



S421_002

Woran denken wir bei einem Kraftfahrzeug zuerst? Zumeist steht der Antrieb, der Motor, die Leistung, das Image an erster Stelle.

Was wäre aber ein Auto ohne die Karosserie? Sie ist die zentrale Baugruppe eines Fahrzeugs, welche alle weiteren Fahrzeugkomponenten verbindet und ganz „nebenbei“ auch noch die Passagiere aufnimmt.

Sie vereinigt in sich hohe technische Ansprüche ebenso wie die Erfüllung von Komfortwünschen der Passagiere.

Außerdem sorgt besonders die Karosserie für das spezifische Gesicht eines Fahrzeuges und damit letztendlich auch der Automarke.

Eine moderne Karosserie muss möglichst das gesamte „Autoleben“ in einem guten Zustand bleiben, damit keine unnötigen Kosten auftreten. So wird auch ein schneller moralischer Verfall eines Fahrzeugmodells vermieden und die Marke steht in einem hohen Ansehen.

Wichtig ist auch, dass Schäden an einer Karosserie bei evtl. späteren Unfällen repariert werden können und so diese hochwertige Fahrzeug-Baugruppe in ihren Eigenschaften und in ihrem Aussehen erhalten bleibt.

Dieses Selbststudienprogramm soll grundlegende Zusammenhänge von der Materialkunde, der Stahlerzeugung, den Behandlungsverfahren bis zur Lackierung im Überblick erklären. Dies soll Grundlage für das bessere Verständnis der anschließenden Abhandlungen zu den Reparaturarbeiten an einer Karosserie sein.

Das Selbststudienprogramm stellt die Konstruktion und Funktion von Neuentwicklungen dar! Die Inhalte werden nicht aktualisiert.

Aktuelle Prüf-, Einstell- und Reparaturanweisungen entnehmen Sie bitte der dafür vorgesehenen Service-Literatur.



**Achtung
Hinweis**



| | | |
|---|-----------|---|
| Einleitung | 4 |  |
| Historischer Abriss | 4 | |
| Die Karosserie | 6 | |
| | | |
| Grundlagen - Material | 8 |  |
| Die Grundlagen - Material allgemein | 8 | |
| Die Grundlagen - Stahl | 14 | |
| Die Grundlagen - Behandlung von Stahl | 24 | |
| Die Grundlagen - Aluminium | 28 | |
| | | |
| Stähle für den Karosseriebau | 30 |  |
| Die Klassifizierung von Stählen für den Karosseriebau | 30 | |
| Die Festigkeitssteigerung von Stahl | 31 | |
| Die Karosseriestruktur | 38 | |
| | | |
| Grundlagen - Verfahrenstechnik | 40 |  |
| Die Herstellung der Halbzeuge | 40 | |
| Die Tailored Blanks | 46 | |
| Die Fügeverfahren | 48 | |
| Die Beschichtungsverfahren | 56 | |
| | | |
| Korrosionsschutz | 60 |  |
| Die Vorbehandlung | 60 | |
| Die Nahtabdichtung | 61 | |
| Der Steinschlagschutz | 62 | |
| Der Schutz gegen Kontaktkorrosion | 63 | |
| Die Farbgebung | 65 | |
| | | |
| Reparatur | 66 |  |
| Die Grundlagen | 66 | |
| Die Reparaturmethoden | 67 | |
| | | |
| Glossar | 74 |  |
|  Im Glossar finden Sie die Erklärung der HERVORGEHOBENEN Begriffe | | |

Einleitung



Historischer Abriss

Einführung

Karosserie früher und heute – wie veränderten sich Anforderungen und Aufgaben der Karosserie im Zuge der technischen Entwicklung?

Zu Beginn etwas zum Begriff „Karosserie“ – mit Karosserie, abgeleitet aus dem Französischen <carosserie> – bezeichnet man den kompletten Aufbau eines Kraftfahrzeuges. In der Fachsprache wird sie auch Fahrzeugaufbau genannt, weil sie auf einem Fahrgestell oder einem Fahrwerk aufbaut.

Historisch könnte man den Beginn der Karosserieentwicklung gleichsetzen mit dem ersten Aufbau auf ein Fahrzeug mit Rädern. Dazu müssten dann auch bereits erste offene und später geschlossene Kutschenwagen zählen.

Wir wollen in diesem Selbststudienprogramm Karosserien immer im Zusammenhang mit Kraftfahrzeugen beschreiben.

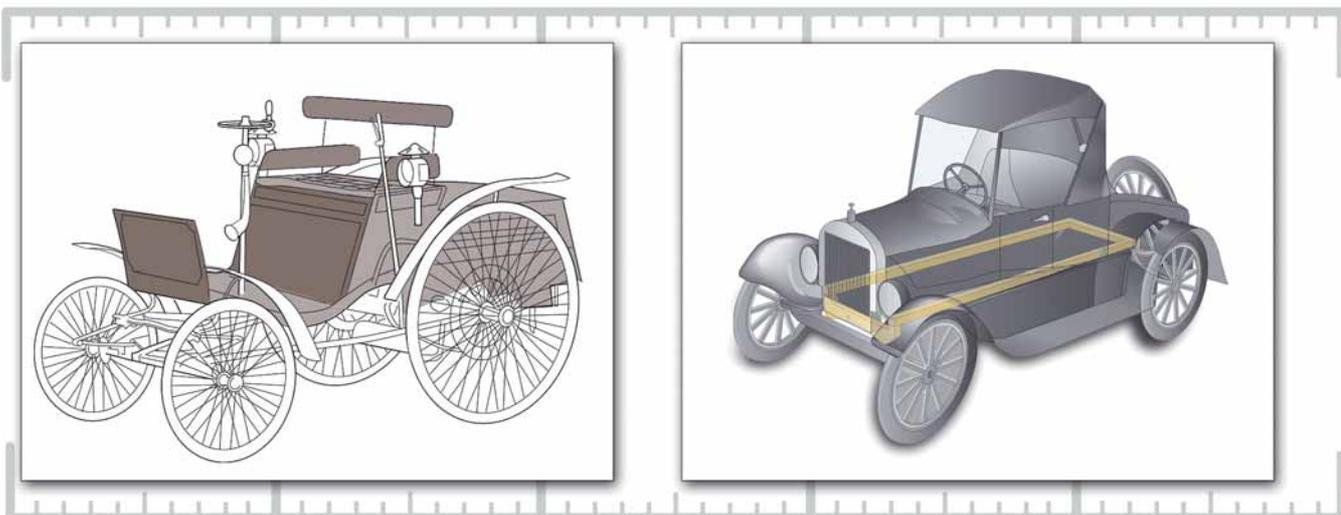
Karosserie nicht selbsttragend

Die ersten Karosserien waren nicht selbsttragend – sie bauten auf einem Rahmen oder einem Fahrgestell, auch Chassis genannt, auf. Als Rahmen wurden Leiterrahmen und Rohrrahmen verwendet. Noch heute werden Leiterrahmen für Lastkraftwagen und Geländewagen eingesetzt.

Karosserien waren nicht grundsätzlich an einen Fahrzeughersteller gebunden. So gab es Chassishersteller und Karosseriehersteller. Entsprechend beliebig konnten deshalb Karosserien auf unterschiedliche fahrfertige Chassis angepasst und aufgebaut werden.

Später wurden Karosserien unter Verwendung eines Plattformrahmens gefertigt. Dazu wurde der Karosserieaufbau auf einen speziell für diesen Aufbau vorgesehenen Plattformrahmen aufgesetzt und verbunden. Erst danach erfolgte das Aufsetzen auf das fahrfertige Chassis.

... von Beginn des Kraftfahrzeugbaus bis heute ...



Kutschenwagen
Holz/Stahl

Karosserie separat auf fahrfertigem Chassis,
z. B. beim T-Modell von Ford



Karosserien selbsttragend

Wegen notwendiger Gewichtsreduzierung im Fahrzeugbau wurde nach Lösungen für eine Karosserie ohne separaten und schweren Rahmen gesucht. Das sollte mit einer Karosserie erreicht werden, die allein durch ihre Struktur selbsttragend war. Unterstützt wurde diese Entwicklung auch durch neue technische Möglichkeiten in der Blechbearbeitung.

Bei diesem Konstruktionsprinzip sind die tragenden Karosseriestrukturen durch unterschiedliche Füge-techniken, wie z. B. Schweißen, Löt- und Kleben, fest und unlösbar miteinander verbunden. Diese Bauweise ist heute allgemeiner Standard in der PKW-Fertigung.

Materialeinsatz

Die ersten Karosserien bestanden noch aus Holz, welches durch entsprechende Außenbeschichtung aus Lack, Stoff oder Kunststoff optisch aufgewertet und gleichzeitig gegen äußere Einflüsse geschützt wurde.

Moderne Karosserien werden zunehmend nicht nur in ihren Strukturen und in deren Querschnitten optimiert. Immer mehr werden für ganz bestimmte Karosseriebereiche maßgeschneidert spezielle Werkstoffe eingesetzt. Bei den Werkstoffen muss nach den jeweiligen Materialien und deren Behandlung unterschieden werden. Mit diesen unterschiedlichen Materialien soll immer besser den partiellen Belastungen der Karosserie in mechanischer und auch in korrosionstechnischer Hinsicht entsprochen werden.

Als Werkstoff wird in erster Linie Stahl eingesetzt. Im Sinne des Leichtbaus kommen auch zunehmend Aluminium und Kunststoff zum Einsatz.



Karosserie mit Plattformrahmen

Selbsttragende aktuelle Karosserie

S421_081



Die Karosserie

Die Karosserie wird häufig zuerst im Sinne des Designs wahrgenommen und verstanden. Erst danach folgen in der Regel Vorstellungen zum technischen Komfort und zur Bequemlichkeit.

Im Kern ist die Karosserie aber zu allererst das Teil eines Fahrzeuges, welches den Transport von Passagieren ermöglicht – sie ist die eigentliche „Transporthülle“ für die zu transportierenden Passagiere.

Anforderungen an eine Karosserie

Im Zuge der technischen Weiterentwicklung hat sie bis heute ein immer komplexeres Aufgabenspektrum zu erfüllen:

- Transportraum für die Passagiere
- Erfüllung von Komfortansprüchen, wie z. B. zur Bequemlichkeit, Schalldämmung usw.
- Aufnahme aller technischen Komponenten für den Antrieb und die Kraftübertragung
- Aufnahme aller technischen Komponenten für die Komfortsysteme
- Aufnahme der Heizungs-, Lüftungs- und Klimasysteme
- Aufnahme aller Sicherheitssysteme
- Gestaltung der Karosserie für einen optimalen Schutz gegen mögliche schädliche Innen- und Außeneinwirkung, wie z. B. bei Unfällen
- Imagewirkung

Aufbau einer Karosserie

Die Karosserie kann in zwei Hauptbereiche unterschieden werden:

- die innere Karosseriestruktur und
- die äußere Beplankung der Karosseriestruktur

Der innere Teil der Karosseriestruktur, auch Fahrgastzelle genannt, muss wegen der Sicherheitsanforderungen besonders stabil gegen Verformung ausgelegt sein.

Der Front- und Heckbereich der Karosserie soll die Aufnahme und das Abbauen von Aufprallenergie optimal ermöglichen (Knautschzonen im Sinne der Sicherheitsanforderungen bei einem Crash). Dies gilt bei modernen Fahrzeugen auch zunehmend für die Seitenbereiche und das Dach.

Reparaturen an einer Karosserie

Wegen der stabilen Auslegung der inneren Karosseriestruktur sind Reparaturen an diesen Partien sehr aufwändig.

An die Karosseriestruktur angebundene Schraubteile (Karosseriehaute) werden, wenn sie stark beschädigt sind, ersetzt.



Der strukturelle Aufbau einer Karosserie soll am Beispiel der Karosserien des aktuellen Golf und Passat gezeigt werden.

Die Karosserie zeigt die innere Karosseriestruktur gemeinsam mit Teilen der Außenbeplankung.

Karosserie des Golf Modelljahr 2009



mit Außenbeplankung

S421_082

Karosseriestruktur,
Außenbeplankung durchsichtig



S421_005

Karosserie des Passat Modelljahr 2006



mit Außenbeplankung

S421_083

Karosseriestruktur,
Außenbeplankung durchsichtig



S421_006

Die Grundlagen - Material allgemein

Bei modernen Karosserien wird für die einzelnen Karosserieteile immer spezifizierteres Material eingesetzt. Um die Hintergründe für die jeweilige Materialfestlegung besser zu verstehen, wollen wir zu Beginn einige Grundlagen aus der Materialkunde behandeln.



Kristallstrukturen

Jede Materie besteht, unabhängig von ihrem Aggregatzustand (gasförmig, flüssig oder fest), aus ATOMEN verschiedenen Typs (Eisen, Natrium, Gold, Stickstoff, Sauerstoff usw.). Die ATOME verhalten sich wie feste Kugeln, deren Größe je nach ihrer Beschaffenheit variiert.

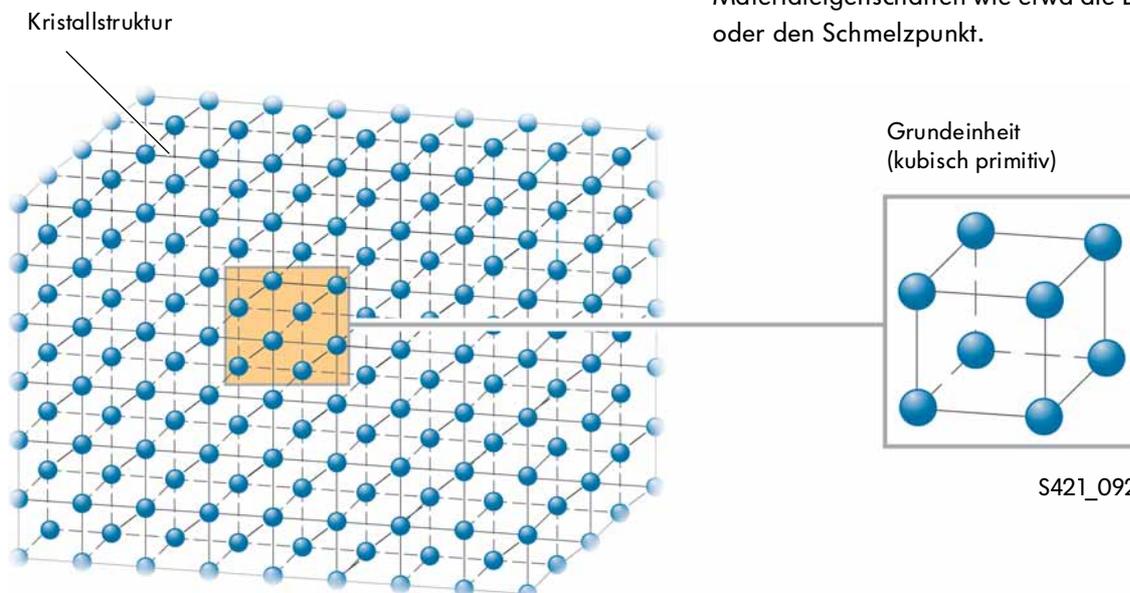
Die folgenden Beschreibungen behandeln die Zusammenhänge zu den Kristallstrukturen am Beispiel von Metallen. Sind die Metalle bei der Schmelze noch in flüssigem Zustand, so bewegen sich die ATOME rein zufällig, ohne eine fest definierte Position zu behalten.

Wenn die Stoffe durch Abkühlung fest werden, bewegen sich die ATOME nicht mehr und ordnen sich in einer fest definierten, dreidimensionalen Form, der „Kristallstruktur“, an.

Die Kristallstruktur kann auf die jeweils kleinste Grundeinheit reduziert werden. In ihrer einfachsten Form kann eine solche Grundeinheit z. B. kubisch primitiv sein.

Je nach Art der Materie sind neben den kubisch primitiven Formen z. B. kubisch-raumzentrierte und kubisch-flächenzentrierte oder auch hexagonale Kristallformen möglich.

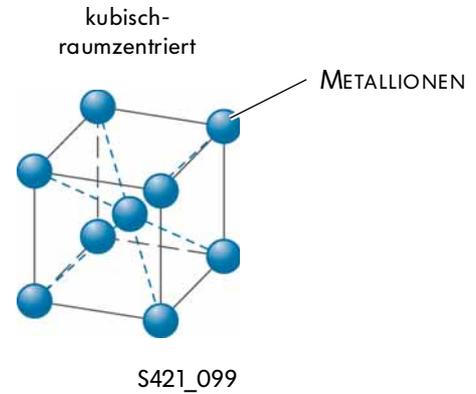
Der Kristallstrukturtyp bestimmt charakteristische Materialeigenschaften wie etwa die Dichte, die HÄRTE oder den Schmelzpunkt.



Das dargestellte Kristallgitter stellt einen willkürlich gewählten Ausschnitt aus einer Kristallstruktur dar. Die gelb in der Abbildung hervorgehobenen ATOME sollen beispielhaft eine Grundeinheit der Kristallstruktur zeigen – in diesem Fall einen kubisch primitiven Kristall. Ausführlicher werden die möglichen Kristallformen auf der nächsten Seite erläutert.

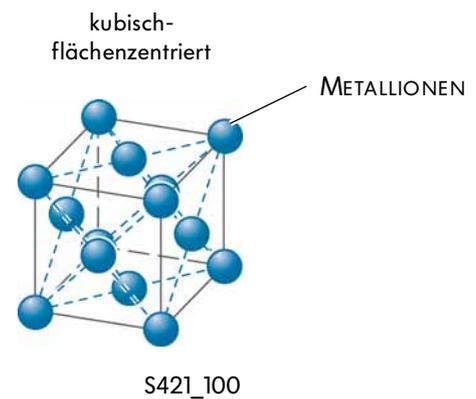
Metalle kristallisieren vor allem in drei Kristallformen:

- kubisch-raumzentrierter Kristall
Die METALLIONEN ordnen sich so, dass die Verbindungslinien zwischen den Ionen einen Würfel bilden. In der Raummitte des Würfels sitzt ein weiteres Metallion.
Diesen Kristallisierungstyp finden wir bei Chrom, Molybdän, Vanadium, Wolfram sowie bei Eisen unterhalb ca. 900 °C.

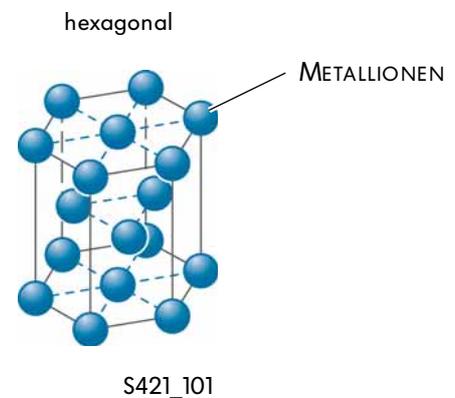


METALLIONEN = elektrisch geladene Atome

- kubisch-flächenzentrierter Kristall
Die Grundform des Kristalls ist ebenfalls ein Würfel. Zusätzlich zu den 8 METALLIONEN an den Eckpunkten befindet sich jeweils ein Ion in der Mitte der 6 Seitenflächen.
Diesen Kristallisierungstyp finden wir z. B. bei Blei, Aluminium, Kupfer, Nickel sowie bei Eisen oberhalb ca. 900 °C.



- hexagonaler Kristall
Die Grundform dieses Kristalls ist ein Prisma mit sechseckiger Grund- und Deckfläche. In der Mitte der Grund- und Deckfläche befindet sich ebenfalls jeweils ein METALLION. Zusätzlich sind im Inneren des Kristalls noch drei weitere METALLIONEN angeordnet.
Diesen Kristallisierungstyp finden wir z. B. bei Magnesium, Titan und Zink.

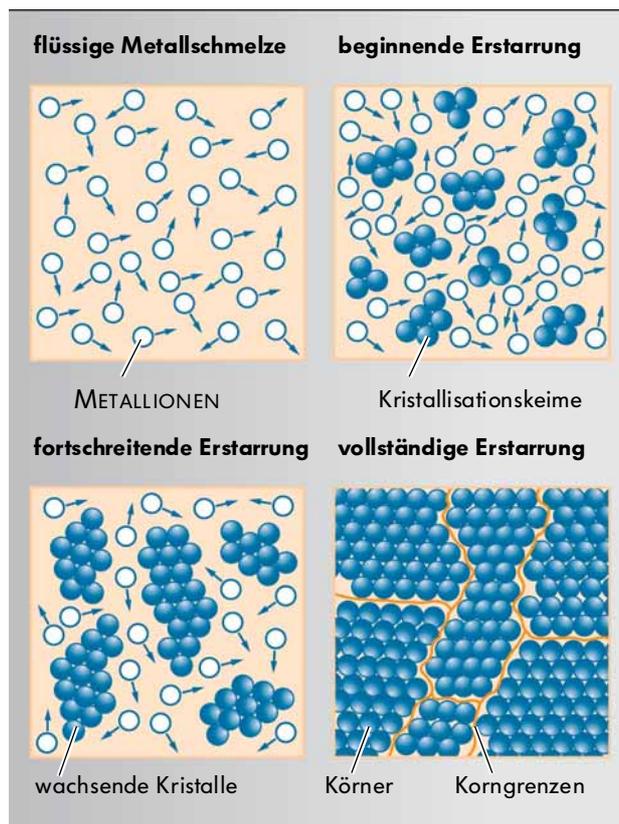


Grundlagen - Material

Metallgefüge

In der **flüssigen Metallschmelze** bewegen sich METALLIONEN und freie ELEKTRONEN willkürlich durcheinander. Es ist noch keine spezifische Ordnung vorhanden.

Erst mit der **beginnenden Erstarrung** bildet sich eine Ordnung aus. An Stellen, an denen zuerst die Erstarrungstemperatur erreicht wird, beginnt die Ausbildung von Kristallisationskeimen.



S421_089

Mit **fortschreitender Erstarrung** lagern sich an diese Keime METALLIONEN an und es bilden sich Kristallgitter aus. Die Kristallgitter wachsen weiter, bis sie an ebenfalls wachsende benachbarte Kristallgitter stoßen. Weiter können sie nicht wachsen.

Die nach der **vollständigen Erstarrung** entstandenen Kristalle sind unregelmäßig in ihrer äußeren Form – man nennt sie auch Kristallite oder Körner – sie bilden das Gefüge eines Metalls.

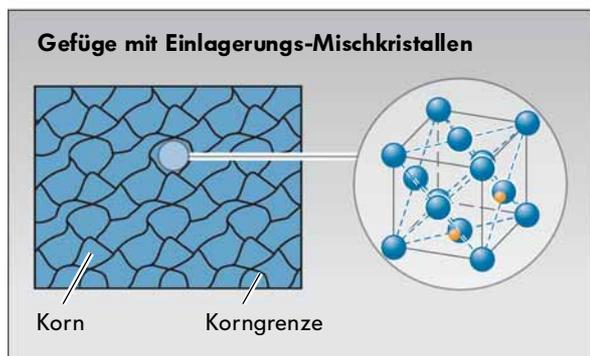
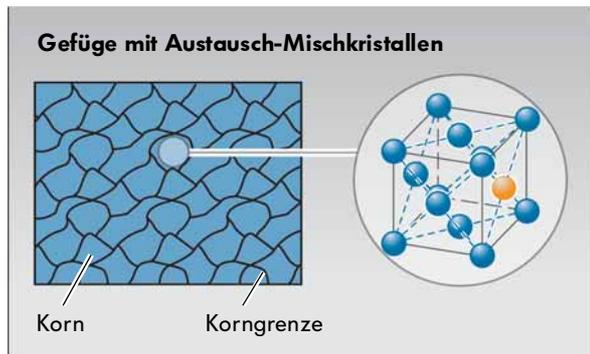
In der technischen Anwendung wird Eisen nicht in seiner reinen Form, sondern als LEGIERUNG in verschiedensten Formen verwendet. Eisen und Legierungsbestandteile werden miteinander geschmolzen; dabei lösen sich die Legierungszusätze im Grundmetall Eisen. Je nach Mischungsverhältnis zwischen Eisen und Legierungsbestandteilen kommt es zur Ausbildung unterschiedlicher Gefügearten.

Gefügearten

Mischkristall-Legierung

Werden in einem Kristall ATOME des Grundmetalls durch ein Ion des Legierungsmetalls ersetzt, spricht man vom Austausch-MISCHKRISTALL.

Ordnen sich die Ionen des Legierungsmetalls zwischen den METALLIONEN an, so nennt man diesen Kristall Einlagerungs-MISCHKRISTALL.

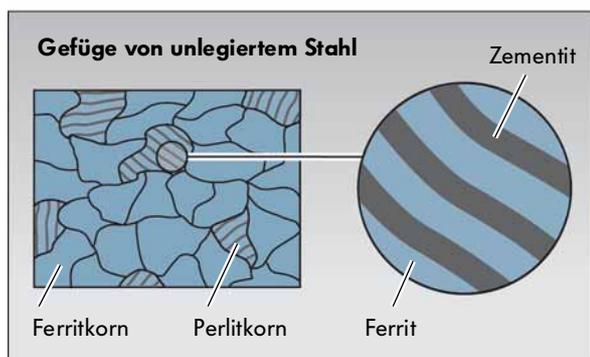
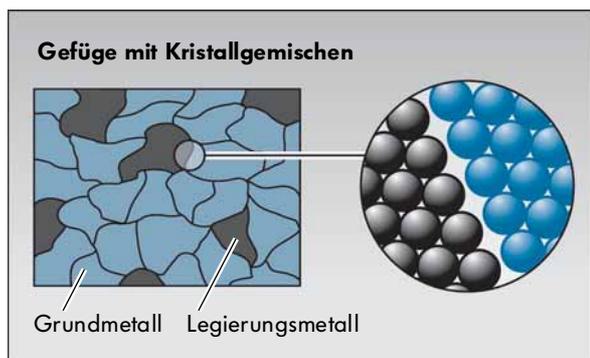


S421_090

Kristallgemisch-Legierung

Entmischen sich beim Erstarren der Schmelze Legierungsbestandteile und jeder Bestandteil bildet eigene Kristalle, so spricht man vom Kristallgemisch.

Eine Besonderheit stellt unlegierter Stahl dar. Legierungsbestandteil ist hier der Kohlenstoff. Er ist im Stahl chemisch als Eisenkarbid (Zementit) gebunden und durchzieht die Körner der Eisenkristalle (Ferrit) in dünnen Streifen – diese Körner werden als Perlit bezeichnet.



S421_091



Grundlagen - Material

Mechanische Eigenschaften

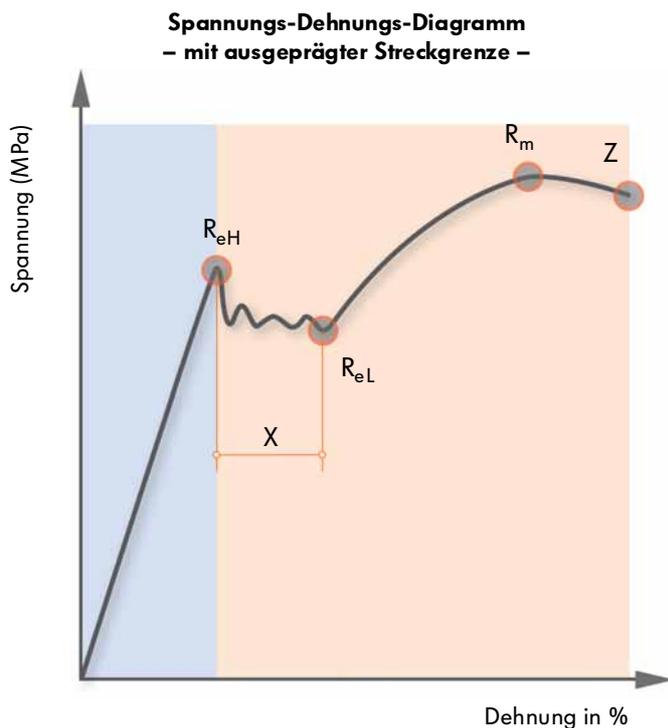
Die mechanischen Eigenschaften von Stoffen werden durch Laborversuche bestimmt, wobei der üblichste Versuch der Zugversuch zur Ermittlung der Festigkeit ist.

Für den Zugversuch werden Proben des untersuchten Stoffes bei Raumtemperatur einer steigenden Zugbelastung ausgesetzt. Alle Proben müssen eine genormte Größe und Form haben, um die Ergebnisse bei unterschiedlichen Stoffen vergleichen zu können.

Während des Versuchs wird die Belastung ermittelt, die zur Verformung der Probe bis hin zum Bruch erforderlich ist und inwiefern die Probe deformiert wurde. Damit kann das Spannungs-Dehnungs-Diagramm (Belastung im Verhältnis zum ursprünglichen Querschnitt der Probe) erstellt werden.

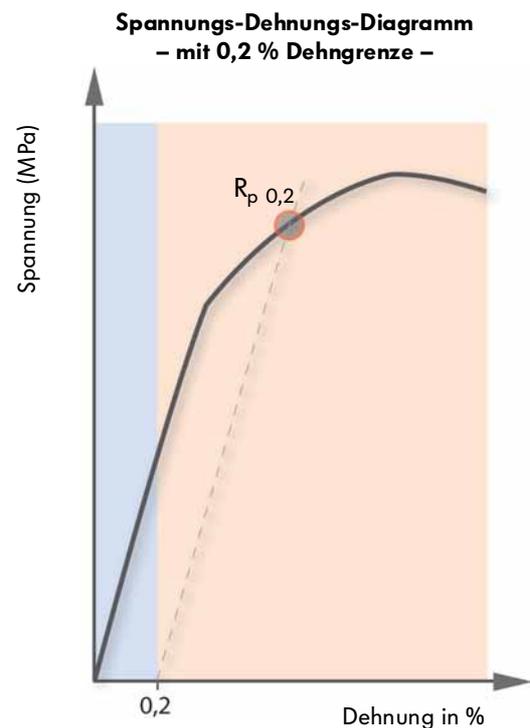
Je nach Art des Materials kann im Kurvenverlauf eine ausgeprägte Streckgrenze (Streckbereich) oder ein kontinuierlicher Übergang vom elastischen Bereich in den plastischen Bereich (mit 0,2 % Dehngrenze) auftreten.

Die beiden charakteristischen Kurvenverläufe sind Beispiele – sie können je nach Werkstoff oder dessen Variation deutlich voneinander abweichen.



Elastizitätsbereich
Plastizitätsbereich

S421_008



S421_093

Als Maßeinheit gilt die im internationalen Maßsystem übliche Einheit, das Pascal (Pa). Wegen der sehr hohen Werte wird meist das MegaPascal (MPa) verwendet: $1 \text{ MPa} = 1\,000\,000 \text{ Pa}$.

Es wird allerdings auch noch die Maßeinheit Newton (N) pro Quadratmillimeter verwendet: $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$.

Analyse des Spannungs-Dehnungs-Diagrammes

Eine detaillierte Analyse des Spannungs-Dehnungs-Diagramms gibt eine Reihe von Informationen, unter denen folgende hervorzuheben sind:



Streckgrenze R_{eH} und R_{eL}

Zu Beginn der Lastaufbringung erfolgt die Dehnung der Probe elastisch, d. h. nach Entlastung nimmt der Probekörper seine Ausgangslänge wieder ein. Dieses elastische Verhalten hält bis zum Erreichen der Streckgrenze R_{eH} vor. Deshalb kann diese Grenze auch als Elastizitätsgrenze bezeichnet werden

(Das ist eine beispielhafte und vereinfachte Betrachtungsweise für dieses Selbststudienprogramm - es gibt in der Praxis natürlich eine Vielzahl von Varianten des Kurvenverlaufs, bei denen z. B. auch die Elastizitätsgrenze kurz vor der Streckgrenze liegen kann - solche Fälle sollen aber nicht als Grundlage für die weiteren Betrachtungen im Selbststudienprogramm dienen).

Die Elastizitätsgrenze trennt den Elastizitätsbereich vom Plastizitätsbereich.

Mit dem Überschreiten der Streckgrenze R_{eH} (Elastizitätsgrenze) beginnt sich die Probe plastisch zu verformen. Je nach Art des Werkstoffes kann die Streckgrenze auch in einem Bereich, dem Streckbereich „X“, mit oberer Streckgrenze R_{eH} und unterer Streckgrenze R_{eL} verlaufen (siehe Bild S421_008).

Tritt diese ausgeprägte Streckgrenze nicht auf, so wird als Ersatzstreckgrenze die 0,2 %-Dehngrenze bestimmt. Das ist der Punkt, an dem 0,2 % bleibende Dehnung festgestellt wird. Dazu wird eine Parallele zum linearen Anstieg im Abstand von 0,2 % Dehnung gezogen.

Wo sich diese Gerade mit der Kurve schneidet, ist die Ersatzstreckgrenze $R_{p 0,2}$ (siehe Bild S421_093).

Zugfestigkeit oder Bruchgrenze R_m

Hier erreicht die Spannung ihr Maximum. Die Spannung R_m stellt die höchste Belastung dar, die ein Querschnitt aushält. Von da an beginnt sich die Probe einzuschnüren – die Querschnittsfläche wird kleiner. Da die Spannung als Kraft pro Querschnittsfläche ermittelt wird, nimmt der für eine weitere Deformation erforderliche Kraftaufwand nach dem Punkt R_m ab.

Bruchpunkt (Z):

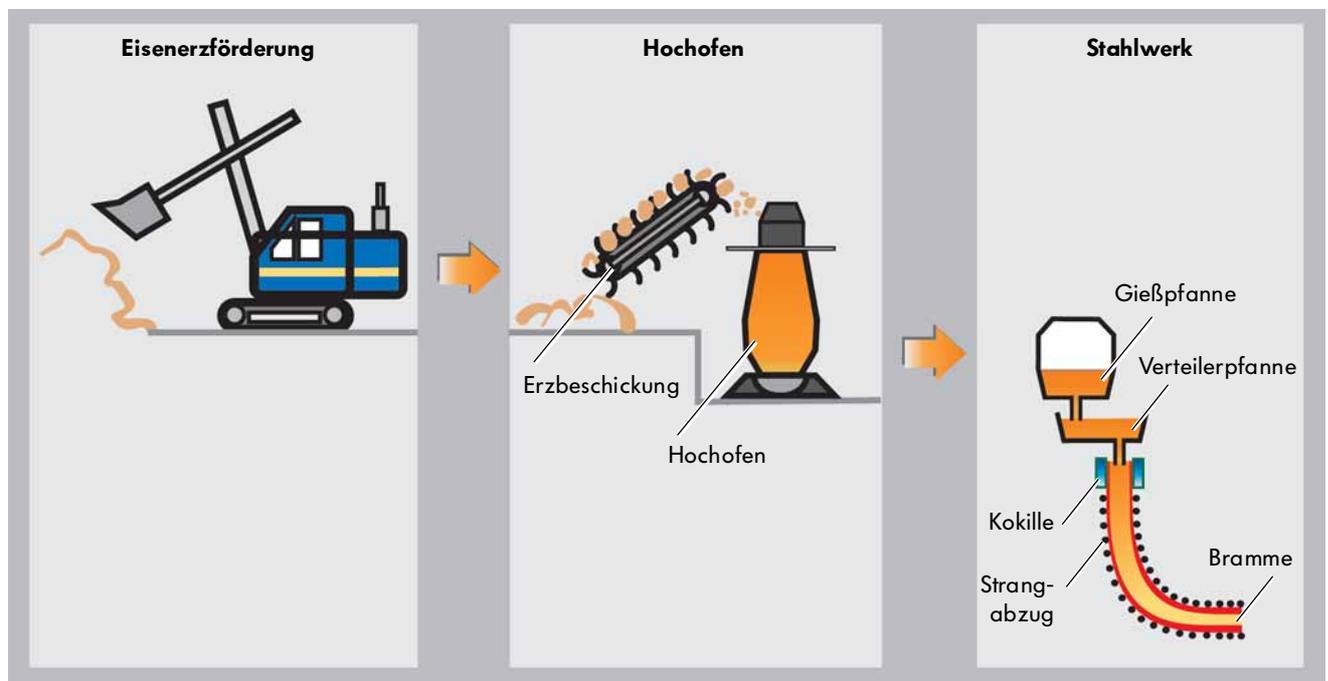
An diesem Punkt bricht die Probe. Der Wert ist für die technische Praxis ohne Bedeutung.

Die Grundlagen - Stahl

Einer der beim Fahrzeugkarosseriebau meistverwendeten Werkstoffe ist Stahl. Stahl ist eine LEGIERUNG aus Eisen und Kohlenstoff, wobei der Kohlenstoffanteil bis maximal 2,06 % reicht. Höhere Anteile führen zu Gusserzeugnissen. Werden dann noch weitere Elemente wie Nickel, Mangan, Phosphor, Silizium, Chrom usw. legiert, so werden damit die Stahlfamilien bestimmt. Es gibt eine Vielzahl von Stählen, jeder davon mit unterschiedlicher Zusammensetzung und somit unterschiedlichen Eigenschaften.



Herstellung von Stahl



S421_070

Aus dem in der Natur vorhandenen Eisenerz wird im Hochofen Eisen (Roheisen) geschmolzen. Je nach Zusammensetzung des verwendeten Eisenerzes hat das geschmolzene Roheisen seine eigene spezifische Zusammensetzung.

Das erzeugte Roheisen wird anschließend im Stahlwerk in seiner chemischen Zusammensetzung auf vorher festgelegte und gewünschte Werte eingestellt. Dies kann durch Entziehen und durch Hinzufügen bestimmter Elemente erreicht werden. Der Prozess wird auch als Legieren bezeichnet.

Durch Variation des Kohlenstoff-Gehaltes und weiterer Legierungselemente kann man dann unterschiedliche Stahlsorten herstellen. Speziell durch die Einstellung des Kohlenstoffgehaltes bis zu etwa 2,06 % wird aus dem Eisen ein Stahl. Dabei können ganz bewusst spezifische Eigenschaften des Stahls eingestellt werden, wie sie für den späteren Materialeinsatz gewünscht werden.

Vom Stahlwerk wird das Schmelzgut in die Stranggießanlage gefördert und zu einem Strang verarbeitet. Dieses Strangmaterial ist dann das Ausgangsprodukt für alle weiteren Verfahren zur Herstellung der unterschiedlichsten HALBZEUGE, wie z. B. die Verfahren Walzen, Wärmebehandlung und Oberflächenbeschichtung.

Die Stahleigenschaften werden durch folgende Hauptgrößen bestimmt:

- die chemische Zusammensetzung des Stahls
- die nachträgliche Behandlung der Stahlerzeugnisse



Chemische Zusammensetzung

Jeder Stahltyp hat in festem Zustand eine eigene Kristallstruktur, diese Struktur verleiht ihm mechanische Eigenschaften, die mittels einer metallographischen Analyse ermittelt werden können.

Ein sehr wichtiger Aspekt bei der Stahlherstellung ist die Geschwindigkeit, mit der die Rohstoffe sowohl beim Herstellungsprozess als auch bei der weiteren Verarbeitung erhitzt und abgekühlt werden. Wenn Eisen in reinem Zustand untersucht wird, kann ermittelt werden, wie seine Kristallstruktur sowie seine magnetischen Eigenschaften und seine Löslichkeit je nach Temperaturzu- oder -abnahme variieren.

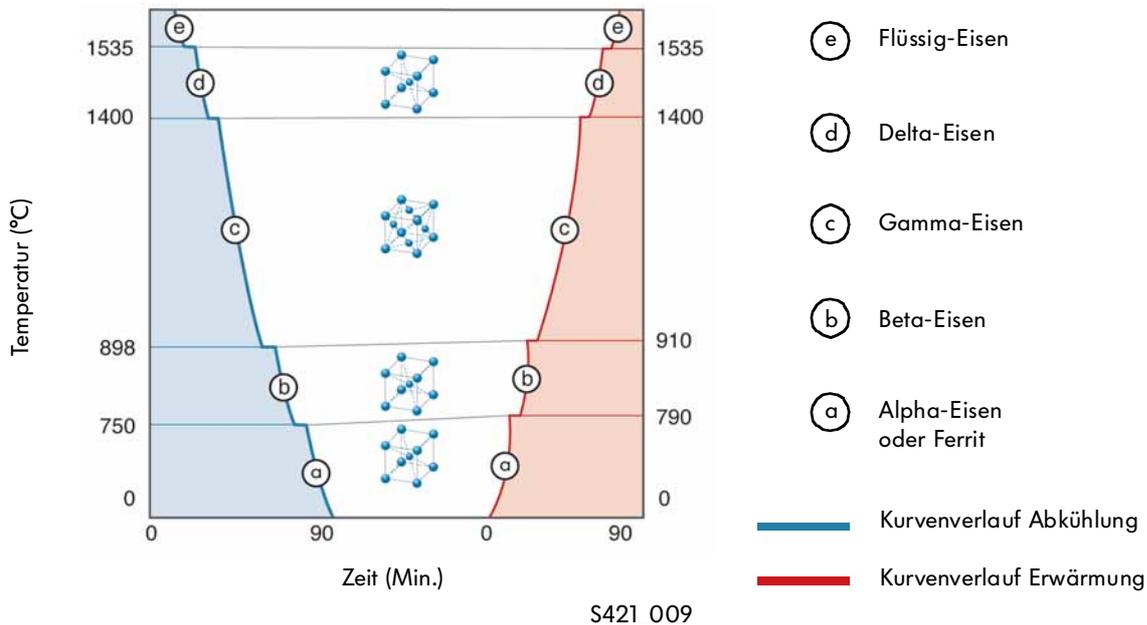
Um ein besseres Verständnis der Eigenschaften eines Stahls zu ermöglichen, werden anschließend zuerst die Eigenschaften reinen Eisens, dann die Eigenschaften verschiedener Eisen-Kohlenstoff-LEGIERUNGEN und schließlich die Eigenschaften von LEGIERUNGEN aus Eisen, Kohlenstoff und anderen Komponenten erläutert.

Reines Eisen

Als Grundlage für alle weiteren Betrachtungen zu den Stählen müssen die Temperaturen bekannt sein, bei denen reines Eisen seine Kristallstruktur, also die Anordnung seiner ATOME, verändert.

Diese Neuordnung benötigt eine gewisse Zeit, während der die Temperatur konstant bleibt. Temperaturen, bei denen eine Strukturveränderung erfolgt, werden als „kritische Punkte“ (siehe dazu das Diagramm „Umwandlungspunkte bei reinem Eisen“ auf der folgenden Seite) bezeichnet. Diese „kritischen Punkte“ sind im Diagramm jeweils als waagerechte Linie, ähnlich einer Treppenstufe, zu erkennen.

Umwandlungspunkte bei reinem Eisen



Erwärmung

Bei einer Temperatur zwischen 0 und 790 °C wird Eisen als „Alpha-Eisen“ oder „Ferrit“ bezeichnet, welches eine kubisch-raumzentrierte Kristallstruktur aus neun Eisenatomen hat. Alpha-Eisen ist sehr magnetisch und löst keinen Kohlenstoff.

Wird das Eisen weiter auf 790 bis 910 °C erhitzt, wird es als „Beta-Eisen“ bezeichnet, hat weiterhin eine kubisch-raumzentrierte Kristallstruktur, die ebenfalls keinen Kohlenstoff löst, aber einen Teil des Magnetismus verliert.

Zwischen 910 und 1400 °C wird es als „Gamma-Eisen“ bezeichnet. Hier wird die kubische Struktur flächenzentriert. Gamma-Eisen ist nicht magnetisch und löst Kohlenstoff.

Zwischen 1400 und 1535 °C wird es als „Delta-Eisen“ bezeichnet. Die Kristallstruktur ist kubisch-raumzentriert. Da es nur bei sehr hohen Temperaturen auftritt, hat es nur geringe Bedeutung bei der Untersuchung thermischer Behandlungsarten.

Bei Temperaturen über 1535 °C ist reines Eisen flüssig.

Im Vergleich zur Erwärmung erfolgt bei der Abkühlung der entgegengesetzte Prozess (mit geringfügigen Abweichungen bei den „kritischen Punkten“).

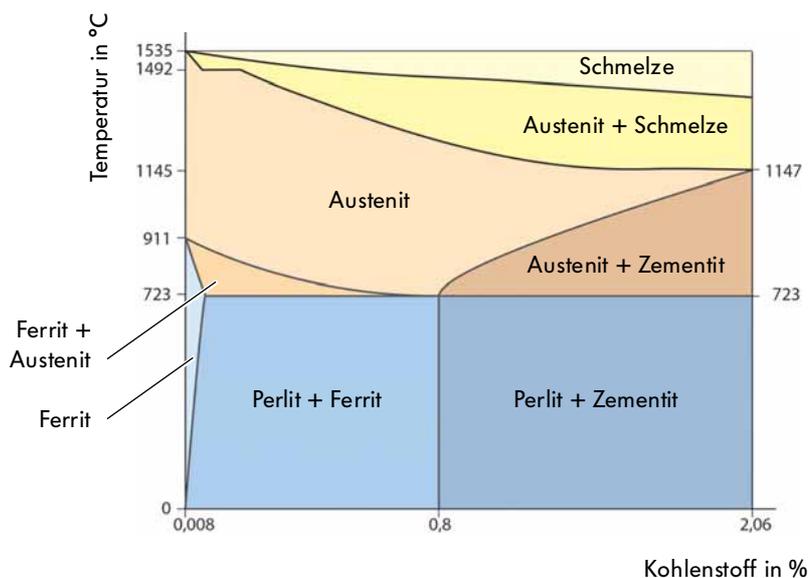


An den „kritischen Umwandlungspunkten“ wird die aufgenommene Wärme zur Veränderung der Kristallstruktur verbraucht, deshalb ist kein Temperaturanstieg zu verzeichnen. Das heißt, je nach Temperatur gruppieren sich die Eisenatome in unterschiedlichen Kristallstrukturen mit verschiedenen magnetischen Eigenschaften und unterschiedlicher Kohlenstoff-Löslichkeit.

Umwandlungspunkte bei Eisen-Kohlenstoff-Legierungen

Stähle kristallisieren je nach Temperatur und Kohlenstoffanteil in unterschiedlichen Gefügestrukturen. Unter Stahl versteht man eine Eisen-Kohlenstoff-Legierung, deren Kohlenstoffanteil bis maximal 2,06 % reicht.

Eisen-Kohlenstoff-Diagramm



Das Schaubild zeigt nur den für Stähle relevanten Bereich des Eisen-Kohlenstoff-Diagrammes, welches in seiner kompletten Ausführung bis etwa über 6 % Kohlenstoff reicht.

S421_010

Interpretation des „Eisen-Kohlenstoff-Diagramms“

Die Linien auf dem Diagramm zeigen die „kritischen Punkte“, an denen der Stahl seine Kristallstruktur verändert. Je nach Kohlenstoffanteil ändert sich die Temperatur, bei der die Strukturveränderung erfolgt. Die von den „kritischen Punkten“ begrenzten Gebiete zeigen die Kristallstruktur, die der Stahl jeweils annimmt. Bei hohen Temperaturen ist der Stahl geschmolzen, und alle seine Komponenten sind – wie Salz im Wasser – gelöst.

In dem Maße, wie der Stahl abkühlt, verfestigen sich Teile des Eisens und des Kohlenstoffs. Es bilden sich die sogenannten „Austenitkristalle“ (die Verfestigungstemperatur variiert je nach Kohlenstoffanteil). Sinkt die Temperatur weiter, verfestigt sich die LEGIERUNG vollständig zu Austenit.

Unter etwa 723 °C kann Austenit je nach Kohlenstoffanteil in der LEGIERUNG zwei unterschiedliche Strukturen bilden:

- Liegt der Kohlenstoffanteil unter 0,8 %, wird Austenit zu Perlit und Ferrit, die in Kristallform im Stahl verteilt sind.
- Beträgt der Kohlenstoffanteil 0,8 %, enthält der Stahl nur kombinierte Perlit-Kristalle.
- Ist der Kohlenstoffanteil größer als 0,8 % wird Austenit zu Perlit und Zementit.



Grundlagen - Material

Gefügearten

In der Tabelle werden die wichtigsten strukturellen und mechanischen Eigenschaften der im Eisen-Kohlenstoff-Diagramm (nur der für Stahl relevante Bereich des Diagramms) aufgeführten Zusammensetzungen erklärt (Die aufgeführten Zusammensetzungen treten auch oberhalb dieses Bereiches also bei > 2,06 % Kohlenstoff auf.).



| Gefügeart | Erklärung |
|--------------------|---|
| Ferrit | <p>Ferrit besteht aus Alpha-Eisen-Kristallen, welche ein kubisch-raumzentriertes Kristallgitter bilden. Zwischen den Eisenatomen ist Kohlenstoff eingelagert (Einlagerungs-MISCHKRISTALL).</p> <p>Ferrit ist der weichste Bestandteil des Stahls.</p> <p>In seinen mechanischen Eigenschaften ist der Ferrit durch eine Zugfestigkeit von 28 MPa und eine Dehnung von 35 bis 40 % charakterisiert.</p> |
| Kohlenstoff | <p>Reine Kohlenstoffatome können sich auf zwei Arten miteinander verbinden. Je nach Art der Bindung entsteht Graphit oder Diamant.</p> <p>Für Stähle hat natürlich nur der Kohlenstoff in Form von Graphit eine Bedeutung. Dessen Bindungen sind schwach und daher leicht aufzubrechen.</p> <p>Kohlenstoff wird entweder atomar im Gitter eingelagert (Einlagerungs-MISCHKRISTALL) oder in Form von Verbindungen – siehe z. B. Zementit.</p> |
| Zementit | <p>Zementit ist eine Verbindung aus Eisen und Kohlenstoff. Chemisch wird es als Eisenkarbid (Fe_3C) bezeichnet. Zementit enthält 6,67 % Kohlenstoff und 93,33 % Eisen.</p> <p>Zementit kann in unterschiedlicher Form im Gefüge abgelagert sein, in eigenständigen Formationen (z. B. Stäbchen oder Nadeln) oder in Ansammlungen an den Korngrenzen des Kristallgefüges.</p> <p>Zementit ist der härteste aber auch sprödeste Bestandteil des Stahls, mit einer Zugfestigkeit von 215 MPa.</p> |
| Austenit | <p>Austenit besteht aus Gamma-Eisen-Kristallen, welche ein kubisch-flächenzentriertes Kristallgitter bilden.</p> <p>Er enthält Kohlenstoffe, die wie beim Ferrit zwischen den Eisenatomen eingelagert sind (Einlagerungs-MISCHKRISTALL). Wegen der größeren Zwischenräume im kubisch-flächenzentrierten Kristallgitter kann gegenüber dem Ferrit mehr Kohlenstoff eingelagert werden.</p> <p>Der Kohlenstoffanteil variiert zwischen 0 und 2,06 %.</p> <p>Austenit weist eine Zugfestigkeit von 88 bis 105 MPa und eine Dehnung von 20 bis 23 % auf. Er zeichnet sich durch eine große Verschleißfestigkeit und geringe HÄRTE aus und ist der in Stählen am häufigsten anzutreffende Stoff.</p> |

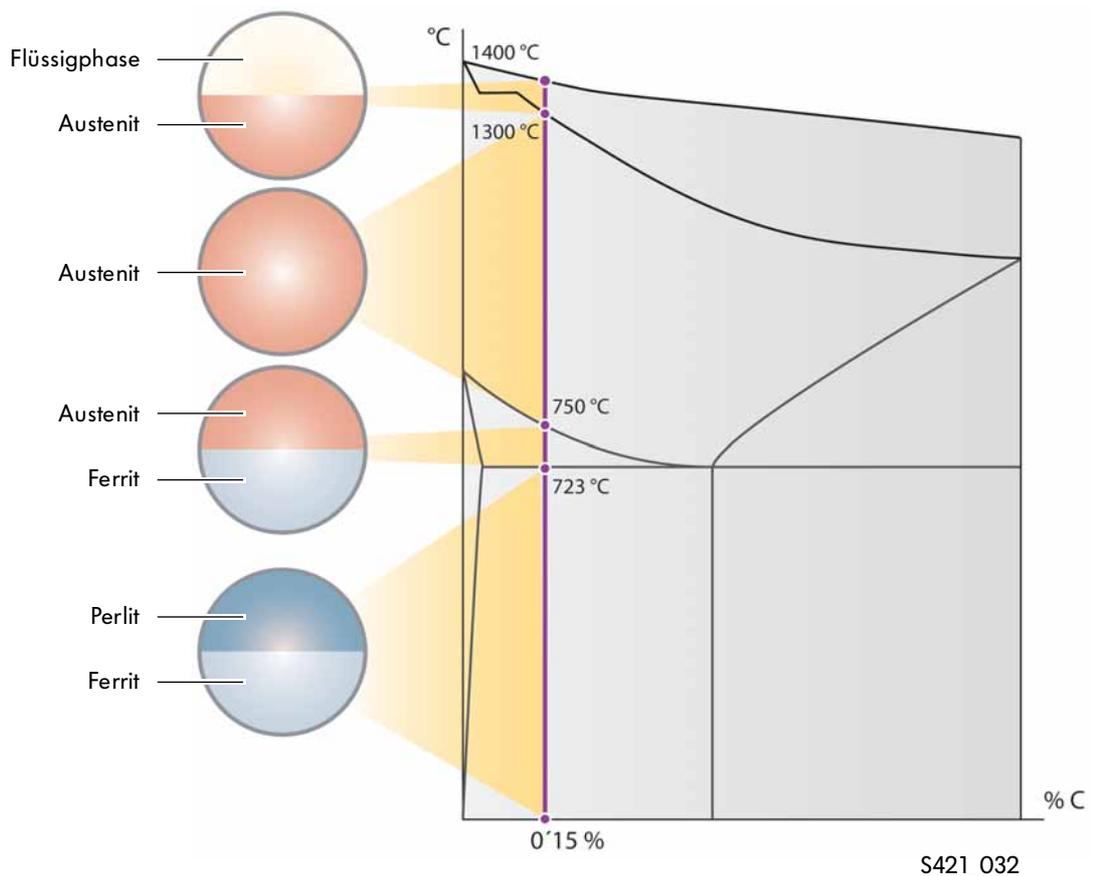


| Gefügeart | Erklärung |
|------------------|---|
| Perlit | <p>Perlit ist eine Mischung aus Zementit- und Ferritlamellen, die aus der Austenit-Umwandlung entsteht. Die Stärke der Lamellen hängt von der Abkühlungsgeschwindigkeit ab. Je langsamer diese ist, desto stärker sind die Lamellen.</p> <p>Die Zugfestigkeit von Perlit beträgt 55 - 70 MPa, die Dehnung 20 - 28 %.</p> <p>Die mechanischen Kenngrößen von Perlit liegen zwischen denen von Ferrit und Zementit; er ist härter und widerstandsfähiger als Ferrit, aber weicher und leichter formbar als Zementit.</p> |
| Martensit | <p>Martensit entsteht durch sehr schnelles Abkühlen von Austenit.</p> <p>Dabei wird das kubisch-flächenzentrierte Gitter des Austenits in ein kubisch-raumzentriertes Gitter umgewandelt. Da im kubisch-flächenzentrierten Gitter auf Grund größeren verfügbaren Raums mehr Kohlenstoff als im kubisch-raumzentrierten Gitter gelöst ist, findet der Kohlenstoff bei der Gefügeumwandlung nicht genügend Platz, verzerrt das Kristallgitter und weitet es auf. Es bilden sich plattenförmige Kristalle, die man im Schlißbild als Nadeln – sogenannte Martensit-Nadeln – erkennen kann. Die durch das größere Volumen des Martensits entstehenden Druckspannungen verursachen die größere HÄRTE aber auch Sprödigkeit des Martensits.</p> <p>Mit steigender Abkühlgeschwindigkeit wird immer weniger Perlit gebildet, so dass eine fast vollständige Umwandlung in Martensit erfolgt.</p> <p>Nach Zementit handelt es sich bei Martensit um einen der härtesten Bestandteile von Stahl. Die Zugfestigkeit von Martensit liegt zwischen 170 und 250 MPa, die Dehnung zwischen 0,5 und 2,5 %.</p> |
| Bainit | <p>Bainit besteht ebenso wie Perlit aus den Phasen Ferrit und Zementit, weicht aber in Form, Größe und Verteilung von diesem ab.</p> <p>Bainit besteht aus einem Gefüge, welches paketförmige Ferritnadeln mit dazwischen liegenden filmartigen Carbidschichten bzw. Ferritplatten mit dazwischen liegenden Schichten aus Carbiden enthält.</p> <p>Bainit bildet sich durch entsprechend gesteuertes schnelles Abkühlen des Austenits bei Temperaturen und Abkühlgeschwindigkeiten, die zwischen denen für Perlit und Martensit liegen. Nach Abkühlung des Austenits auf Temperaturen oberhalb der Martensit-Starttemperatur erfolgt in der sogenannten Bainitstufe bei nun gleichbleibend gehaltener Temperatur (isothermisch) die Umwandlung zu Bainit.</p> <p>Die Abkühlgeschwindigkeit wird dabei so gesteuert, dass keine Perlitbildung erfolgt.</p> <p>Die Zugfestigkeit bewegt sich zwischen 15 und 220 MPa, die Dehnung beträgt 1,5 - 2 %.</p> |

Grundlagen - Material

Im Folgenden werden als Veranschaulichung zwei Beispiele von Strukturveränderungen beschrieben, die bei der Herstellung von Stahl mit einem Kohlenstoffanteil von 0,15 bzw. 1,20 % auftreten.

Stahl mit 0,15 % Kohlenstoff



Die Ausgangstemperatur liegt über 1500 °C – der Stahl ist flüssig.

Wenn die Temperatur unter 1400 °C fällt, verfestigt sich ein Teil des Eisens und des Kohlenstoffs und es entsteht ein Gemisch aus einer flüssigen Phase und Austenit.

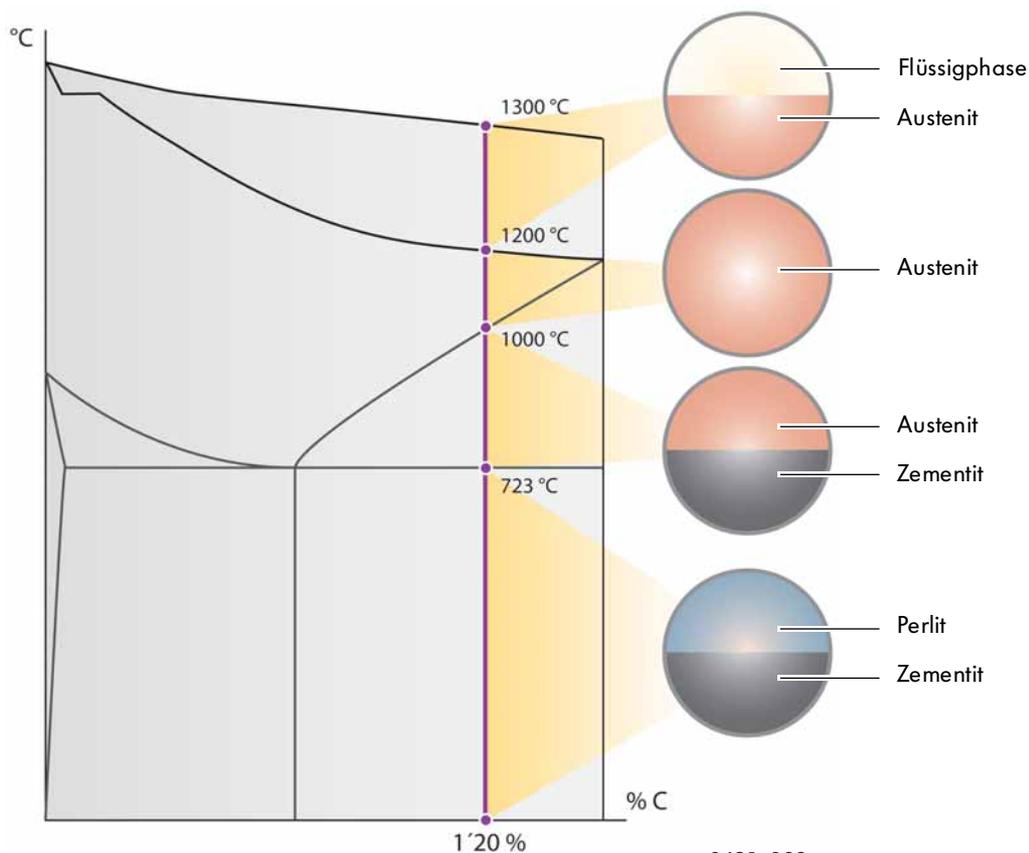
Wenn 1300 °C unterschritten werden, ist der Stahl mit 0,15 % Kohlenstoffanteil bereits vollkommen verfestigt und zu Austenit geworden. So bleibt er bis zum Unterschreiten von 750 °C.

Zwischen 750 und 723 °C entsteht ein Gemisch aus Austenit und Ferrit.

Unterhalb 723 °C verändert sich die Kristallstruktur und es entsteht ein Gemisch aus Perlit und Ferrit.

Wenn sich während dieses Prozesses die Abkühlgeschwindigkeit an irgendeinem Punkt verändert, können davon abweichende Gefüge-Komponenten, wie z. B. Bainit, Martensit etc., entstehen.

Stahl mit 1,20 % Kohlenstoff



Bei 1500 °C ist auch dieser Stahl flüssig.

Zwischen 1300 und 1200 °C liegt ein Gemisch aus einer flüssigen Phase und Austenit vor.

Wenn 1200 °C unterschritten werden, ist der Stahl mit 1,20 % Kohlenstoff vollkommen verfestigt und zu Austenit geworden.

Zwischen 1000 und 723 °C entsteht ein Gemisch aus Austenit und Zementit.

Bei Temperaturen unter 723 °C geht die Kristallstruktur in einen stabilen Zustand über und bildet ein Gemisch aus Perlit und Zementit.



Grundlagen - Material

Legierung des Stahls mit weiteren Komponenten

Der Kohlenstoffanteil ist verantwortlich für die FESTIGKEIT des Stahls.

Wenn ausgewählte weitere Legierungselemente, wie z. B. Silizium, Phosphor, Titan, Niob oder Chrom hinzugefügt werden, können neben der Festigkeit noch andere spezifische Eigenschaften gezielt eingestellt werden.

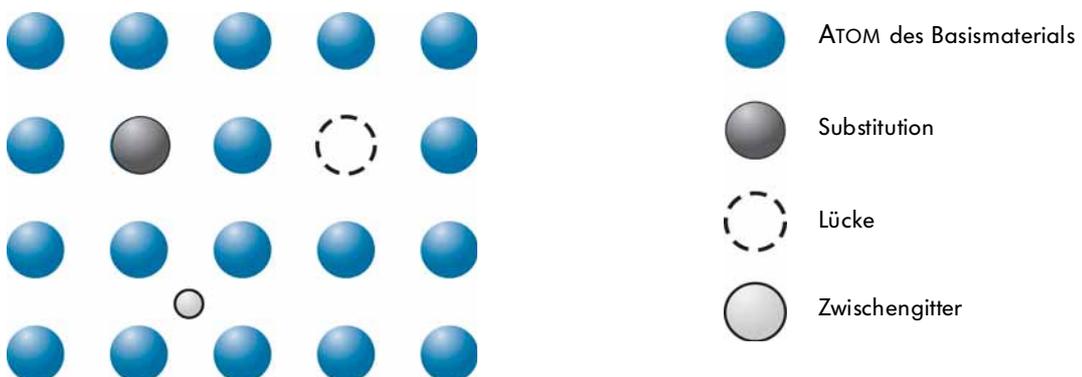
Die Auswirkungen dieser Elemente sind bereits spürbar, wenn sie im Verhältnis zu anderen Legierungsbestandteilen auch nur in kleinen Mengen hinzugefügt werden.

Die LEGIERUNG eines Eisen-Kristallgefüges kann in folgenden unterschiedlichen Formen geschehen:

- Substitution:
ATOME anderer Elemente ersetzen Eisenatome der Kristallmatrix.
- Lücke:
Eisenatome werden aus der Kristallmatrix entfernt und die entsprechende Stelle bleibt frei.
- Zwischengitter:
ATOME anderer Elemente wie Titan besetzen interstitielle* Positionen zwischen den Eisenatomen der Kristallmatrix. Sie blockieren ein mögliches Abgleiten der Atomflächen untereinander und erhöhen somit z. B. die Festigkeit. Ihre Menge in der Stahllegierung ist entscheidend für die späteren mechanischen Eigenschaften.

* interstitiell - sich auf einer Zwischenposition innerhalb einer Ordnung befindend

Kristallaufbau/Kristallmatrix



S421_015

Aus der Tabelle können sie am Beispiel einiger weiterer wichtiger Legierungselemente sehen, wie durch sie die Stahleigenschaften beeinflusst werden können.



| Legierungselement | Veränderte Eigenschaften des Stahls |
|-------------------|---|
| Chrom | Erhöht die Passivität des Stahls gegenüber korrosiven Einflüssen (es ist das hauptsächliche Legierungselement zur Erhöhung der Rost- und Säurebeständigkeit von Stählen) |
| Mangan | Verfeinert die Körnung; erhöht die FESTIGKEIT; verbessert die Härbarkeit; erhöht HARTE, Dehnung und Verschleißbeständigkeit; beeinflusst günstig Schweiß- und Schmiedbarkeit |
| Molybdän | Erhöht die FESTIGKEIT und die Zähigkeit; fördert die Passivität des Stahls gegenüber korrosiven Einflüssen; verbessert die Härbarkeit, senkt die Anlasssprüdigkeit bei CrNi- und Mn-Stählen; fördert die Feinkornbildung und wirkt sich günstig auf die Schweißbarkeit aus. |
| Nickel | Erhöht die FESTIGKEIT und die Zähigkeit; trägt zur Stabilisierung der austenischen Gitterstruktur bei; verbessert die Verformbarkeit auch bei niedrigen Temperaturen |
| Niob | Niob verhält sich ähnlich Titan |
| Phosphor | Erhöht die FESTIGKEIT; trägt zu einem ausgewogenen Gleichgewicht zwischen Pressbarkeit und mechanischer FESTIGKEIT bei |
| Silicium | Erhöht die FESTIGKEIT und die Elastizitätsgrenze; verfeinert die Körnung |
| Stickstoff | Erhöht die FESTIGKEIT in austenischen Stählen; verbessert die mechanischen Eigenschaften bei höheren Temperaturen |
| Titan | Erhöht die FESTIGKEIT und die Zähigkeit; hemmt das Kornwachstum und trägt so zu einer feinkristallinen Gefügestruktur bei; unterdrückt bei chromlegierten Stählen die Ausscheidung von Chromkarbiden und damit die Korngrenzenkorrosion |

Die Grundlagen - Behandlung von Stahl

Es gibt zahlreiche Arten der Behandlung, die in drei große Familien gruppierbar sind:

| Behandlungsfamilie | Behandlung |
|------------------------------|----------------|
| Mechanische Behandlungen | Kaltverformung |
| | Warmverformung |
| Thermische Behandlungen | Härten |
| | Glühen |
| | Normalglühen |
| | Anlassen |
| Thermochemische Behandlungen | Einsatzhärten |
| | Carbonitrieren |
| | Nitrieren |

Mechanische Behandlung

Dazu zählen Verfahren, bei denen mittels mechanischer Energie dauerhafte Verformungen des Metalls auftreten. Diese Prozesse wirken sich nicht auf die Kristallstruktur aus, sondern verändern die Elastizität, Zähigkeit, Plastizität und HÄRTE.

Die üblichsten mechanischen Verfahren sind:

| Verfahren | Verfahrensablauf |
|----------------|--|
| Kaltverformung | Die Verformung des Stahls erfolgt unterhalb seiner REKRISTALLISATIONS-Temperatur. Die HÄRTE, der Verformungswiderstand und die Elastizitätsgrenze des Stahls werden erhöht. |
| Warmverformung | Die Verformung des Stahls erfolgt oberhalb seiner REKRISTALLISATIONS-Temperatur. Bei dieser Behandlung treten gleichzeitig plastische Verformungen und die REKRISTALLISATION der verformten Körner auf, wobei die Temperatur lange genug gehalten werden muss, damit eine vollständige REKRISTALLISATION erfolgt. Diese Behandlung bringt die gleiche Verformung wie bei der Kaltverformung aber mit geringerem Kraftaufwand, wodurch weichere, formbarere Stähle mit einer einheitlicheren Kristallstruktur erzielt werden. |

Thermische Behandlung

Zur thermischen Behandlung zählen Verfahren, bei denen die Eigenschaften der Metalle durch Veränderungen ihrer Struktur und des Gefügeaufbaus so verändert werden, dass das Material mit diesen neuen Eigenschaften die dafür vorgesehenen Aufgaben besser erfüllen kann.

Hierbei werden viel bessere Nutzungsmöglichkeiten und Leistungen erzielt, als dies unter normalen Bedingungen der Fall wäre. Zur thermischen Behandlung zählt die Wärmebehandlung von Stahl.

Im Allgemeinen besteht eine Wärmebehandlung im „Erhitzen und Aufrechterhalten“ einer bestimmten Temperatur im Stahl während einer bestimmten, mehr oder weniger langen Zeit. Danach ist dann auf geeignete Weise abzukühlen. Daraus ergeben sich Veränderungen in der mikroskopischen Struktur der Stähle, die für die gewünschten Beeinflussungen von HÄRTE und FESTIGKEIT verantwortlich sind.

Das heißt, bei einer Wärmebehandlung wirkt nur die Wärmeenergie, und zwar auf die Kristallstruktur, nicht aber auf die chemische Zusammensetzung.



Im Folgenden werden die vier wichtigsten Wärmebehandlungsverfahren beschrieben:

| Verfahren | Verfahrensablauf |
|--------------|--|
| Härten | Der Stahl wird gehärtet, indem er zur Vermeidung erneuter Veränderungen der Kristallstruktur rasch abgekühlt wird. |
| Glühen | Der Stahl wird gegläht, wenn er durch mechanische Einwirkung oder andere Ursachen Verformungen erfahren hat. Der Stahl wird dabei sehr langsam abgekühlt. |
| Normalglühen | Der Stahl wird normal gegläht, um Spannungen im Stahl zu beseitigen. Damit wird für den betreffenden Stahl der Normalzustand hergestellt. Hierfür ist eine mittlere Abkühlungsgeschwindigkeit erforderlich. |
| Anlassen | Der Stahl wird nach dem Härten wieder erwärmt (angelassen). Damit wird die Stabilität der Struktur gefördert. Das Anlassen macht die Härtung teilweise wieder rückgängig, wobei diese Auswirkungen umso stärker sind, je höher die Temperatur ist, auf die erhitzt wird. |

Grundlagen - Material

Gefügestrukturen

Mittels thermischer Behandlungsverfahren können Variationen in der Gefügezusammensetzung der Stähle erzielt werden. Dies ist natürlich auch abhängig von der Zusammensetzung des Stahls (Anteil von Legierungselementen).

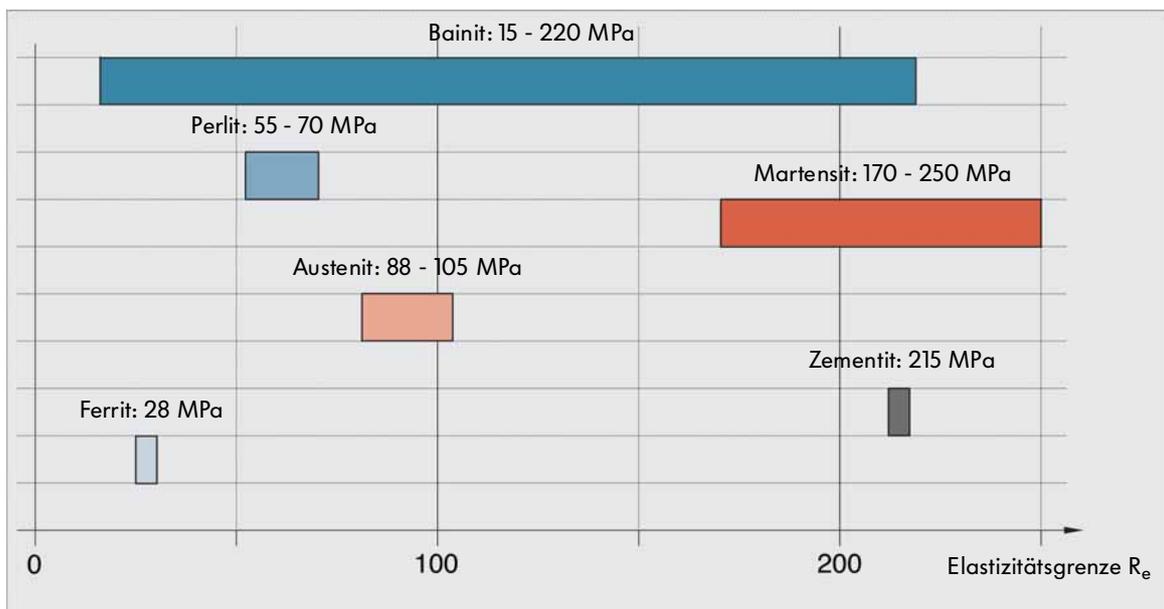
Die jeweilige Variation wird durch die Anteile bestimmter Gefügekomponenten erreicht, welche wesentlichen Einfluss auf die FESTIGKEIT/HÄRTE eines Stahles haben.

Der Stahl kann durch derartige Behandlung den jeweiligen Erfordernissen der Praxis angepasst werden.

Das wird so bei der Karosserie praktiziert. Je nach Anforderung an die unterschiedlichen Karosseriebereiche werden Stähle mit den notwendigen Gefügezusammensetzungen und damit auch erforderlichen Festigkeitskenngrößen eingesetzt.

Im Diagramm sind die wesentlichsten Gefügekomponenten mit ihren jeweiligen Festigkeitsbereichen dargestellt.

Elastizitätsgrenze R_e ausgewählter Gefügekomponenten



S421_023

Thermochemische Behandlung

Dazu zählen Verfahren, bei denen neben der Wärmeenergie (Erwärmen, Temperatur halten, Abkühlen) chemische Komponenten an der Stahlbehandlung beteiligt sind. Die Gefügestruktur und die chemische Zusammensetzung des Stahls variieren entsprechend.

Die wichtigsten thermochemischen Behandlungsverfahren sind:



| Verfahren | Verfahrensablauf |
|----------------|--|
| Einsatzhärten | <p>Beim Einsatzhärten wird die Oberfläche eines Stahlteils durch Kohlenstoff angereichert (Aufkohlen) und so die Voraussetzung für das spätere Härten geschaffen.</p> <p>Hierfür wird das Teil erhitzt und eine bestimmte Zeit lang auf einer geeigneten Temperatur bei gleichzeitigem Kontakt zu Materialien gehalten, die Kohlenstoff abgeben können. Das Anreichern durch Kohlenstoff kann z. B. durch Gasaufkohlung, Pulveraufkohlung und durch Aufkohlung in Salzbadern erfolgen.</p> <p>Beim anschließenden Abkühlen werden die erzeugten Schichten gehärtet, wobei aber der nicht aufgekohlte Materialkern unbeeinflusst bleibt.</p> <p>Durch das Verfahren wird eine größere Zähigkeit und Schlagfestigkeit erzielt.</p> |
| Carbonitrieren | <p>Carbonitrieren ist eigentlich eine erweiterte Variante des Einsatzhärtens. Bei diesem Verfahren wird die Oberfläche von Stahlteilen neben Kohlenstoff zusätzlich mit Stickstoff angereichert.</p> <p>Die Anreicherung erfolgt in einem Cyanidsalzbad bei entsprechenden Temperaturen. Anschließend wird gesteuert abgekühlt. Wegen der niedrigen Härtetemperaturen und der mildereren Abschreckmittel tritt nur geringer Verzug auf.</p> <p>So werden auf einfache und schnelle Weise bei Stahlteilen harte Außenschichten in geringer Stärke erzeugt.</p> |
| Nitrieren | <p>Durch Nitrieren werden ebenfalls an der Oberfläche eines Stahlteils durch Bildung von Nitriden harte Schichten erzeugt.</p> <p>Diese Schichten erreichen eine große HÄRTE, die noch über der HÄRTE von Schichten durch das Einsatzhärten (s. o.) liegt.</p> <p>Das Verfahren beruht darauf, dass Stahl Stickstoff in seine Gefügestruktur aufnimmt. Der Prozess erfolgt bei niedrigen Temperaturen, weshalb die Verformungen minimal sind. Es erfolgen kein Abschrecken und keine Umwandlung des Gefüges.</p> |

Die Grundlagen - Aluminium

Zunehmend spielt im Fahrzeugbau das Gewicht eine Rolle. Das ergibt sich besonders aus immer höheren Zielen für sparsame und umweltfreundliche Fahrzeuge.

Neben optimierten Lösungen in der konstruktiven Gestaltung von Karosserien kann ein geringeres Gewicht auch durch Einsatz leichterer Materialien erreicht werden. Dazu wird z. B. zunehmend Aluminium genutzt.

Für Volkswagen-Fahrzeuge sind keine vollständig aus Aluminium gefertigten Karosserien im Programm. Für einzelne ausgewählte Komponenten wird Aluminium verwendet, wie z. B.:

- Türen und Klappen am Phaeton
- Motorhaube am Touareg

Gewinnung von Aluminium

Aluminium wird aus Bauxit durch ein Aufschlussverfahren mittels Natronlauge (NaOH) gewonnen. Dieses Verfahren wird Bayer-Verfahren genannt.

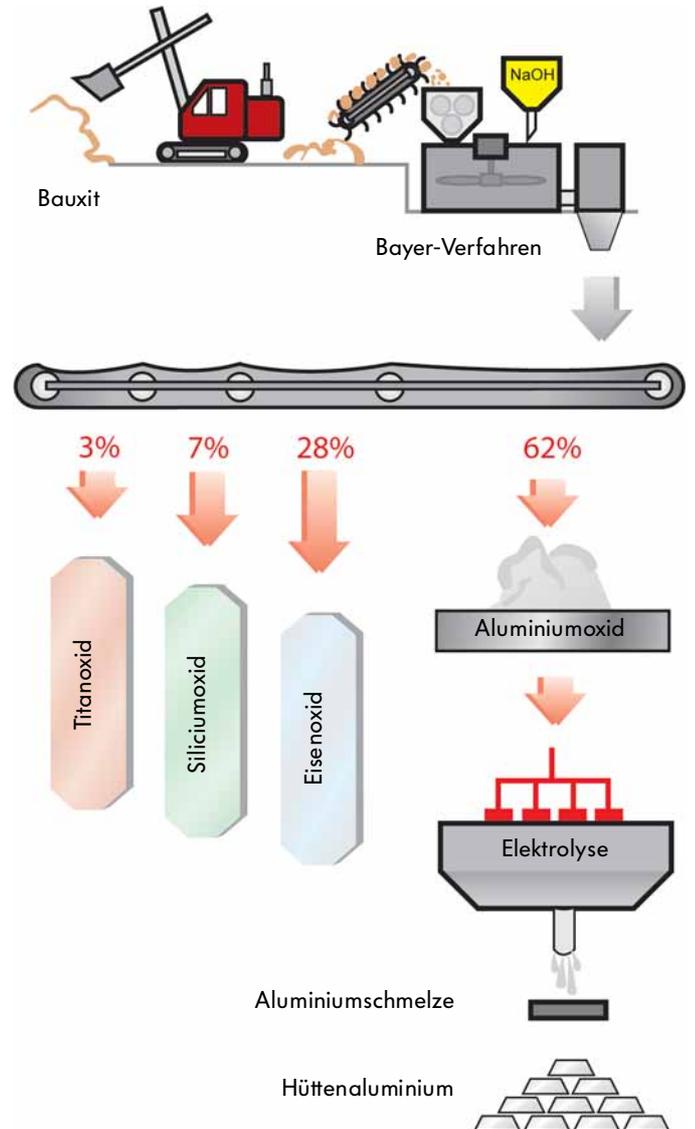
Bauxit:

- Entstehung durch Verwitterung von Kalk- und Silikatsteinen unter entsprechenden klimatischen Bedingungen
- der Name ist vom erstmaligen Fundort Les Baux (Südfrankreich) abgeleitet

Aluminium kommt zwar sehr häufig auf der Erde vor, eine wirtschaftliche Gewinnung ist jedoch erst seit ca. 100 Jahren möglich.

Es ist schwierig, das Aluminium aus dem Erz herauszulösen, da es eine sehr stabile Oxidverbindung mit Sauerstoff eingeht. Es kann daher nicht wie Eisen mit Hilfe von Kohle aus dem Erz durch Schmelzen gewonnen werden.

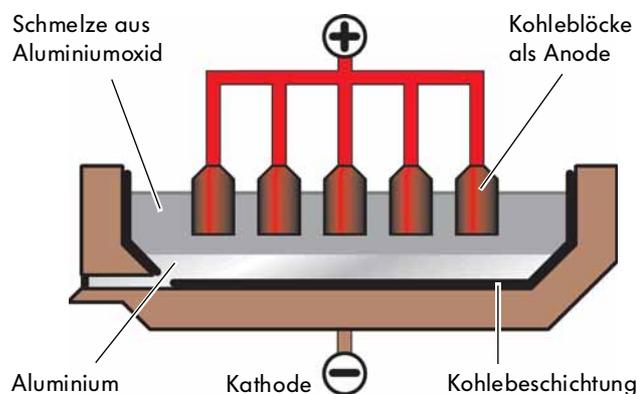
Erst mit der Dynamomaschine Werner v. Siemens war es Ende des 19. Jahrhunderts möglich, Aluminium auf elektrolytischem Wege großtechnisch herzustellen.



S421_044

Die Schmelzelektrolyse des Aluminiums wird industriell in großen Eisenwannen durchgeführt, deren Innenflächen mit Kohle beschichtet sind. Die Wanne dient als Kathode. Als Anode dienen Kohleblöcke, welche in die Schmelze eintauchen.

Das Aluminium scheidet sich am Boden der Wanne ab, da der Abstand zum Boden geringer als zu den seitlichen Wänden ist. So bildet sich unter der Schmelze eine Schicht aus flüssigem Aluminium, die alle 2 - 4 Tage abgestochen und in Barren gegossen werden kann.



S421_045

Legierung von Aluminium

Um für die jeweiligen Einsatzbedingungen der Karosseriebauteile optimale Werkstoffeigenschaften zu garantieren, werden kein reines Aluminium sondern Aluminium-Legierungen verwendet.

Aluminium hat in reinem Zustand eine geringe FESTIGKEIT. Durch Beimengen anderer Elemente, also durch LEGIERUNG können die Eigenschaften von Aluminium verändert werden. Das betrifft vor allem die FESTIGKEIT und die Korrosionsbeständigkeit.

Die hauptsächlichsten Legierungsbestandteile sind Magnesium und Silicium. Diese LEGIERUNGEN bilden dann die Grundlage für Strangpressprofile, Gussknoten und Aluminiumbleche.

Die FESTIGKEIT von Aluminium-Legierungen kann durch Schmieden und Aushärten erhöht werden.

Eine entscheidende Voraussetzung für die Einsetzbarkeit von Aluminium bei technischen Anwendungen ist die Fähigkeit zum Aushärten.

Beim Aushärten wird durch spezifische Temperaturführung die Ausscheidung spröder Gefügebestandteile innerhalb des Gefüges der Legierung ermöglicht. Damit werden innere Widerstände gegen eine Verformung aufgebaut - das äußert sich in einer Erhöhung der FESTIGKEIT.

Stähle für den Karosseriebau

Die Klassifizierung von Stählen für den Karosseriebau

Wegen der großen Zahl möglicher Stahltypen ist es sinnvoll, diese nach bestimmten Merkmalen zu klassifizieren. So können Stähle nach ihren mechanischen Werten wie z. B. Zugfestigkeit, Streckgrenze klassifiziert werden. Ein Beispiel ist die Unterscheidung in herkömmliche, hochfeste, höherfeste und höchstfeste Stähle.

| Klassifizierung nach Festigkeit | Zugfestigkeit in MPa | Klassifizierung nach Stahlfamilie | Herstellungsverfahren |
|-----------------------------------|----------------------|---|---|
| Herkömmliche Stähle | bis ca. 300 | Tiefziehstähle | Walzen |
| Hochfeste Stähle | 300-480 | Bake Hardening-Stahl | Bake Hardening |
| | 350-730 | Mikrolegierter Stahl; Isotrope Stähle | Kornfeinung und Ausscheidungshärtung |
| | 340-480 | Phosphorlegierter Stahl Interstitial Free (IF)-Stahl | Mischkristallhärtung (Hartlösung) |
| Höherfeste Stähle | 500-600 | Dual Phasen (DP)-Stahl | Hartphasen |
| | 600-800 | Transformation Induced Plasticity (TRIP)- Stahl | Hartphasen |
| Höchstfeste Stähle | >800 | Complex-Phasen (CP)-Stahl | Hartphasen |
| Höchstfeste warmumgeformte Stähle | >1000 | Martensit-Stahl | Hartphasen |

Eine Klassifizierung von Stählen allein nach ihren mechanischen Werten ist zwar möglich; sie ist aber ungenau. Es existiert kein fester Wert für eine Grenze zwischen den verschiedenen Stählen. Zumeist handelt es sich um eine ziemlich große Bandbreite. So kann es beispielsweise Fälle geben, in denen hochfeste Stähle identische oder höhere Werte aufweisen als höherfeste Stähle. Aus diesem Grund werden die Stähle üblicherweise und treffender auch gern in Familien je nach Herstellungsverfahren gruppiert.

Auf den folgenden Seiten werden Stähle aus diesen Familien behandelt, wie sie zunehmend im Karosseriebau eingesetzt sind. Insbesondere werden dabei die Mechanismen zur Steigerung der FESTIGKEIT im Vergleich zu einem herkömmlichen Tiefziehstahl erläutert. Dabei ist ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Festigkeitssteigerung und Verformbarkeit von entscheidender Bedeutung.

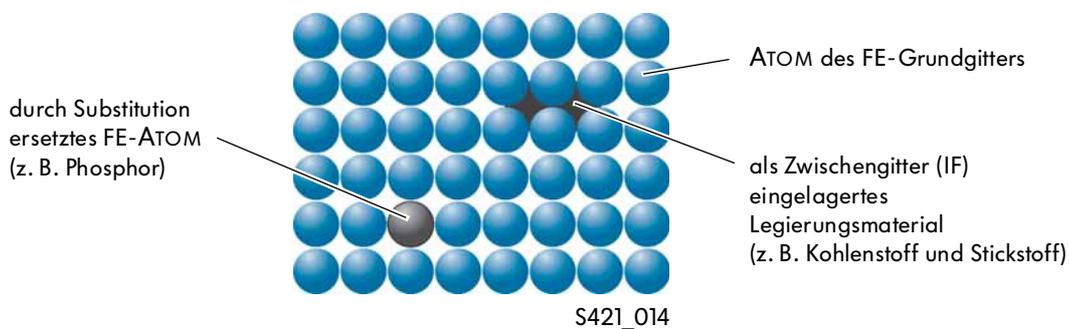
Die Steigerung der FESTIGKEIT von Stählen ist im Wesentlichen auf vier Arten zu erreichen:

- durch Mischkristallhärtung (MISCHKRISTALL = feste Lösung/Hartlösung)
- durch Kornfeinung und Ausscheidungshärtung,
- durch „Bake Hardening“ und
- durch Härtung mittels Hartphasen (Hartphasen = harte Gefügephasen)

Die Festigkeitssteigerung von Stahl

Festigkeitssteigerung – durch Mischkristallhärtung

Allgemein üblich denkt man beim Härten zuerst an eine thermische Behandlung des Stahles zum Erzielen größerer HÄRTE. Die Steigerung der FESTIGKEIT und auch der HÄRTE kann aber bereits durch LEGIERUNG mit anderen Elementen erreicht werden. Man spricht bei dieser Verfahrensweise von Mischkristallhärtung (auch Hartlösung genannt). Mit diesem Härtingsverfahren können z. B. die beiden Stahltypen Höherfeste IF-Stähle (Interstitial Free-Stähle = IF-Stähle) und phosphorlegierte Stähle erzielt werden.



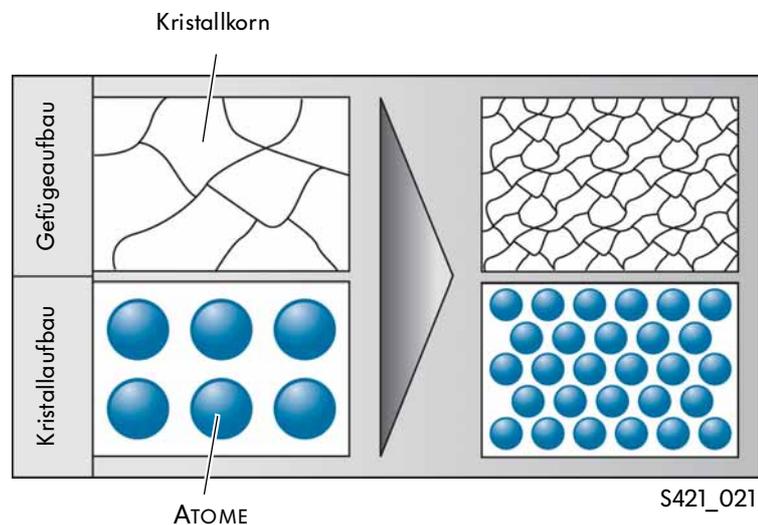
- Höherfeste IF-Stähle:
Diese Stähle haben eine Ferrit-Matrix ohne interstitiell (interstitiell = in einem Zwischengitter) gelöste Legierungsanteile. Bereits bei der Stahlschmelze wird durch spezifische Behandlung ein entsprechend niedriger Anteil an Kohlenstoff und Stickstoff eingestellt. Verbleibende ATOME dieser Elemente werden durch Mikrolegierung von Titan und Niob abgebunden. Die Stähle haben wegen der fehlenden Blockierungen durch Kohlenstoff und Stickstoff (interstitiell free) eine gute Verformbarkeit. Zum Einstellen der gewünschten FESTIGKEIT wird dem Stahl Phosphor und Mangan beigelegt. Es wird dann von höherfesten IF-Stählen gesprochen. Die Stähle haben meist eine Mindest-Zugfestigkeit zwischen 340 und 460 MPa oder eine Mindeststreckgrenze (hier die 0,2%-Dehngrenze $RP_{0,2}$) zwischen 180 und 340 MPa.
- Phosphorlegierte Stähle:
Diese Stähle haben ebenfalls eine Ferrit-Matrix und enthalten Härtelemente aus der Mischkristallhärtung mit Phosphor (Substitution), dessen Anteil bis zu 0,12 % betragen kann. Die Stähle zeichnen sich durch ihren Kompromiss zwischen „mechanischer FESTIGKEIT und Pressbarkeit“ aus, weshalb sie vielfältige Anwendung finden, etwa bei Struktur- oder Verstärkungsteilen (Längsholme, Querträger, Säulen usw.), Teilen, die ermüdungsfest sein müssen oder Teilen, die bei Crashes eine wichtige Rolle spielen. Die Stähle haben meist eine Mindest-Zugfestigkeit zwischen 340 und 480 MPa oder eine Mindeststreckgrenze zwischen 220 und 360 MPa.

Die Stähle haben ein ausgewogenes Gleichgewicht zwischen Pressbarkeit und mechanischer FESTIGKEIT. Bei Reparaturen sind die Stähle mit jedem Schweißverfahren gut schweißbar.



Stähle für den Karosseriebau

Festigkeitssteigerung – durch Kornfeinung/Ausscheidungshärtung



Die FESTIGKEIT eines Stahls kann auch durch Verringerung der Korngröße (Kornfeinung) und Ausscheidungshärtung erhöht werden. Dieses Prinzip der Kornfeinung wird z. B. bei mikrolegierten Stählen genutzt. Dabei wird in geringen Mengen Vanadium, Niob und Titan legiert. Diese Mikrolegierung erzeugt während des Warmwalzens eine feine Dispersion von Karbid/Nitrid-Ausscheidungen. Das Kornwachstum wird dadurch eingeschränkt und es entstehen Ferritkörner von < 10 Mikrometer. Im Verlauf der Umwandlung, aber auch bei der anschließenden langsamen Abkühlung scheiden sich erneut Karbide/Nitride aus. Diese sind noch feiner – sie bewirken eine Ausscheidungshärtung.

Es werden somit mikrolegierte Feinkornstähle von hoher FESTIGKEIT bei gleichzeitiger Begrenzung der enthaltenen Legierungselemente erzielt.

Mikrolegierte Feinkornstähle haben meist eine Mindest-Zugfestigkeit zwischen 350 und 730 MPa oder eine Mindeststreckgrenze von 260 bis 550 MPa.

Diese Stähle werden vor allem für Teile der inneren Karosseriestruktur verwendet, die eine hohe Ermüdungsfestigkeit aufweisen müssen, wie etwa die Verstärkungen und Aufhängungen. Dank ihrer mechanischen Eigenschaften ermöglichen sie leichtere Verstärkungs- und Strukturteile.

Eine Variante der mikrolegierten Stähle sind die isotropen Stähle, bei denen die Werkstoffkennwerte keine Abhängigkeit zur Walzrichtung haben. Das isotrope Verhalten wird durch eine spezielle Legierungstechnik mittels Mangan und Silizium erreicht. Die isotropen Stähle haben meist eine Mindest-Zugfestigkeit zwischen 300 und 400 MPa oder eine Mindeststreckgrenze von 260 bis 550 MPa.

Isotrope Stähle sind besonders für Außenhautteile geeignet, bei denen das isotrope Verhalten von großer Bedeutung ist.

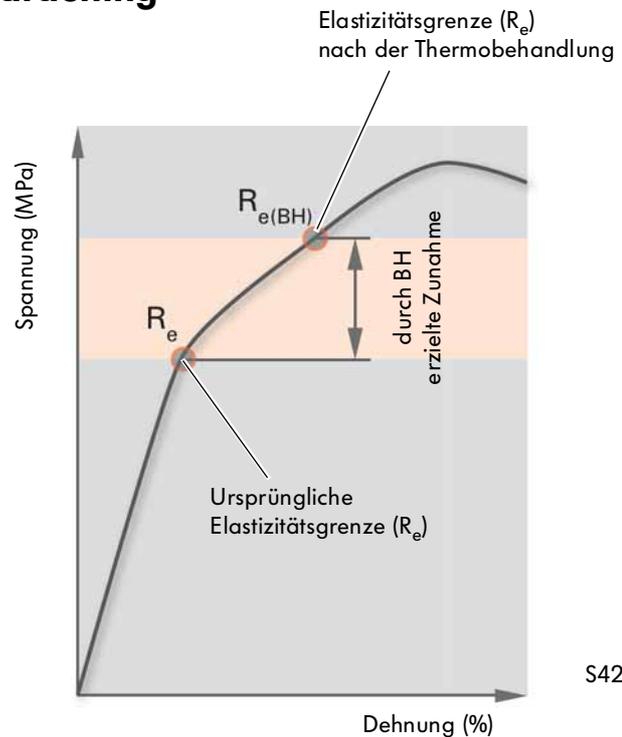
Mikrolegierte Feinkornstähle sind mit allen Verfahren gut schweißbar.

Festigkeitssteigerung – durch Bake-Hardening

Bake-Hardening-Stähle sind im Anlieferungszustand sehr gut umformbar. Ihre endgültige höhere Festigkeit erhalten sie erst beim Lackeinbrennen am umgeformten Bauteil. Bei diesen Stählen werden Forderungen nach einem guten Umformverhalten und gleichzeitig einer hohen Bauteilfestigkeit sehr gut erfüllt - Das erweist sich als großer Vorteil in der Fertigung einer Karosserie.

Die Erhöhung der Elastizitätsgrenze R_e auf $R_{e(BH)}$ wird durch eine Thermobehandlung bei niedriger Temperatur wie beim Lackeinbrennen im Lackofen erzielt. Das wird auch als „Bake-Hardening-Effekt“ (BH-Effekt) bezeichnet - sinngemäß wird das Erwärmen und Trocknen im Ofen bei 180 °C mit einem Backvorgang verglichen.

Diese Erwärmung reicht aus, um die Bleche in ihrer Molekularstruktur so zu verändern, dass eine Erhöhung der Elastizitätsgrenze eintritt.



S421_022

BH-Stähle bestehen aus einer Ferrit-Matrix, die den für den späteren „Bake-Hardening-Effekt“ erforderlichen Kohlenstoff in Hartlösung enthält. Die durch die Thermobehandlung erzielte Verbesserung übersteigt in der Regel 40 MPa, das heißt, ein Stahl mit einer Bruchfestigkeit ($R_{p0,2}$) von etwa 220 MPa weist nach dem Wirken des „Bake-Hardening-Effekts“ eine Bruchfestigkeit von bis zu 260 MPa auf.

Bake-Hardening-Stähle haben meist eine Mindest-Zugfestigkeit zwischen 300 und 480 MPa oder eine Mindest-streckgrenze von 180 bis 360 MPa.

Vorteile des „Bake-Hardening-Effekts“:

- Er verbessert den Verformungswiderstand aller verarbeiteten Teile, selbst solcher mit geringem Verformungsniveau (Motorhauben, Dächer, Türen, Kotflügel ...).
- Für die gleichen mechanischen Eigenschaften ist eine geringere Blechstärke erforderlich. Somit wird das Gewicht der Karosserie verringert und zugleich der Verformungswiderstand erhöht.

BH-Stähle werden für Teile der Karosserieverkleidung (Türen, Motorhauben, Heckklappen, vordere Kotflügel und Dächer) oder für strukturell wichtige Teile (Verstärkungen von Säulen oder Längsträgern) verwendet.

Bei der Rückformung ist aufgrund der höheren Elastizitätsgrenze ein größerer Kraftaufwand erforderlich. Wegen der geringen LEGIERUNG ist er mit jeder Methode gut schweißbar.



Stähle für den Karosseriebau

Festigkeitssteigerung – durch Hartphasen

Die Steigerung der FESTIGKEIT von Stählen mittels Hartphasen führt zu den so genannten „Mehrphasenstählen“, die ihre FESTIGKEIT durch die Koexistenz „harter“ und „weicher“ Phasen – also mehrerer Phasen – in ihrer Mikrostruktur erreichen.

Diese harten und weichen Phasen sind Gefügebestandteile im Stahl, welche durch ihre jeweilig unterschiedliche HÄRTE charakterisiert sind.

Bei der Herstellung eines Stahls mit Hartphasen wird von einem Anfangsstahl ausgegangen, der einem spezifischen Prozess unterzogen und so in einen Stahl mit geänderter Gefügezusammensetzung umgewandelt wird.



Herstellung von Mehrphasenstählen

Zur Herstellung von Mehrphasenstählen wird die Fähigkeit von Stahl genutzt, je nach Umform- bzw. Abkühlbedingungen unterschiedliche Gefügestrukturen zu bilden.

Diese unterschiedlichen Gefügebestandteile und besonders auch deren intelligente Mischung ermöglichen eine sehr variable, an die jeweiligen Kundenwünsche angepasste, Einstellung von Werkstoffeigenschaften.

Mehrphasenstähle werden heute in einem Festigkeitsbereich von 500 bis etwa 1400 MPa Zugfestigkeit gefertigt.

Zur Fertigung können herstellerbedingt unterschiedliche Methoden angewendet werden. So kann z. B. bei kaltgewalztem Blechband die gewünschte Gefügestruktur nachträglich durch Erwärmung erzielt werden.

Ebenso kann auch das beim Warmwalzen erzeugte Blechband direkt anschließend entsprechend abgekühlt und dabei die gewünschte Gefügestruktur eingestellt werden.



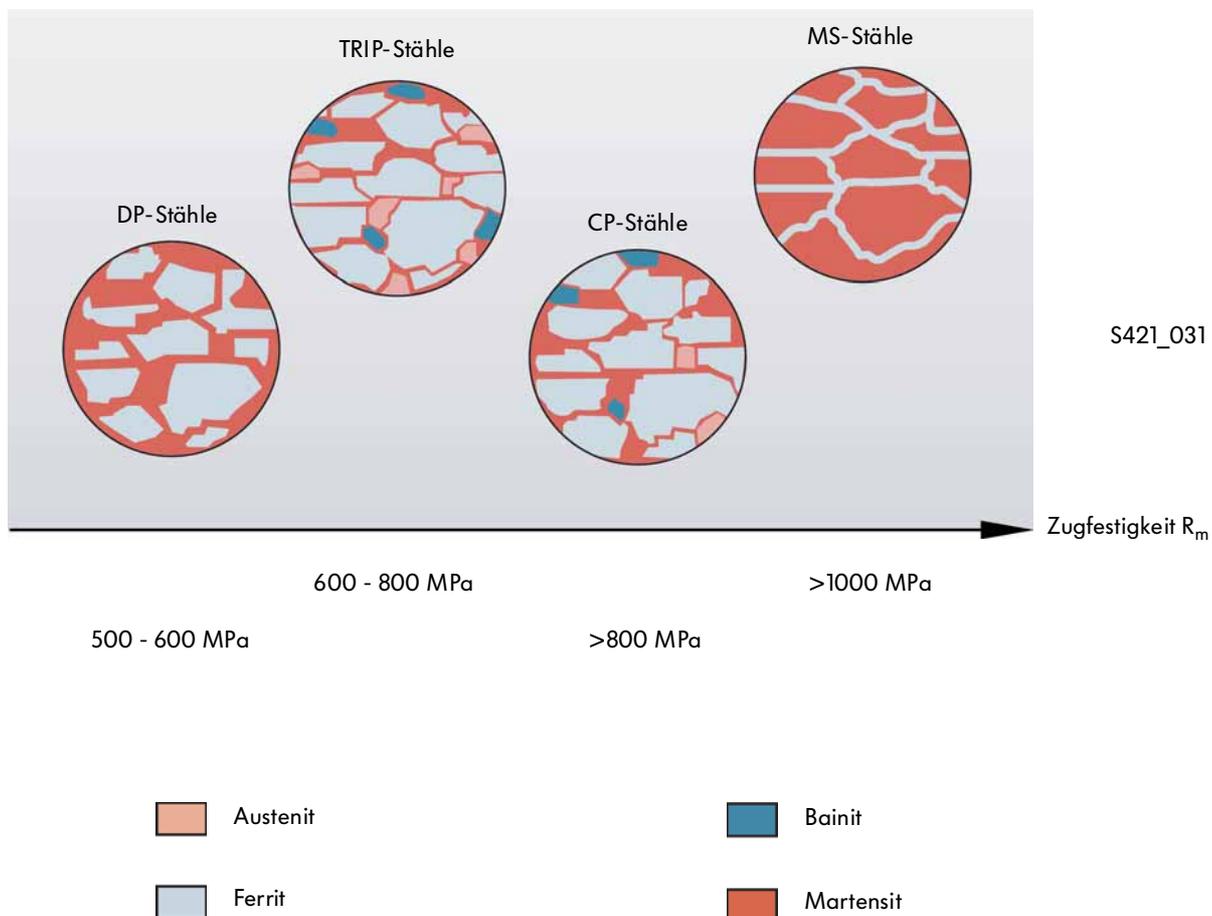
Die Erläuterung der Mehrphasenstähle und deren Herstellung – einschließlich vereinfachter bildlicher Darstellungen der Temperatur- und Umwandlungsverläufe – soll am Beispiel der Behandlung von warmgewalztem Blechband erfolgen (siehe Seite 36 – 37).

Zur Kategorie der Mehrphasenstähle zählen:

- DP-Stähle (Dualphasenstähle)
- TRIP-Stähle (Transformation Induced Plasticity-Stähle)
- CP-Stähle (Komplexphasenstähle)
- MS-Stähle (Martensit-Stähle)

All diese Stähle zeichnen sich durch hohe Steifigkeit, hohe Energieabsorption und großen Verformungswiderstand aus. Die geläufigsten Verwendungen sind jene, bei denen eine hohe Energieabsorption ohne Verformung des Teils erforderlich ist, etwa bei der Verstärkung der B-Säule oder den Innenverstärkungen des Unterholms.

Die Rückformung von Blechen dieses Typs ist im Allgemeinen schwierig, weshalb das Teil eher direkt ausgetauscht wird. Dagegen ist die Schweißbarkeit mit jedem Verfahren optimal.



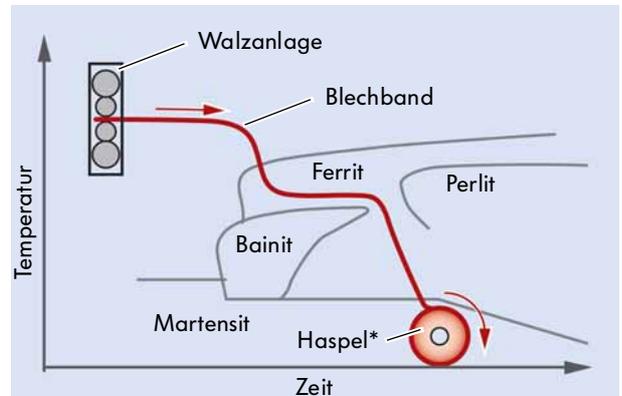
Stähle für den Karosseriebau

„DP“ (Dualphasen)-Stähle

DP-Stähle haben eine hohe mechanische FESTIGKEIT und eine gute Verformbarkeit, die Zugfestigkeit R_m liegt zwischen 500 und 600 MPa.

Die FESTIGKEIT wird durch ein rasches Abkühlen des Warmbandes – direkt nach dem Walzvorgang – in das Ferritgebiet erreicht. Eine Kühlpause im Ferritgebiet ermöglicht die Bildung von ausreichend Ferrit. Anschließend wird beschleunigt auf eine niedrige Haspeltemperatur abgekühlt, so dass der restliche Austenit zu Martensit umgewandelt wird.

Die Abkühlgeschwindigkeit und die Stahlzusammensetzung sind so aufeinander abgestimmt, dass kein Perlit und möglichst wenig Bainit entstehen. Es entsteht eine Mischstruktur aus ca. 80 - 90 % Ferrit mit 10 - 20 % inselförmig eingelagertem Martensit.



S421_028

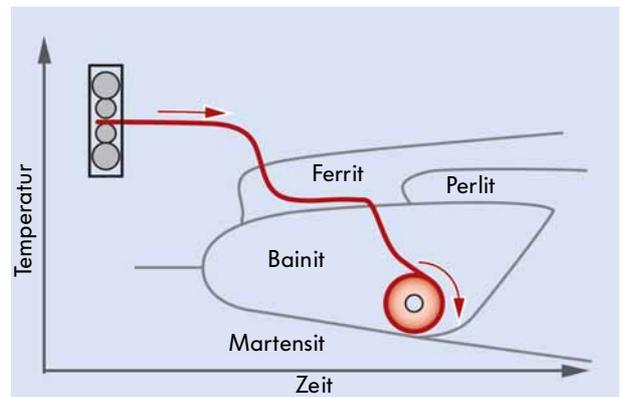
„Dualphasenstähle“ enthalten etwa 0,12 % Kohlenstoff, 0,5 % Silizium und 1,46 % Mangan.

* Haspel = Aufwickelvorrichtung für Warmband

„Trip“ (Transformation induced Plasticity)-Stähle

TRIP-Stähle haben ein sehr gutes Verhältnis von FESTIGKEIT und Umformbarkeit; die Zugfestigkeit R_m liegt zwischen 600 und 800 MPa.

Die FESTIGKEIT wird durch ein rasches Abkühlen des Warmbandes – direkt nach dem Walzvorgang – erreicht. Es wird in das Ferritgebiet abgekühlt und dort in einer Kühlpause Ferrit gebildet. Der Austenit reichert sich währenddessen mit Kohlenstoff an. Anschließend wird in den Bainitbereich abgekühlt und dort das Warmband gehaspelt. Die Anreicherung des Austenits mit Kohlenstoff setzt sich fort. Fällt die Martensit-Starttemperatur unter die Raumtemperatur, so verbleibt der bis dahin nicht umgewandelte Austenit als sogenannter „Restaustenit“ im Gefüge. Unerwünschte Martensit-Bildung im Bainit wird durch geeignete LEGIERUNG vermieden. Für den Prozess ist auch die Temperatur der Haspel von entscheidender Bedeutung.



S421_029

„Trip“-Stähle haben in ihrer Struktur bis zu 20 % Restaustenit. Dieser Restaustenit wird dann erst bei der späteren Umformung in Martensit umgewandelt und so eine Verfestigung erreicht.

TRIP-Stähle enthalten üblicherweise etwa 0,15 - 0,4 % Kohlenstoff, 1 - 2 % Silizium und 0,5 - 2 % Mangan.

„CP“ (Complexphasen)-Stähle

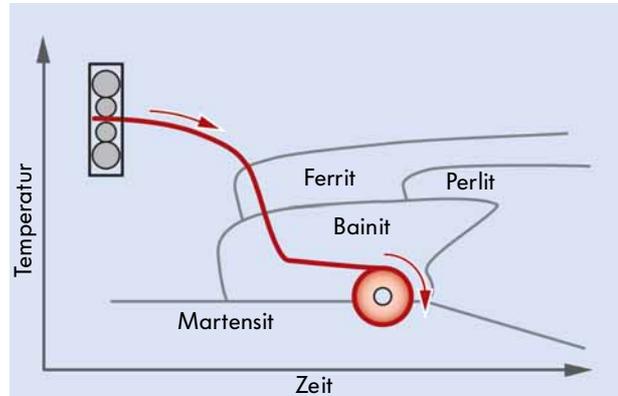
CP-Stähle markieren den Übergang zu den höchstfesten Stählen, die Zugfestigkeitswerte R_m von über 800 MPa aufweisen können.

CP-Stähle zeichnen sich durch eine hohe Energieabsorption sowie einen hohen Verformungswiderstand aus.

Die FESTIGKEIT wird durch ein rasches Abkühlen des Warmbandes – direkt nach dem Walzvorgang – erreicht. Es wird rasch auf eine Haspeltemperatur in den Bainitbereich abgekühlt und dort gehaspelt.

Dabei werden nur wenig Ferrit und Martensit gebildet.

Mikrolegierungszusätze wie Niob und Titan dienen der Kornfeinung. Damit wird dem Stahl eine sehr feinkörnige Struktur verliehen.



S421_097

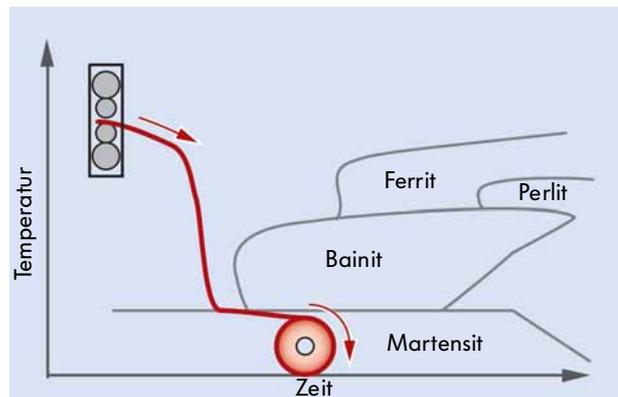
CP-Stähle haben einen geringen Kohlenstoffanteil von unter 0,2 %; außerdem enthalten sie Legierungselemente wie Mangan, Silizium, Molybdän und Bor.

„MS“ (Martensit)-Stähle

MS-Stähle zählen zu höchstfesten Stählen. Sie zeichnen sich durch Zugfestigkeitswerte R_m von etwa 1000 MPa bis über 1400 MPa aus.

Die FESTIGKEIT wird durch Abkühlen des Warmbandes mit maximaler Geschwindigkeit – direkt nach dem Walzvorgang – erreicht. Dabei wird bis auf etwa 200 °C abgekühlt und das Band gehaspelt. Es wird somit eine vorwiegend martensitische Gefügestruktur erzeugt.

Wegen der hohen FESTIGKEITEN bis über 1400 MPa, ist für die spätere Formgebung von Teilen aus martensitischen Stählen die Warmverformung erforderlich.



S421_098

Da selbst geringe Ferritanteile wegen der Gefahr zur Streuung der Werkstoffeigenschaften möglichst vermieden werden sollen, wird durch Legieren von Mn, B und Cr die Umwandlung wie gewünscht gesteuert.

Über den Kohlenstoffgehalt wird die FESTIGKEIT gesteuert.



Stähle für den Karosseriebau

Die Karosseriestruktur

Die Karosseriestruktur ist der wichtigste und zentrale Teil der Karosserie insgesamt.

Eine moderne Karosserie muss heute umfangreichen und sehr komplexen Forderungen gerecht werden. Sie wird deshalb nach folgenden Schwerpunkten optimiert:

- Passive Sicherheit
- Leichtbau
- Stabilität und Schwingungsfestigkeit
- Fußgängerschutz
- Korrosionsschutz

Diese Optimierung wird neben der geometrisch/konstruktiven Gestaltung der verwendeten HALBZEUGE und Profile durch einen maßgeschneiderten Einsatz unterschiedlich fester Materialien für die jeweilige Karosseripartie erreicht.

Als Werkstoff wird in erster Linie Stahl eingesetzt. Im Sinne des Leichtbaus kommen aber auch Aluminium und Kunststoff zum Einsatz.

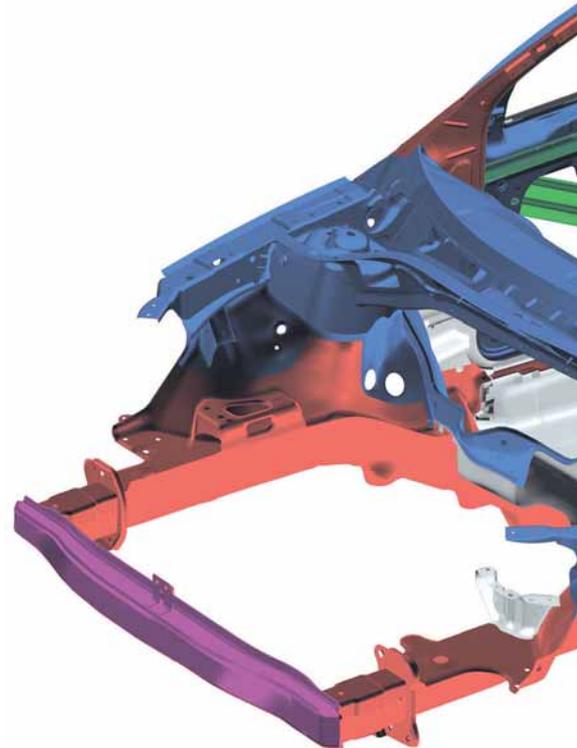
Zunehmend werden Bleche mit höheren FESTIGKEITEN eingesetzt – die höchsten FESTIGKEITEN bieten warmumgeformte höchstfeste Bleche.

Wodurch sind diese Bleche charakterisiert?

Es sind Stahlbleche, die in warmem Zustand, etwa bei Temperaturen zwischen 900 und 950 °C, geformt werden. Durch einen definierten Abkühlverlauf wird ein Gefügebau erzielt, der eine größere FESTIGKEIT und HÄRTE bietet. Man spricht auch von formgehärteten Blechen.

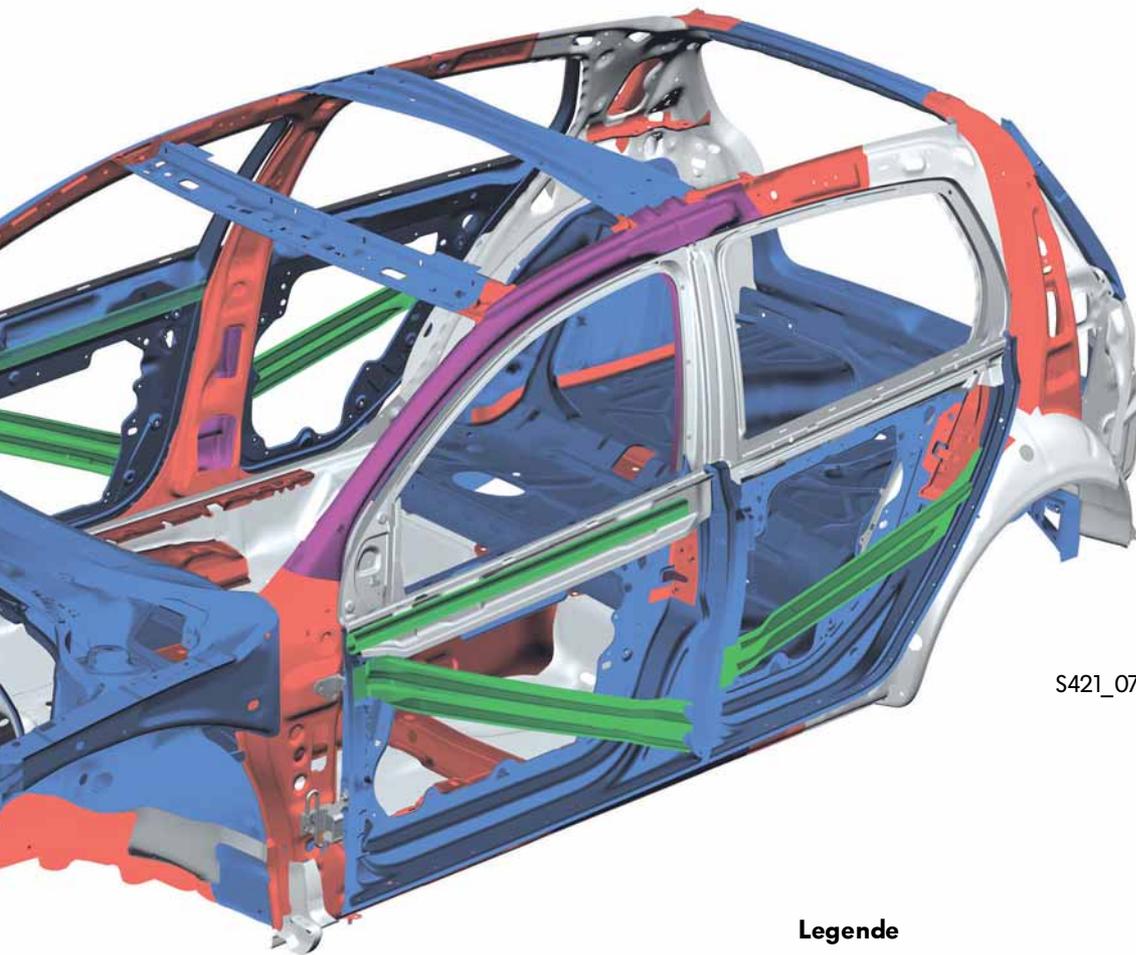
So können z. B. sehr schlanke und leichte Karosserieteile hergestellt werden, ohne dass Festigkeitsverluste eintreten.

Am Beispiel des aktuellen Golf soll gezeigt werden, welche unterschiedlichen Materialien in den Baugruppen der Karosserie verwendet werden



Höchstfeste Bleche in den Baugruppen:

- die A-Säule innen
- die Sitzkonsolen
- die Unterholme außen
- vornliegende Konsolen an den vorderen Längsträgern
- der Stoßfängerquerträger hinten



S421_071



Warmumgeformte höchstfeste Bleche in den Baugruppen:

- der Stoßfängerquerträger vorn
- der Querträger im Bereich Fußraum
- die Unterholme innen
- der Mitteltunnel
- der Bereich A-Säule /Dachrahmen
- die B-Säule

Legende

- Stahlbleche bis 140 MPa
- hochfeste Stahlbleche von 180 bis 240 MPa
- höherfeste Stahlbleche von 260 bis 320 MPa
- höchstfeste Stahlbleche von 340 bis 700 MPa
- höchstfeste warmumgeformte Stahlbleche über 1000 MPa

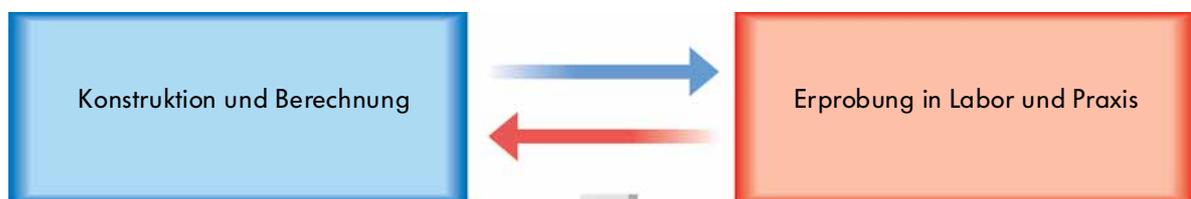
Die Festigkeitsangaben in MPa beziehen sich auf R_m = Zugfestigkeit.

1 MPa = 1 Newton/mm²

Die Herstellung der Halbzeuge

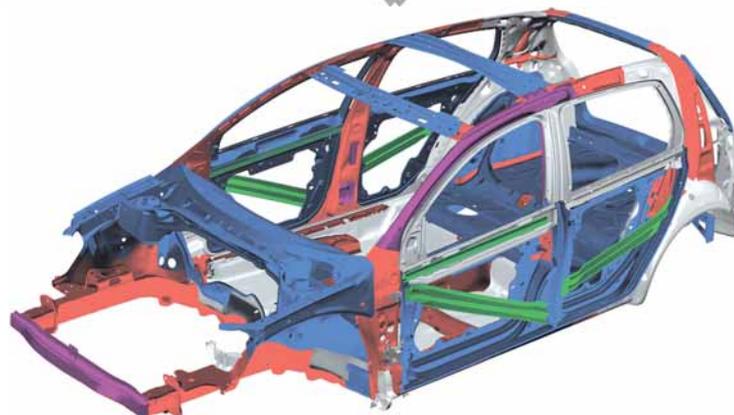
An eine moderne Karosserie werden immer höhere und auch differenziertere konstruktive Anforderungen gestellt. Um diesen Anforderungen zu genügen, müssen die Materialien/HALBZEUGE für den jeweiligen Karosseriebereich und dem dort vorliegenden Belastungsprofil genau „maßgeschneidert“ gewählt und eingesetzt werden.

Aus der Karosserieberechnung und der späteren Erprobung ergeben sich Belastungsverläufe innerhalb der Karosserie, die im Zuge der heutigen Berechnungsmöglichkeiten immer praxisnäher abgebildet werden können.



Im Ergebnis von Berechnung und Erprobung wird dann der Aufbau der Karosseriestruktur abgeleitet:

- Festlegen des Halbzeugprofils
- Wahl des Halbzeugmaterials
- Wahl derjenigen Karosseriepartien und deren Werkstoff, bei denen eine Behandlung während der Fertigung erfolgt (z. B. Formhärten im Umformwerkzeug)
- Wahl der Karosseriebereiche und jeweiligen Teile, die innerhalb des Teils Querschnittsänderungen haben (Tailored Blanks)

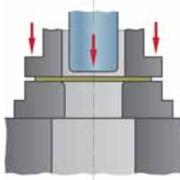
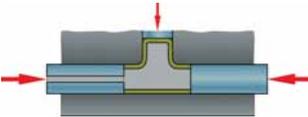
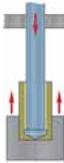
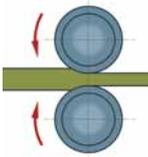
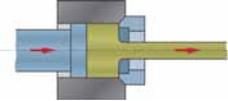


Umformverfahren

Für die Herstellung der HALBZEUGE kommen unterschiedliche Verfahren zum Einsatz.

Die heutigen Stahl-Feinbleche bieten sehr gute Möglichkeiten, bei gleichzeitig hohen FESTIGKEITEN im Sinne der Sicherheit auch Ansprüchen des Leichtbaus zu genügen. Für die Formgebung müssen sie aber auch eine entsprechend gute Verformbarkeit haben.

Daraus ist zu erkennen, wie komplex die Anforderungen sind!

| Die wesentlichsten Umformverfahren sind: | |
|--|---|
| Tiefziehen |  |
| Innenhochdruckumformen |  |
| Fließpressen |  |
| Walzen |  |
| Strangpressen |  |

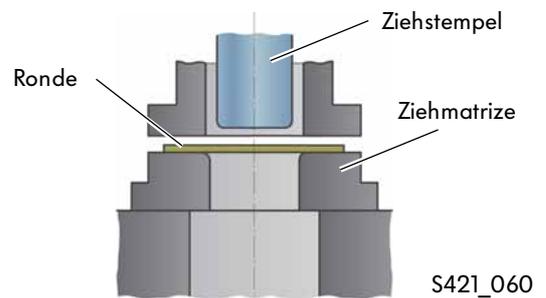


Grundlagen - Verfahrenstechnik

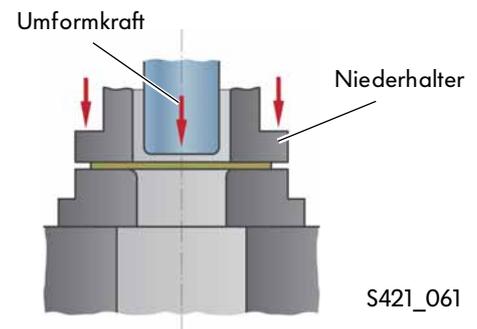
Tiefziehen

Beim Tiefziehverfahren wird eine Verformung durch gleichzeitiges Wirken von Zug- und Druckkräften erreicht. Dabei werden Bleche in einem oder mehreren Arbeitsgängen umgeformt. Es werden Materialien mit entsprechender Fließfähigkeit eingesetzt – Tiefziehbleche. Eine spezielle Form des Tiefziehens ist das Prägen. Hier können in die Oberfläche von Blechen erhabene Strukturen und Formen, wie z. B. Schriften, eingebracht werden – oft wird dieser Vorgang aber gleichzeitig mit dem Tiefziehprozess vollzogen.

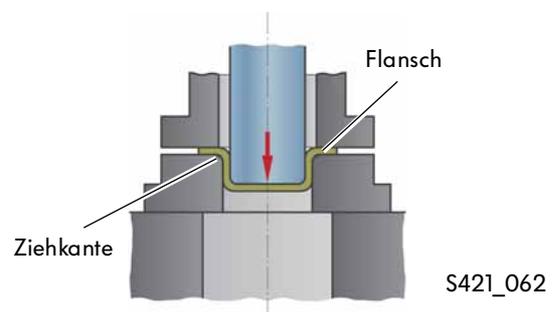
Das zugeschnittene Blech wird auf die Ziehmatrize aufgelegt ...



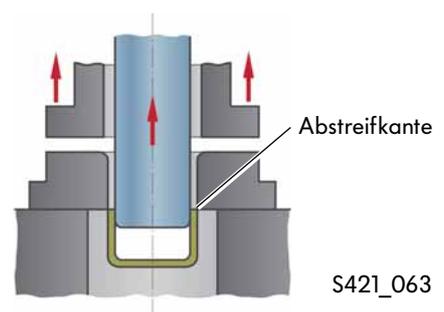
... und durch den Niederhalter festgeklemmt.



Der Ziehstempel wird nun nach unten gedrückt und zieht das Blech über die Ziehkante in die Öffnung der Ziehmatrize. Das Blech wird dabei vom Niederhalter so fest auf die Ziehmatrize gedrückt, dass im Bereich des Flansches keine Faltenbildung auftreten kann.



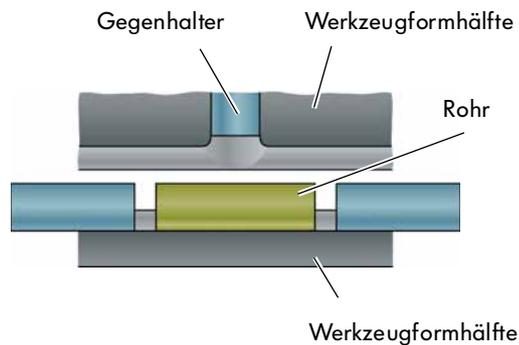
Nach Beendigung des Ziehvorganges gibt der nach oben gehende Ziehstempel das Werkstück frei.



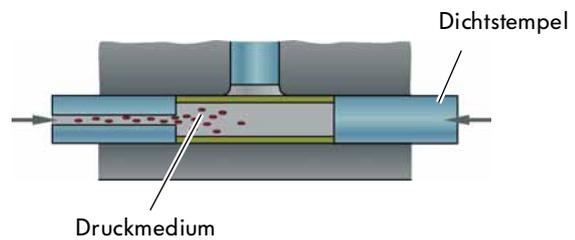
Innenhochdruckumformen

Beim Innenhochdruckumformen wird eine Verformung durch Druckkräfte erreicht. Bei diesem Verfahren wird ein Blechprofil durch hohen Druck von innen gegen eine Hohlform gepresst. Mit diesem Verfahren können auch Teile mit unterschiedlichen und komplexen Geometrien, z. B. mit Nebenformen, sehr schnell gefertigt werden. Außerdem können auch Schweißnähte eingespart werden. Durch die beim Verformen auftretende Kaltverfestigung wird die Bauteilfestigkeit oder -steifigkeit erhöht.

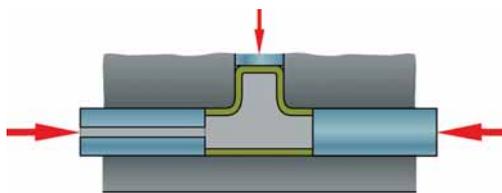
Das Blechprofil wird in die untere Hälfte eines zweiteiligen Werkzeuges eingelegt.



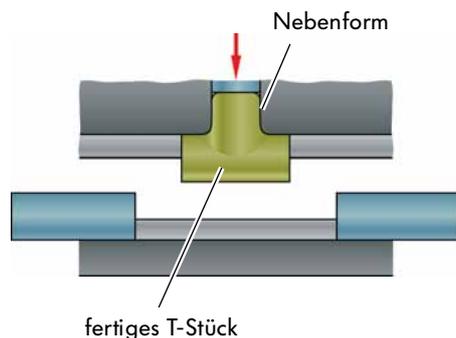
Danach wird das Werkzeug verschlossen und mit einem flüssigen Druckmedium gefüllt.



Anschließend wird das flüssige Druckmedium unter einen Druck von ca. 170 MPa gesetzt. Die entstehenden Kräfte drücken das eingelegte Blechprofil an die Werkzeugform und erzeugen somit die gewünschte neue Form.



Nach Beendigung des Umformvorganges fahren die Werkzeugformhälften auseinander und das fertige geformte Teil kann herausgenommen werden.



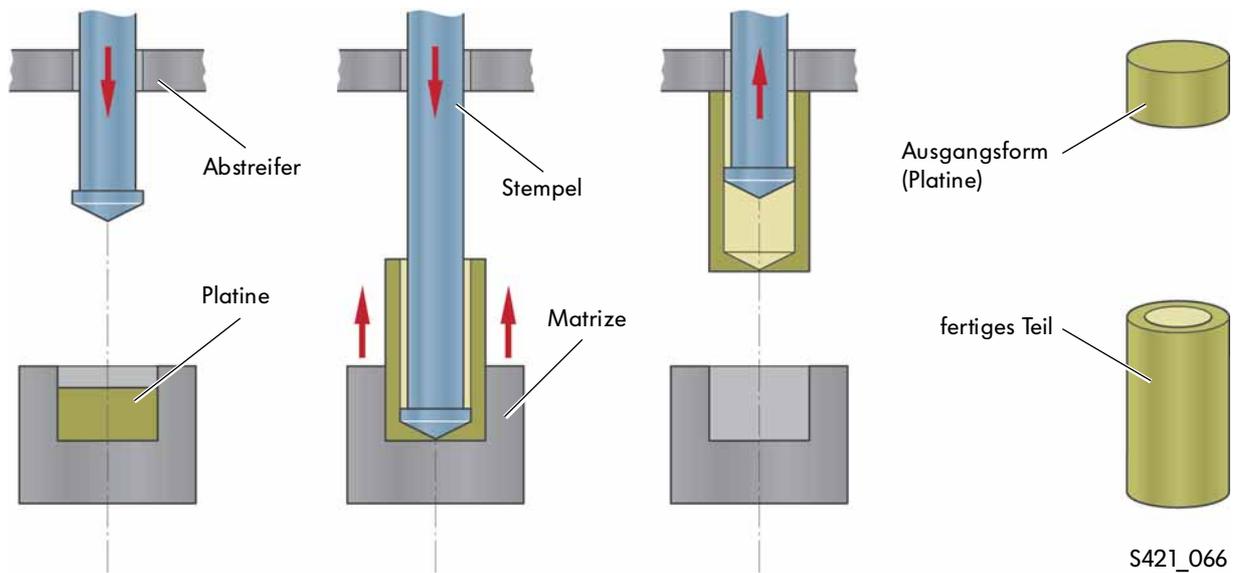
S421_080



Grundlagen - Verfahrenstechnik

Fließpressen

Beim Fließpressen wird eine Verformung durch Druckkräfte erreicht.
Die bei diesen Verfahren eingesetzten Werkstoffe müssen eine hohe Verformbarkeit haben.



Beim Fließpressen werden Werkstoffe mittels Stempel und Matrize zu Voll- oder Hohlkörpern gepresst.

In das Umformwerkzeug wird ein Block als Ausgangsmaterial eingelegt. Wenn nun der Stempel unter hohem Druck dieses Material zusammendrückt, weicht es auf der anderen Seite in die Öffnung der Matrize aus.

Durch die Verformung wird eine Verfestigung erreicht.

Außerdem kann durch die Matrize eine entsprechende Oberflächengüte erzielt werden.

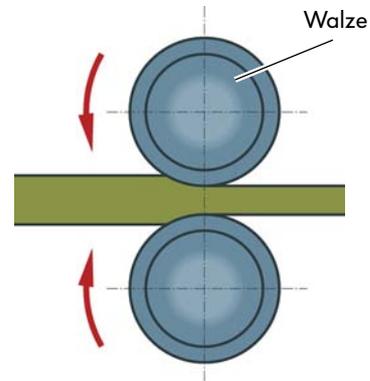
Walzen

Beim Walzen wird eine Verformung durch Druckkräfte erreicht.

Zwischen zwei sich drehenden Walzen werden Profile, Bleche, Rohre und Drähte transportiert und dabei umgeformt.

Das Material wird durch die Walzen verdichtet und somit entsprechend verfestigt.

Außerdem können entsprechende Oberflächengüten erzielt werden.



S421_064



Strangpressen

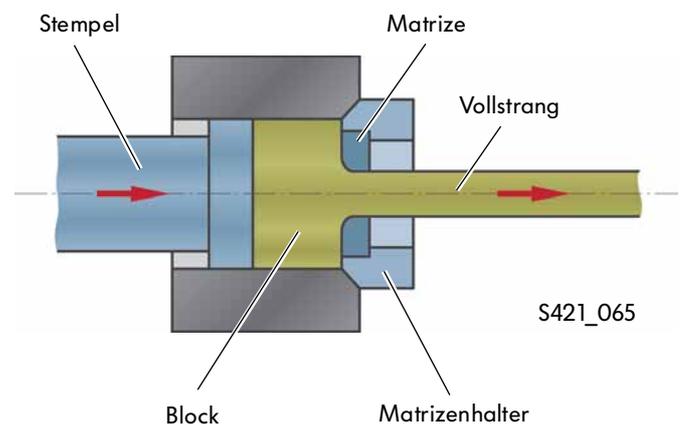
Beim Strangpressen wird eine Verformung durch Druckkräfte erreicht.

Bei diesem Verfahren werden erwärmte Werkstoffe durch eine Matrize gedrückt und zu einem Strang verpresst.

Je nach verwendeter Matrizenform können unterschiedliche Profile hergestellt werden.

Das Material wird durch die Umformung in der Matrize verdichtet und somit entsprechend verfestigt.

Außerdem können entsprechende Oberflächengüten erzielt werden.



S421_065

Die Tailored Blanks

Der Begriff „Tailored“ sagt bereits, dass Teile „geschneidert“, also maßgerecht zusammengesetzt sind. Mit „Blanks“ sind Platinen gemeint. Sinngemäß sind Tailored Blanks also „maßgeschneiderte Platinen.“

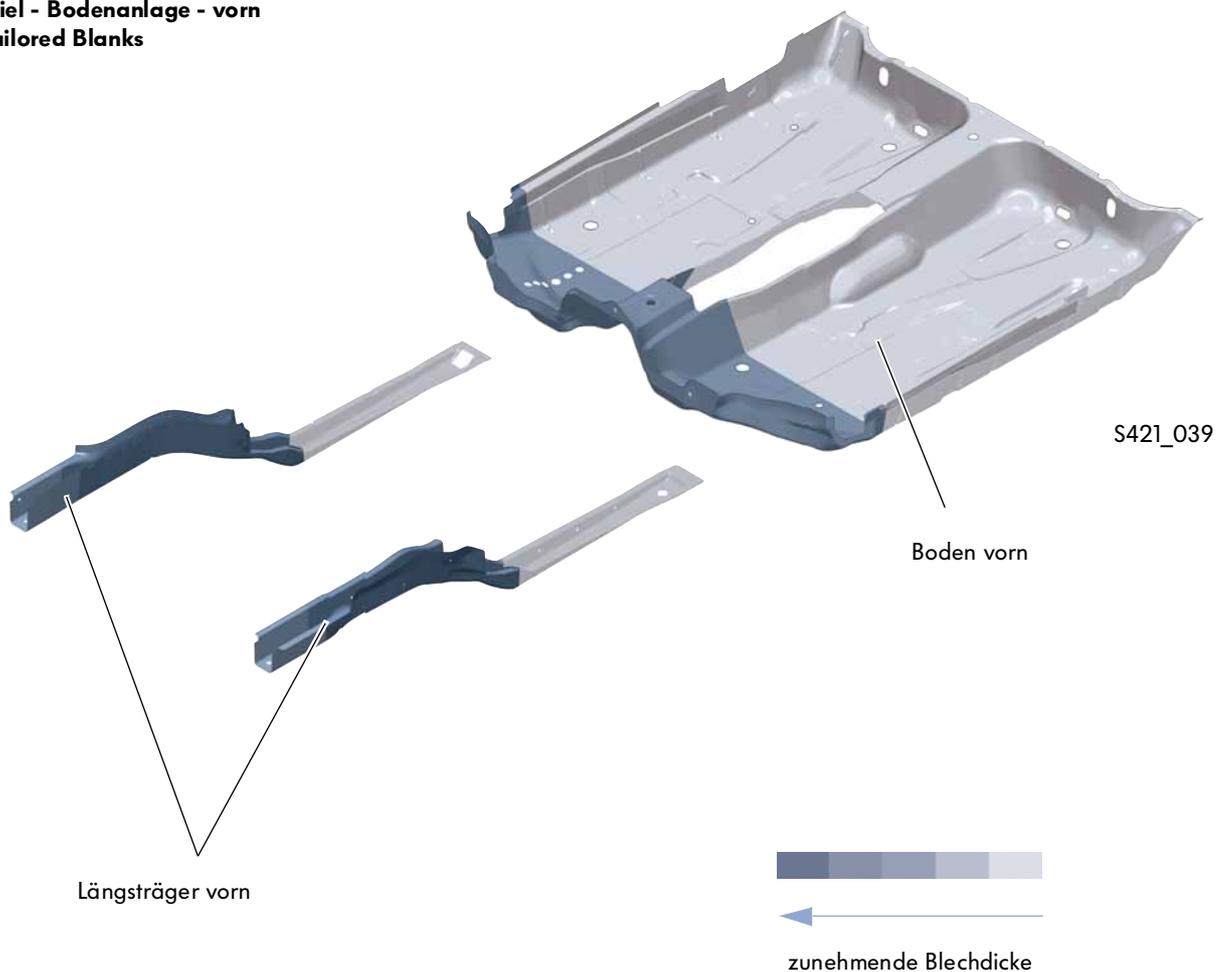
Tailored Blanks wurden ursprünglich entwickelt, um Blechplatinen herzustellen, deren Breite mit damaliger Walztechnik nicht zu realisieren waren. Heute wird vor allem der Vorteil der Tailored Blanks dazu genutzt, dass unterschiedliche Stahlgüten und Blechdicken in einem Fertigteil zusammengesetzt werden können.

Mit Tailored Blanks ist eine immer bessere und genauere Anpassung der Karosseriestruktur an die Belastung bestimmter Karosseriepartien möglich. So können Teile mit komplexen Formen und passgerechter konstruktiver Auslegung gefertigt werden.

Die einzelnen Teile der Tailored Blanks werden miteinander durch Schweißen verbunden. Nach dem Schweißen erfolgt dann die Umformung z. B. durch Tiefziehen.



**Beispiel - Bodenanlage - vorn
mit Tailored Blanks**

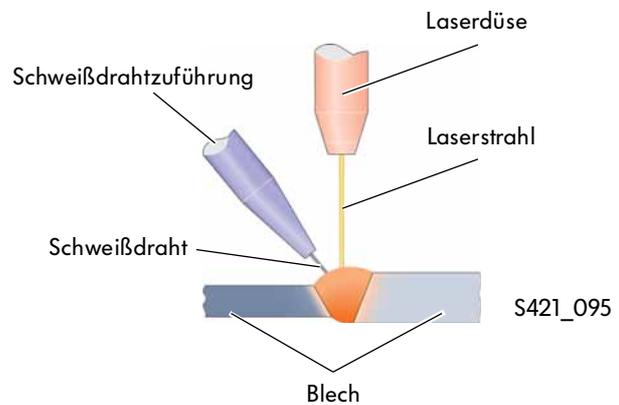


Zum Verbinden der einzelnen Komponenten von Tailored Blanks werden unterschiedliche Schweißverfahren angewendet.

So war ein häufig angewendetes Verfahren das Quetschnahtschweißverfahren. Dies ist heute aber zumeist durch das modernere Laserschweißen abgelöst worden. Deshalb soll auch nicht näher auf das Quetschnahtschweißen eingegangen werden.

Um die erforderlichen Nahtqualitäten beim Laserschweißen zu erreichen, muss eine gute Nahtkantenvorbereitung erfolgen.

... Verbinden durch Laserschweißen

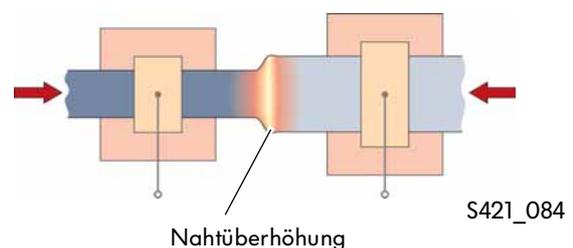
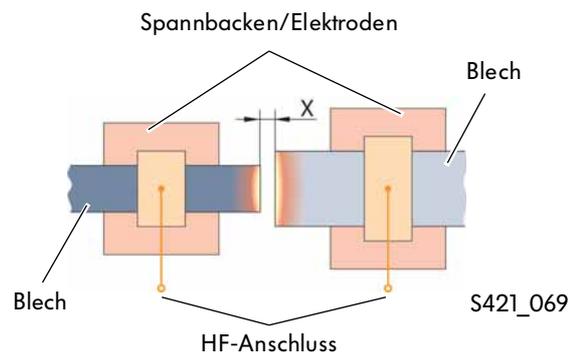


Neben dem Laserschweißen wird heute auch bereits das Hochfrequenzschweißen für Tailored Blanks genutzt.

Bei diesem Verfahren werden Bleche mit einem definierten Spalt „x“ zueinander gespannt.

Der hochfrequente Strom wird über Spannbacken/ Elektroden direkt über die Bleche geführt. Durch elektrodynamische Effekte konzentriert sich der Schweißstrom an den Blechkanten. Ist die notwendige Temperatur erreicht, wird der Strom abgeschaltet und die erwärmten Fügekanten werden zusammengespreßt.

... Verbinden durch Hochfrequenzschweißen



Mit dem Hochfrequenzschweißen können extrem kurze Schweißzeiten erreicht werden. Die Anforderungen an die Nahtvorbereitung sind geringer als beim Laserschweißen. Auch ungerade verlaufende Nähte sind gut zu schweißen. Nachteilig am Verfahren ist die nach dem abgeschlossenen Schweißvorgang vorhandene Nahtüberhöhung. Diese Überhöhung muss nachträglich abgearbeitet werden.



Die Fügeverfahren

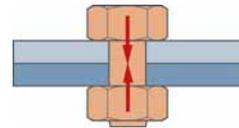
Selbsttragende Karosserien müssen allein durch ihre Struktur – ohne unterstützenden Rahmen – die erforderliche Stabilität und Steifigkeit erreichen. Für die Karosseriefertigung angewendete Fügeverfahren haben dabei große Bedeutung. Beim Fügen werden Teile miteinander verbunden.

Für den Karosseriebau kommen folgende Fügearten zur Anwendung:

kraftschlüssige Verbindung:

- Schraubverbindung

Kraftschlüssige Verbindungen, wie z. B. das Verschrauben, stellen heute nur noch einen geringen Anteil der Fügeverfahren beim Karosseriebau. Durch Schraubverbindungen können die notwendigen Anforderungen an die Stabilität und Steifigkeit der Karosserie kaum erreicht werden.



S421_086

formschlüssige Verbindung:

- Nietverbindung

Zu den formschlüssigen Verbindungen können Nietverbindungen gerechnet werden. Hierbei greifen mindestens zwei Teile ineinander und verbinden diese Teile miteinander. Auch mit einer Nietverbindung werden die Anforderungen an die Stabilität und Steifigkeit nur eingeschränkt erreicht.



S421_087

stoffschlüssige Verbindung:

- Schweißverbindung
- Lötverbindung
- Klebeverbindung

Gut können die genannten Anforderungen mit stoffschlüssigen Verbindungen erfüllt werden. Durch diese Fügeverfahren entsteht ein Materialverbund, bei dem im Fügeseit, z. B. beim Schweißen, eine Materialvermischung stattfindet. Derartig verbundene Teile können als „quasi“ neues Teil angesehen werden. Die Materialvermischung tritt beim Löten und Kleben nicht ein, dennoch ist der direkte Kontakt im Fügeseit wesentlich intensiver, so dass entsprechend hohe FESTIGKEITEN erreicht werden.



S421_088

Schraubverbindung

Schraubverbindungen haben den Vorteil, dass Reparaturen und Austauscharbeiten gut und kostengünstig durchgeführt werden können.

Nachteilig ist aber, dass die heute allgemein gewünschten Karosseriesteifigkeiten bei einer selbsttragenden Karosserie nur schwer zu erreichen sind.

Die Vorteile treten im Verhältnis zu den Vorteilen einer stoffschlüssigen Verbindung in vielen Fällen zurück. Gerade im Zusammenhang mit der Crashesicherheit oder auch allgemein dem Fahrverhalten ist aber eine sehr steife Karosserie notwendig.

Hier sind einer Schraubverbindung Grenzen gesetzt.

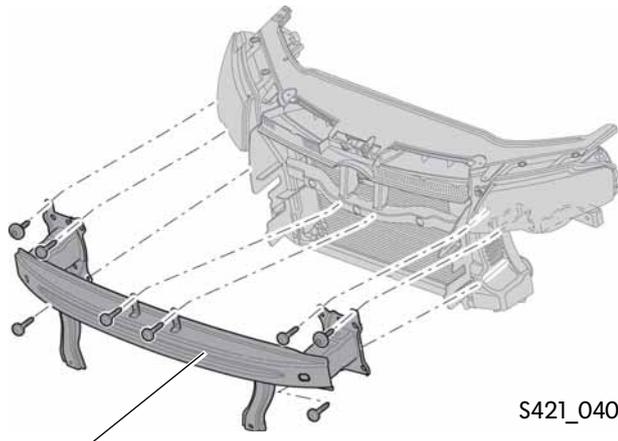
Deshalb sind Verschraubungen vor allem dort eingesetzt, wo die Tragfähigkeit der Karosseriestruktur nicht beeinträchtigt wird.

Außerdem werden in größerem Umfang Anbauteile durch Schrauben verbunden.

Wo sind z. B. Schraubverbindungen eingesetzt?

- Befestigung von Kotflügeln an der Karosseriestruktur
- Befestigung des vorderen Querträgers an den Längsträgern

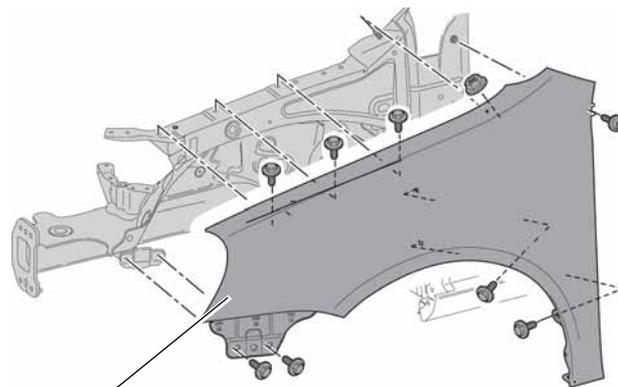
Verschraubung vorderer Querträger beim Passat 2006 (Beispiel)



S421_040

Vorderer Querträger
(Passat 2006)

Verschraubung Kotflügel vorn links beim Golf 2004 (Beispiel)



Kotflügel vorn links
(Golf 2004)

S421_041



Nietverbindung

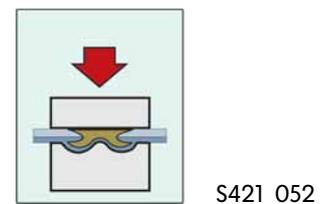
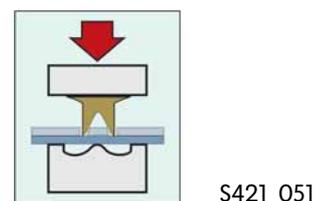
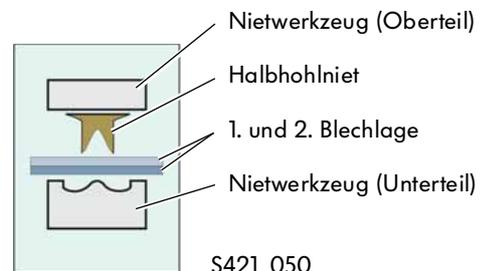
Stanznieten

Beim Stanznieten wird ein Halbhohlniet mittels eines Nietwerkzeuges durch die erste Blechlage gedrückt. Die zweite Blechlage wird durch den Niet lediglich verformt, ohne durchdrungen zu werden. Der Fuß des Halbhohlnietes wird gespreizt und es formt sich so ein Schließkopf, welcher der Nietverbindung den notwendigen Halt gibt

Vorteile:

- kein Vorlochen der Bleche
- zweite Blechlage wird nicht durchtrennt
- höhere FESTIGKEIT und geringerer Energiebedarf als beim Widerstandspunktschweißen

Für Stanznieten wird als Material Stahl verwendet. Sollten die Nieten für Aluminium-Bleche verwendet werden, müssen sie zur Vermeidung von Kontaktkorrosion mit einer Zink-Nickel-Beschichtung ausgeführt sein.



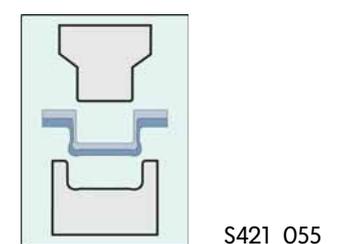
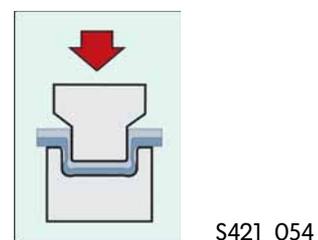
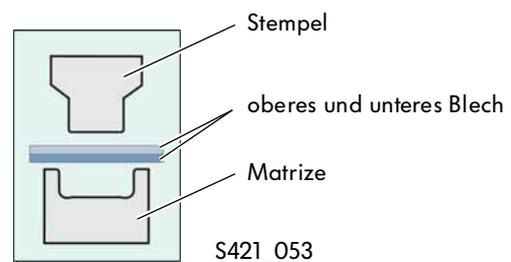
Durchsetzfügen (Clinchen)

Durchsetzfügen dient zum Verbinden nichttragender einfacher Bauteile, da die Verbindungsstelle nur eine geringe FESTIGKEIT hat. Hierbei entfällt der Niet. An der Fügestelle presst der Stempel die beiden Bleche in eine Matrize. Durch Einsenken und Stauchen des oberen in das untere Blech wird eine kraft- und form-schlüssige Verbindung geschaffen.

Vorteile:

- schnelle und saubere Verbindungstechnik
- kostengünstig

Sollten unterschiedliche Werkstoffe für die Bleche eingesetzt werden, müssen diese zur Vermeidung von Kontaktkorrosion durch eine elektrochemisch isolierende Beschichtung ausgestattet sein.



Blindnieten

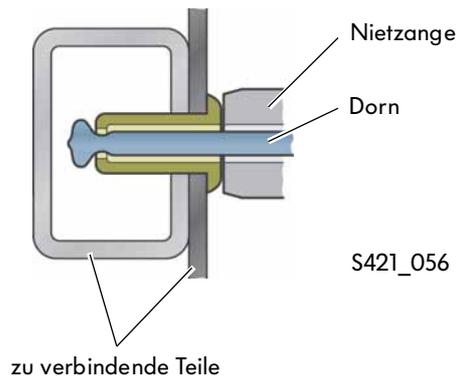
Das Blindnieten kann dort eingesetzt werden, wo die Nietstelle nur von einer Seite aus zugänglich ist.



In den Abbildungen wird beispielhaft der Ablauf einer Blindnietung unter Verwendung von Dornnieten beschrieben.

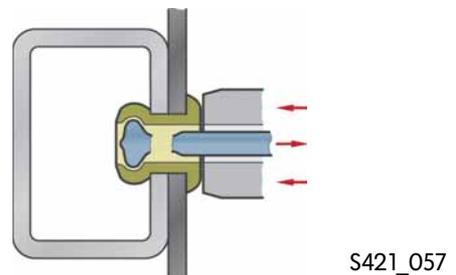
Dornniete sind Hohlните mit Dorn.

Der Dornniet wird mit einer Nietzange in die übereinanderliegenden Bohrungen der zu verbindenden Teile eingebracht.

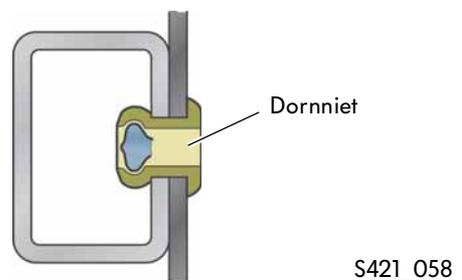


Durch die Zange wird nun der Dorn zurückgezogen. Der Dorn formt dabei aus dem überstehenden Schaftende den Schließkopf.

Der Dorn bricht an der Sollbruchstelle.



Die Nietzange wird mit dem abgebrochenen Dorn abgezogen; die Nietverbindung ist abgeschlossen.



Schweißen

Als Schweißverfahren werden heute das Laserschweißen und das Widerstandsschweißen in großer Anwendungsbreite eingesetzt. Deshalb soll das Schweißen am Beispiel dieser beiden Schweißverfahren behandelt werden.

Neben dem Laserschweißen findet ebenso das Plasmaschweißen – eine Weiterentwicklung des WIG-Schweißverfahrens (WIG = Wolfram-Inertgas) – Anwendung. Das Verfahren ist aber gegenwärtig noch relativ wenig im Karosseriebau verbreitet und soll daher hier nicht behandelt werden.

Laserschweißen

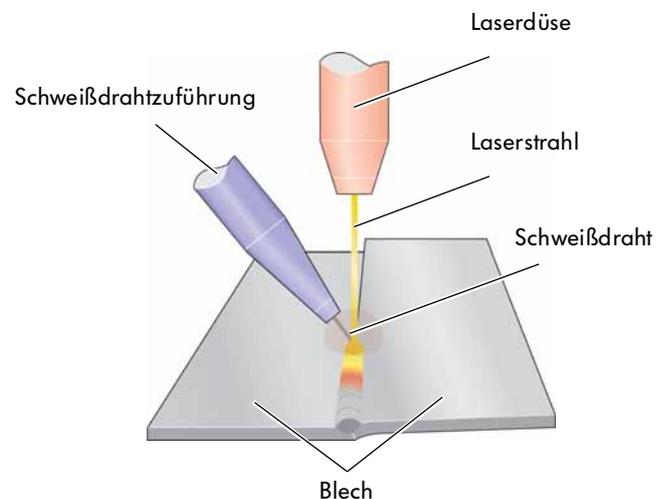
Beim Laserschweißen wird die Wärme für das Aufschmelzen des Materials durch einen Laserstrahl erzeugt. Das Laserschweißen wurde zunächst bei der Fertigung von Tailored Blanks für den Fahrzeugbau angewendet. Wegen vieler Vorteile findet es zunehmende Verbreitung auch beim Zusammenbau des Fahrzeuges:

- Beim Laserschweißen ist eine „fast übergangslose“ Verbindung von Teilen möglich – das ist besonders vorteilhaft für die Verbindung höherfester Bleche. Das Tragverhalten des Materials wird auch im Nahtbereich weitgehend erhalten.
- Es werden auch komplizierte Nähte, wie z. B. einseitige Schweißungen ermöglicht. Durch den Einsatz von Zusatzdraht sind neben Stoßnähten auch andere Nahtformen, wie z. B. Kehlnähte, möglich.
- Bei hohen Arbeitsgeschwindigkeiten wird gleichzeitig eine sehr gute Oberflächenqualität erzielt.
- Die Oberfläche einer Laserschweißnaht ist bereits so gut, dass Nacharbeiten, z.B. für ein ordnungsgemäßes Lackieren, nur einen minimalen Zeitaufwand erfordern.

Laserschweißnähte am Beispiel des Passat 2006:

- im Bereich der Türöffnungen
- am Dachträger vorn und hinten
- am Frontscheibenrahmen seitlich
- im Bereich Radhaus vorn
- im Bereich Heckscheibenrahmen hinten
- am Abschlussblech hinten

Beim Laserschweißen werden die zu verbindenden Materialien und der zugeführte Schweißdraht durch die hohe Energie des Laserstrahles verflüssigt.



S421_059

Widerstandsschweißen

Mit diesem Verfahren können elektrisch leitfähige Materialien verschweißt werden. Durch einen an der Schweißstelle fließenden elektrischen Strom wird das Material aufgeschmolzen und die zu verbindenden Teile werden – ohne Zusatzmaterial – miteinander verschweißt. Es wird generell mit niedrigen Spannungen und hohen Strömen gearbeitet, so dass zwar der Schweißeffect ermöglicht wird, gleichzeitig aber keine Gefährdung auftritt.

Es gibt unterschiedliche Varianten der Anwendung dieses Schweißprinzips, wie z. B.

- Widerstandspunktschweißen und
- Widerstandsstumpfschweißen

Widerstandspunktschweißen:

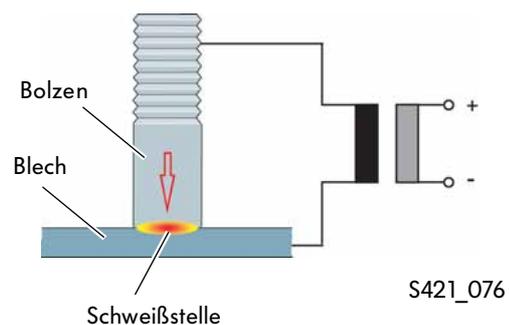
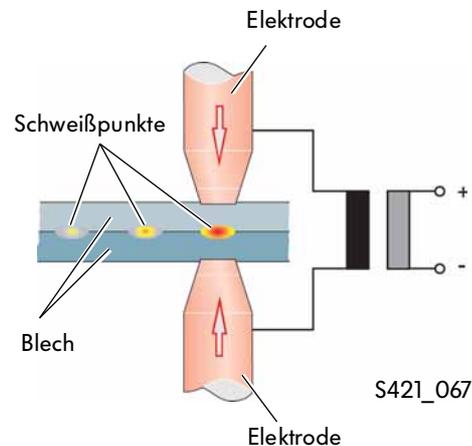
Im Karosseriebau hat das Widerstandspunktschweißen nach wie vor einen hohen Stellenwert. Neue moderne Möglichkeiten der Steuerung und Regelung ermöglichen heute auch Widerstandspunktschweißungen an höherfesten bzw. auch beschichteten Blechen.

Im modernen Karosseriebau wird zusätzlich Klebstoff in die Fugeebene eingebracht, um das Tragverhalten und die Steifigkeit einer solchen Verbindung zu verbessern und die Schwingfestigkeit zu erhöhen. Die Klebstoffschicht verhindert zusätzlich das Eindringen von Stoffen, wie z. B. Wasser oder anderen Flüssigkeiten und trägt damit auch zur Verhinderung von Spaltkorrosion bei.

Eine Variante des Widerstandspunktschweißens stellt das Widerstandsrollnahtschweißen dar, bei dem die Elektroden als Drehrollen ausgeführt sind. Die zu verbindenden Teile laufen durch das Elektroden-Rollenpaar und es wird eine Schweißnaht erzeugt.

Widerstandsstumpfschweißen

Das Widerstandsstumpfschweißen wird nur für nicht-tragende Verbindungen verwendet. Hierbei werden zwei Teile aneinandergespresst und bestromt; an der Pressstelle kommt es zum Ausschmelzen und zum Verschweißen. Im Karosseriebau werden damit z. B. Bolzen an Blechteile angeschweißt.

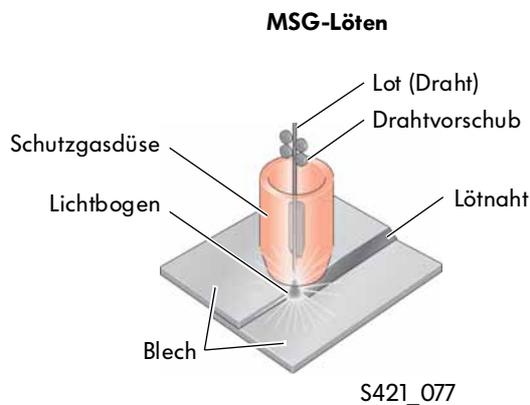


Grundlagen - Verfahrenstechnik

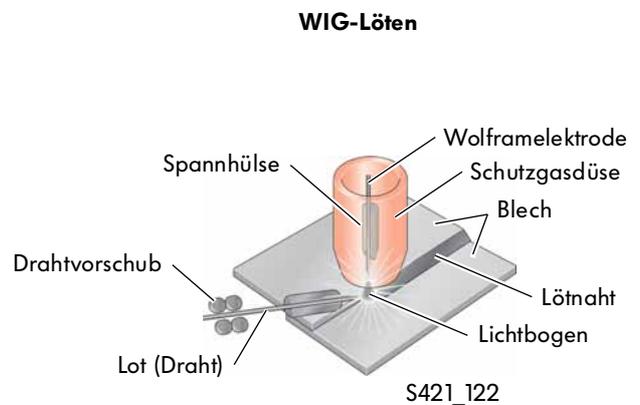
Löten

Im Unterschied zum Schweißen werden beim Löten die zu verbindenden Teile an der Fugestelle nicht aufgeschmolzen. Es wird ein Zusatzwerkstoff aus Bronze – das Lot – verwendet. Das beim Löten aufgeschmolzene Lot füllt den Zwischenraum im Fugespalt und verbindet die zu fügenden Teile mit hoher FESTIGKEIT. Wegen der niedrigeren Temperaturen beim Löten wird z. B. bei verzinkten Blechen die Zinkschicht weniger beeinflusst und es werden im Fügebereich größere Aufhärtungen vermieden. Durch das Lot können Fugespalte besser überbrückt werden. Die niedrigeren Prozesstemperaturen ermöglichen geringere Wärmeverzüge.

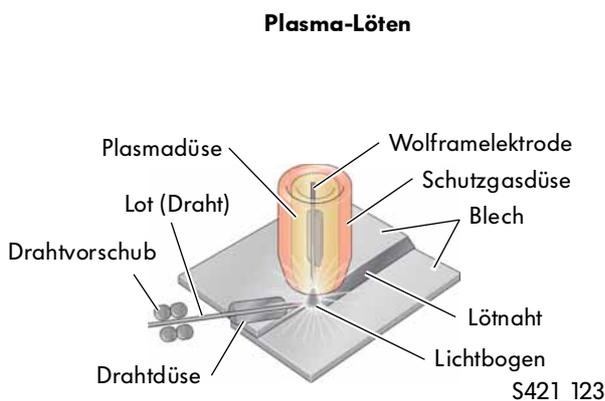
Die wesentlichsten Lötverfahren werden nachfolgend kurz erläutert.



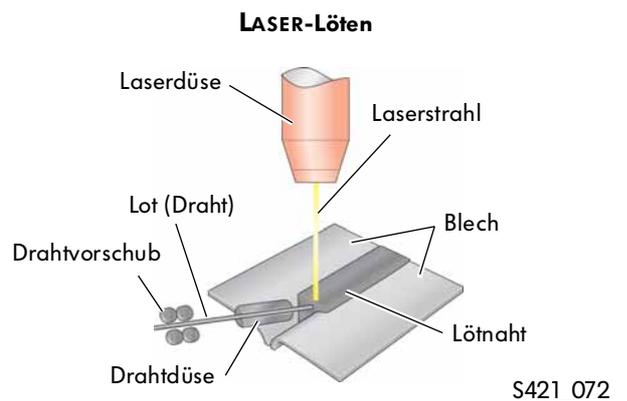
Das Lot wird durch den Lichtbogen zwischen Lot und dem zu lötenden Bauteil unter Schutzgas abgeschmolzen.



Das Lot wird durch den Lichtbogen zwischen einer Wolframelektrode und dem zu lötenden Bauteil unter Schutzgas abgeschmolzen.



Beim Plasma-Löten wird gegenüber dem WIG-Löten der Lichtbogen durch eine Plasmadüse zusätzlich eingeschnürt. Damit wird eine höhere Energiedichte erreicht und es sind schmalere Nähte und höhere Lötgeschwindigkeiten möglich.



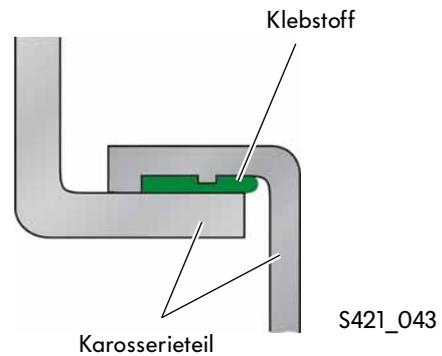
Beim LASER-Löten wird die Lötwärme durch einen Laserstrahl erzeugt.

Kleben

Kleben ist ein stoffschlüssiges Verfahren zum unlösbaren Verbinden von Bauteilen mit Hilfe eines Klebstoffes. Der Aushärteprozess beim Verkleben kann je nach Art des Klebstoffes durch geringen Wärmeeintrag unterstützt werden. Mit der Entwicklung immer neuer wirksamer und genau auf den Einsatzfall zugeschnittener Klebstoffe und Klebverfahren gewinnt das Kleben in der Karosseriefertigung zunehmend an Bedeutung. Klebeverbindungen können die FESTIGKEIT, z. B. von Schweißpunkten, sogar übertreffen.

Das Kleben dient aber nicht allein dem Fügen von Teilen. Besonders im Karosseriebau wird das Verfahren für eine Reihe weiterer Aufgaben eingesetzt wie z. B. für

- die Abdichtung des Fügebereiches gegen eindringende Feuchtigkeit bzw. korrosive Medien
- das Verbinden unterschiedlicher Materialien, wie z. B. Stahlblech mit Kunststoffmaterial
- die Schall- und Schwingungsdämpfung
- die Gas- und Flüssigkeitsabdichtung
- die Erhöhung der Bauteilsteifigkeit
- die Vermeidung von Spalt- und Kontaktkorrosion
- das verzugsarme Fügen durch Vermeidung von Temperaturbelastung
- die flächenmäßige Krafteinleitung



Für eine ordnungsgemäße Verklebung sind entsprechende Vorbehandlungen notwendig, wie z. B.:

- saubere und fettfreie Oberflächen herstellen
- Auftragen eines Primers (Haftvermittler)

Je nach Einsatzfall werden unterschiedliche Klebstoffe verwendet.

Sie werden unterschieden ...

| ... nach Zusammensetzung |
|---------------------------|
| Einkomponentenklebstoffe |
| Zweikomponentenklebstoffe |

| ... nach Verarbeitungstemperatur |
|----------------------------------|
| Kaltklebstoffe (Raumtemperatur) |
| Warmklebstoffe (120-250 °C) |



Die Beschichtungsverfahren

Ziel der verschiedenen Oberflächenbeschichtungen ist es, den Stahl der Karosserie vor einer möglichen Oxidation (KORROSION) infolge der Einwirkung von Luft und Witterung zu schützen. Hierfür werden unterschiedliche Beschichtungen verwendet, wobei Beschichtungen auf Zinkbasis am meisten verbreitet sind.

Die Karosserie wird bei einer heutigen Fertigung nicht komplett z. B. durch Tauchen verzinkt; vielmehr werden die Karosserieteile oder deren Ausgangs-HALBZEUGE vor der weiteren Verarbeitung beschichtet.

Zink ist ein Material, das im Vergleich zu Stahl stärker zum Oxidieren neigt. Dies ergibt sich aus seiner Stellung innerhalb der elektrochemischen Spannungsreihe – danach ist Zink unedler als Stahl.

Die Zinkschicht deckt die Stahloberfläche ab und schützt sie somit vor KORROSION. Solange dieses Schichtsystem – z. B. durch mechanische Eingriffe – nicht verletzt wird, funktioniert der Schutz optimal.

Kommt es aber zu einer Verletzung, bei der die Zinkschicht unterbrochen wird und die Stahloberfläche offen liegt, kann, z. B. bei Zutritt von Wasser, der Potentialunterschied zwischen den beiden unterschiedlichen Materialien zur vorzeitigen Auflösung der Zinkschicht führen. Damit liegt aber die Stahloberfläche frei und die KORROSION der jeweiligen Stahl-Oberflächenbereiche beginnt.

Wird die Zinkbeschichtung mit einer Lackierung kombiniert, wird ein optimaler Schutz erreicht, der als „Duplexsystem“ bezeichnet wird.



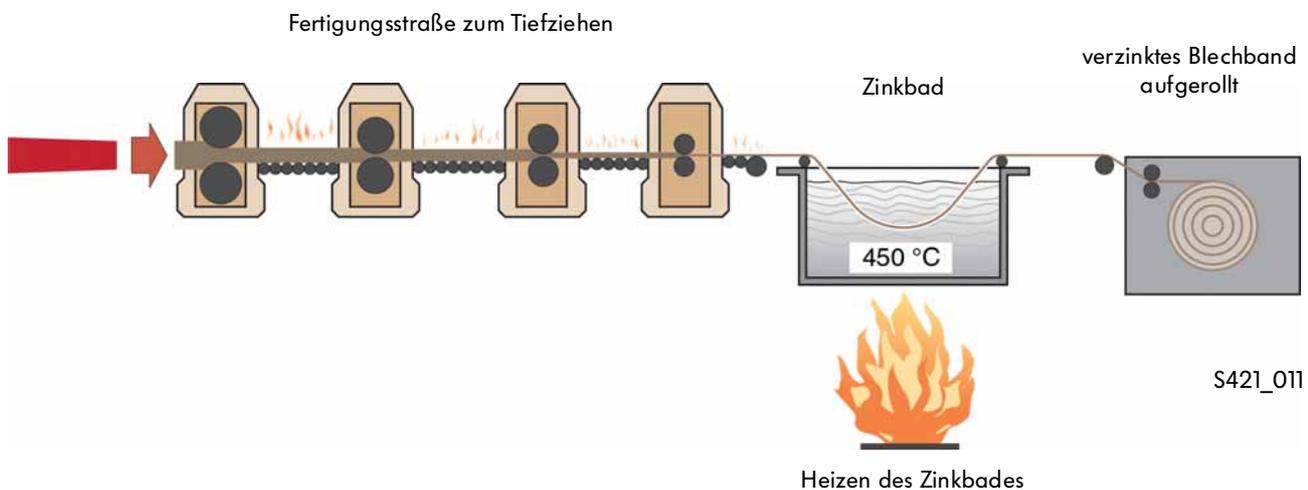
Für Karosserien übliche Zinkbeschichtungsverfahren sind:

| Feuerverzinkung für alle von außen nicht sichtbaren Teile | „Galvanealed“ und Elektroverzinkung für alle Außenhautbleche |
|---|--|
| raue Oberfläche | glatte Oberfläche |
| Zinkschicht ca. 10 Mikrometer | Zinkschicht ca. 8 Mikrometer |
| schwer umformbar | leicht umformbar |

Feuerverzinken



Aufgrund der hohen Verfahrenstemperaturen und der damit verbundenen Gefahr zum Verziehen der Bleche kann das Feuerverzinken nicht für Karosserieaußenbleche eingesetzt werden.



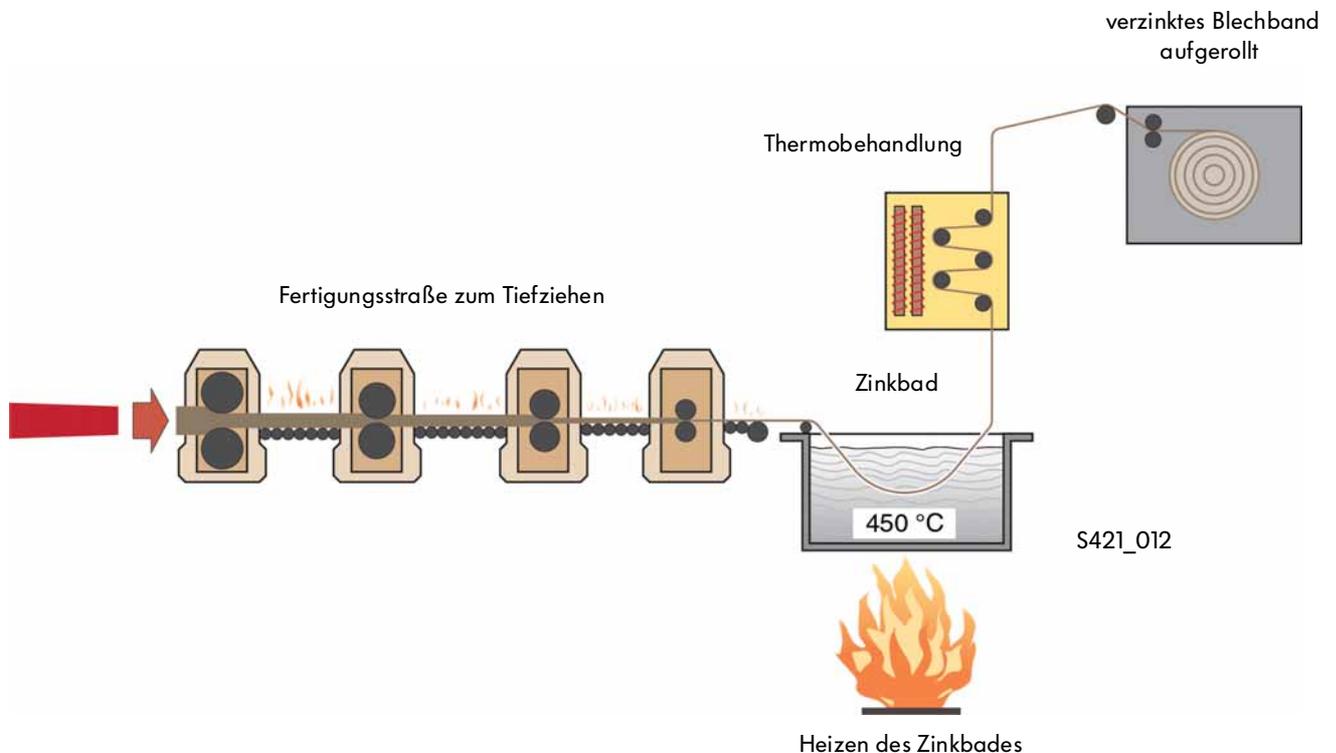
S421_011

Das Feuerverzinken erfolgt nach dem Walzen und vor dem Tiefziehen des Bleches. Das Blech wird nach dem Walzen in ein 450 °C heißes Flüssigzinkbad getaucht, wodurch sich darauf eine Zinkschicht bildet. Die Zinkschicht besteht in den unteren Schichten aus einer Eisen-Zink-Verbindung, darüber besteht sie aus reinem Zink. Beim Feuerverzinken handelt es sich um eines der wirksamsten Korrosionsschutzverfahren.

Das Feuerverzinken wird meist nicht bei Sichtteilen verwendet, da es eine raue Oberfläche mit Markierungen auf dem Blech hinterlässt, weshalb bei einer Verwendung für Sichtteile eine Nachbehandlung erforderlich wäre.



„Galvanealed“-Verfahren



Die Beschichtung durch das „Galvanealed“-Verfahren erfolgt nach dem Walzen und vor dem Tiefziehen des Bleches.

Beim „Galvanealed“-Verfahren handelt es sich um eine Variante des Feuerverzinkens. Im Unterschied zum Feuerverzinken wird der Stahl nach dem Bad zusätzlich 30 Sekunden einer Thermobehandlung (Glühen) bei 430 °C unterzogen.

Bei dieser Thermobehandlung erfolgt eine Diffusion des im Stahl vorhandenen Eisens in die Zinkbeschichtung. Es entsteht eine LEGIERUNG aus Zink und Eisen. Die Zinkbeschichtung enthält rund 10 % Eisen und wird als Galvanealed bezeichnet.

Mit dem „Galvanealed“-Verfahren wird im Vergleich zum Feuerverzinken eine höhere Korrosionsbeständigkeit erreicht

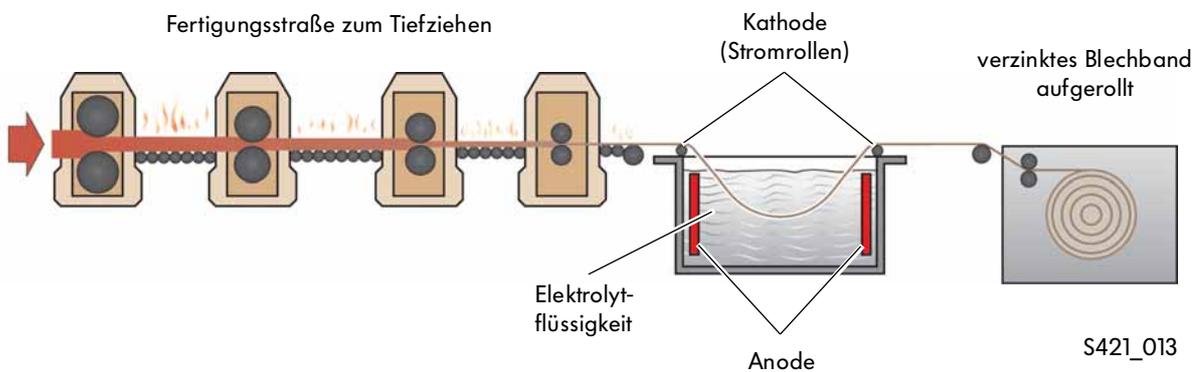
Das Verfahren hat unter anderem folgenden Zweck:

- Optimierung der Schweißbarkeit der Beschichtung,
- Gute Oberflächenqualität ohne Unregelmäßigkeiten,
- Gute Unterlage für folgende Schichten.

Elektroverzinken



Das Elektroverzinken kann wegen des geringen Verzuges für Karosserie- außenbleche eingesetzt werden.



Das Elektroverzinken erfolgt nach dem Walzen und vor dem Tiefziehen des Bleches. Das Verfahren arbeitet auf der Grundlage eines elektrochemischen Prozesses.

Das Blechband wird über sogenannte Stromrollen geführt, welche als Minuspol (Kathode) wirken. Durch ein elektrisches Feld zwischen dem Blechband (wirkt nun ebenfalls als Kathode) und den als Pluspol arbeitenden Anoden wird das in der Elektrolytflüssigkeit gelöste Zink auf dem Blech abgeschieden.

So entsteht eine sehr feine, einheitliche Zinkschicht von etwa 8 Mikrometern, die darauf folgende Verfahren, wie Pressen, Schweißen und Lackieren, ohne Verlust des Korrosionsschutzes ermöglicht.

Aufgrund der guten Endqualität wird diese Technik bei Sichtteilen der Karosserie verwendet.

Das endgültige Aussehen der Elektroverzinkung hängt von der Schichtdicke und der Oberflächenqualität des Stahls ab.



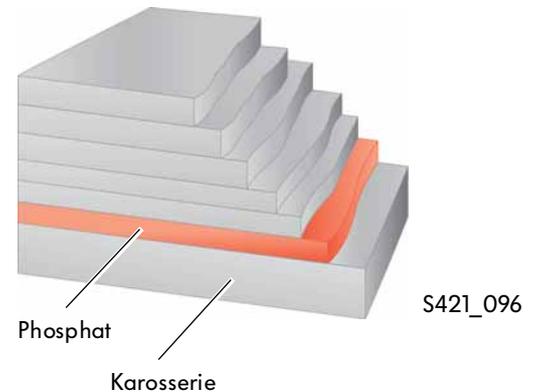
Korrosionsschutz

Die Vorbehandlung

Soll die Karosserie eine Beschichtung mit Farbe erhalten, so muss das Material gut vorbehandelt werden. Dazu wird für den Karosseriebau hauptsächlich das Verfahren Phosphatieren genutzt.

Ziel der Vorbehandlung:

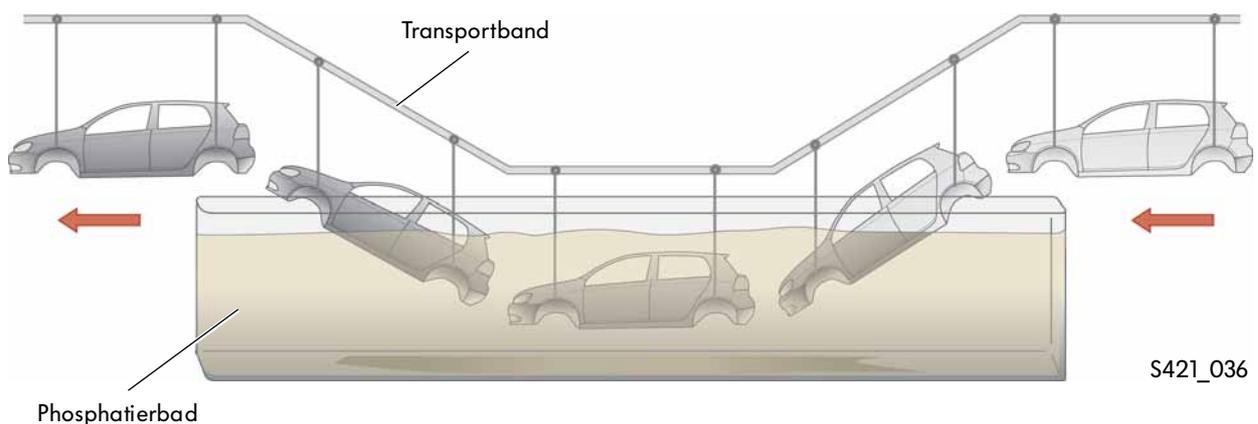
- Korrosionsschutz
- Erzeugen eines guten Haftgrundes



Phosphatieren

Die Phosphatierung ist ein chemischer/elektrochemischer Prozess, bei dem im Tauchverfahren aus phosphorsäuren Lösungen (Zink-, Nickel- und Manganionen sowie Phosphorsäure) auf der Metalloberfläche dünne feinkristalline wasserunlösliche Phosphate erzeugt werden.

Diese Phosphate entstehen aus einer chemischen Reaktion mit dem Grundmetall und bilden somit eine Schicht, die mit dem Grundmetall fest verankert ist. Je nach dem reagierenden Grundmetall (das kann auch das Material der Beschichtung sein), entsteht z. B. eine Eisen-, Nickel-, Mangan oder Zinkphosphat-schicht.



Die Schicht weist zahlreiche Hohlräume und Kapillaren auf, womit ein optimales Aufnahmevermögen verbunden ist. So können Korrosionsschutzmittel wie Wachse, Öle, Farbpigmente und Lacke gut eindringen.

Phosphatierte Oberflächen sichern so einen guten Haftgrund für Farb- und Lackanstriche.

Die Nahtabdichtung

Ebenso wichtig für einen dauerhaften Korrosionsschutz ist eine wirksame Nahtabdichtung.

Oft wird angenommen, dass besonders Fehlstellen in der Hohlraumversiegelung Ausgangspunkte für beginnende KORROSION sind – die Hohlraumversiegelung wird aber im Prozess heute so gut beherrscht, dass dort kaum noch Probleme auftreten.

Kritischer ist dagegen die Situation bei der Nahtabdichtung.

An Schweißnähten mit Überlappung wie z. B. an

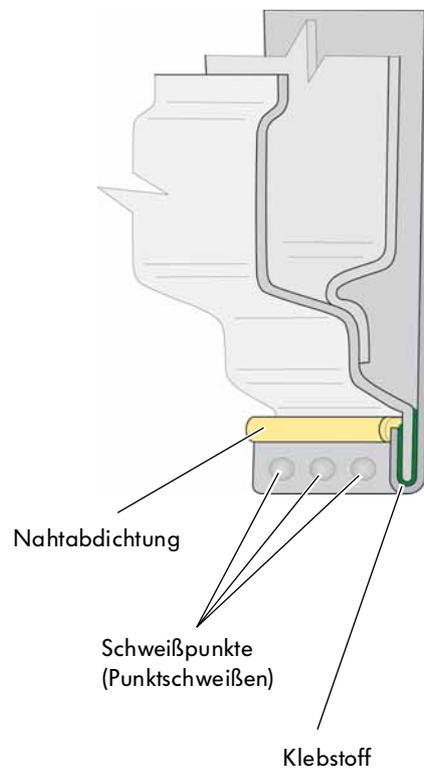
- Front- und Heckschürzen
- Rückwand
- Motorraum
- Kofferraumboden
- Boden im Fahrgastraum
- Seitenwand
- Radkasten
- Fahrzeugunterboden
- Kotflügel usw.

muss eine nachträgliche Abdichtung mit geeigneten Dichtungsmaterialien erfolgen, damit keinesfalls Wasser in den Zwischenraum zwischen zwei aneinander anschließenden Bauteilen eindringen kann.

Auch wenn z. B. die Schweißnähte (Punktschweißen) im Fügspalt mit Klebstoff gefüllt sind, ist die Nahtabdichtung vorzunehmen. Die Nahtabdichtung schützt auch die Blechkanten.

Die Nahtabdichtung ist deshalb so wichtig, da eingedrungene Feuchtigkeit kaum wieder austrocknen kann. Im Vergleich zu freiliegenden Oberflächen kann hier KORROSION wesentlich schneller beginnen.

Schweißnaht mit Nahtabdichtung



S421_038

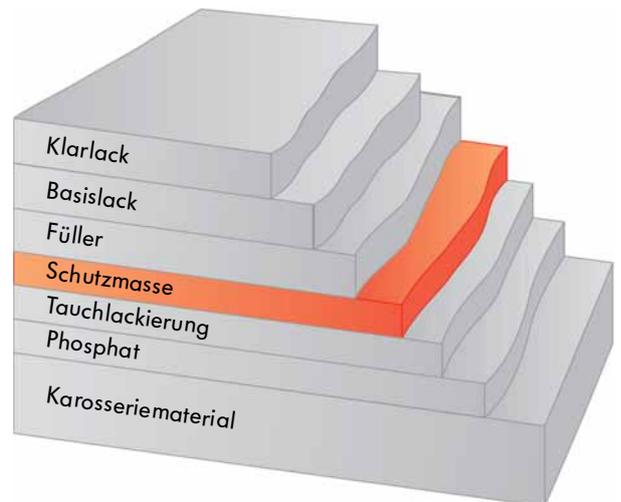


Korrosionsschutz

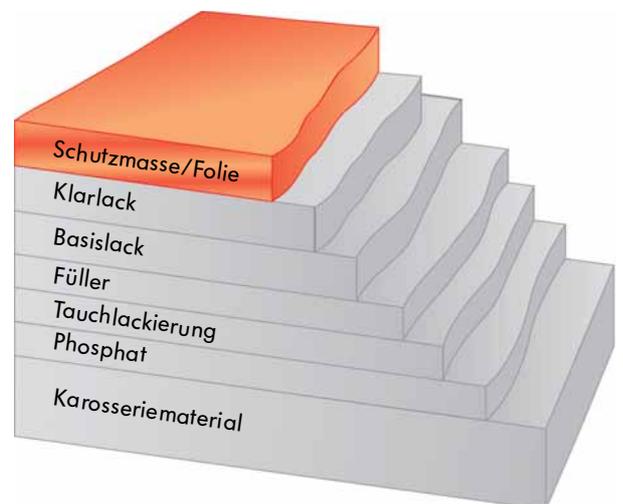
Der Steinschlagschutz

Eine wichtige und auch in der Praxis sehr wirksame Maßnahme gegen KORROSION ist der Steinschlagschutz. Hierbei erfolgen keine Behandlungen der kompletten Karosserie, sondern es werden Schichten auf die gefährdeten Bereiche der Karosserie aufgebracht. Das kann auf folgende Art und Weise erfolgen:

- Aufbringen einer Schutzmasse nach der Grundierung (Tauchlackierung) und vor dem Aufbringen der Lackierung – z. B. im Frontbereich der Karosserie
- Aufbringen einer Schutzmasse nach der Lackierung (Klarlack) – in nicht sichtbaren Bereichen – z. B. am Fahrzeugboden und im Radhaus bzw. auch das Aufbringen von speziellen Schutzfolien



S421_073



S421_074

Der Steinschlagschutz ist in der Regel als eine etwas stärkere und elastische Schicht ausgebildet. Durch die elastischen Eigenschaften in Verbindung mit der größeren Schichtdicke wird gleichfalls ein Anti-Dröhneffekt erreicht.

Steinschlagschutz kann auch durch speziellen Materialeinsatz für Karosserieteile erreicht werden, wie z. B. den Einsatz spezieller Kunststoffe anstelle lackierter Blechteile.

Der Schutz gegen Kontaktkorrosion

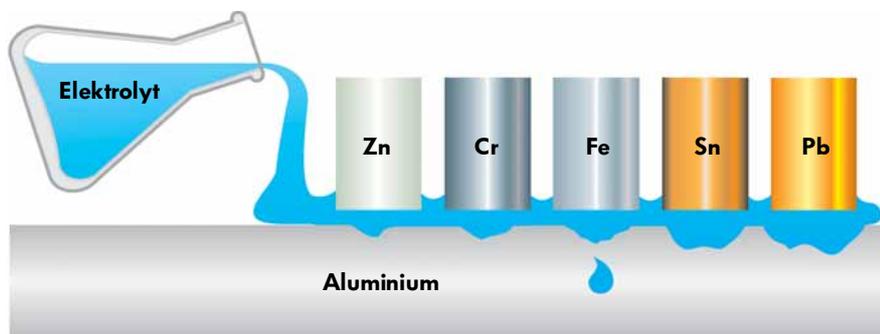
Wenn im Karosseriebau neben Stahl für bestimmte Teile andere Metalle, wie z. B. Aluminium, eingesetzt werden, ist besonderes Augenmerk auf die Verhinderung von Kontaktkorrosion zu legen. Grundsätzlich gilt dies zwar auch für Eisen/Stahl. Aluminium ist aber wegen seines besonders niedrigen elektrischen Potenzialwertes innerhalb der elektrochemischen Spannungsreihe wesentlich mehr gegenüber Kontaktkorrosion gefährdet. Daher soll die Kontaktkorrosion am Beispiel von Aluminium erläutert werden.

Kontaktkorrosion

Alle Metalle haben jeweils ein spezifisches ELEKTROCHEMISCHES POTENZIAL, welches sich von dem Potenzial eines anderen Metalles unterscheidet. Kommt nun zu zwei oder mehreren kontaktierenden Materialien noch ein Elektrolyt (säure-, lauge- oder salzhaltige Flüssigkeit) hinzu, so kann zwischen den Potenzialpartnern ein Spannungsausgleich erfolgen. Es fließt ein elektrischer Strom. Dabei löst sich das Metall mit dem größeren negativen Spannungswert immer zuerst.

Zur Veranschaulichung der Potentialunterschiede wird auch die sogenannte elektrochemische Spannungsreihe der Metalle genutzt.

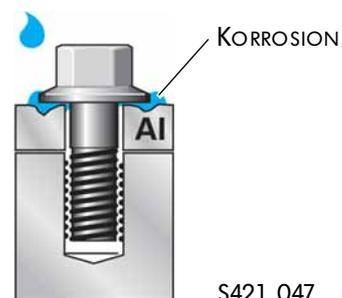
Das Bild S421_046 zeigt beispielhaft einen Versuchsaufbau zur Veranschaulichung der KORROSION.



S421_046

Legende für elektrochemische Spannungsreihe (Auswahl aus der Spannungsreihe)

| | | | |
|----|---|-----------|------------|
| Pb | - | Blei | (-0,13 V*) |
| Sn | - | Zinn | (-0,14 V*) |
| Fe | - | Eisen | (-0,44 V*) |
| Cr | - | Chrom | (-0,56 V*) |
| Zn | - | Zink | (-0,76 V*) |
| Al | - | Aluminium | (-1,67 V*) |



S421_047

* gemessen gegen eine Normalwasserstoffelektrode bei 25 °C
Entsprechend lassen sich die Potenzialunterschiede zwischen Aluminium und den im Bild (S421_046) dargestellten Metallen (Zink, Chrom, Eisen, Zinn und Blei) aus einer Differenzbildung zwischen zwei kontaktierenden Metallen ermitteln.



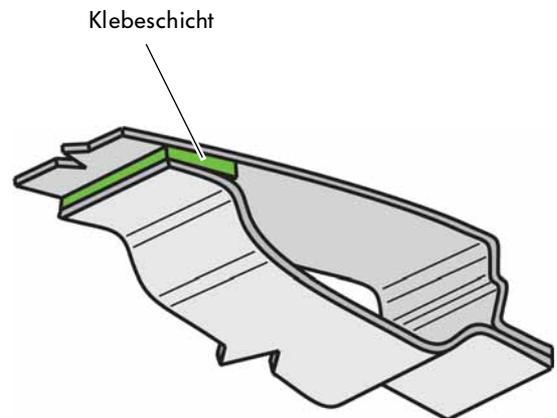
Schutzmaßnahmen gegen Kontaktkorrosion

Damit Kontaktkorrosion vermieden wird, sollte also direkter Kontakt zwischen Bauteilen aus unterschiedlichen Metallen vermieden werden.

Die Verbindung muss konstruktiv so vorgesehen werden, dass zwischen den beiden unterschiedlichen Metallen eine isolierende Zwischenschicht eingebaut wird.

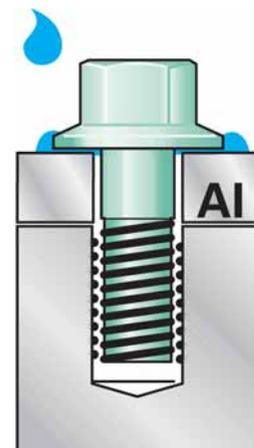
Varianten für eine isolierende Zwischenschicht können sein:

- Klebeschicht – Klebstoff für eine Verbindung wird gleichzeitig für die Isolierung genutzt



S421_048

- Oberflächenbeschichtung eines Teiles – z. B. einer Schraube zur Befestigung an Karosserieteilen aus Aluminium – die Beschichtung wirkt wie eine isolierende Zwischenschicht

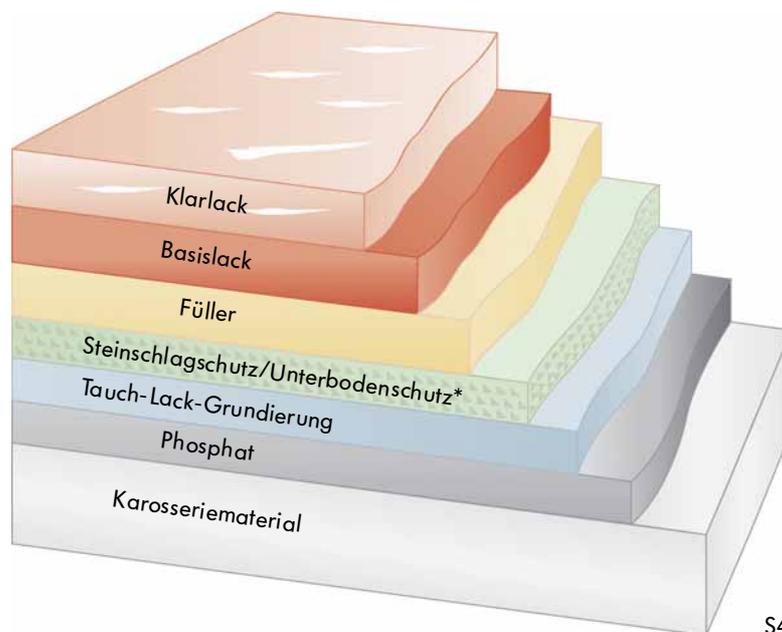


S421_049

Die Farbgebung

Nach der Vorbehandlung der HALBZEUGE bzw. auch der kompletten Karosserie wird der Korrosionsschutz mit der Farbgebung abgeschlossen. Die Farbgebung gliedert sich in folgende Hauptschritte:

- Vor der Farbgebung wird die Karosserie gereinigt und entfettet, damit später keine Bindefehler bei der Farbgebung entstehen.
- Darauf folgt die Phosphatierung, wodurch ein guter Haftgrund und Voraussetzungen für einen optimalen Korrosionsschutz geschaffen werden.
- Anschließend wird eine kataphoretische Tauch-Lack-Grundierung aufgebracht.
- Daraufhin wird der Füller aufgetragen.
- Nach einem Spülvorgang wird die Decklackierung mittels Basislack und Klarlack durchgeführt.



S421_037

- * Nach der Tauch-Lack-Grundierung werden je nach Anforderung der Unterbodenschutz und die Dichtmasse für die Feinabdichtung jeweils auf die betreffenden Karosseriebereiche aufgespritzt. Auf steinschlaggefährdete Bereiche wird ein entsprechend hochviskoser elastischer Lack aufgebracht (siehe dazu auch Seite 62).



Zum Lackieren können Sie sich bitte auch im SSP 214 „Die Fahrzeuglackierung - Vorbehandlung“ und im SSP 215 „Die Fahrzeuglackierung - Die Decklackierung“ informieren.

Weitere Informationen stehen Ihnen auch im ELSA (Elektronisches Service Auskunftssystem) im „Reparaturleitfaden Lack“ zur Verfügung (ELSA - weiter über Button „Internet“).

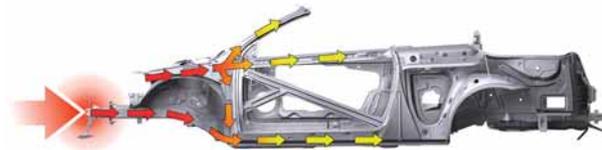
Reparatur

Die Grundlagen

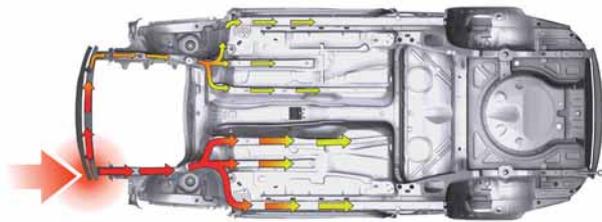
Vor jeder Karosseriereparatur ist es notwendig, das Schadensbild zu beurteilen.

Beurteilungskriterien:

- In welcher Richtung erfolgte die Verformung?
- Sind auch angrenzende, nicht sichtbare Bauteile der Karosserie beschädigt worden?
- Ist die Karosserie in ihrer Struktur verformt worden?



S421_111

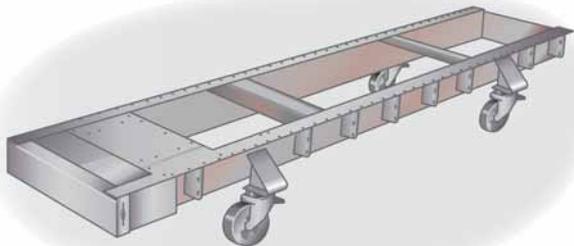


S421_112

Ist die Karosserie so stark beschädigt (verformt), dass auch ihre Struktur davon betroffen ist, muss sie mit Hilfe der Richtbank und der Richtgeräte gerichtet bzw. rückverformt werden.

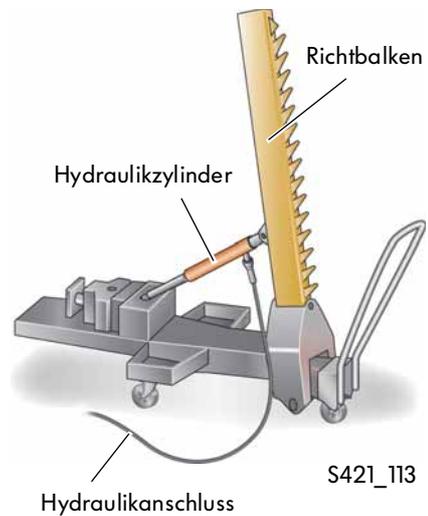


Richtbank (Beispiel)



S421_114

Richtgerät (Beispiel)



S421_113

Die Reparaturmethoden

Rückverformen

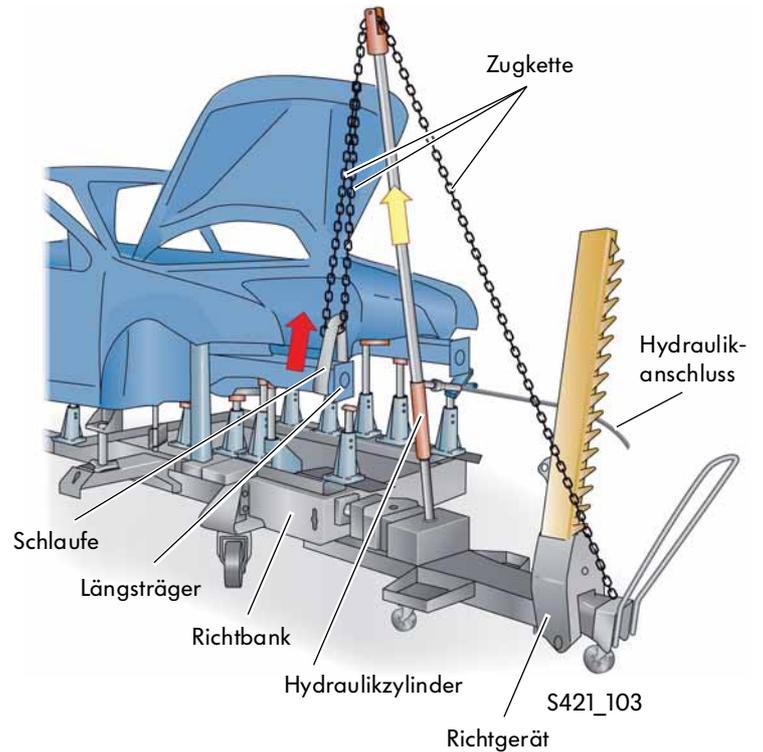
Bei Reparaturen an Karosserien ist das Rückverformen die am meisten angewendete Reparaturmethode. Das Rückverformen kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen. Einige ausgewählte Möglichkeiten sollen nachfolgend als Beispiel kurz vorgestellt werden.

Dreipunktzug nach oben ausgerichtet ...

Eine Zugkette wird über einen Hydraulikzylinder gespannt.

Dabei wird ein Kettenende an dem zu richtenden Karosserieteil (in diesem Beispiel mittels zusätzlicher Schlaufe) und das andere Ende am Richtgerät befestigt.

Wird der Hydraulikzylinder betätigt und nach oben ausgefahren, spannt sich die Kette und zieht das zu richtende Karosserieteil nach oben.



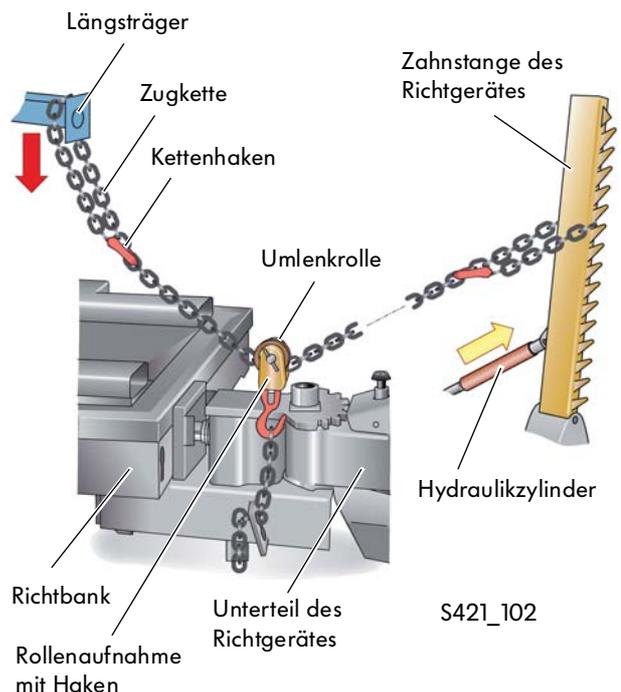
Mit loser Umlenkrolle Zug nach unten leiten ...

Ein Kettenende der Zugkette wird um ein Karosserieteil, z. B. einen Längsträger, gelegt und mittels eines Kettenhakens wieder in diese Kette eingehängt.

Das andere Ende der Kette ist in die Zahnstange des Richtgerätes eingehängt.

In der Zugkette läuft eine lose Umlenkrolle mit Rollenaufnahme und daran befestigtem Haken. In diesen Haken wird eine weitere Kette eingehängt, welche mit ihrem anderen Ende, z. B. am Unterteil des Richtgerätes, befestigt ist.

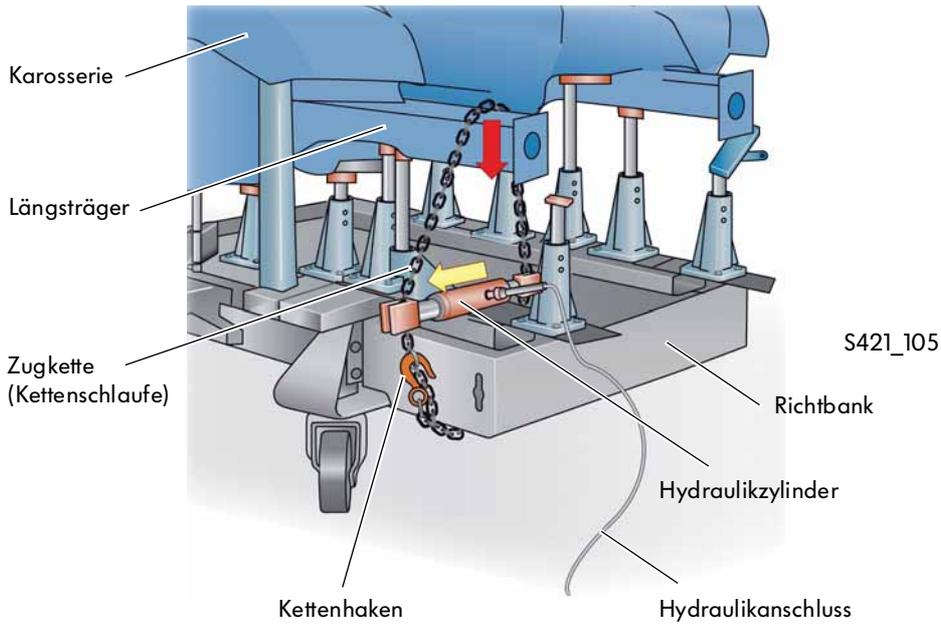
Wird nun die Zugkette durch Abschnellen der Zahnstange mittels Hydraulikzylinder gestrafft, so wird der Längsträger nach unten gezogen.



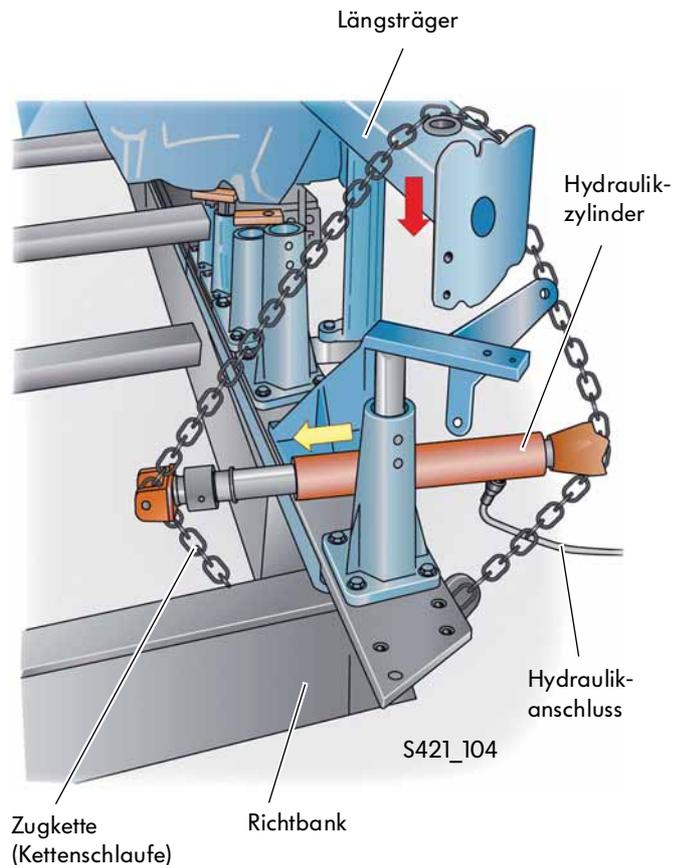
Reparatur

Direkter Druck in die Kette, um Baugruppen nach unten zu ziehen

Eine Zugkette wird um das zu richtende Karosserieteil, z. B. den Längsträger und ein geeignetes Rahmenteil der Richtbank gelegt und mittels Kettenhaken wieder in die Kette eingehängt. Die so gebildete Kettenschleufe wird durch einen Hydraulikzylinder gespannt.

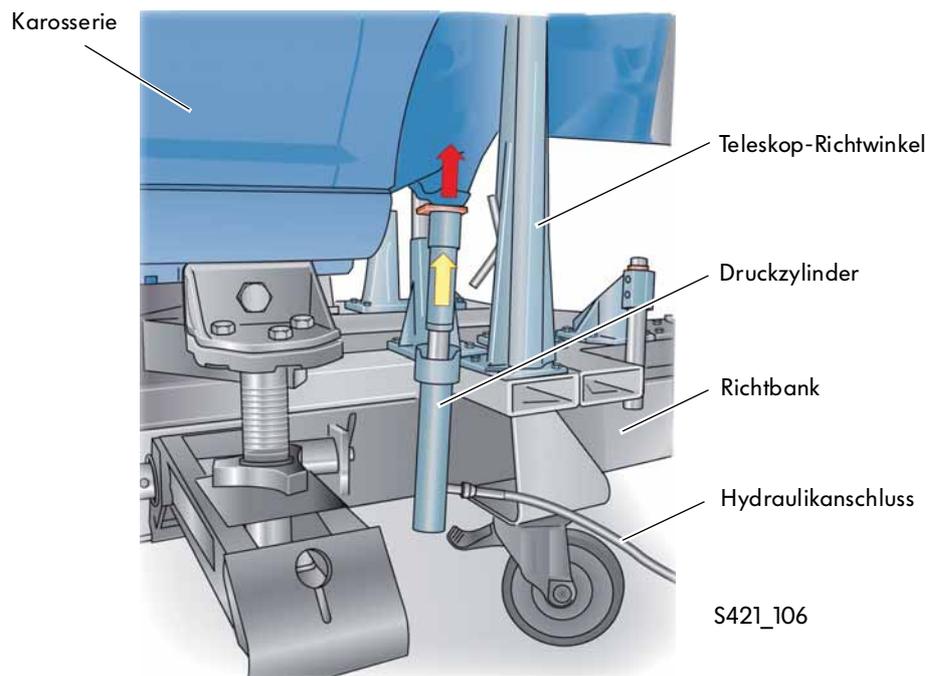


Der in die Kettenschleufe der Zugkette eingehängte Hydraulikzylinder wird betätigt. Er drückt die Kettenschleufe auseinander und der Längsträger wird nach unten gezogen.

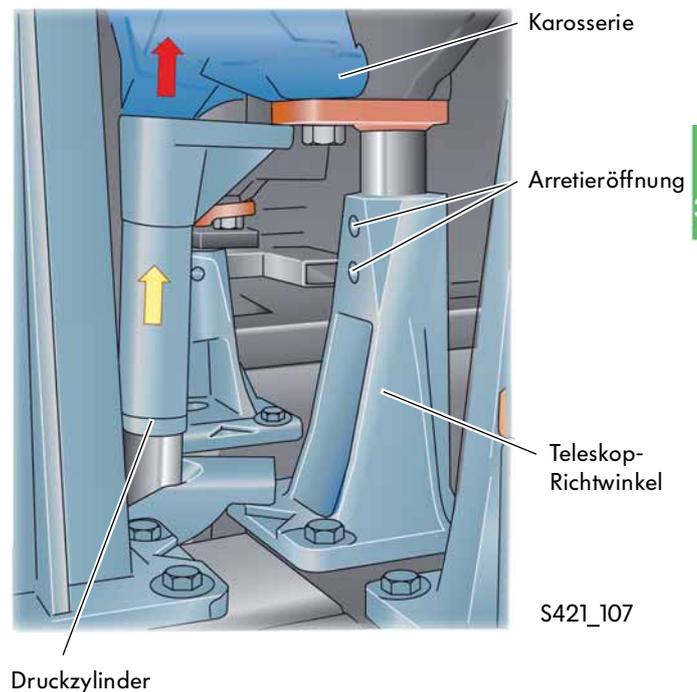


Direkte Kraffteinleitung in die Karosserie mit einem Druckzylinder, um Baugruppen nach oben zu drücken

Bei dieser Richtvariante wird die Teleskop-Funktion des Richtwinkels ausgenutzt. Zu Beginn wird das zu richtende Karosserieteil mittels direkter Kraffteinleitung durch einen hydraulisch betätigten Druckzylinder angehoben.



Dieser Vorgang wird solange fortgesetzt, bis der Teleskop-Richtwinkel so unter die Karosserie passt, dass er mit einem Sperrbolzen, welcher in eine der Arretieröffnungen gesteckt wird, arretiert werden kann.



Reparatur

Ausbeulen mit Hammer und Gegenhalter

Wenn in eine Blechfläche eine Delle geschlagen wird, entsteht an den Übergangsstellen zur normalen Form von außen eine Materialstreckung, während innen eine Materialanhäufung als Stauchung erfolgt.

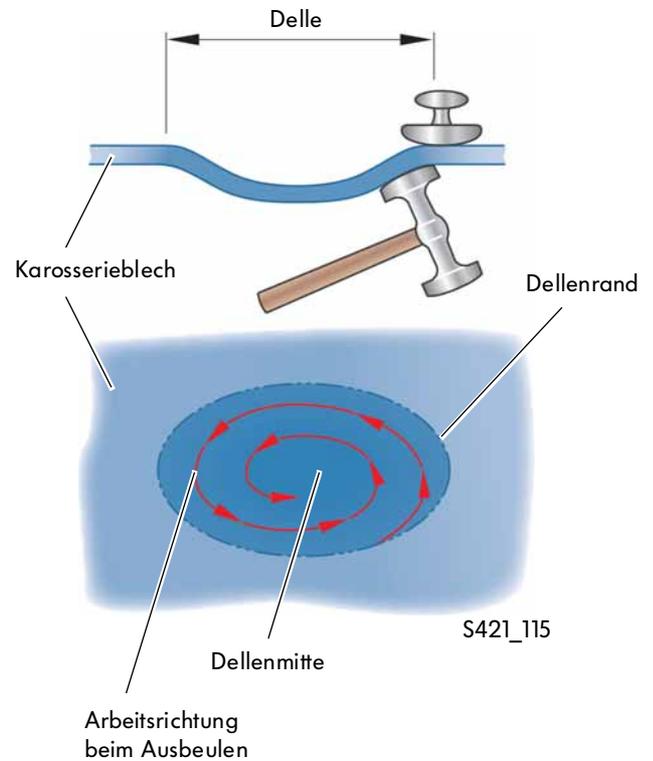
Wird eine Delle im Mittelpunkt zurückgeschlagen, wirft sich das Blechmaterial in den gestauchten Zonen sofort auf. Das bedeutet, dass nach jedem Hammerschlag neue Streck- und Stauchzonen gebildet werden.

Je mehr solcher Zonen entstehen, umso unkontrollierbarer wirken sie sich auf das Glätten der Fläche aus.

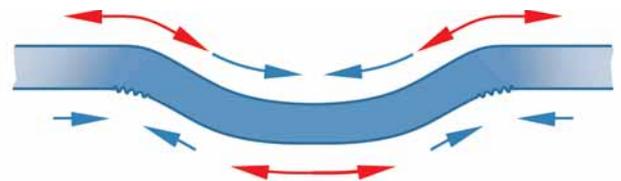
Beim Ausbeulen muss deshalb darauf geachtet werden, dass vorhandene Streck- und Stauchzonen abgebaut und keine neuen aufgebaut werden. Daher müssen im Normalfall die Ausbeularbeiten immer vom Dellenrand zur Dellenmitte erfolgen.

Häufig federt das Blech um die Vertiefung so stark, dass der Hammerschlag kaum Wirkung zeigt. „Der Hammer zieht nicht!“

Erst wenn auf der Rückseite des Bleches ein entsprechender Gegenhalter gehalten wird, können dosierte und wirkungsvolle Schläge angebracht werden.



Gegenüber einer Streckzone befindet sich immer eine Stauchzone.



S421_116

- Streckzone
- Stauchzone

Wärmetechnische Ausbeulmethode

Die wärmetechnische Ausbeulmethode ist gut anwendbar bei Dellen mit maximal 10 cm Durchmesser und einer Tiefe von 1 – 2 mm.

Es wird folgendes Prinzip genutzt:

Metall dehnt sich bei Erwärmung aus – bei Abkühlung zieht es sich zusammen!

Wird eine Delle vom Rand ausgehend spiralförmig zur Mitte hin erwärmt, konzentriert sich die Wärme im Zentrum der Delle. Dadurch hebt sich auch die umliegende Karosseriefäche etwas an

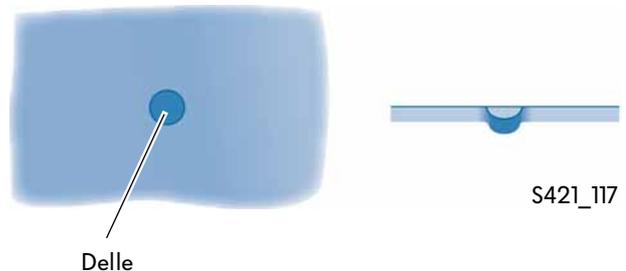
Nun wird mit einer speziellen Karosseriefeile, deren Feilenblatt nach außen gewölbt ist, mittig über die Delle gefeilt. Die Feile liegt am Dellenrand auf und entzieht hier die meiste Wärme. Dadurch zieht sich das tiefer gelegene Material zu den Rändern und hebt die Dellenmitte an.

Die Feile erwärmt sich bei dem Arbeitsgang sehr schnell und muss nach mehrmaligem Hin- und Herbewegen gegen eine kalte Feile ausgetauscht werden.

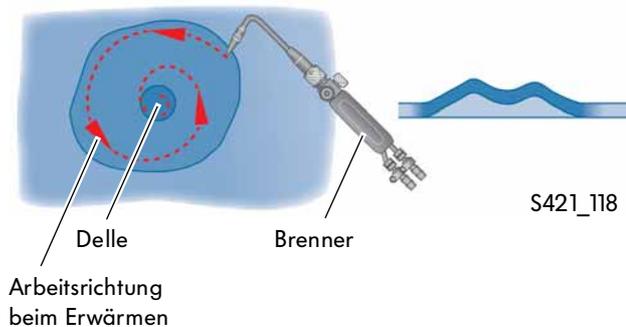


Wichtig:
Die Feile dient zur schnelleren Wärmeabfuhr, nicht zum Materialabtrag!

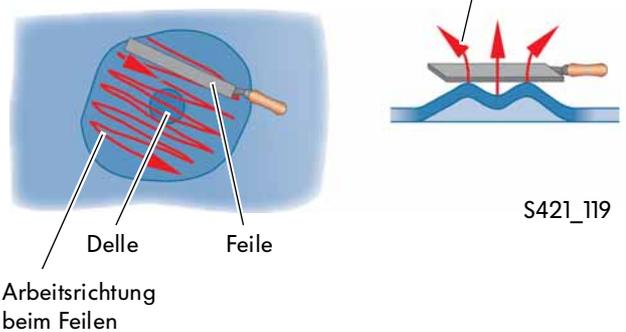
Ausgangszustand eines Blechbereiches mit einer Delle



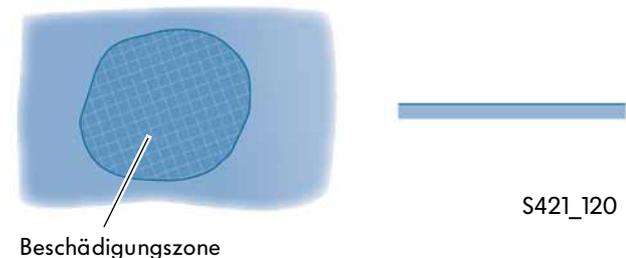
Erwärmung mit Brenner ...



Wärmeentzug mittels Feile ...



Beschädigungszone nach Bearbeitung ...



Einziehen einer Springbeule mit der Kohlelektrode

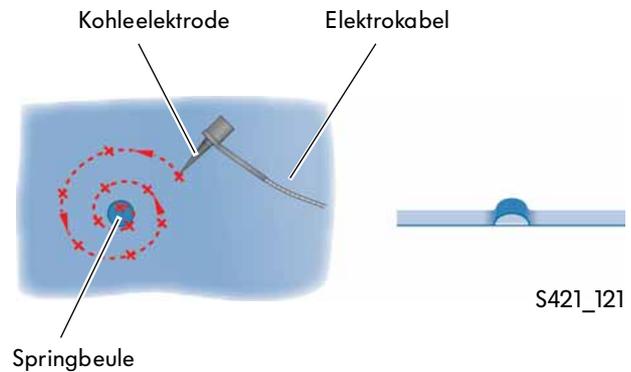
Mit einer Kohlelektrode wird die erhabene Blechoberfläche punktförmig erwärmt, bis sie kirschrot ist. Die Erwärmungspunkte sind wie bei Arbeiten mit dem Schweißbrenner spiralförmig von außen nach innen zu setzen.

Bei größeren einzuziehenden Flächen muss jeder Punkt nach dem Erwärmen sofort abgekühlt werden (mit einem nassen Schwamm).

Kleinere Flächen werden spiralförmig in einem Arbeitsgang erwärmt, um danach ebenfalls spiralförmig abgekühlt zu werden. Das Abschrecken mit Wasser bringt auch hier einen Einzieheffekt.

Bei diesem Einzieheffekt wird, wie der Name bereits sagt, etwas „eingezogen“. In diesem Fall heißt das, das im Beulenbereich gestreckte Material wird wieder in seine ursprüngliche kleinere Ausdehnung zurückgezogen - also „eingezogen“.

Durch das Erwärmen und Abkühlen allein kann aber nicht soviel Material gestaucht werden wie mit dem zusätzlichen direkten Hämmern.

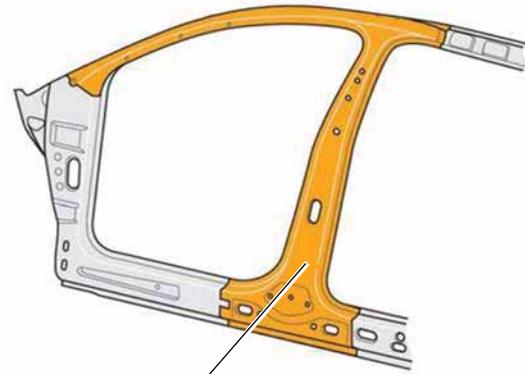


Trennen

Heraustrennen beschädigter Teile

Erst wenn die Karosserie soweit gerichtet ist, dass die Richtwinkel wieder zu den Aufnahmepunkten der Karosserie passen, kann mit dem Heraustrennen der beschädigten Teile begonnen werden.

Eine Ausnahme von dieser Regel ist z. B. die warmumgeformte B-Säule und der in Richtung A-Säule angrenzende Karosseriebereich beim Golf ab Modelljahr 2004. Durch die hohe FESTIGKEIT ist ein Rückverformen nahezu nicht möglich.



B-Säule (Golf Modelljahr 2004)

S421_108

Zum Heraustrennen der Blechteile können Handwerkzeuge, wie z. B. Hammer und Karosseriemeißel, elektrische Geräte, wie z. B. Einhand-Winkelschleifer oder pneumatische Geräte, wie z.B. Karosseriesäge und Schweißpunktlöser, verwendet werden.

Karosseriesäge



S421_109

Schweißpunktlöser



S421_110



Atom

Ein Atom ist das kleinste chemisch nicht mehr aufspaltbare Teilchen eines Grundstoffes. Es besteht aus dem positiv geladenen Atomkern und negativ geladenen Elektronen.

Der Atomkern enthält positiv geladene Masseteilchen – die Protonen und neutral geladene Teilchen – die Neutronen. Die Protonen bestimmen die positive Ladung des Atomkerns.

Elektrochemisches Potenzial

Dazu soll erst einmal der Begriff Potenzial in diesem Zusammenhang vereinfacht erläutert werden. Spricht man allgemein von einem Potenzial, so kann man darunter ein bestimmtes Niveau im Verhältnis zu einem Ausgangs- oder Vergleichsniveau verstehen. In der Elektrochemie gibt es z. B. den Begriff elektrochemisches Potenzial. Es wird hiermit beschrieben, dass alle Metalle jeweils ein spezifisches elektrochemisches Potenzial haben, welches sich von dem Potenzial eines anderen Metalles unterscheidet. Die Potenzialwerte der jeweiligen Metalle, die der sogenannten elektrochemischen Spannungsreihe entnommen werden können, werden gegen eine Normalwasserstoffelektrode bei 25 °C ermittelt.

Elektron

Elektronen sind negativ geladene Masseteilchen. Ein einzelnes Elektron hat die kleinste negative Ladungsmenge – die Elementarladung.

Je nach Art des Grundstoffes können in einem Atom ein oder mehrere Elektronen enthalten sein. Das ist abhängig von der Zahl der positiv geladenen Protonen des Atomkerns. Es wird innerhalb eines Atoms immer ein Gleichgewicht der entgegengesetzten Ladungen angestrebt – also ein Gleichgewicht zwischen den positiven und negativen Masseteilchen.

Festigkeit

Festigkeit ist eine Werkstoffkenngröße, die den mechanischen Widerstand eines Werkstoffes gegen eine plastische Verformung bzw. Trennung beschreibt. Je nach Art der Belastung kann in Zug-, Druck-, aber auch Biege-, Knick- und Scherfestigkeit unterschieden werden.

Allgemein wird bei metallischen Werkstoffen für den Fahrzeugbau die Zugfestigkeit ermittelt und diese für die Einstufung in unterschiedliche Festigkeitsklassen verwendet. Für bestimmte andere Stahlverwendung, wie z. B. für Baustähle, kann aber auch die Streckgrenze als Basis dienen.

Die Zugfestigkeit ist als die größte Spannung definiert, die in einem Werkstoff auftritt. Die Spannungswerte werden durch einen Zugversuch an einem Probestab ermittelt.

Härte

Festigkeit ist eine Werkstoffkenngröße, die den mechanischen Widerstand eines Werkstoffes gegen eine mechanische Einwirkung beschreibt.

Härte hat nur bedingt etwas mit der Festigkeit eines Werkstoffes zu tun. Große Härte ist zumeist mit gutem Verschleißverhalten aber gleichzeitig hoher Sprödigkeit (also der Gefährdung durch Brechen ...) verbunden.

Es muss also immer auf ein gutes Verhältnis zwischen Härte und Zähigkeit geachtet werden, damit der Werkstoff seine Aufgabe erfüllen kann.

Bedeutung hat die Härte auch bei der Betrachtung einzelner Gefügekomponenten von Stählen (z. B. Hartphasen). Entsprechende Mischkristalle mit jeweils gezielt erzeugten harten Bestandteilen tragen auch zur Festigkeitssteigerung eines Stahles bei.



Halbzeug

Bereits der Name sagt, dass damit Teile gemeint sind, die noch nicht den Endzustand eines Produktes beschreiben. Das Halbzeug wird so weit in seiner Geometrie, seiner Nachbehandlung und ggf. Beschichtung angearbeitet, dass bei der Weiterverarbeitung oder dem Einbau in das Fertigprodukt möglichst wenig Nacharbeit erforderlich ist.

Korrosion

Unter Korrosion wird in der Technik die Reaktion eines metallischen Werkstoffes mit den umgebenden Medien verstanden, die eine messbare Veränderung des Werkstoffes bewirken und gleichzeitig zu einer Beeinträchtigung der Funktion des Bauteils führen (Der Begriff Korrosion ist auch in anderen Gebieten üblich – z. B. Medizin ...)

Laser

Der Name Laser setzt sich zusammen aus den Anfangsbuchstaben von „Light Amplifikation by Stimulated Emission of Radiation“. In einem Laser wird ein Medium, wie z. B. ein Helium-Neon-Gasgemisch, durch „Anstoßen“ mit Elektronen auf ein höheres Energieniveau gebracht. Diese Energie wird dann als elektromagnetische Welle (z. B. als rotes Licht) in stark gebündelter Form dem sogenannten Laserstrahl wieder abgegeben.

Legierung

Eine Legierung ist ein Mischkristall mit metallischen Eigenschaften.

Der Begriff Legierung wurzelt im lateinischen *ligare* / später *legare*. Das bedeutet zusammenbinden, verbinden oder vereinigen.

In der Technik hat Legieren eine große Bedeutung, da durch Hinzumischen bestimmter Legierungselemente zu Metallen, besonders auch bei Stahl, ganz gezielt die Materialeigenschaften eingestellt werden können.

Metallion

Metallatome besitzen an den Atomkern fest gebundene Elektronen und auf der äußeren Elektronenschale ein oder mehrere „freie“ Elektronen. Der Atomkern einschließlich der fest gebundenen Elektronen wird auch als Metallion bezeichnet. Es hat ohne die genannten „freien“ Elektronen eine positive Ladung. Die elektrischen Anziehungskräfte zwischen den negativ geladenen freien Elektronen und den positiv geladenen Metallionen sind verantwortlich für den festen Zusammenhalt und damit die Festigkeit eines metallischen Werkstoffes.

Diese Art der Bindung wird auch Metallbindung genannt, da sie für alle Metalle kennzeichnend ist.

Mischkristall

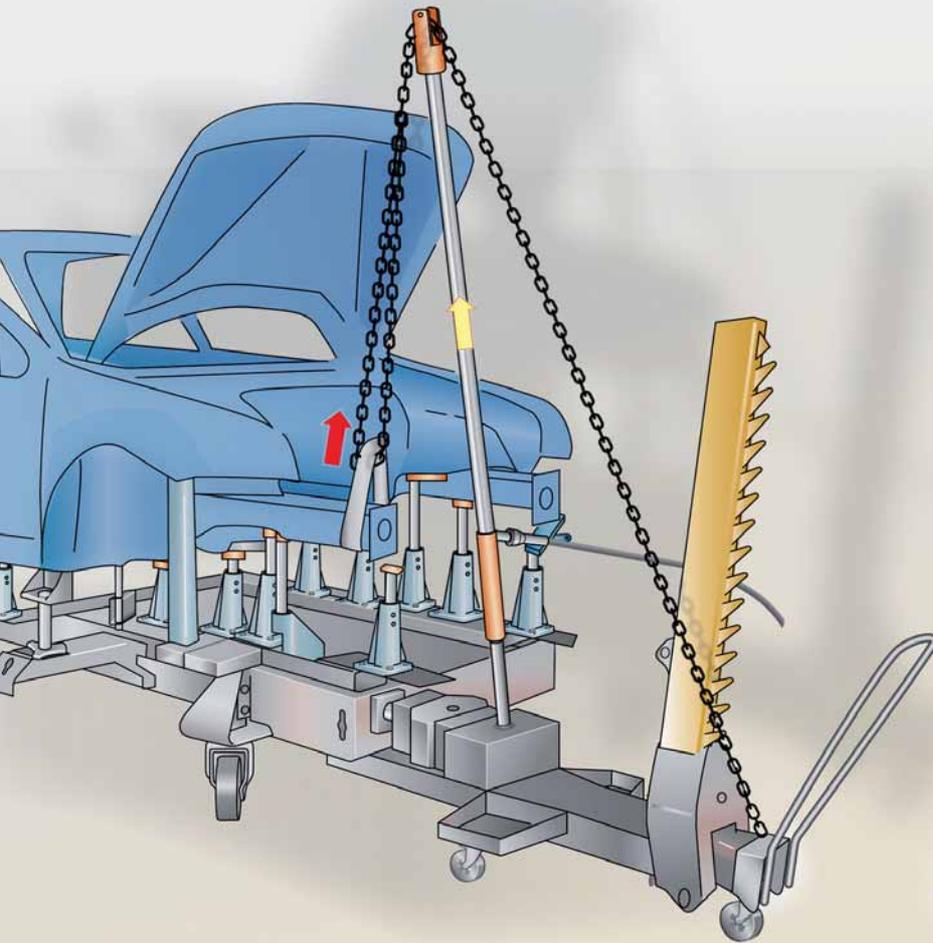
Ein Mischkristall ist ein Kristall, der aus mindestens zwei unterschiedlichen chemischen Elementen besteht. Die Fremdatome oder -Ionen sind statistisch verteilt. Sie können in Zwischengitterplätze (Einlagerungsmischkristall/interstitiell) eingelagert sein oder Atome des anderen Elementes ersetzen (Substitutionsmischkristall). Die Lösung fremder Atome in einem Kristall wird auch als feste Lösung bezeichnet

Rekristallisation

Bei der Rekristallisation wird das kristalline Gefüge von Metallen, das z. B. durch Kaltverformung gestört wurde, wieder neu gebildet und damit eine entstandene Eigenschaftsänderung beseitigt.



421



© VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg
Alle Rechte sowie technische Änderungen vorbehalten.
000.2812.15.00 Technischer Stand 10.2009

Volkswagen AG
After Sales Qualifizierung
Service Training VSQ-1
Brieffach 1995
D - 38436 Wolfsburg

♻️ Dieses Papier wurde aus chlorfrei gebleichtem Zellstoff hergestellt.