

Eisen (mhd. *isen*; vergleichbar mit kelt. *isara* „kräftig“, got. *eisarn* und *aiz*, lat. *aes* „Erz“) ist ein chemisches Element im Periodensystem der Elemente mit Symbol Fe (lat. *ferrum*, Eisen) und Ordnungszahl 26. Es ist ein Metall der 4. Periode in der 8. Nebengruppe im Periodensystem. Im Kontext der industriellen Fertigung versteht man unter Eisen den Werkstoff Gusseisen, wohingegen der Werkstoff Stahl gewöhnlich nicht als Eisen bezeichnet wird.

Eigenschaften

Das durchschnittliche Eisenatom hat etwa die 56-fache Masse eines Wasserstoffatoms. Der Atomkern des Eisenisotops ^{56}Fe weist einen der größten Massendefekte und damit eine der höchsten Bindungsenergien pro Nukleon aller Atomkerne auf. Deshalb wird es als Endstufe bei der Energieerzeugung durch Kernfusion in den Sternen betrachtet.

Bei Raumtemperatur ist die allotrope Modifikation des reinen Eisens das Ferrit oder α -Eisen. Diese Modifikation weist ein kubisch raumzentriertes Kristallgitter auf, das unterhalb 911 °C vorliegt. Unterhalb des Curiepunkts bei 766 °C ist das Ferrit ferromagnetisch. Die Modifikation zwischen 766 °C und 911 °C heißt β -Eisen. Da sie sich außer in den magnetischen Eigenschaften nicht vom Ferrit α -Eisen unterscheidet, wird sie gewöhnlich auch als α -Eisen bezeichnet.

Bis 1392 °C liegt es in der kubisch flächenzentrierten γ -Modifikation oder Austenit vor. Bei weiter steigender Temperatur wandelt das Eisen in δ -Ferrit um, das wieder ein kubisch raumzentriertes Gitter aufweist. Der Schmelzpunkt liegt bei 1535 °C.

Diese Eigenschaft der Umwandlung des Gitters von kubisch-raumzentriert (bis 911 °C) über kubisch-flächenzentriert (bis 1392 °C) zu kubisch-raumzentriert (bis 1539 °C) sowie des anschließenden Zerfalls der Gitterstrukturen nennt man auch die „Polymorphie des Eisens“.

Eisen ist beständig an trockener Luft, in trockenem Chlor sowie in konzentrierter Schwefelsäure, konzentrierter Salpetersäure und basischen Agenzien (außer heißer Natronlauge) mit einem pH-Wert größer als 9.

Isotope

Eisen hat vier natürlich vorkommende, stabile Isotope, mit den relativen Häufigkeiten: ^{54}Fe (5,8 %), ^{56}Fe (91,7 %), ^{57}Fe (2,2 %) und ^{58}Fe (0,3 %). Das Isotop ^{60}Fe hat eine Halbwertszeit von 1,5 Millionen Jahren. Die Existenz von ^{60}Fe zu Beginn der Entstehung des Planetensystems konnte durch den Nachweis einer Korrelation zwischen den Häufigkeiten von ^{60}Ni , dem Zerfallsprodukt von ^{60}Fe , und den Häufigkeiten der stabilen Fe-Isotope in einigen Phasen mancher Meteoriten (beispielsweise in den Meteoriten *Semarkona* und *Chervony Kut*) nachgewiesen werden. Möglicherweise spielte die freigesetzte Energie beim radioaktiven Zerfall von ^{60}Fe , neben der atomaren Zerfallsenergie des ebenfalls vorhandenen radioaktiven ^{26}Al , eine Rolle beim Aufschmelzen und der Differenzierung der Asteroiden direkt nach ihrer Bildung vor etwa 4,6 Milliarden Jahren. Heute ist fast alles damals ursprünglich vorhanden gewesene ^{60}Fe vollständig in ^{60}Ni zerfallen. Die Verteilung von Nickel- und Eisenisotopen in Meteoriten erlaubt es, die Isotopen- und Elementhäufigkeit bei der Bildung des Sonnensystems zu messen und die vor und während der Bildung des Sonnensystems vorherrschenden Bedingungen zu erschließen. Nur das Eisenisotop ^{57}Fe besitzt einen Kernspin.

Verwendung

Eisen ist der Hauptbestandteil von Stahl. Stähle sind Legierungen des Eisens, die beim Vermischen (Legieren) mit anderen Metallen und auch Nichtmetallen (insbesondere Kohlenstoff) entstehen. Eisen ist mit 95 Prozent Gewichtsanteil an genutzten Metallen das weltweit meistverwendete. Der Grund dafür liegt in seiner weiten Verfügbarkeit, welche es recht preiswert macht, sowie in der erreichten hervorragenden Festigkeit und Zähigkeit beim Eingehen von Legierungen mit anderen Metallen wie Chrom, Molybdän und Nickel, die es für viele Bereiche in der Technik zu einem Grundwerkstoff macht. Es wird bei der Herstellung von Landfahrzeugen, Schiffen und im gesamten Baubereich (Stahlbeton) eingesetzt.

Eisen ist (neben Cobalt und Nickel) eines jener drei ferromagnetischen Metalle, die mit ihrer Eigenschaft den großtechnischen Einsatz des Elektromagnetismus u.a. in Generatoren, Transformatoren, Drosseln, Relais und Elektromotoren ermöglichen. Es wird rein oder u.a. mit Silicium, Aluminium, Kobalt oder Nickel (siehe Mu-Metall) legiert und dient als weichmagnetisches Kernmaterial zur Führung von Magnetfeldern, zur Abschirmung von Magnetfeldern oder zur Erhöhung der Induktivität. Es wird hierzu massiv, in Form von Blechen oder Pulver (Pulverkerne) produziert.

Reines Eisenpulver wird auch in der Chemie verwendet.

Industriell sind verschiedene Stähle verbreitet; in Deutschland sind etwa 7.500 Sorten genormt. Eisen wird in den nachfolgend angeführten Formen genutzt:

- Roheisen enthält vier bis fünf Prozent Kohlenstoff sowie unterschiedliche Anteile an Schwefel, Phosphor und Silicium. Es ist ein Zwischenprodukt in der Herstellung von Gusseisen und Stahl.
- Gusseisen enthält 2,06 bis 6,67 % Kohlenstoff und weitere Legierungselemente, wie beispielsweise Silicium und Mangan. In Abhängigkeit von der Abkühlgeschwindigkeit liegt der Kohlenstoff im Gusseisen als Karbid oder elementar als Graphit vor. In Anlehnung an das Aussehen der Bruchflächen spricht man im ersteren Fall von weißem und im zweiten Fall von grauem Gusseisen. Gusseisen ist sehr hart und spröde. Es lässt sich gewöhnlich nicht plastisch verformen.
- Stahl enthält zwischen 0,06 % und 2,06 % Kohlenstoff. Im Gegensatz zu Gusseisen ist er plastisch umformbar. Durch Legieren, sowie durch eine geeignete Kombination von thermischer Behandlung und plastischer Formung (Kaltwalzen) können die mechanischen Eigenschaften des Stahls in weiten Grenzen variiert werden.
- Bei unlegierten Stählen mit einem Kohlenstoffgehalt bis 0,8 % spricht man von Baustahl, bei über 0,8 % von Werkzeugstahl.

Verbindungen

Wertigkeiten und Oxidationsstufen

- Fe^{2-} , in $[\text{Fe}(\text{CO})_4]^{2-}$, $[\text{Fe}(\text{CO})_2(\text{NO})_2]$ hier ist das $(\text{NO})^{1+}$
- Fe^{1-} , in $[\text{Fe}_2(\text{CO})_8]^{2-}$
- Fe^0 , als $\text{Fe}(\text{CO})_5$, $\text{Fe}_2(\text{CO})_9$ sowie $\text{Fe}_3(\text{CO})_{12}$
- Fe^{1+} , äußerst ungewöhnlich, z. B. als $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{NO}]^{2+}$. (Ringprobe, Nachweis von NO_3^-)
- Fe^{2+} , diese Salze sind zumeist blassgrün,
- Fe^{3+} , diese Ionen sind fast farblos. Lösungen von Fe(III)-Salzen reagieren stark sauer und sind gelb gefärbt. Die Farbe entsteht durch Charge-transfer-Banden von Hydroxo-Ionen, wie bei $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]^{2+}$.
- Fe^{4+} , Li_2FeO_3 , BaFeO_3 u.a. sowie in den Katalysezyklen einiger Enzyme vor (zum Beispiel Cytochrom c Oxidase, Cytochrom P450, Peroxidasen),
- Fe^{5+} , FeO_4^{3-}
- Fe^{6+} , ist selten (beispielsweise K_2FeO_4 , BaFeO_4)

Oxide

Eisen bildet mit Sauerstoff zweiwertige und dreiwertige Oxide:

- **Eisen(III)-oxid** (Fe_2O_3) ist eine rote bis braune Substanz und entsteht durch Oxidation von Eisen im Sauerstoffüberschuss. In der Natur tritt es in Form der Minerale Hämatit und Maghemit auf.
- **Eisen(II,III)-oxid** (Fe_3O_4) entsteht natürlich durch vulkanische Vorgänge oder beim direkten Verbrennen von Eisen, z. B. mit dem Schneidbrenner als Eisenhammerschlag und wird als Mineral als Magnetit bezeichnet.
- **Eisen(II)-oxid** (FeO) entsteht nur bei der vorsichtigen Zersetzung von Eisen(II)-oxalat FeC_2O_4 im Vakuum. Es ist schwarz und bis $560\text{ }^\circ\text{C}$ instabil. Als Mineral Wüstit entsteht es meist aus der Verwitterung von Magnetit.

Da diese Oxide keine feste Schutzschicht bilden, oxidiert ein in der Atmosphäre ausgesetzter Eisenkörper vollständig. Wenn sie vor dem endgültigen Verrosten eingesammelt und dem Recycling zugeführt werden, sind verrostetes Eisen und verrosteter Stahl bei der Stahlproduktion im Elektro-Schmelzofen ein begehrter und wertvoller Sauerstoffträger. Dieser Sauerstoff im Eisenschrott wirkt beim „Stahlkochen“ als Oxidationsmittel, um ungewünschte qualitätsmindernde Beimengungen (z. B. Leichtmetalle) zu oxidieren (verbrennen).

Salze

Eisen bildet zweiwertige und dreiwertige Salze:

- **Eisen(II)-chlorid** ($\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{ H}_2\text{O}$) wird angewendet zur Sulfidfällung, Faulgasentschwefelung, Biogasentschwefelung, Chromatreduzierung und Phosphatelimination; dazu gehört die Simultanfällung.
- **Eisen(II)-sulfat** ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{ H}_2\text{O}$) wird wegen seiner Farbe auch Grünsalz genannt. Anwendungen wie beim Eisen(II)-chlorid, sowie bei getrocknetem Eisen(II)-sulfat als Chromatreduzierer speziell im Zement gegen die Chromatallergie.
- **Eisen(III)-chlorid** ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{ H}_2\text{O}$) kann Kupfer oxidieren und lösen; deshalb kann man wässrige Eisen(III)-chlorid-Lösungen zum schonenden Ätzen von Leiterplatten verwenden. Reaktionsformel:
$$\text{Cu} + 2\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{CuCl}_2 + 2\text{FeCl}_2$$
- **Eisen(III)-chloridsulfat** (FeClSO_4)

Alle Eisensalze werden unter anderem verwendet als Flockungsmittel und zur Phosphatelimination, dazu gehört die Vorfällung, Simultanfällung, Nachfällung und Flockenfiltration sowie Sulfidfällung, Faulgasentschwefelung, Biogasentschwefelung

Weitere Eisenverbindungen

Einzelne Eisenverbindungen:

- Fe_3C , Eisencarbid,
- $\text{Fe}(\text{CO})_5$, Eisencarbonyl, Eisenpentacarbonyl, IPC (I für iron), entsteht unter Druck aus Eisen und Kohlenmonoxid und bildet nach seiner Zersetzung neben Kohlenmonoxid ein besonders reines Eisenpulver, das Carbonyleisen. Eine weitere Variante von Eisencarbonyl ist $\text{Fe}_2(\text{CO})_9$ und $\text{Fe}_3(\text{CO})_{12}$.
- $\text{Fe}(\text{SCN})_3$, Eisen(III)-thiocyanat, Eisenrhodanid, hat eine sehr ergiebige blutrote Färbung, dient zum Nachweis von Fe^{3+} -Ionen.