

II Werkstofftechnik

A Innerer Aufbau der Metalle

In natürlicher Größe erscheinen die Metalle als einheitlicher Stoff ohne Untergliederung. Betrachtet man die angeätzte Oberfläche eines Metalls rund 10000fach vergrößert, z. B. mit einem Elektronenmikroskop, so sieht man, dass die Metalle einen äußerst komplizierten Feinbau besitzen (Abb.1, rechts oben). Man erkennt, dass sie sich aus einer Vielzahl kleiner, regelmäßig geformter **Körner**, auch **Kristalle** genannt, zusammensetzen.

Den Feinbau der Metalle bezeichnet man als kristallinen Aufbau oder als kristalline Struktur.

Vergrößert man die Ecke eines Kristalls noch stärker, z. B. 10'000'000fach, so gelangt man zu den kleinsten Teilchen der Metalle, den Atomen (Abb.1, unten). Sie sind in genauen Abständen und Winkeln angeordnet.

Verbindet man die Mittelpunkte der Metallatome, so ergeben die Verbindungslinien ein räumliches Gitter, das als Raumgitter oder **Kristallgitter** bezeichnet wird. Die kleinste typische Einheit dieses Kristallgitters nennt man **Elementarzelle**.

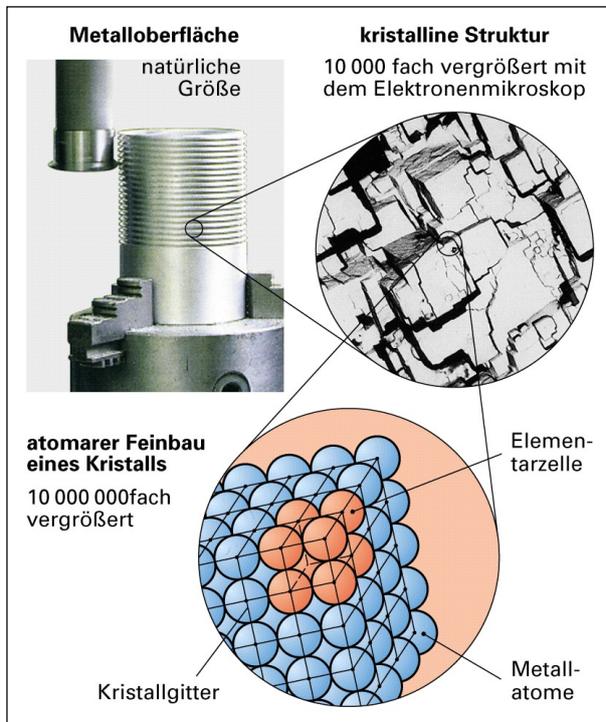


Abb.1: Metalloberfläche und innerer Aufbau

Hinweis zum Kapitel „Werkstofftechnik“:

Auszüge aus Werkstofftechnik für Metallberufe
Europa-Lehrmittel
ISBN 3-8085-1543-0

Fachkunde Metall
Europa-Lehrmittel
ISBN 38085-1153-2Technologie Metall

Grundlagen 1./2. Ausbildungsjahr
Cornelsen Girardet
ISBN 3-590-81990-1

Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung
Wilhelm Domke
Verlag Girardet
ISBN 3-7736-1219-2

1 Innerer Aufbau, Eigenschaften

1.1 Metallbindung und Festigkeit

Im festen Aggregatzustand besitzen die Metalle einen festen Zusammenhalt. Ursache hierfür ist die Metallbindung, die die einzelnen Metallteilchen zusammenhält. Die Metallbindung entsteht bei der Gewinnung des Metalls durch Zusammenlagern der Metallatome direkt nach der Reduktion des Erzes. Dabei werden locker gebundene Elektronen der Metallatome abgegeben (Abb.2). Sie umgeben den Metallatom-Verband als Elektronenwolke. Die Elektronen können sich in der Elektronenwolke frei bewegen, sie aber nicht verlassen. Sie halten die Metallatome wie eine Art "Elektronenkitt" zusammen.

Die Metallbindung bewirkt den äußerst festen Zusammenhalt der Metallteilchen und damit die Festigkeit der Metalle.

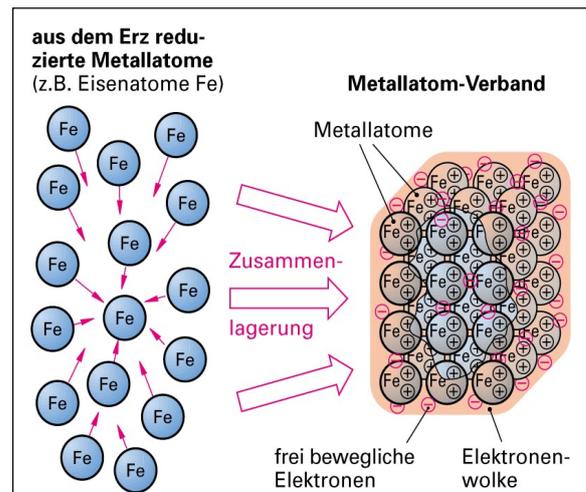


Abb.2: Entstehung der Metallbindung (Bsp. Eisen)

1.2 Elektrische Leitfähigkeit

Die frei beweglichen Elektronen können durch eine angelegte elektrische Spannung in Bewegung gesetzt werden. Es fließt dann ein Strom von Elektronen (elektrischer Strom).

Metalle sind gute elektrische Leiter.

1.3 Verformungsverhalten der Metalle

Metalle verformen sich bei geringer Belastung elastisch und bei hoher Belastung zusätzlich plastisch. Dieses Verformungsverhalten beruht auf ihrem kristallinen Feinbau (Abb.3).

Ist die Krafteinwirkung gering, so werden die Metallatome nur geringfügig von ihrem Gitterplatz verdrängt und federn bei Wegnahme der Kraft wieder in ihre Ausgangslage zurück. Sie verformen sich elastisch.

Bei großer Krafteinwirkung kann an einer Stelle des Kristalls die obere Atomlage von der stabilen „Übereinander-Anordnung“ in die ebenfalls stabile „Auf-Lücke-Anordnung“ verschoben werden.

Diese neue stabile Lage bleibt auch erhalten, wenn die Kraft weggenommen wird. Der Körper hat sich bleibend verformt (plastische Verformung). Nach der Verschiebung wirken wieder ähnlich große Bindungskräfte zwischen den Metallatomen wie vorher. Deshalb erfolgt durch die Verschiebung kein Auseinanderbrechen des Körpers, sondern lediglich eine bleibende Verformung. Die Verformung kann bei fortdauernder Krafteinwirkung so lange fortschreiten, bis alle Metallatomlagen im belasteten Bereich des Bauteils verschoben sind. Erst dann führt weitere Belastung zum Bruch des Körpers.

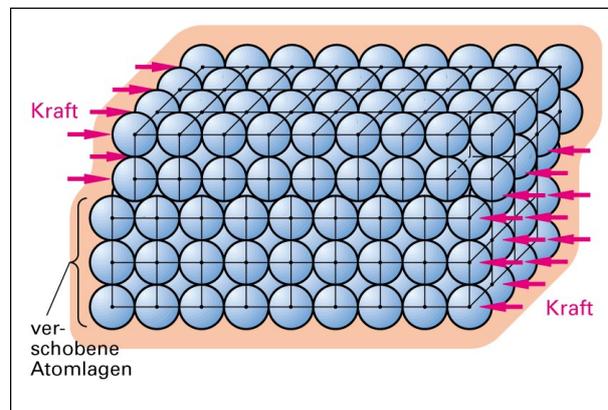


Abb.3: Plastische Verformung eines Kristalls durch Verschieben einer Metallatomlage

2 Kristallgittertypen (Elementarzellen) der Metalle

Atome der verschiedenen Metalle können sich in unterschiedlichen geometrischen Anordnungen zusammenfügen. Diese sind von der Metallart und teilweise von der Temperatur abhängig.

Die Metalle haben kubisch-raumzentrierte, kubisch-flächenzentrierte oder hexagonale Kristallgitter.

Die grafische Darstellung der Anordnung der Metallatome erfolgt an Hand einer Elementarzelle (Abb.4).

2.1 Kubisch-raumzentriertes Kristallgitter

Beim kubisch-raumzentrierten Kristallgitter (krz) ordnen sich die Metallatome so, dass die Verbindungslinien von Atommittelpunkt zu Atommittelpunkt einen Würfel (Kubus) bilden (Abb.4, oben). Zusätzlich befindet sich noch ein Metallatom in der Würfelmitte. Ein kubisch-raumzentriertes Kristallgitter hat z. B. Eisen bei Temperaturen unter 911°C sowie Chrom, Wolfram und Vanadium.

2.2 Kubisch-flächenzentriertes Kristallgitter

Das kubisch-flächenzentrierte Kristallgitter (kfz) hat ebenfalls einen Würfel als Grundkörper und zusätzlich je ein Atom in der Mitte der Seitenflächen (Abb.4, Mitte). Diese Kristallform haben Aluminium, Kupfer und Nickel sowie Eisen über 911 °C.

2.3 Hexagonales Kristallgitter

Ein hexagonales Kristallgitter (hex) besitzen die Metalle Magnesium, Zink und Titan. Bei diesem Gittertyp bilden die Metallatome ein sechseckiges Prisma mit je einem Atom in der Mitte der Grundflächen sowie drei Atomen innerhalb des Prismas (Abb.4, unten).

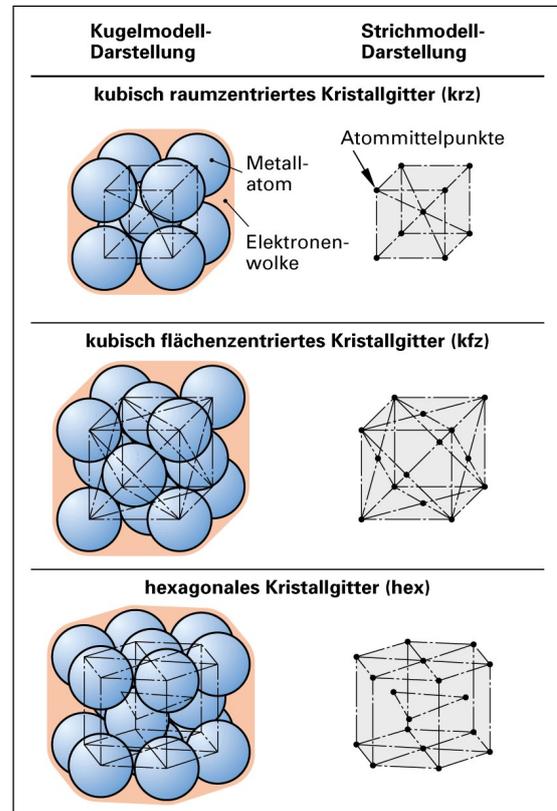


Abb.4: Kristallgittertypen

3 Baufehler im Kristall

Die Kristalle eines Metalls sind nicht fehlerfrei, sondern von Fehlern wie Lücken, Versetzungen und Fremdatomen durchsetzt (Abb.5).

Eine **Lücke** ist ein nicht besetzter Gitterplatz im Kristallgitter. Bei einer **Versetzung** ist eine ganze Lage von Metallatomen eingeschoben oder sie fehlt. **Fremdatome** sind Atome eines anderen Elementes, die in das Kristallgitter des Grundmetalls eingebaut sind.

Baufehler bewirken Verzerrungen im Kristallgitter und führen zur Erhöhung der Festigkeit.

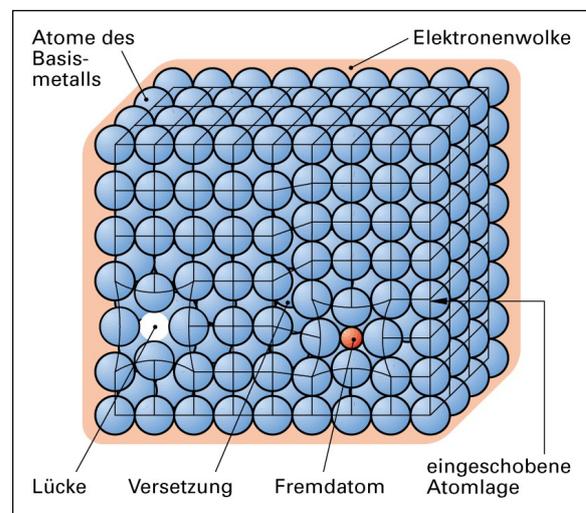


Abb.5: Baufehler im Kristallgitter

Die festigkeitssteigernde Wirkung tritt z. B. beim Legieren auf. Hierbei werden Fremdatome in das Kristallgitter des Grundmetalls eingelagert.

Bei der Verfestigung durch Kaltverformung z. B. entstehen festigkeitssteigernde Lücken und Versetzungen.

4 Entstehung des Metallgefüges

Das Gefüge eines metallischen Werkstoffs, d.h. seine Gliederung in Kristalle, entsteht nach dem Vergießen beim Erstarren der Metallschmelze zum festen Metallkörper.

Die Erstarrung einer Metallschmelze verläuft über Zwischenstufen. Beispiel: Die Abkühlung von reinem Eisen und die dabei ablaufenden Vorgänge in der Schmelze (Abb.6)

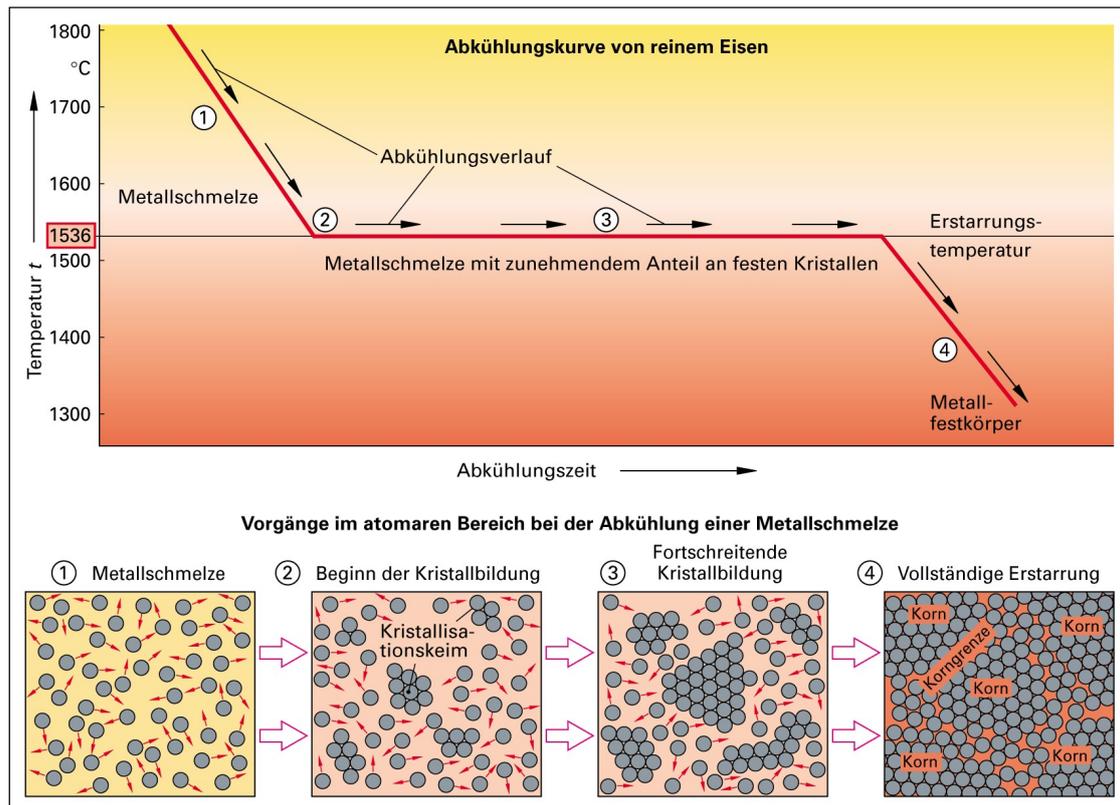


Abb.6: Abkühlungskurve und kristalline Vorgänge in einer Metallschmelze

① **Metallschmelze.** In der Metallschmelze bewegen sich die Metallatome frei und regellos durcheinander. Bei der Abkühlung der Schmelze wird die Bewegung der Metallatome langsamer.

② **Beginn der Kristallbildung.** Bei Erreichen der Erstarrungstemperatur (bei Eisen: 1536°C) in der Schmelze beginnt die Zusammenlagerung der Metallatome nach einem Kristallgittertyp. Die Stellen, an denen das Kristallwachstum beginnt, nennt man Kristallisationskeime.

③ **Fortschreitende Kristallbildung.** Von den Kristallisationskeimen ausgehend gliedern sich immer mehr Metallatome aus der Restschmelze den Kristallen an. Die Temperatur bleibt während des gesamten Auskristallisierens unverändert auf der Erstarrungstemperatur, da die entzogene Wärme zur Kristallbildung verbraucht wird. Die Abkühlungskurve verläuft waagrecht.

Wenn die Schmelze fast aufgebraucht ist, stoßen die wachsenden Kristalle an ihren Grenzen aneinander. Die dadurch unregelmäßig begrenzten Kristalle nennt man **Kristallite** oder **Körner**. Die Metallatome im Grenzbereich zwischen den Körnern können teilweise nicht in das Kristallgitter eingeordnet werden. Sie bilden zusammen mit Fremdatomen zwischen den einzelnen Körnern eine ungeordnete Begrenzungsschicht, die Korngrenze.

④ **Vollständige Erstarrung.** Haben alle Metallatome ihren festen Platz, so ist die Schmelze vollständig erstarrt. Das Gefüge des Werkstoffs hat sich gebildet. Die Temperatur des entstandenen, festen Metallkörpers nimmt durch den Wärmeentzug nun wieder stetig ab, die Abkühlungskurve fällt.

5 Gefügearten und Werkstoffeigenschaften

Als **Gefüge** bezeichnet man den Aufbau der Metalle aus den Körnern. Es ist gekennzeichnet durch die Korngröße und die Kornform.

Sichtbar gemacht wird das Gefüge durch ein **metallografisches Schliffbild** (Abb.7).

Ohne Vergrößerung sichtbar ist es bei einer Zinkschicht.

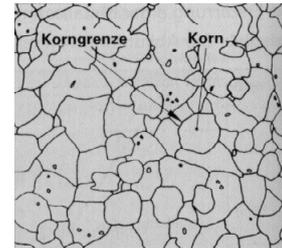


Abb.7: Metallgefüge im Schliffbild

Üblich sind **Korngrößen** von wenigen Mikrometern (μm) (feinkörnig) bis in den Millimeter-Bereich (grobkörnig). Feinkörniges Gefüge bedeutet verbesserte mechanische Eigenschaften gegenüber Grobkorn. Durch gezielte Wärmebehandlungs- oder Umformvorgänge kann die Korngröße eines Werkstoffs eingestellt werden.

Häufige **Kornformen** sind rundliche Formen (globular, Abb.8), Vieleckformen (polyedrisch, Abb.9) sowie nadel- (dendritisch, Abb.10) bzw. lamellenartig geformte Kristallite (lamellar, Abb.11). Die einzelnen Metalle bzw. Gefügebestandteile bilden jeweils bestimmte Kornformen.

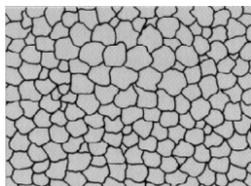


Abb.8: globulare Körner (z.B. reines Eisen)

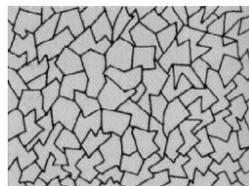


Abb.9: polyedrische Körner (z.B. Austenit)



Abb.10: dendritische Körner (z.B. Martensit)

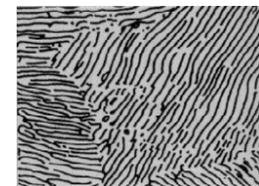


Abb.11: lamellares Gefüge (z.B. Perlit)

Eine Veränderung erfährt die Kornform z.B. durch das Walzen (Textur). Hierbei werden die Körner in Walzrichtung gereckt und damit die Festigkeit in dieser Richtung gesteigert.

5.1 Gefüge reiner Metalle

Sie haben ein einheitliches (homogenes) Gefüge (Abb.12).

Alle Körner haben dieselbe Struktur mit einem Kristallgittertyp. Die Körner unterscheiden sich in der Ausrichtung des Gitters. Die Vielzahl der Körner in einem Bauteil gewährleistet eine gleichmäßige Verteilung in alle Raumrichtungen.

Unbehandelte technische Werkstoffe haben deshalb in allen Richtungen gleiche Eigenschaften, sie sind **isotrop**.

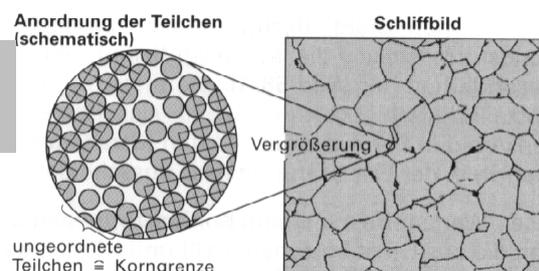


Abb.12: Gefüge von reinem Eisen

Durch den einheitlichen Aufbau, das Fehlen von Fremdatomen und wenig Gitterbaufehlern haben reine Metalle eine **relativ geringe Festigkeit**.

5.2 Gefüge von Legierungen

Die meisten Metalle werden in der Technik nicht rein verwendet, sondern zu Legierungen verarbeitet.

Legierungen sind Gemische aus mehreren Metallen bzw. Gemische aus Metallen und Nichtmetallen.

Zum Legieren werden die Legierungselemente dem flüssigen Grundmetall zugegeben und lösen sich darin auf. Beim Erstarren der Schmelze können sich, je nach Grundmetall und Legierungselementen, unterschiedliche Gefügearten ausbilden.

Bei **Mischkristall-Legierungen** bleiben die Teilchen des Legierungselementes beim Erstarren der Schmelze gleichmäßig im Kristallgitter des Grundmetalls verteilt (Abb.13)

Mischkristall-Legierungen haben ein ähnliches Schlibfbild wie reine Metalle.

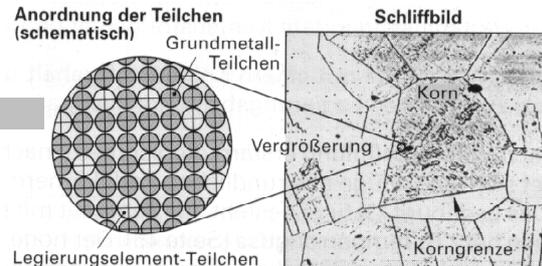


Abb.13: Innerer Aufbau einer Mischkristall-Legierung

Die Mischkristall-Legierungen sind **fester** als die reinen Grundmetalle, dabei aber **gut umformbar**. Die Steigerung der Festigkeit beruht auf den **Gitterverzerrungen** durch die Legierungselement-Teilchen. Mischkristalle bildet z.B. Eisen mit Nickel.

Bei **Kristallgemisch-Legierungen** lagern sich beim Erstarren die Teilchen des Legierungselementes sowie die des Grundmetalls getrennt zu eigenen Kristallen zusammen (Abb.14). Ihr Gefüge besteht aus einem Gemisch verschiedenartiger Körner.

Kristallgemisch-Legierungen haben, gegenüber dem Grundmetall, eine **höhere Festigkeit**. Sie lassen sich aber **schwerer umformen**.

Kristallgemisch-Legierungen bildet z.B. Blei mit Antimon (Hartblei) sowie Eisen mit Kohlenstoff bei hohen Kohlenstoff -Gehalten (Gusseisen).

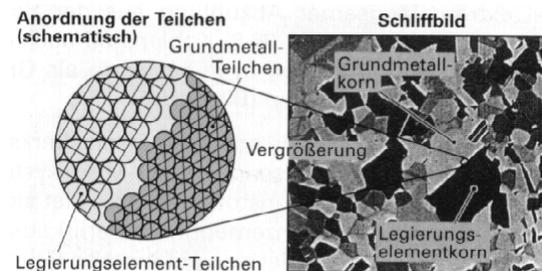


Abb.14: Innerer Aufbau einer Kristallgemisch-Legierung

6 Aufgaben

1. Welchen Feinbau haben die Metalle im mikroskopischen bzw. atomaren Bereich?
2. Wie entsteht das Metallgefüge?
3. Welche Kristallgittertypen gibt es?
4. Welche Legierungs-Kristallarten gibt es?
5. Welche Kristallbaufehler gibt es?
6. Worauf beruht die elastische und die plastische Verformbarkeit der Metalle?
7. Wodurch unterscheiden sich reine Metalle und Legierungen bezüglich Gefüge und Eigenschaften?