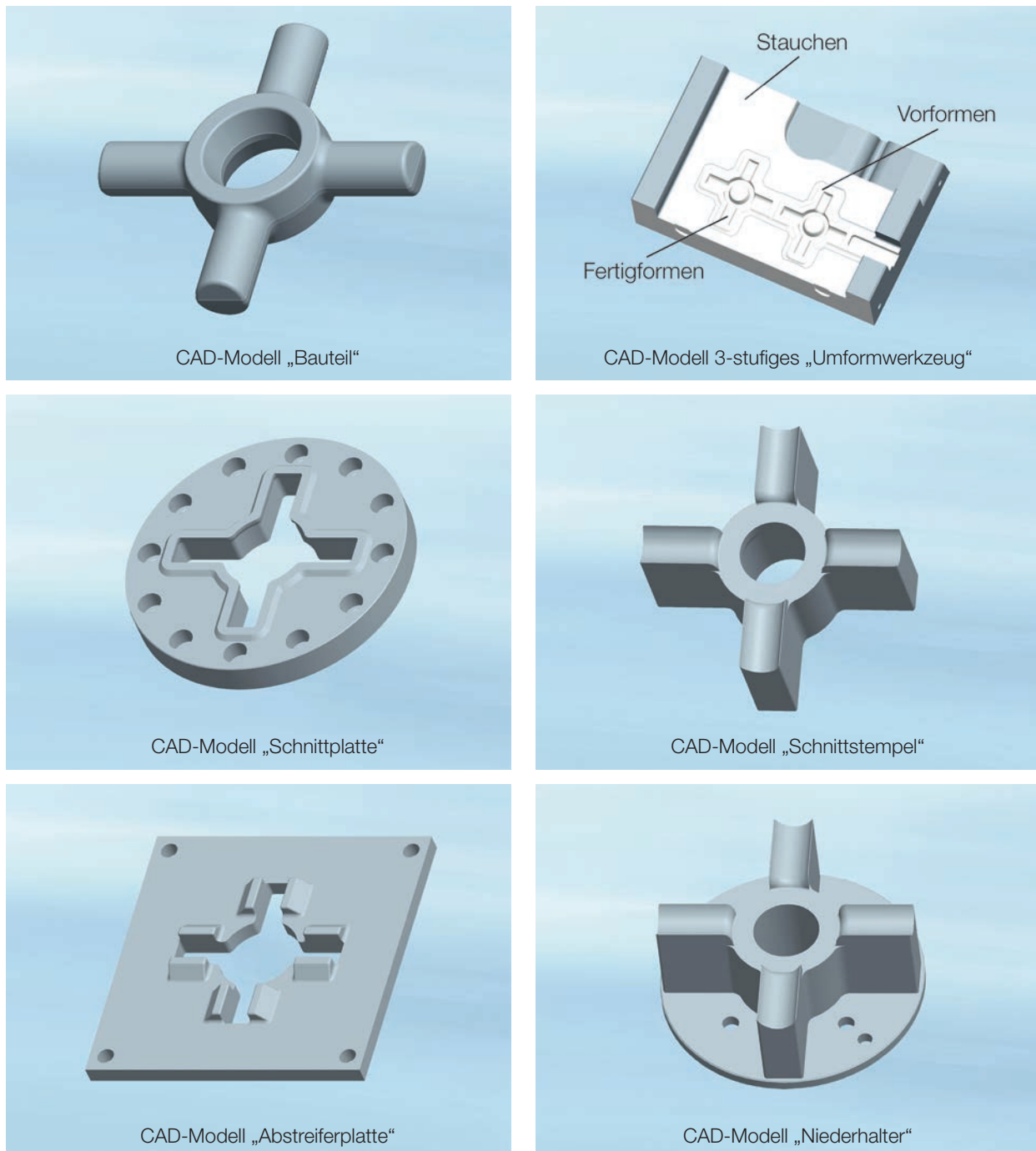


Bild 12.6: Vollständiges 3D-CAD-Modell für ein Kreuzgelenk und zugehörige Aktivwerkzeuge

In diesem Fall wurde der Umformstadiengang in einem Mehrstufenwerkzeug abgebildet, bestehend aus einer Stau-, einer Vorform- und einer Fertigformoperation. Für die nachgelagerte Operation des Abgratens sind weitere 4 Werkzeugelemente notwendig.

12.4 Werkzeugfertigung

So wichtig die CAD-Modelle für die virtuelle Prozessentwicklung auch sind, für seriennahe Erstmuster und die Serienfertigung der entwickelten Bauteile werden Umformwerkzeuge in Stahl benötigt. Eine hierfür übliche Fertigungstechnologie ist das Hochgeschwindigkeitsfräsen, auch HSC-Fräsen genannt, oder das Erodieren mittels einer Grafitelektrode (siehe hierzu Kapitel 9.3).

12.5 Rapid Prototyping

Eine weitere sehr wichtige Stufe in der Entwicklungsprozesskette ist die Bemusterung der entwickelten Bauteile. Die Bemusterung erfolgt an physischen Bauteilen, den sogenannten „Seriennahen Mustern“ und ist somit ein zeit- und kostenaufwendiger Prozess. Von daher ist es verständlich, dass von jeher versucht wurde, diese Prozessstufe zu optimieren. Der Begriff Rapid Prototyping entstand in den 1980er Jahren. Getrieben durch die Automobilindustrie wurde intensiv das Ziel verfolgt, Prototypen innerhalb der Entwicklungsprozesskette möglichst schnell herzustellen, um darüber die Entwicklungszeit eines Automobils deutlich zu verkürzen. Aufgrund des hohen Bedarfs entwickelten sich sehr schnell verschiedene Rapid Prototyping-Verfahren.

Unter dem Begriff *Rapid Prototyping* werden heute die Verfahren zur schnellen Herstellung von Musterbauteilen auf Grundlage von 3D-CAD-Konstruktionsdaten subsumiert, wobei diese Verfahren keine bauteil-spezifischen Werkzeuge benötigen.

Alle Rapid Prototyping-Verfahren arbeiten nach dem selben (generativen) Prinzip: Die 3D-CAD-Modelle der Bauteile werden rechnerintern in viele ebene Scheiben geschnitten, die dann einzeln aus einem meist formlosen Stoff gefertigt und schichtweise zu einem physischen Bauteil verbunden werden. In Bild 12.7 ist der Ablauf schematisch dargestellt.

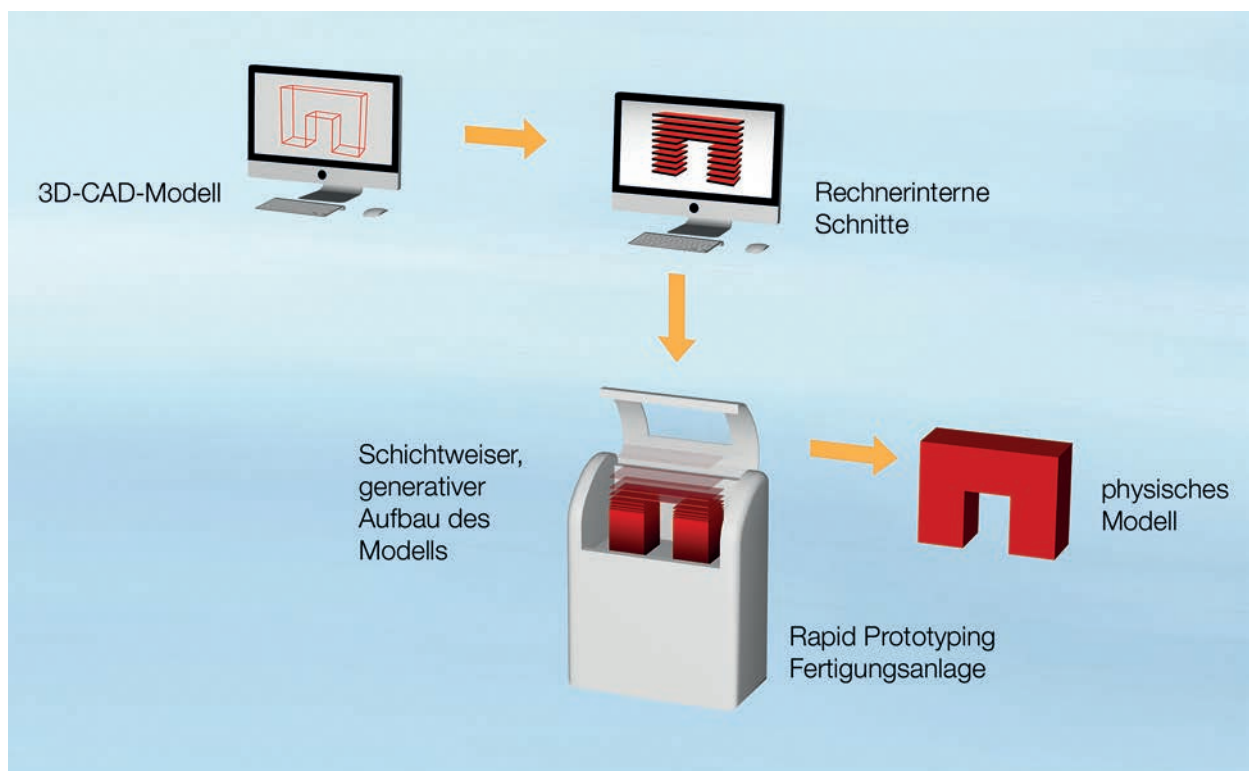


Bild 12.7: Schematischer Ablauf der Prototypenherstellung nach dem Rapid Prototyping-Verfahren

Abhängig von dem verwendeten Stoff haben die Prototypen unterschiedliche (Festigkeits-) Eigenschaften.

In Bild 12.8 ist der Herstellprozess eines Einspritzteil-Musters nach dem Rapid-Prototyping-Verfahren beispielhaft dargestellt.

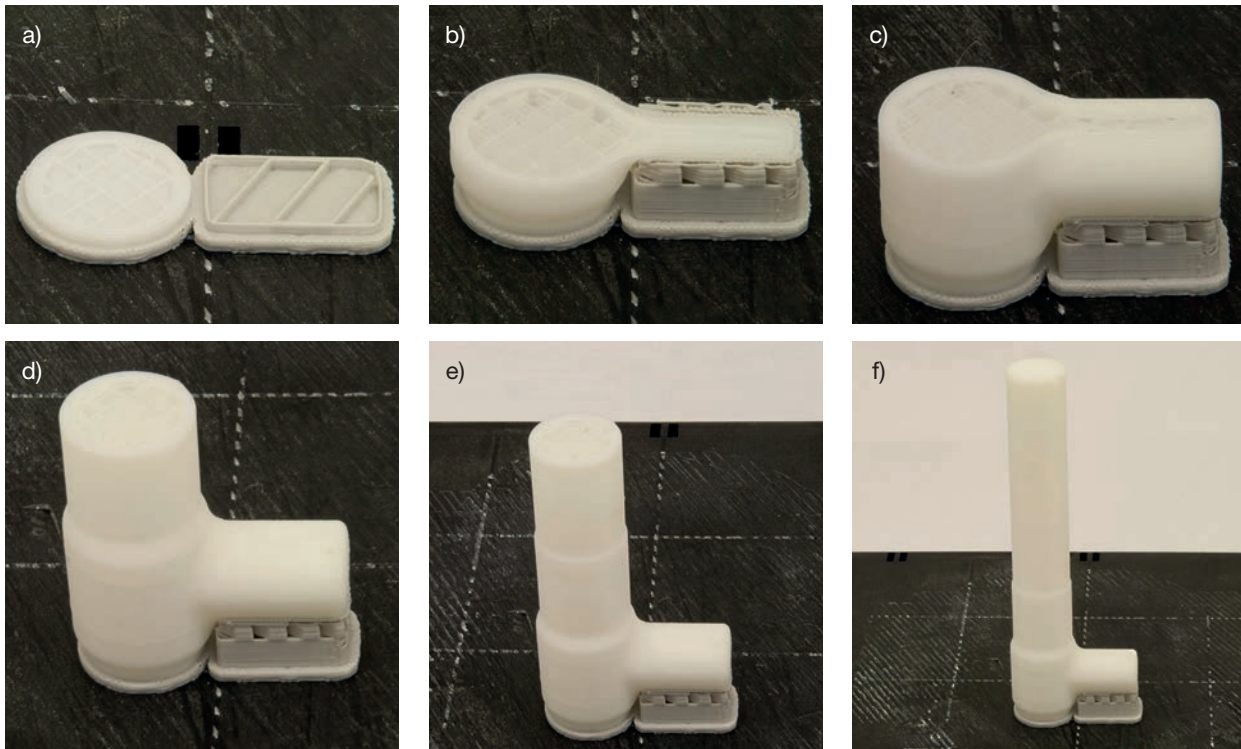


Bild 12.8: Herstellung eines Modells nach dem Rapid-Prototyping-Verfahren

Da Umformbetriebe meist über einen eigenen leistungsfähigen Werkzeugbau verfügen und somit die 3D-Frästechnologie sehr gut beherrschen, können diese Unternehmen alternativ zu den generativen Rapid Prototyping-Verfahren Prototypen mit deutlich besseren und seriennäheren Eigenschaften mittels der HSC-Frästechnologie schnell und direkt auch in Stahl oder Aluminium fräsen (Bild 12.9).

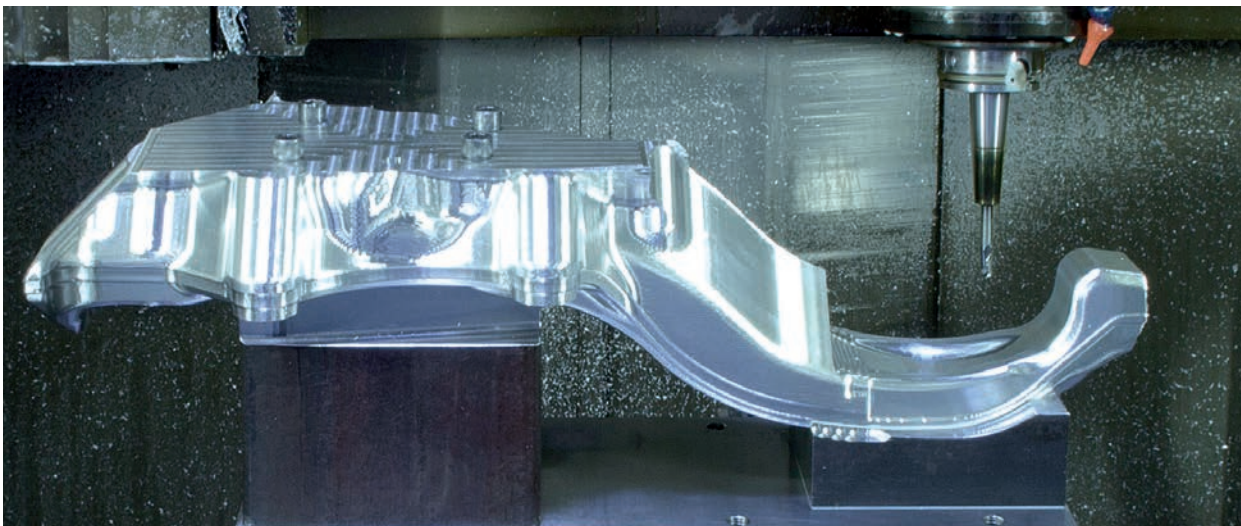


Bild 12.9: Fräsen eines Aluminium-Musterbauteils (halbfertig)

Es sei an dieser Stelle nochmals hervorgehoben, dass die Prototypen helfen, den Entwicklungs- und Bemusterungsprozess zu verkürzen, aber die letztendliche Bemusterung mit „seriennahen Mustern“ nicht ersetzen können.

13 Kosten- und Mengenstrukturen

Schon immer, vor allem aber seit Beginn der Globalisierung ab den 1990er Jahren, unterliegt die Branche Massivumformung und jedes der Branche zugehörige Unternehmen einem zunehmenden Wettbewerbsdruck. Wesentliche Wettbewerbsparameter sind

- die Kosten,
- die Qualität,
- die Liefertreue und
- die Entwicklungskompetenz,

wobei die Kosten eine besonders hohe Priorität haben.

In diesem schwierigen Umfeld können sich die Unternehmen letztlich nur behaupten, wenn sie ihre Leistungsfähigkeit und Organisation den Erfordernissen der Märkte ständig anpassen und ihre Kostenstruktur mit den Marktpreisen korreliert. Die enorme Veränderung, die die Branche Massivumformung dabei vollzogen hat, zeigt die Veränderung einiger wesentlicher Kosten- und Leistungsparameter über einen Zeitraum von 20 Jahren (Bild 13.1). Die Werte in Bild 13.1. entsprechen einem Branchenmittelwert für Unternehmen mit über 400 Mitarbeiter.

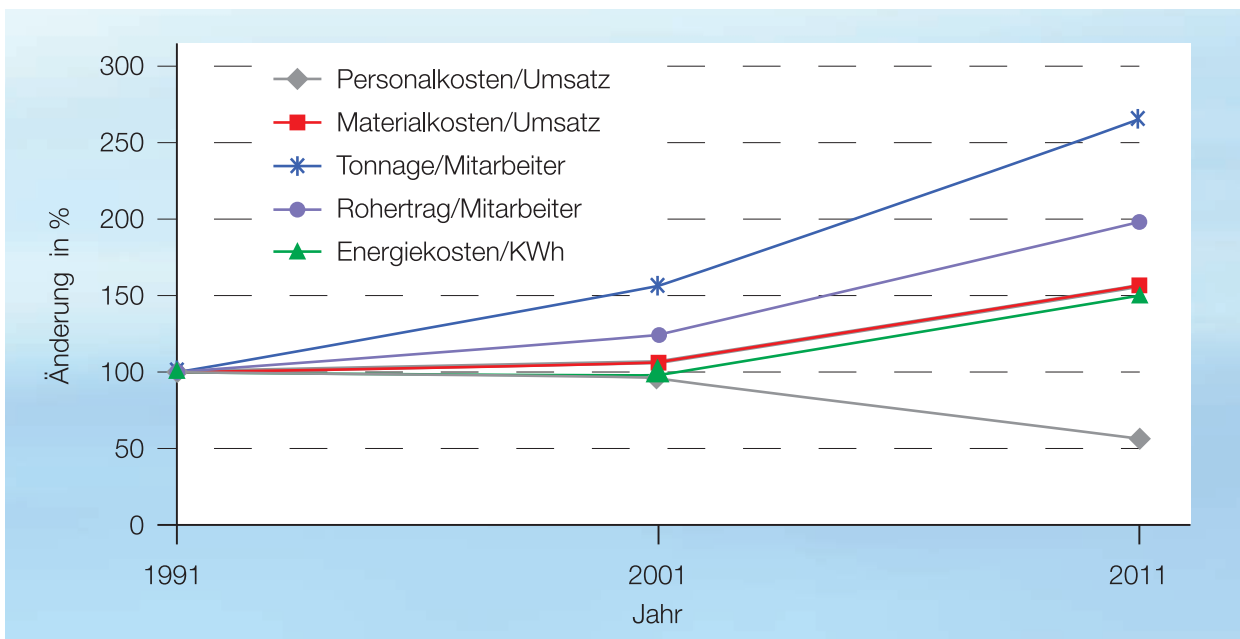


Bild 13.1: Änderung wesentlicher Kosten- und Leistungsparameter der Branche Massivumformung

Nachfolgend werden einige wesentliche Einflussparameter auf die Kostenstruktur anhand des Schemas einer typischen Stückkostenkalkulation (Bild 13.2) erläutert.



Bild 13.2: Schema einer Stückkostenkalkulation

13.1 Materialkosten

Die *Materialkosten* ergeben sich aus dem Materialpreis und der für die Herstellung des Bauteils erforderlichen Materialmenge.

Bei Stahl setzt sich der *Materialpreis* zum Beispiel aus den Elementen Grundpreis, Schrott- und Legierungszuschlag sowie dem Schrotterlös zusammen. Alle vier Preiselemente unterliegen den Marktmechanismen und bestimmen sich ganz wesentlich aus Angebot und Nachfrage.

Die *Materialmenge* ergibt sich aus dem Materialgewicht des Umformrohteils, dem Materialüberschuss (Gratanteil), einem gewichteten Anteil an dem Verschnitt und dem Abbrand bei der Warmumformung. Der *Verschnitt* ist der Anteil einer Materialstange, der für die Produktion nicht verwendet werden kann.

13.2 Werkzeugkosten

Die *Werkzeugkosten* (auch Werkzeugrate genannt) ergeben sich aus den Werkzeugherstellungskosten und der Werkzeugstandmenge.

Bei der Neuerstellung setzen sich die *Werkzeugherstellungskosten* zusammen aus den Werkzeugmaterialkosten, den Bearbeitungskosten, den Kosten der Wärmebehandlung und gegebenenfalls der Beschichtung. Ganz grob gilt: Je komplizierter die Geometrie eines Umformteils ist, desto mehr Umformstufen und somit Werkzeuge werden benötigt und umso höher sind somit die Werkzeugherstellungskosten. Bei der Aufarbeitung verschlissener Werkzeuge entfallen gegenüber der Neuerstellung einige der oben genannten Kostenpositionen.

Unter der *Werkzeugstandmenge* versteht man die Anzahl der in einem Werkzeug produzierbaren Umformteile. Wenn die Werkzeugstandmenge erreicht ist, lässt der Verschleißzustand der Werkzeuge eine weitere Gutteilproduktion nicht mehr zu, die Werkzeuge müssen ausgetauscht werden. Die Werkzeugstandmenge hängt von diversen Parametern ab (siehe Kapitel 9); wesentlich sind der Werkzeugdruck während der Umformung, die Umformtemperatur, die Größe der Fließwege des Werkstoffs, die Kühlung und Schmierung, die Oberflächenhärte der Werkzeuge und die zulässige Verschleißrate, wobei die zulässige Verschleißrate ganz wesentlich von der Bauteiltoleranz bestimmt wird.

13.3 Rüstkosten

Unter Rüsten versteht man alle notwendigen Tätigkeiten, um die Umformanlagen für die Produktion vorzubereiten und einzurichten, sie also mit den Werkzeugen zu bestücken. Für das Rüsten gibt es zwei mögliche Gründe:

- Die Werkzeuge sind verschlissen und müssen gegen neue Werkzeuge ausgetauscht werden.
- Die Umformanlage muss für die Produktion eines anderen Artikels vorbereitet werden.

Während der Rüstzeit wird die Umformanlage nicht produktiv genutzt, es entstehen aber weiterhin Personal- und Maschinenkosten, die sogenannten *Rüstkosten*. Die Rüstkosten ergeben sich aus der benötigten Rüstzeit (Minuten oder Stunden) und dem Maschinenstundensatz (€/Stunde) der Umformanlage. Bei gegebenem Maschinenstundensatz sind die Rüstkosten also ganz wesentlich von der benötigten Rüstzeit abhängig.

Um zu den Rüststückkosten zu gelangen, werden die Rüstkosten auf die Stückzahl der zwischen zwei Rüstvorgängen produzierten Bauteile verteilt. Bei kleiner werdender Fertigungsstückzahl steigen die spezifischen Rüstkosten überproportional an.

13.4 Fertigungskosten

Die *Fertigungskosten* bewerten den direkten, nicht materialbezogenen Ressourceneinsatz des Produktionsprozesses. Hierzu gehören die Maschinen- und Personalkosten sowie die indirekt mit der Produktion anfallenden Fertigungsgemeinkosten wie zum Beispiel Raumkosten, auftragsbezogene Herstellungskosten von Lehren und Prüfmitteln oder Kosten der Qualitätsüberwachung.

Für die Herstellung eines Umformrohteils besteht der Arbeitsplan zum Beispiel aus den Arbeitsgängen Vorfertigung, Erwärmen, Umformen und Endfertigung (siehe Bild 13.2). Hinter den einzelnen Arbeitsgängen können sich mehrere Einzelarbeitsschritte verbergen. Der Arbeitsgang Umformen besteht bei einem mehrstufigen Warmumformprozess beispielsweise aus den Positionen Erwärmen, Reckwalzen, Biegen, Vor- und Fertigformen und Abgraten. Für jede Position werden häufig eigene Betriebsmittel (Umformmaschinen) benötigt, die zu einer Umformlinie zusammengefasst werden können.

Jedes Betriebsmittel verursacht Kosten, die durch den Maschinenstundensatz (€/Stunde) bewertet werden. Die spezifischen Herstellkosten (€/Stück) für jeden Arbeitsgang ermitteln sich dann aus dem Maschinenstundensatz dividiert durch die *Produktivität* (Stück/Stunde). Die gesamten Fertigungskosten ergeben sich dann aus der Summe der spezifischen Herstellkosten aller Arbeitsgänge. Hieraus wird ersichtlich, dass die Fertigungskosten bei gegebenem Maschinenstundensatz ganz wesentlich von der Anzahl der benötigten Arbeitsgänge und der Produktivität beeinflusst werden.

Zur Vervollständigung soll an dieser Stelle auch erläutert werden, wie der Maschinenstundensatz strukturell ermittelt wird. Der *Maschinenstundensatz* eines Betriebsmittels ergibt sich aus den Positionen

- Personalkosten,
- Kapitalkosten,
- Fertigungsgemeinkosten,
- betriebliche Umlagekosten sowie der
- Auslastung des Betriebsmittels.

Die *Personalkosten* ergeben sich aus den Lohn- und Lohnnebenkosten des an dem Betriebsmittel und im unmittelbaren Umfeld eingesetzten Personals.

Unter *Kapitalkosten* werden die jährlichen Kosten für das eingesetzte Kapital verstanden; sie ergeben sich aus der kalkulatorischen Abschreibung und den kalkulatorischen Zinsen auf das eingesetzte Kapital. Beide werden wesentlich durch den *Wiederbeschaffungswert* und die wirtschaftliche Nutzungsdauer des Betriebsmittels beeinflusst.

Als *Fertigungsgemeinkosten* werden die Kosten bezeichnet, die nur indirekt etwas mit der Produktion eines bestimmten Bauteils zu tun haben. Hierzu gehören beispielsweise Hilfs- und Betriebsstoffe, Vorrichtungskosten, Raumkosten, Instandhaltungskosten.

Bei der Ermittlung des Maschinenstundensatzes muss bei einigen Kostenpositionen (nämlich den fixen Kosten, wie zum Beispiel den Kapitalkosten) die Auslastung des Betriebsmittels berücksichtigt werden, wobei man unter der *Auslastung* die Anzahl der Stunden pro Jahr versteht, in denen das Betriebsmittel Umformteile produziert. Ganz wesentliche Einflussparameter bei der Ermittlung der Auslastung sind die Anzahl der täglichen Produktionsschichten (1-Schicht-, 2-Schicht- oder 3-Schicht-Betrieb) und die technische Verfügbarkeit des Betriebsmittels.

13.5 Ausschuss und Nacharbeit

Bei der Massenproduktion ist nicht auszuschließen, dass auch nicht spezifikationsgerechte Bauteile produziert werden, die durch Qualitätssicherungsmaßnahmen identifiziert werden müssen. Der größte Anteil davon ist durch *Nacharbeit* weiterverwendbar. Der restliche Anteil muss als *Ausschuss* ausgesondert werden. Ausschuss und Nacharbeit verursachen Kosten, die in der Stückkostenkalkulation berücksichtigt werden müssen.

13.6 Logistikkosten

Unter *Logistikkosten* werden alle Kosten verstanden, die zwischen dem Zeitpunkt der Produktfertigstellung und der Anlieferung beim Kunden entstehen. Hierzu gehören beispielsweise Verpackungskosten, Transportkosten, Lagerkosten.

13.7 Verwaltung und Vertrieb

In jedem Unternehmen gibt es Bereiche, die zwar benötigt werden, die aber zur direkten Wertschöpfung eines Produkts nicht beitragen, vor allem aber einem spezifischen Produkt auch nicht direkt zugeordnet werden können (zum Beispiel Kosten für Vertrieb, Finanzbuchhaltung, Qualitätsmanagement). Diese Kosten werden als Gemeinkosten anteilig dem Produkt zugerechnet.

13.8 Kostenstruktur

Nachdem dargestellt wurde, welche Parameter auf die Stückkosten und damit auf die *Kostenstruktur* einwirken, stellt sich nun noch die Frage, welchen Anteil sie an den Gesamtkosten haben. Hierzu ist in Tabelle 13.1 die Kostenstruktur am Beispiel der Warmmassivumformung dargestellt.

Kostenparameter	Anteil
Materialkosten	30-50 %
Werkzeugkosten	circa 10 %
Rüstkosten	circa 5 %
Fertigungskosten	30-50 %
Ausschuss und Nacharbeit	0-5 %
Verwaltungs- und Vertriebskosten	5-10 %

Tabelle 13.1: Kostenstruktur Warmmassivumformung

Obwohl die Tabelle 13.1 einen ganz guten Überblick über die Kostenstruktur in der Warmmassivumformung gibt, so zeigt doch die Spanne der einzelnen Kostenblöcke, dass relativ große Kostenunterschiede vorhanden sind. Die Unterschiede sind wesentlich begründet durch die unterschiedlichen Bauteilkomplexitäten, die Fertigungsverfahren, den Automatisierungsgrad und die Mengenstrukturen.

Um langfristig unter nationalen und internationalen Wettbewerbsbedingungen bestehen zu können, muss ein Unternehmen durch kontinuierliche technische, organisatorische und investitionstechnische Maßnahmen die Leistungsparameter derart verbessern, dass sie schlussendlich Kostenreduzierungen nach sich ziehen.

14 Berufsbilder

Zur Branche Massivumformung gehören in Deutschland mehr als 200 meist mittelständische Unternehmen, die zusammen etwa 30.000 Mitarbeiter in unterschiedlichsten Tätigkeitsfeldern beschäftigen.

Die Massivumformung ist eine Zukunftstechnologie mit hocheffizienten Herstellverfahren. Internationaler Wettbewerb und knapper werdende Rohstoffressourcen erfordern, dass auch zukünftig die Prozesse und Verfahren noch effizienter und ressourcenschonender gestaltet werden. Hierzu bedarf es intelligenter Konzepte, die von hochmotivierten und gut ausgebildeten Menschen entwickelt und umgesetzt werden. Die Vielfältigkeit der Aufgabenstellungen erfordert ein großes Spektrum an unterschiedlichen Fachdisziplinen in den einzelnen Unternehmen der Branche Massivumformung, in denen bereits ausgebildete Menschen ein interessantes Aufgabengebiet finden oder aber junge Frauen und Männer einen ihren Neigungen entsprechenden Beruf erlernen und danach ausüben können.



Für die unterschiedlichen Bildungswege gelten verschiedene Voraussetzungen. Grundsätzlich wird bei den anerkannten, nach dem Berufsbildungsgesetz geregelten Ausbildungsberufen keine bestimmte schulische oder berufliche Vorbildung rechtlich vorgeschrieben. Die Einstellungsbedingungen können jedoch von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlich sein. Im Einzelnen:

Bei den *Ausbildungsberufen* wird von den Arbeitgebern in der Regel zumindest ein sehr guter Hauptschulabschluss erwartet.

Für die *Weiterbildungsberufe* wird im Allgemeinen ein Abschluss in einem der Fachrichtung entsprechenden Ausbildungsberuf sowie eine mehrjährige Berufspraxis vorausgesetzt.

Für ein *Studium* ist entweder die Fachhochschulreife oder die allgemeine Hochschulreife erforderlich. Dabei kann es notwendig sein, zusätzlich ein hochschulspezifisches Auswahlverfahren zu bestehen oder spezifische Praktika zu absolvieren.

Bild 14.1 gibt einen Überblick über typische Berufe in der Branche Massivumformung

Wie in jedem Industriebetrieb fällt auch in den Betrieben der Massivumformung in den unterschiedlichen Unternehmensbereichen eine Vielzahl von Aufgaben an, zum Beispiel in den Bereichen

- Vertrieb und Marketing,
- Produktentwicklung und -herstellung,
- Verwaltung.

Im Bereich *Einkauf, Vertrieb und Marketing* wird eng mit den Kunden und Lieferanten zusammengearbeitet. Neben der fachlichen Qualifikation sind eine gute Kommunikationsfähigkeit und gutes Verhandlungsgeschick vorteilhaft. Bei internationalen Kundenkontakten sind gute Fremdsprachenkenntnisse erforderlich.

Die wesentlichen Aufgaben und die Zuordnung typischer Berufsgruppen sind in Bild 14.2 dargestellt.

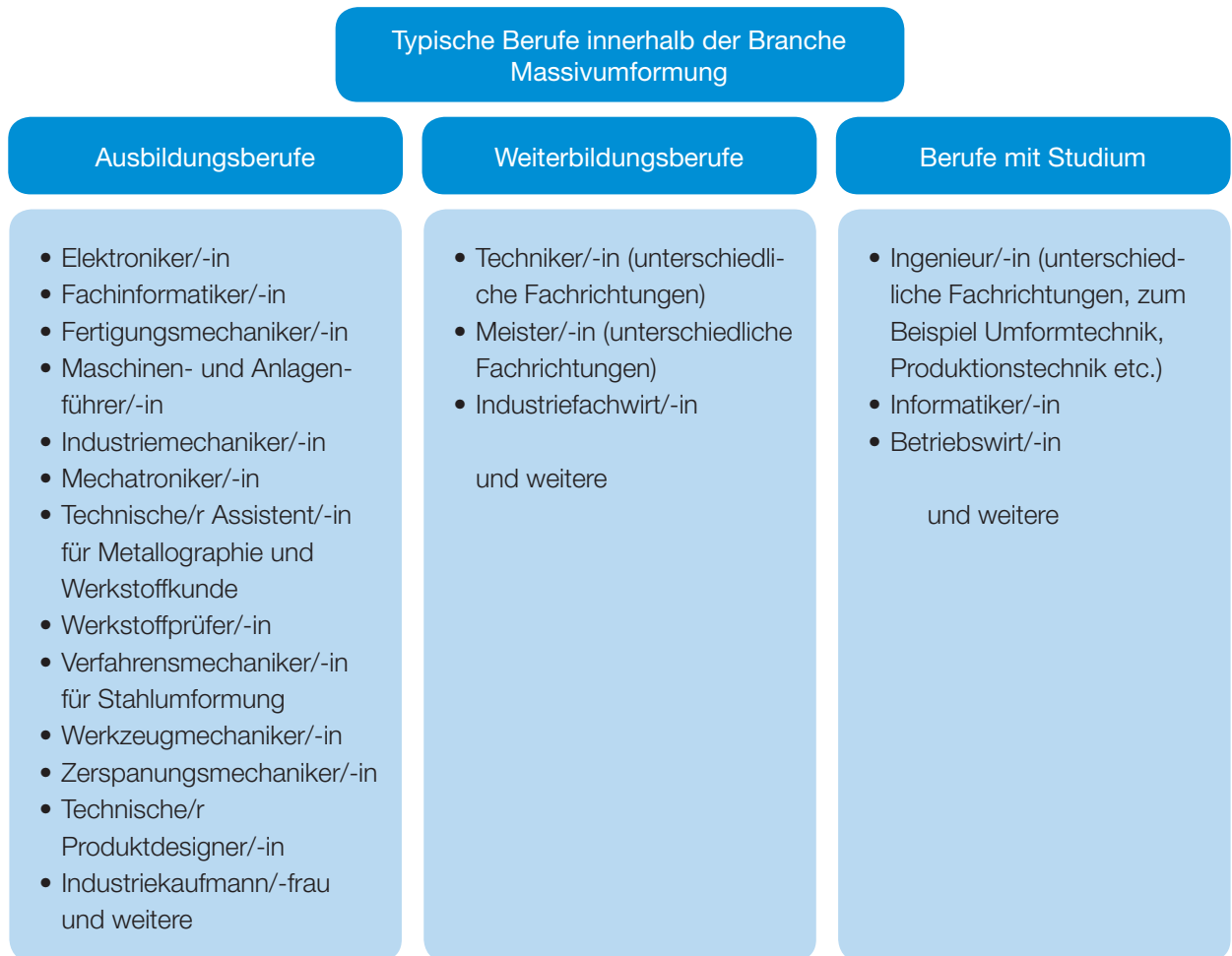


Bild 14.1: Typische Berufe innerhalb der Branche Massivumformung

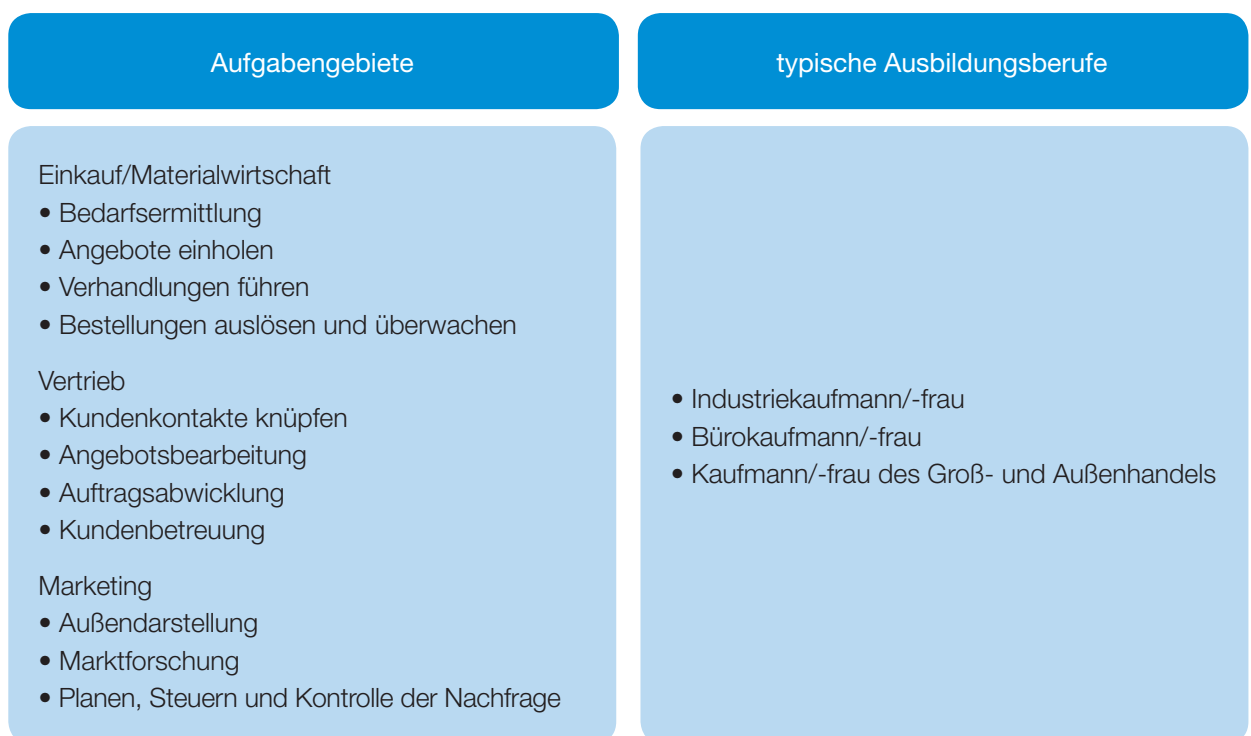


Bild 14.2: Typische Einkaufs-, Vertriebs- und Marketingaufgaben ausgewählter Ausbildungsberufe

Im Bereich der *Produktentwicklung und -herstellung* ist vor allem das Interesse an Technik gefragt. Interesse und Kenntnisse in den MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik) sind hier hilfreich.

In Bild 14.3 ist eine Auswahl von Aufgabengebieten bei Produktentwicklung und -herstellung in Umformbetrieben dargestellt.

Aufgabengebiete	typische Ausbildungsberufe
Konstruktion • CAD Daten und Zeichnungen erstellen • Erstellen und pflegen technischer Dokumente	• Technische/r Produktdesigner/-in
Arbeitsvorbereitung • Erstellen von Arbeits- und Prüfplänen • Kapazitätsplanung	• Industriekaufmann/-frau
Werkzeugbau • Herstellung von Werkzeugen, Lehren, Vorrichtungen • Nacharbeit und Reparatur von Werkzeugen • Kontrolle der Maßhaltigkeit	• Werkzeugmechaniker/-in • Zerspanungsmechaniker/-in
Produktion • Maschinen und Anlage rüsten, bedienen und überwachen • Überwachung der Fertigungsqualität	• Zerspanungsmechaniker/-in • Verfahrensmechaniker/-in für Stahlumformung • Maschinen- und Anlagenführer/-in
Qualitätssicherung • Kontrolle der Fertigungsqualität • Eingangsprüfungen wie zum Beispiel Werkstoffprüfungen	• Technischer/r Assistent/-in für Metallographie und Werkstoffkunde • Werkstoffprüfer/-in
Instandhaltung und Reparatur • Wartung, Pflege und Reparatur von Maschinen und Anlagen • Betreuung der Betriebstechnik (zum Beispiel Energieversorgung)	• Elektroniker/-in • Industriemechaniker/-in • Mechatroniker/-in
Logistik • Verpackung und Versandabwicklung von Produkten • Innerbetrieblicher Transport • Lagerung von Gütern	• Fachkraft für Lagerlogistik

Bild 14.3: Typische Aufgaben ausgewählter Ausbildungsberufe bei der Produktentwicklung und -herstellung

Im Bereich der *Verwaltung* sind Kenntnisse in Betriebswirtschaft, Personal- und Rechnungswesen erforderlich.

In Bild 14.4 ist eine Auswahl von Aufgabengebieten in der Verwaltung von Umformbetrieben dargestellt.

Aufgabengebiete	typische Ausbildungsberufe
Buchhaltung/Controlling • Erfassung und Buchung aller Kosten • Erstellung Jahresabschluss • Mahn- und Rechnungswesen • Regelmäßige wirtschaftliche Berichterstattung	• Industriekaufmann/-frau • Bilanzbuchhalter/-in
EDV • Betriebliche Hard- und Softwaresysteme einrichten und warten • Unterweisung von Anwendern • Planen von Nachrüstungen und Neuinstallationen	• Fachinformatiker/-in
Personalwesen • Planung Personalkapazität • Einstellungen/Kündigungen • Interne Weiterbildung • Entgeltmanagement	• Industriekaufmann/-frau • Personalkaufmann/-frau

Bild 14.4: Typische Verwaltungsaufgaben ausgewählter Ausbildungsberufe

Die Beschäftigungsfelder der Weiterbildungsberufe und der Berufe mit Studium sind prinzipiell die gleichen wie bei den Ausbildungsberufen, nur werden bei diesen Berufsgruppen in erster Linie Führungsaufgaben und/oder Entwicklungstätigkeiten wahrgenommen. So sind zum Beispiel typische Aufgaben eines Meisters, Technikers oder Industriefachwirts in Bild 14.5 dargestellt

Aufgabengebiete	typische Weiterbildungsberufe
• Planen, Koordinieren und Überwachen von Fertigungsabläufen • Einteilung von Mitarbeitern • Materialbedarf disponieren • Arbeitsleistung, Fertigungsqualität und Kostenentwicklung kontrollieren • Einarbeitung und Qualifizierung von Mitarbeitern • Einhaltung von betrieblichen, behördlichen und gesetzlichen Auflagen überwachen	• Meister/-in • Techniker/-in • Industriefachwirt/-in

Bild 14.5: Typische Aufgaben eines Meisters, Technikers oder Industriefachwirts

Typische Aufgaben eines Ingenieurs können sein:

Aufgabengebiete	typische Berufe mit Studium
• Technische Kundenbetreuung • Optimierung von Produktionsprozessen • Investitionsvorbereitung von Maschinen und Anlagen • Planung und Einführung neuer Prozesse (zum Beispiel Fertigungsprozesse, Prüfprozesse und so weiter)	• Ingenieur/-in

Bild 14.6: Typische Aufgaben eines Ingenieurs

Grundsätzlich stellt sich für bereits ausgebildete Menschen oder für Auszubildende die Frage, ob die Tätigkeit in einem mittelständischen Unternehmen oder in einem Großunternehmen ausgeübt werden soll oder ob die eine oder andere Branche besondere Vorteile bietet. Der besondere Reiz, in einem Unternehmen der Massivumformung zu arbeiten, kann durch die typischen Vorteile mittelständischer Unternehmen begründet werden:

- flache Hierarchien,
- kurze Entscheidungswege,
- Kreativität ist erwünscht, der Freiraum dafür wird gegeben,
- im Mittelstand werden individuelle Fähigkeiten gebraucht und gestärkt, der Einzelne zählt,
- breites Tätigkeitsfeld, wo Generalisten und Spezialisten gleichermaßen benötigt werden,
- gute Karrierechancen für Frauen und Männer,
- schnellerer Aufstieg und frühere Übernahme von Verantwortung als in großen Firmen beziehungsweise Konzernen,
- angenehme Arbeitsatmosphäre, insbesondere bei Familienunternehmen,
- der Mittelstand ist innovationsfreudig, das Initiieren anwendungsorientierter Entwicklungsprojekte ist die Regel,
- internationale Ausrichtung.

Für diejenigen, die mehr über die vielfältigen und faszinierenden Berufe und Tätigkeitsfelder in der Branche Massivumformung erfahren möchten, gibt es einen informativen Branchenfilm. Beispiele aus unterschiedlichsten Anwendungsbereichen verdeutlichen, wie heute Hightech-Umformprodukte entstehen und welche Rolle dabei die verschiedensten Berufsgruppen spielen (www.youtube.de/Massivumformung).

Und wer sich über mögliche Ausbildungsberufe ganz allgemein und neutral informieren möchte, der findet nachfolgend nützliche Tipps und Links:

Welche Berufe gibt es und wo kann man Informationen dazu finden?

Berufenet – das Netzwerk für Berufe – ist ein Online-Angebot der Bundesagentur für Arbeit, das umfassend, komfortabel und kostenlos Informationen und Suchmöglichkeiten aller Berufsbilder bereitstellt: www.berufenet.arbeitsagentur.de/berufe.

Welcher Schulabschluss wird für eine Ausbildung benötigt? Wie lange dauert eine Ausbildung?

Grundsätzlich wird bei den anerkannten, nach dem Berufsbildungsgesetz geregelten Ausbildungsberufen keine bestimmte schulische oder berufliche Vorbildung rechtlich vorgeschrieben. Die Einstellungsbedingungen können aber von Betrieb zu Betrieb unterschiedlich sein. Für rein schulische Ausbildungsgänge ist meist ein bestimmter Schulabschluss Voraussetzung. Genauere Informationen findet man bei der Bundesagentur für Arbeit: www.arbeitsagentur.de.

Weitere Internetseiten mit nützlichen Informationen und Hilfestellungen:

- rund um das Thema „Ausbildung und Berufswahl“: www.bibb.de/de/ausbildungsinfos-online.htm,
- speziell für junge Frauen: www.bibb.de/de/14587.htm,
- bundesweite Lehrstellenbörse der IHK zu allen Ausbildungsberufen: www.ihk-lehrstellenboerse.de.

15 Literaturverzeichnis

- /Adlo00/ Adlof, W., Schulz, V. S.: Freiformschmieden und Ringwalzen verbessern Bauteileigenschaften, Sonderdruck aus MM Maschinenmarkt 7/2000
- /Barg08/ Bargel, H.-J., Schulze, G.: Werkstoffkunde, Springer Verlag, 2008
- /Hivo10/ Hirschvogel Automotive Group: Massivumgeformte Komponenten, Hirschvogel Holding GmbH, 2010
- /Herb10/ Herbertz, R., Labs, R., Langejürgen, M.: Energiepotenziale in der Massivumformung; SchmiedeJOURNAL 3/2010
- /Herb11/ Herbertz, R., Licht, W., Fuss, F.: Materialeffizienz in der Massivumformung; SchmiedeJOURNAL 9/2011
- /Liew12/ Liewald, M., Kannewurf, M.: Kaltmassivumformung: Präzision in Serie, Info-Reihe Massivumformung, Extraausgabe 2012
- /IHT/ Industrieverband Härtetechnik (IHT): Technische Informationen
- /Keul11/ Keul, C., Mosecker, L., Bleck, W., Rekersdrees, T., Stüber, A., Schliephake, H., Beyer, C., Raedt, H.-W.: New developments in the material and process design of forged components in the automobile industry; 3rd International SCT Conference Steels for Cars and Trucks, June 5-9, 2011, Salzburg, Austria
- /Klug05/ Kluge, A., Faber, H.: Info-Reihe Massivumformung, Ausgabe 41, „Ringwalzen“, 2005
- /Lied05/ Liedtke, D.: Merkblatt 450 „Wärmebehandlung von Stahl – Härten, Anlassen, Vergüten, Bainitisieren“ Stahl-Informationszentrum, 2005
- /Oste98/ Ostermann, F.: Anwendungstechnologie Aluminium, Springer Verlag, 1998
- /Raed12/ Raedt, H.-W., Speckenheuer, U., Vollrath, K.: Neue Stähle für die Massivumformung; Info-Reihe Massivumformung, Extraausgabe 2012
- /Töns10/ Tönshoff, H. K.: Massivumformteile wirtschaftlich spanen; Info-Reihe Massivumformung, Extraausgabe 2010

16 Weitere Literatur

Hoffmann, H., Neugebauer, R. und Spur, G.: Handbuch Umformen, Hanser Verlag, 2012

Doege, E.; Behrens, B.-A.: Handbuch Umformtechnik, Springer Verlag, 2010

Tschätsch, H. und Dietrich, J.: Praxis der Umformtechnik, Vieweg+Teubner Verlag, 2008

Klocke, F., König, W.: Fertigungsverfahren Umformen, Springer Verlag, 2006

Lange, K.: Umformtechnik, Band 2: Massivumformung, Springer Verlag, 1988

Info-Reihe Massivumformung, Extraausgaben, Industrieverband Massivumformung e. V.:

- Simulation in der Massivumformung, 2013
- Simulation of forging processes, 2013
- Neue Stähle für die Massivumformung, 2012
- Kaltmassivumformung: Präzision in Serie, 2012
- Massivumformteile wirtschaftlich spanen, 2010
- Leichtbau durch Massivumformung, 2004

17 Bildernachweis

Bilder, die nachfolgend nicht aufgeführt sind, stammen vom Industrieverband Massivumformung e. V., Hagen.

2.4; 4.2	Nach /Keul11/
2.8	MAHLE International GmbH
2.9; 2.11	Daimler AG
2.12	ZF Friedrichshafen AG
2.13	Caterpillar Inc.
2.14	Rolls-Royce Deutschland Ltd. & Co. KG
2.17	Stahl-Armaturen PERSTA GmbH
2.18	Siemens-Pressebild
3.7	Nach Lindner, H., Dissertation, 1965
5.1	Nach DIN 8582
6.16	Nach /Lied05/
1.5; 6.29; 7.2 bis 7.13; 10.2; 11.7; 11.8; 12.1; 12.5	CDP Bharat Forge GmbH
2.5; 7.14 bis 7.21; 9.5; 12.2; 12.3; 12.4; 12.8; 12.9	Hirschvogel Automotive Group
7.22 bis 7.34; 9.4; 10.5	SEISSENSCHMIDT AG
7.35 bis 7.43; 10.4	Karl Diederichs KG
8.4; 8.10; 8.13; 8.16; 8.20	LASCO Umformtechnik GmbH
8.5; 8.7; 8.14; 8.17; 8.18; 10.20	Schuler AG
8.6; 8.8; 8.9; 8.11; 8.12; 8.19	SMS Meer GmbH
8.15	Hatebur Umformmaschinen AG
9.15; 10.6	ThyssenKrupp Gerlach GmbH
10.3	Oben und Mitte: Hirschvogel Automotive Group, unten: Karl Diederichs KG
10.13; 10.14	Nach DIN EN ISO 286-1
10.15 bis 10.19	Nach DIN EN 10243-1
11.1	Nach DIN EN ISO 9000
12.6	Proheris Daten- und Prozesstechnik GmbH
14 Aufmacherbild	Agentur simplon.



A. + E. Keller GmbH & Co. KG

Niedereimerfeld 10 · 59823 Arnsberg
Telefon: +49 2931 899120 · E-Mail: info@aekeller.com · www.aekeller.com

Mit Leidenschaft für das Automobil – Gegründet 1919 ist A. + E. KELLER Kaltumformtechnik der kompetente und zuverlässige Partner in der Kaltumformung. Bei der Entwicklung individueller Problemlösungen in der Kaltumformung nehmen wir eine führende Stellung innerhalb der internationalen Automobilindustrie ein. Unser motiviertes Team stellt auf modernsten Anlagen ein breites Spektrum an anspruchsvollen Kaltfließpressteilen aus Stahl und Aluminium her. Bei der Auftragserteilung konstruieren und erproben wir Umformwerkzeuge, die im eigenen Werkzeugbau wirtschaftlich gefertigt werden. Ein weiteres Plus ist unsere große Kompetenz im Bereich der Weiterbearbeitung – bei uns ergänzen sich die Möglichkeiten der spanlosen und spanenden Fertigung in idealer Weise.



Amtek Tekfor Holding GmbH

Amtek Tekfor Holding GmbH · Hauptstrasse 33 · 77652 Offenburg, Germany
Phone: +49 7831 808 0 · Fax: +49 7831 808 115
E-mail: info@amtektekfor.com · www.amtektekfor.com

The Amtek Group, headquartered in India, is one of the largest integrated component manufacturers in India with a strong global presence. It has also become one of the world's largest global forging and integrated machining companies. The Group has operations across Forging, Iron and Aluminium Casting, Machining and Sub-Assemblies. It has world-class facilities across India, UK, Germany, Brazil, Italy, Mexico, Hungary and US.



Buderus Edelstahl Schmiedetechnik GmbH

Buderusstraße 25 · 35576 Wetzlar
Telefon: +49 6441 3744513 · E-Mail: info@buderus-forging.com · www.buderus-forging.com

Die Buderus Edelstahl Schmiedetechnik GmbH mit Sitz in Wetzlar zählt zu den namhaften deutschen Gesenkschmieden für hochwertige Gesenkschmiedeteile. Der Fertigungs-Gewichtsbereich liegt von 2,0 bis 220,0 kg – inklusiv mechanischer Bearbeitung. Die Gesenkschmiede entwickelt und produziert in erster Linie Antriebs- und Achskomponenten für die Nutzfahrzeugindustrie, aber auch hochwertige Bauteile für Bau und Landmaschinen, den Offshorebereich, die Bergbautechnik, Bahntechnik sowie für den Armaturen und den allgemeinen Maschinenbau. Gesenkschmiedestücke von Buderus Edelstahl Schmiedetechnik GmbH sind entscheidend für die Sicherheit des Kundenprodukts, zum Beispiel im Verbau einer LKW Achse. Buderus Edelstahl Schmiedetechnik GmbH ist ein Mitglied der Böhler-Uddeholm Gruppe.



CDP BHARAT FORGE

CDP Bharat Forge GmbH

Mittelstraße 64 · 58256 Ennepetal
Telefon: +49 2333 7960 · E-Mail: info@cdp.de · www.cdp-bharatforge.de

CDP BHARAT FORGE gehört innerhalb der global vernetzten Kalyani Gruppe zu Bharat Forge Ltd., dem weltweit größten Anbieter von geschmiedeten und einbaufertig bearbeiteten Komponenten für die unterschiedlichsten Anwendungen. Wir produzieren unter anderem Achsschenkel für LKWs, Kolben für hochbeanspruchte Dieselmotoren und Kurbelwellen für PKWs. Weiterhin fertigen wir Verschleißteile für Baumaschinen sowie Komponenten für Eisenbahn-Weichensysteme. Wir sind ein Full-Service-Supplier, der seine Kunden unter Einsatz modernster Entwicklungssoftware bereits bei der Bauteilentwicklung und bei der Werkstoffauswahl unterstützt. Dabei bieten wir auch Bauteiltests auf eigenen Prüfständen an.



Qualitäts-Schmiedestücke

Karl Diederichs KG – Dirostahl

Luckhauser Straße 1-5 · 42899 Remscheid
Telefon: +49 2191 5930 · E-Mail: info@dirostahl.de · www.dirostahl.de

Dirostahl steht für eine Jahrhunderte lange Schmiedetradition und ist mit 490 Mitarbeitern eine der größten und modernsten privaten Freiformschmieden in Europa. Gefertigt werden Freiformschmiedestücke von 10 kg bis ca. 35.000 kg, nahtlos gewalzte Ringe bis ca. 3.500 mm Außen-Ø, geschmiedeter Stabstahl bis 1.000 mm rund bzw. vierkant und bis 15 m Länge aus unlegierten und legierten Stählen. Optimale Fertigungsmöglichkeiten und hohe Liefersicherheit sind durch ein gut sortiertes Vormateriallager (rund 30.000 t in ca. 60 Güten) sowie eine Vielzahl leistungsfähiger Fertigungseinrichtungen für Warmumformung, Wärmebehandlung, mechanische Bearbeitung und Werkstoffprüfungen gegeben. Zertifizierungen nach DIN EN ISO 9001, 14001 und 50001 und Zulassungen diverser Abnahmegesellschaften liegen vor.



Dold Kaltfließpressteile GmbH

Langenbacher-Straße 17-19 · 78147 Vöhrenbach
Telefon: +49 07727 509100 · E-Mail: info@doldgmbh.de · www.doldgmbh.de

Dold Kaltfließpressteile GmbH liefert Rohteile und einbaufertige Endprodukte aus Stahl und Aluminium. Als Entwicklungspartner führender Automobilhersteller und deren Systemlieferanten begleiten wir die Projekte unserer Kunden von der Definitionsphase mit Prototypenfertigung bis zur Serienreife und der anschließenden Großserienfertigung. Unsere Kernkompetenzen sind das Kaltfließpressen und das Halbwarmumformen von Stahl und Aluminium sowie die einbaufertige Zerspanung.



FUCHS LUBRITECH GmbH – LUBRODAL Division

Werner-Heisenberg-Straße 1 · 67661 Kaiserslautern
Telefon: +49 6301 3206760 · E-Mail: aba.lubrodal@fuchs-lubritech.de · www.fuchs-lubritech.com

FUCHS LUBRITECH konzentriert sich seit mehr als 60 Jahren auf die Entwicklung und Herstellung von Hochleistungsschmierstoffen für anspruchsvollste Anwendungen. Durch prozessübergreifende, technische Beratungskompetenz tragen wir zur Effizienz und Wirtschaftlichkeit unserer Kunden bei. Unsere Marken wie unter Anderem LUBRODAL, CEPLATTYN oder LAGERMEISTER sind in vielen Branchen feststehende Begriffe. Das Kerngeschäft der LUBRODAL Division von FUCHS LUBRITECH ist die Herstellung von Umformschmierstoffen. Diese werden bei der Warmumformung von Metallen (Schmiedeeoperationen) eingesetzt und weltweit vertrieben. Die Hauptmärkte sind West- und Osteuropa, Süd- und Nordamerika und Asien, darunter China und Indien.



GEDORE Tool Center GmbH & Co. KG

Remscheider Straße 149 · 42899 Remscheid
Telefon: +49 2191 596 900 · E-Mail: gtc@gedore.com · www.gedore.com

Die GEDORE Gruppe verfügt am Standort Remscheid über ein Schmiedezentrum (vormals die Firma KRUMM), welches 1864 gegründet wurde und damit seit mehr als 145 Jahren in Deutschland geschmiedete Qualitäts-Werkzeuge produziert. Hohe Fertigungsqualitäten werden gewährleistet durch die Verwendung hochwertiger Rohstoffe, eine strenge Qualitätssicherung und letztendlich durch langjährige Erfahrungen und Fachwissen unserer Mitarbeiter. Von der technischen Beratung und Konstruktion bis hin zur Umsetzung werden Kundenwünsche konsequent aus einer Hand verfolgt. Dabei erfolgt die Gesenk-Herstellung auf eigenen, modernen CNC-Maschinen. GEDORE fertigt Qualitätsschmiedestücke für jeden Verwendungszweck und alle Industriezweige in Kleinst- und Großserien.



GKN Driveline Trier GmbH

Hafenstraße 41 · 54293 Trier
Telefon: +49 651 96610 · E-Mail: TRI.info@gkndriveline.com · www.gkndriveline.com

Im Jahr 1964 gegründet, haben wir uns durch Innovationskraft und Leistungsfähigkeit einen Namen gemacht. Heute gehören wir mit circa 450 Mitarbeitern zur GKN Driveline und beliefern direkt oder über Schwesterfirmen weltweit alle namhaften Automobilhersteller. Im Mittelpunkt unseres Produktspektrums stehen präzisionsumgeformte Teile für den Antriebsstrang. Unser Programm reicht von kalt fließgepressten Teilen mit einem Gewicht von weniger als 0,1 kg bis zu 30 kg warm geschmiedeten Achswellen.



Hammerwerk Fridingen GmbH

Dr.-Werner-Esser-Straße 1 · 78567 Fridingen
Telefon: +49 7463 810 · E-Mail: info@hammerwerk.de · www.hammerwerk.de

Egal ob zu Wasser, zu Lande oder in der Luft – wo unsere Produkte eingesetzt werden, kommt es seit über 60 Jahren auf Präzision, Top-Qualität und Zuverlässigkeit an. Für unsere Kunden fertigen wir Produkte, die ihre Funktion oft unter härtesten Bedingungen im Verborgenen erfüllen. Unsere Fertigung stellt ein breites Spektrum von Gesenkschmiedestücken und Warmfließpressteilen mit einem Gewicht von 0,5 bis 80 kg dar. Dabei verarbeiten wir Langteile bis zu 800 mm und drehsymmetrische Teile mit einem Durchmesser von 50 bis 425 mm. Mit unserer zerspanenden Bearbeitung können wir alle metallischen Werkstoffe mit den üblichen CNC-Verfahren einbaufertig bearbeiten.



Hirschvogel Automotive Group

Hirschvogel Holding GmbH

Dr.-Manfred-Hirschvogel-Straße 6 · 86920 Denklingen
Telefon: +49 8243 2910 · E-Mail: hhg@hirschvogel.com · www.hirschvogel.com

Mit einem Umsatz von 869 Millionen Euro im Jahr 2014 zählt die Hirschvogel Automotive Group zu den erfolgreichsten Herstellern von massiv umgeformten Bauteilen aus Stahl und Aluminium. Mehr als 4.000 Mitarbeiter stellen weltweit Umformteile und Komponenten für die Automobilindustrie und ihre Systemlieferanten her. Mit den Verfahren Gesenkschmieden, Halbwarmumformung, Kaltfließpressen und Rundhämmern von Stahl und Aluminium sowie Weich- und Hartbearbeitung kann ein breites Spektrum von umgeformten oder auch einbaufertigen Komponenten bis circa 25 kg für die Geschäftsfelder Diesel-/Benzineinspritzung, Getriebe, Antriebsstrang, Fahrwerk und Motor abgedeckt werden.



Johann Hay GmbH & Co. KG

Automobiltechnik · Haystraße 7-13 · 55566 Bad Sobernheim
Telefon: +49 6751 830 · E-mail: info@hay.de · www.hay.de

HAY- ERSTKLASSIG IN FORM GEBRACHT Als namhafter Zulieferer massiv umgeformter Komponenten für Getriebe, Motoren und Achsen, die wir in Deutschland an drei Standorten produzieren, sorgen wir dafür, dass Millionen von Fahrzeugen tagtäglich sicher und zuverlässig bewegt werden. Wir liefern seit mehr als 80 Jahren Produkte höchster Qualität und Dauerhaltbarkeit weltweit an unsere Kunden der PKW-, Nutzfahrzeug-, Agrar- und Lagerindustrie. Je nach Kundenwunsch reicht die Fertigungstiefe dabei vom geschmiedeten oder gewalzten Rohteil, über angearbeitete Bauteile, bis hin zu einbaufertigen Komponenten. HAY ist der größte europäische Hersteller von warm gewalzten nahtlosen Ringen, querkeilgewalzten Wellen, Achsantriebs- und Tellerrädern für Differentialgetriebe, sowie europaweit führender Produzent von Zahnkränzen.



LASCO Umformtechnik GmbH

Hahnweg 139 · 96450 Coburg
Telefon: +49 9561 6420 · E-Mail: lasco@lasco.de · www.lasco.com

Als Partner der Schmiedeindustrie entwickelt und baut LASCO Maschinen und Anlagen, mit denen sich Umformaufgaben so präzise und wirtschaftlich wie nur möglich lösen lassen. Leistung, Qualität und Fortschritt unserer Erzeugnisse begründen die weltweite Anerkennung von LASCO Umformtechnik als Technologielieferant und Innovator der Umformindustrie. Unser Fokus gilt der Warm-, Halbwarm- und Kaltmassivumformung. Maßstab unseres Handelns sind die Wünsche unserer Kunden. Wir analysieren, finden und realisieren die beste Lösung für ihre individuellen Anforderungen. Dies schließt Automatisierungs-, Handlings- und Steuerungstechnik ebenso ein wie die Überholung und Modernisierung von Maschinen und Anlagen aller Hersteller.



MASCHINENFABRIK
ALFING KESSLER GMBH

Maschinenfabrik ALFING Kessler GmbH

Auguste-Kessler-Straße 20 · 73433 Aalen
Telefon: +49 7361 5014758 · E-Mail: large@mfa.alfing.de · www.alfing.de

Die Maschinenfabrik ALFING Kessler GmbH steht für höchste Kompetenz in Kurbelwellen. In über 100 Jahren wurden mehr als 8 Millionen Kurbelwellen produziert. Auf einer Produktionsfläche von über 90 000 m² fertigen wir mit modernsten Fertigungseinrichtungen Kurbelwellen von 0,3 m bis zu 8 m Länge. Als mittelständisches Unternehmen mit rund 1250 Mitarbeitern ist die Maschinenfabrik ALFING Kessler global ausgerichtet und hat sich auf den Weltmärkten eine herausragende Position erarbeitet. Im Bereich Großkurbelwellen von 1,5 bis 8 m Länge ist die Maschinenfabrik ALFING Kessler der weltgrößte unabhängige Anbieter. Kurbelwellen-Rohteile bis zu einer Länge von 4,5 m werden in unserer Gesenkschmiede hergestellt. Rohteile bis 9 m Länge werden in unserer Pressenschmiede umgeformt.



Metaldyne Zell GmbH & Co. KG – Sales Office Zell –

Buchenwaldstraße 2 · 77736 Zell am Harmersbach
Telefon: +49 7835 7810 · E-Mail: info@metaldyne.de · www.metaldyne.de

Unsere Sonderstellung in der Automobilzulieferindustrie beweist sich in unserer Kompetenz, eine große Produktpalette an Metallkomponenten und Bauteilen für Motoren, Kraftübertragungs- und Getriebesysteme zu entwickeln und herzustellen. Unsere qualitativ hochwertigen Produkte bringen Sie unseren gemeinsamen Zielen näher: Optimierung der eingesetzten Ressourcen, Verringerung der Prozesszeiten und somit Kosteneinsparungen und Verbesserung von Fahrzeugqualität und -leistung.



Presstrade Gruppe

Angensteinerstrasse 6 · 4153 Reinach · Schweiz
Telefon: +41 61 7162000 · E-Mail: info@presstrade.com · www.presstrade.com

Die Presstrade Gruppe konzipiert seit über 20 Jahren maßgeschneiderte Lösungen im Bereich der Massivumformung. Ein großes Maschinenangebot, Marktkenntnis, jahrzehntelange Erfahrung sowie ein weltweites Servicenetz machen Presstrade hier zum Weltmarktführer. Neben dem Handel mit Gebraucht- und Neumaschinen im Schmiedebereich bietet Presstrade auch technische Dienstleistungen wie Reparaturen, Überholungen, Modernisierungen und Automatisierungen an. Maschinentransporte sowie weitere Logistikdienstleistungen organisiert die hauseigene Spedition STL.



MacLean-Fogg
COMPONENT SOLUTIONS
Presswerk Krefeld

Presswerk Krefeld GmbH & Co. KG

Idastraße 60 · 47809 Krefeld
Telefon: +49 2151 5810 · E-Mail: info-pwk@macleanfogg.com · www.pwk-mf.de

Das 1898 gegründete Presswerk Krefeld (PWK) ist seit Jahren ein Inbegriff für hochwertige Komponenten, die in Lenkungs- und Radaufhängungssystemen der Automobilindustrie zum Einsatz kommen. Seit 2004 ist das Presswerk Krefeld als rechtlich selbstständiges Unternehmen in die MacLean-Fogg Component Solutions (MFCS), einem der weltweit größten privaten Umformunternehmen, eingegliedert. MFCS gehört zur MacLean-Fogg Company (Mundelein, Illinois, USA). Als Technologieführer der Kaltmassivumformung, des Gesenkschmiedens, des Aluminiumschmiedens, des Kunststoffspritzgießens sowie der Fertigbearbeitung hat sich PWK zu einem der führenden Lieferanten auf seinem Gebiet entwickelt. Wir fertigen Sicherheitsteile mit höchsten Qualitätsanforderungen für nahezu jeden Automobilhersteller weltweit.

RASCHE UMFORMTECHNIK
GMBH & CO. KG



Rasche Umformtechnik GmbH & Co KG

Unterm Grünen Berg 2-4 · 58840 Plettenberg
Telefon: +49 2391 6040 · E-Mail: contact@rasche.de · www.rasche.de

WIR FORMEN ZUKUNFT.

Mit über 180 qualifizierten Mitarbeitern werden seit mehr als 90 Jahren unter Einsatz von modernsten Fertigungsverfahren und einer breiten Werkstoffpalette Warmumformteile mit einem Stückgewicht von 50 g bis zu 14 kg entwickelt und gefertigt. Die Weiterverarbeitung der Rohteile zu einbaufertigen Produkten bis hin zur Baugruppen-Montage ist unsere Stärke. RASCHE verfügt über ein qualifiziertes Qualitäts-, Umwelt- und Energiemanagement und ist zertifiziert nach ISO 9001, ISO/TS 16949, ISO 14001 und EN ISO 50001.



Richard Neumayer, Gesellschaft für Umformtechnik mbH

Wilhelm-Zangen-Straße 8 · 77756 Hausach
Telefon: +49 7831 8030 · E-Mail: neumayer@r-neumayer.de · www.r-neumayer.de

entwickeln – schmieden – bearbeiten – montieren.

Als eines der führenden Unternehmen für Umformtechnik stellen wir jährlich über 40.000 Tonnen einbaufertige Präzisionsschmiedeteile für den Antriebsstrang, Fahrwerk, Motor, Lenkung sowie den Maschinen- und Straßenbau her. Hinzu kommen Armaturen und Flanschen in allen Edelstahlqualitäten und Sonderlegierungen. Wir schmieden Ideen! Aus rohem Stahl schmieden wir Baugruppen als massiver Leichtbau. Durch unsere Fertigungstechnik und unser Bauteildesign ergeben sich im massiven Leichtbau signifikante Gewichtseinsparungen. Binden Sie uns von Beginn an ein, damit komplexe und facettenreiche Schöpfungen entstehen können, die so staunend betrachtet werden wie Schmetterlinge, die entpuppt die Flügel ausbreiten und in die Welt hinausfliegen. Unser Leistungsangebot und unser Service umfassen eine Spannweite, die von der Entwicklung über die Herstellung bis hin zur Logistik reicht.



Schmiedag GmbH

Grüntaler Straße 11 · 58089 Hagen
Telefon: +49 2331 1280 · E-Mail: vertrieb@schmiedag.de · www.schmiedag.de

Im Verbund der Georgsmarienhütte Holding GmbH ist die Schmiedag ein eigenständiges Unternehmen mit Standorten in Hagen und Homburg. Mit dem Schwesterwerk Wildauer Schmiedewerke GmbH & Co. KG in Wildau fertigen wir Gesenkschmiedeteile mit Stückgewichten von 5 kg bis 3,5 to, Längen bis 4.000 mm und Ø bis 1.100 mm. Mechanische Bearbeitungen, wie Drehen, Fräsen, Verzahnung, Oberflächenveredelung, Komponentenfertigung, Montage sowie geschmiedete Reibschweißteile auf Anfrage. Unsere Märkte sind unter anderem die Fahrzeug- und Baumaschinenindustrie, der Maschinen- und Großmotorenbau sowie die Schiffs-, Bahn- und Wehrtechnik. Zertifiziert nach: ISO/TS16949, DIN EN ISO 9001, DIN EN 14001, ISO 50001. Kundenzulassungen, wie SNCF, Trenitalia und viele mehr – weltweit zugelassen bei allen namhaften Abnahmegesellschaften.



SCHMIEDEWERK STOOSS AG

Maienbrunnenstrasse 8 · 8908 Hedingen, Schweiz
Telefon: +41 43 322 6200 · E-Mail: info@stooss.com · www.stooss.com

Schmiedeteile bis 5 to. freiformgeschmiedet und gewalzt, Platten, Wellen, Flanschwellen, abgesetzte Wellen, Scheiben, Nabenscheiben, Buchsen, nahtlos warmgewalzte rechteckige und profilierte Ringe, Kugeln, Flansche. Werkstoffsorten: Kohlenstoffstähle, niedrig- und hochlegierte Stähle, Nickel und Nickellegierungen, Aluminium, Bronze, Kupfer. Niederlassungen im Ausland: Deutschland, USA, Asien. Industrien: Öl und Gas, Futtermittel, Maschinenbau, Energie, Baumaschinen, Schiffsbau sowie Bergbau- und Bahntechnik.



Schuler AG

Bahnhofstraße 41 · 73033 Göppingen
Telefon: +49 7161 66307 · E-Mail: forging@schulergroup.com · www.schulergroup.com/massivumformung

Seit über 170 Jahren steht der Name Schuler für innovative Technologien, Qualität und kundenorientierte Serviceleistungen in der Umformtechnik. Rund um die Welt ist Schuler heute überall dort zu finden, wo produktions sichere und wirtschaftliche Massivumformsysteme zum Einsatz kommen. Dafür sorgen über 5.000 Mitarbeiter an Standorten in Europa, den USA, in Mexiko, Brasilien, Indien, China und Russland. Durch die Integration der Müller Weingarten AG und der Marke Bêché wurde die Technologieführerschaft im globalen Wettbewerb weiter ausgebaut. Als führender Systemlieferant der Kalt-, Halbwarm- und Warmumformung bietet Schuler alles aus einer Hand. Von der Bauteilentwicklung über die Methodenplanung und den Werkzeugbau bis zur Inbetriebnahme effizienter Produktionsanlagen. Anlagentechnologie von Schuler bietet einen entscheidenden Wettbewerbs- und Qualitätsvorsprung.



SEISSENSCHMIDT AG

Daimlerstraße 11 · 58840 Plettenberg
Telefon: +49 2391 9150 · E-Mail: info@seissenschmidt.com · www.seissenschmidt.com

Komponenten von SEISSENSCHMIDT haben die Geschichte der Mobilität mitgeprägt. Ob es beim Bau der transsibirischen Eisenbahn Ende des 19. Jahrhunderts war oder beim legendären VW Käfer. Auch heute gehört SEISSENSCHMIDT zu den Taktgebern für den Fortschritt in der mobilen Welt. Mit einem hochqualifizierten Team und modernster Ausstattung fertigen wir Präzisionskomponenten für die Antriebs- und Fahrwerktechnik. Als Partner nahezu aller namhaften Automobilhersteller und Systemlieferanten begleiten wir Projekte von der Idee bis zur professionellen Serienfertigung.



SIEPMANN-WERKE GmbH & Co. KG

Emil-Siepmann-Straße 28 · 59581 Warstein
Telefon: +49 2902 76201 · E-Mail: info@siepmann.de · www.siepmann.de

Unsere Produkte sind anspruchsvolle Gesenkschmiedeteile von 5 bis 1.500 kg, auch einbaufertig spanabhebend bearbeitet, geschweißt, lackiert und zu Baugruppen montiert. Unsere Kunden sind Technologieunternehmen der Bereiche Maschinenbau, Verkehrswesen und der Energietechnik. Die Entwicklung unseres Produktprogramms erfolgt in enger Zusammenarbeit mit unseren Kunden. Sie legen Wert auf stabile langfristige Lieferbeziehungen, kurze Lieferzeiten, qualitativ hochwertige Produkte, wirtschaftliche Problemlösungen sowie hohe Flexibilität im Tagesgeschäft und bei Neuentwicklungen. Als unabhängiges Familienunternehmen in der vierten Generation gehören wir zu den europäischen Marktführern.

ELOTHERM

SMS group

SMS Elotherm GmbH

In der Fleute 2 · 42897 Remscheid
Telefon: +49 2191 8910 · E-Mail: info@sms-elotherm.com · www.sms-elotherm.com

Elotherm ist Technologieführer und weltweit kompetenter Partner, wenn es um energieeffiziente und innovative Maschinen und Anlagen der Induktionstechnologien geht. Auf Basis jahrzehntelanger Erfahrungen entwickelt, produziert und vertreibt Elotherm sowohl Einzelmaschinen als auch komplette Anlagen für die Integration in Fertigungslinien. Elotherm bedient seine internationalen Kunden durch lokale Vertriebs- und Servicestandorte.



SMS Meer GmbH

Ohlerkirchweg 66 · 41069 Mönchengladbach
Telefon: +49 2161 3500 · www.sms-meer.com

SMS Meer ist ein Unternehmensbereich der SMS group, die mit mehr als 13.000 Mitarbeitern einen Umsatz von rund 3,5 Milliarden Euro erwirtschaftet. Im Unternehmensbereich SMS Meer sind die Schwermaschinen- und Anlagenbauaktivitäten für die Bereiche Stahlwerke/Stranggusstechnik (Langprodukte), Rohrwerke, Profil-, Schmiede- und NE-Anlagen sowie Wärmetechnik gebündelt. Das Spektrum reicht von Einzelmaschinen über Modernisierungen bis hin zur Errichtung schlüsselfertiger Werke. Das integrierte Leistungsportfolio umfasst Planung, Finanzierung, Engineering, Fertigung, Montage, Inbetriebnahme und Service aus einer Hand. Die globale Präsenz von SMS Meer wird von operativen Einheiten in vielen Ländern auf der ganzen Welt unterstützt.



SONA BLW Präzisionsschmiede GmbH

Frankfurter Ring 227 · 80807 München
Telefon: +49 89 323060 · E-Mail: info@sona-blw.com · www.sona-blw.de

Die SONA BLW Präzisionsschmiede fertigt in sechs Werken weltweit mit rund 2.000 Mitarbeitern Getriebe- und Achskomponenten sowie Schwerfahrzeugteile. Die Standorte befinden sich in Remscheid, München, Duisburg (Deutschland), in Selma (USA) sowie in Gurgaon und Pune (Indien). Unsere Stärken liegen in der Gruppe und in den Kernkompetenzen einer am Kunden orientierten Präzisionsschmiede. Entwicklungskompetenz bei Getriebe- und Achskomponenten nehmen weltweit eine bedeutende Stellung ein. Mit dem Trend zur einbaufertigen Komponente erweitern wir unsere vielfältigen Möglichkeiten auch auf die mechanische Bearbeitung.



Tribo-Chemie GmbH

Gutenbergstraße 4 · 97762 Hammelburg
Telefon: +49 9732 78380 · E-Mail: info@tribo-chemie.com · www.tribo-chemie.com

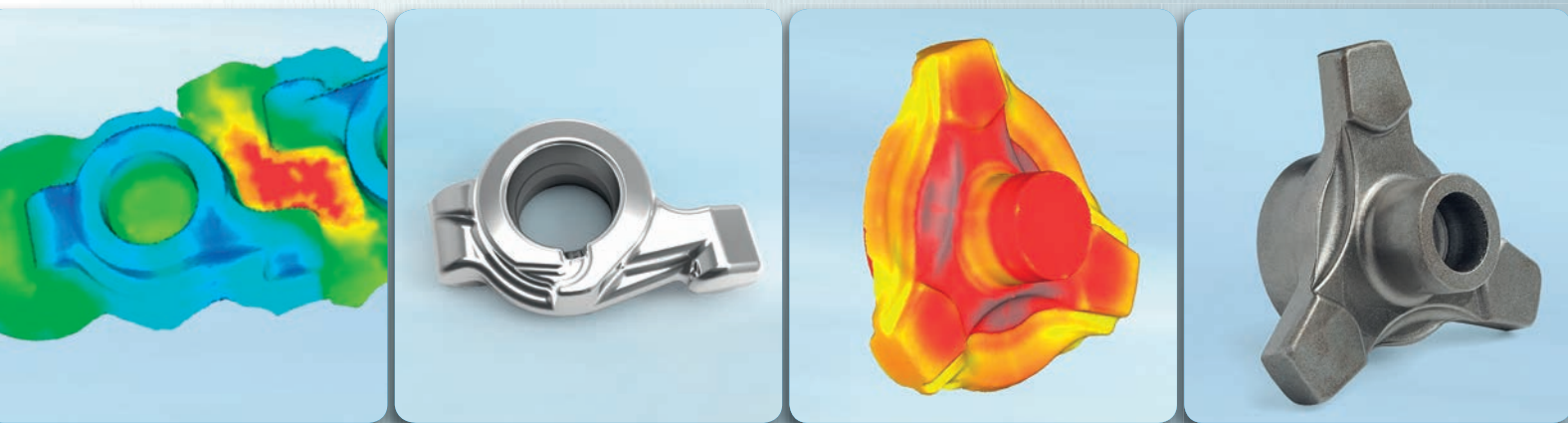
Tribo-Chemie GmbH löst seit knapp 25 Jahren technisch schwierige Aufgabenstellungen zusammen mit ihren Kunden. Neue Rezepte mit außergewöhnlichen Rohstoffen werden herstellungstechnisch für die Anwendung beim Kunden perfektioniert. Der eigene Anspruch an eine hohe Umweltverträglichkeit und Ressourcenschonung wird von der F&E Abteilung exzellent umgesetzt. Ein motiviertes Team stellt sicher, dass von der Entwicklung bis zur Lieferung und Anwendung beim Kunden alles „wie geschmiert“ läuft. Unsere Graphitex® Produkte für die Umformung überzeugen durch verbesserte und optimierte Prozessabläufe beim Anwender. Unsere Marken Graphitex® und Isolat® werden weltweit vertrieben.

Industrieverband
 Massivumformung e. V.

Goldene Pforte 1
 58093 Hagen, Deutschland
 Telefon: +49 2331 958830
 Telefax: +49 2331 958730

E-Mail:
orders@massivumformung.de

Weitere Informationen unter:
www.massivumformung.de



ISBN: 978-3-928726-32-0

Den Veröffentlichungen
 des Industrieverbands
 liegen die Ergebnisse der
 Gemeinschaftsforschung
 der im Industrieverband
 Massivumformung e. V.
 zusammengeschlossenen
 Mitgliedsunternehmen
 zugrunde.

Stand: April 2015
 B-0415-10 DOM