

4 Metalle und Metallgewinnung

Inhaltsverzeichnis

4.1 Aus Rohstoffen werden Gebrauchsgegenstände	1
4.2 Eigenschaften der Metalle	4
4.4 Exkurs Geschichte der Metallgewinnung	5
4.5 Edle und unedle Metalle	5
4.6 Praktikum Metalle reagieren mit Schwefel	6
4.7 Reduktion von Metalloxiden	8
4.8 Elektronenübergänge – Redoxreaktionen	9
4.9 Wie viel Metall kann man aus einem Erz gewinnen?	10
4.10 Ötzi und sein Kupferbeil	10
4.11 Der Hochofen – ein großtechnischer Prozess	12
4.12 Impulse Stahl – ein Hightech-Produkt	14
4.13 Exkurs Metalle überall	15
4.14 Praktikum Untersuchung von Getränkedosen	16
4.15 Rosten	17
4.16 Durchblick Zusammenfassung und Übung	17

4 Metalle und Metallgewinnung

4.1 Aus Rohstoffen werden Gebrauchsgegenstände

Zu den Aufgaben

A1 Aus dem Mineral Bleiglanz lässt sich Blei gewinnen, aus Buntkupferkies Kupfer, aus Zinkblende Zink und aus Brauneisenerz Eisen.

A2 Bei Zinnober handelt es sich um Quecksilbersulfid. Aus diesem kann Quecksilber gewonnen werden.

A3 Es gibt sehr unterschiedliche Faktoren, die entscheiden, ob ein Erzvorkommen gewinnbringend ausgebeutet werden kann:

- der Anteil des Minerals im Erz,
- der Anteil des Metalls im Mineral,
- der Wert des zu gewinnenden Metalls,
- die Mächtigkeit der Erzsicht,
- die Mächtigkeit des auflagernden Deckgebirges,
- die Entfernung der Lagerstätte von den verarbeitenden Industrien,
- die Verkehrsanbindungen,
- das Fehlen oder Vorhandensein von Fachkräften.

A4 Metalle sind gute Wärmeleiter, weshalb die Wärme von der Kochplatte über das Metall schnell auf den Kochtopf übertragen wird.

Die Kochtöpfe für einen Elektroherd müssen auch einen eben geschliffenen Boden aufweisen, damit nicht durch Luftpolster zwischen Kochtopfboden und Herdplatte isolierende Nester entstehen.

A5 Die Kupferschicht würde allmählich zerstört werden. Kupfer würde auch reagieren, wenn es z. B. mit Essig und Luft in Berührung kommt. Das Kupfer würde oxidiert werden und in Lösung gehen. Das Silberlot verbindet die Kupferschicht mit den beiden Edelstahlschichten.

A6 Von dem Silber- und dem Stahlöffel fallen die Erbsen schneller herab als von dem Kunststofföffel. Metalle leiten die Wärme besser als Kunststoffe.

A7

a) Weißgold als Sammelbegriff bezeichnet Goldlegierungen, die durch Zusatz deutlich „entfärbender“ Metalle eine weiße bis blass getönte Goldlegierung ergeben. Als Legierungszusätze werden hauptsächlich Palladium, früher sehr häufig Nickel oder bei niedrigen Goldgehalten Silber verwendet. Die „Entfärbung“ des von Natur aus gelben Goldes tritt kontinuierlich ein und setzt einen gewissen Anteil des entfärbenden Zusatzes voraus. Der Rest, der dann noch bis zum berechneten Gesamtvolumen fehlt, wird oft aus Kupfer/Silber gestellt.

Rotgold ist eine Goldlegierung, bestehend aus Feingold, Kupfer und gegebenenfalls etwas Silber, um seine mechanische Bearbeitbarkeit zu verbessern. Der relativ hohe Kupferanteil, der deutlich über dem des Silbers liegt, ist für die namensgebende „rote“ Farbe und die Härte des Materials verantwortlich. Der Farbton ist kupferähnlich.

Zusatzinformationen

Der Feingehalt des Goldes

Der **Feingehalt** gibt den Anteil des reinen Edelmetalls an der Gesamtmasse in Tausendstel an. Eine weitere Möglichkeit ist die Angabe in **Karat**. Allerdings ist die Karat-Angabe bei Gold nicht identisch mit der Karat-Angabe bei Edelsteinen. Bei Edelsteinen handelt es sich um eine Masseneinheit, wobei 1 carat (ct.) = 0,2 Gramm entspricht. Für Gold gibt die Angabe in Karat an, wie viel Gold im Vergleich zu anderen Materialien in einer Legierung enthalten ist. So enthält einkarätiges Gold einen 1/24 Anteil Gold und 23/24 Anteile anderer Stoffe.

Feingehalt in ‰	999,9	917	750	585	416	375	333
w(Gold) in %	99,99	91,7	75,0	58,5	41,6	37,5	33,8
w(Gold) in Karat	24	22	18	14	10	9	8

In Deutschland darf Gold ab einer 333er Feinheit als Gold bezeichnet werden. In Großbritannien und in der Schweiz liegt die gesetzliche Grenze bei einer 375er und in Österreich bei einer 250er Feinheit (auch Viertelgold bezeichnet).

Rotgoldschmuck ist anfälliger für das „Anlaufen“, da das Kupfer an der Oberfläche oxidiert wird. Rotgold gibt es mit Feingehalten von 33 bis ca. 75 %. Umgangssprachlich wird Rotgold auch als „Russengold“ oder „Türkengold“ bezeichnet, da der Osten und Süden Europas diese rötlichen Goldlegierungen favorisiert.

Weißgold wurde ursprünglich in den Jahren 1912/13 als kostengünstiger Platinersatz für Schmuckzwecke entwickelt, es erfreut sich heute jedoch großer Beliebtheit. Bei dieser Legierung werden hauptsächlich die Platin-Nebenmetalle Palladium, Nickel oder Silber verwendet. Mit diesen Metallen entsteht eine fast farblose Legierung. Nickel wurde aus den modernen Schmucklegierungen verbannt, weil es Hautallergien auslösen kann. Häufig wird Weißgold zusätzlich rhodiniert, d. h. mit Rhodium, einem weiteren Platin-Nebenmetall, überzogen. Dadurch erreicht man eine Farbverbesserung, welche sich in einem reinen silberartigen Weiß darstellt. Dieser Rhodium-Überzug dient auch einer verbesserten Kratzfestigkeit gegenüber der unbeschichteten Metalloberfläche aus reinem Weißgold.

Die weltweit beliebteste Goldlegierung ist das **Gelbgold**. Mit dieser Goldlegierung versucht man, die Originalfarbe des reinen Goldes zu erhalten und gleichzeitig seine Materialeigenschaften so zu verbessern, dass es sich zur Schmuckverarbeitung eignet. Hierbei wird das Feingold mit Silber und Kupfer legiert, wobei das Verhältnis der Metalle die Farbe beeinflusst. Je geringer der Goldanteil ist, desto geringer ist auch die Tiefe des Gelbtönen. Gelbgoldlegierungen können noch zusätzliche Metallanteile enthalten, um die Gussfähigkeit und die Härte der Legierung zu verbessern.

Bei einer Gelbgold 585-Legierung liegt z. B. folgendes Verhältnis der Metallanteile vor: 58,5 % Gold, 30 % Silber, 11,5 % Kupfer.

Bei einer Gelbgold 750-Legierung ergibt sich z. B. folgendes Verhältnis der Metallanteile: 75,0 % Gold, 12,5 % Silber, 12,5 % Kupfer.

b) Bei dem gesuchten Metall handelt es sich um Zinn. Die Dichte des Zinns ist $\rho(\text{Zinn}) = 7,30 \text{ g/cm}^3$. Das Zeichen des Elementes: Sn.

A8 Eisen rostet. Abhilfe schaffen Edelmische, also Eisenlegierungen mit z. B. gewissen Anteilen an Chrom und Nickel.

A9 Das getrennte Sammeln von Gegenständen nach Wertstoffen in Privathaushalten kann sehr unterschiedlich bewertet werden. Für das Einsammeln der Gegenstände muss eine Infrastruktur vom Einsammeln über das Lagern und Sortieren geschaffen werden, da in vielen Privathaushalten häufig nicht ordentlich getrennt wird. Die Gegenstände müssen zum Aufarbeitungsbetrieb befördert werden.

Jeder Abfall, der in der falschen Tonne landet, muss mühevoll von den Mitarbeitern der Entsorgungsbetriebe auf dem Sortierband wieder aussortiert werden. Nach Aussagen von Experten landen ca. 50 % des Mülls in der falschen Tonne. Heute ist es nach Meinung von Gegnern des getrennten Sammelns technisch möglich, alles verwertbare Material aus dem Müll zu holen, nicht nur Verpackungen. Es könnte viel mehr verwertet werden als die Gegenstände und Stoffe, die über den „Grünen Punkt“ erfasst und gesammelt werden.

Es liegen noch Ressourcen in hohem Maße brach. Nach Meinung des Dualen Systems Deutschland (DSD) ist die Trennung von Restmüll und Verpackungsmüll weiterhin sinnvoll. Denn der Feuchtigkeits- und Schmutzanteil im Restmüll ist viel höher. Faktisch sei keine Sortiermaschine bisher in der Lage, Leichtverpackungsgemische zu trennen. Eine qualitative Verwertung sei daher zurzeit nicht möglich.

A10 Kupfer kostete am 01.12.2015 4,34 €/kg.

A11 Eisen leitet den elektrischen Strom schlechter als Kupfer. Wenn durch einen Eisendraht elektrischer Strom fließt, erwärmt er sich und wird oxidiert. Silber leitet zwar den elektrischen Strom gut, ist aber zu teuer.

A12

Nennwert	1 Cent	2 Cent	5 Cent	10 Cent
Durchmesser	16,25 mm	18,75 mm	21,25 mm	19,75 mm
Dicke	1,67 mm	1,67 mm	1,67 mm	1,93 mm
Masse	2,30 g	3,06 g	3,92 g	4,10 g
Form	rund	rund	rund	rund
Farbe	rot	rot	rot	gelb
Material	Stahl mit Kupferauflage	Stahl mit Kupferauflage	Stahl mit Kupferauflage	Nordisches Gold
Rändelung	glatt	glatt mit Einkerbung	glatt	Randprägung mit feiner Wellenstruktur
Magnetismus	stark magnetisierbar	stark magnetisierbar	stark magnetisierbar	nicht magnetisierbar

Nennwert	20 Cent	50 Cent	1 Euro	2 Euro
Durchmesser	22,25 mm	24,25 mm	23,25 mm	25,75 mm
Dicke	2,14 mm	2,38 mm	2,33 mm	2,20 mm
Masse	5,74 g	7,80 g	7,50 g	8,50 g
Form	Spanische Blume	rund	rund	rund
Farbe	gelb	gelb	außen: weiß, innen: gelb	außen: weiß, innen: gelb
Material	Nordisches Gold	Nordisches Gold	außen: Nickel-Messing; innen: dreischichtig: Kupfer-Nickel, Nickel, Kupfer-Nickel	außen: Nickel-Messing; innen: dreischichtig: Kupfer-Nickel, Nickel, Kupfer-Nickel
Rändelung	glatt	Randprägung mit feiner Wellenstruktur	gebrochen geriffelt	Schriftprägung auf dem Münzrand, geriffelt
Magnetismus	nicht magnetisierbar	nicht magnetisierbar	schwach magnetisierbar	schwach magnetisierbar

A13 Die 1-Cent-, 2-Cent- und die 5-Cent-Münzen bestehen aus Stahl mit Kupferauflage.

A14 Siehe die letzte Zeile in den Tabellen.

Zusatzaufgaben

Metalle sind vielseitig verwendbar

Neben Eisen sind Aluminium, Blei, Kupfer, Silber, Zink und Zinn wichtige Gebrauchsmetalle. Stelle Verwendungsmöglichkeiten dieser Metalle in einer tabellarischen Übersicht dar.

Lösungsvorschlag

Metall	Verwendung
Aluminium	Folien, Fensterrahmen, Autofelgen, Fahrräder, Flugzeuge
Blei	Dachabdichtung, Beschwerung (Tauchergürtel, Gardinenband), Autobatterien, Röntgenschürzen
Kupfer	Wasserrohre, Dachverkleidung, -rinnen, Elektrokabel, Legierungsbestandteil von Messing
Silber	Schmuck, Besteck, Zierrat, Münzen, Legierungsbestandteil bei Zahnfüllungen
Zink	Dachrinnen, Ablaufrohre, Verzinkung (Rostschutz), Taschenlampenbatterien, Legierungsbestandteil von Messing
Zinn	Lötzinn, kunstgewerbliche Erzeugnisse

„Die Schwerter der Kelten“

Der griechische Geschichtsschreiber Polybios (geb. etwa um 200 v. Chr.) berichtet von den keltischen Galliern Norditaliens: „Die Schwerter der Kelten tun nur beim ersten Hieb ihre Wirkung, werden dann sogleich stumpf und biegen sich derartig, dass, wenn man dem Kämpfenden keine Zeit lässt, sie gegen die Erde zu stemmen und mit dem Fuß gerade zu biegen, der zweite Schlag mit ihnen vollkommen wirkungslos wird.“ Die von Polybios beschriebenen Waffen bestanden offensichtlich aus weichem, ungehärtetem Eisen. Die Kunst, weich geschmiedetes Eisen zu härten, machte viele Schmiede zu bewunderten, aber auch geheimnisumwitterten Personen.

Bringe in Erfahrung, mit welchen Methoden weich geschmiedete Werkstücke gehärtet werden können.

Lösungsvorschlag

Reines Eisen hat bis zu einer Temperatur von 906 °C eine kubisch-raumzentrierte Struktur (α -Eisen) und wandelt sich bei höheren Temperaturen in kubisch-flächenzentriertes γ -Eisen um, das bis zu 1,7% Kohlenstoff (bei 1145 °C) lösen kann. Diese Lösung wird Austenit genannt. Beim langsamen Abkühlen von Austenit finden komplizierte Ausscheidungs- und Umstrukturierungsprozesse statt, die dazu führen, dass weiches α -Eisen mit einer Spur gelösten Kohlenstoffs („Perlit“) und harter, spröder Zementit (Fe_3C) vorliegen. Bis zu einem Anteil von etwa 25% Zementit ist Eisen schmiedbar. Beim raschen Abkühlen unterbleibt die Bildung von Zementit. Es entsteht α -Eisen, dessen Gitterstruktur durch Kohlenstoff-Atome stark gestört ist („Martensit“). Es weist deshalb eine große Härte und Sprödigkeit auf. Die Kunst des Härtens von Klingen besteht darin, nur die Oberfläche zu härten, damit der weiter innen liegende weichere Kern mechanischen Belastungen standhalten kann. Die harte Oberfläche sorgt für die gewünschte Schneidwirkung. Diesen Zustand kann ein Schmied durch kurzes Abschrecken erreichen, bei dem nur die äußere Schicht des Werkstücks rasch erkaltet, während der weiter innen liegende Teil langsam auskühlt. Da dieser Vorgang schwer zu steuern ist, haben sich andere Techniken verbreitet, die den Wärmeübergang vom Werkstück auf das Kühlmittel verlangsamen sollten. Dazu wurde z. B. das Wasser mit Sand, Schlamm oder Sägespänen eingedickt. Auch durch Verwendung von Öl statt Wasser ließ sich der Wärmeübergang günstig beeinflussen. Da der naturwissenschaftliche Hintergrund in früheren Zeiten nicht bekannt war, kann man sich leicht vorstellen, dass der Beruf des Schmiedes oft geheimnisumwittert war.

4.2 Eigenschaften der Metalle**Zum Versuch**

V1 Man stellt fest, dass Kupfer, Aluminium, Eisen und Magnesium den elektrischen Strom leiten, während dies bei Glas, Holz und Kunststoffen nicht der Fall ist. Metalle sind elektrische Leiter.

Zur Aufgabe

A1 Individuelle Schülerlösungen, vgl. auch B5, S. 117. Beispiele: Flugzeugteile, Bestandteil von Blisterverpackungen, Alufolie, Alufaschen (zum Wandern), Espresso-Kocher, Getränkedosen, Aluminiumkoffer, Grillschalen aus Aluminium

4.4 Exkurs Geschichte der Metallgewinnung**Geschichte der Metallgewinnung**

Archäologische Befunde lassen es sinnvoll erscheinen, zwischen die metalllose Steinzeit und die Bronzezeit eine „Kupfersteinzeit“ (Chalkolithikum) einzuschieben. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass schon Jahrtausende vor dem Beginn der Bronzezeit Kupfer verarbeitet wurde. Zeugnisse über den ältesten Kupferbergbau Europas stammen aus der Gegend von Belgrad. Die Kupfermine in Rudna Glavo wurde bereits im 5. vorchristlichen Jahrtausend betrieben. Das Erz, aus dem das Kupfer gewonnen wurde, war Malachit, ein Verwitterungsprodukt des Kupferkieses (CuFeS_2). Aus ihm konnte sehr reines Kupfer gewonnen werden, wie die Klinge des Gletschermannes aus den Öztaler Alpen zeigt. Die chalkolithischen Kulturen endeten in Europa etwa um das Jahr 2500 v. Chr. Erst viel später, nachdem wahrscheinlich die zugänglichen Malachitvorkommen erschöpft waren, gelang es, Kupferkies zur Gewinnung von Kupfer heranzuziehen. Die Hauptschwierigkeit, die überwunden werden musste, bestand darin, während des Herstellungsprozesses die Verbindungen der beiden verschiedenen Metalle voneinander zu trennen. Auf welche Weise zum ersten Mal Kupfer aus Malachit hergestellt wurde, ist nicht eindeutig bekannt. Wahrscheinlich ist die „Lagerfeuertheorie“, nach der zufällig ein Brocken Malachit in einem Feuer reduziert wurde, nicht zu halten. Entsprechende Experimente führten nicht zum Ziel. Offensichtlich ist ein vom Wind angefachtes Lagerfeuer nicht genügend reduzierend. Nach einer anderen Theorie könnte sich die erste Kupfergewinnung zufällig in einem heißen Keramikofen ereignet haben, in den ein mit Holzkohle und Malachit gefüllter Lehmbecher gestellt wurde.

Literatur zur Geschichte der Entdeckung und Verwendung der Metalle

Steuer, H.: Alter Bergbau in Deutschland, Konrad-Theiss-Verlag, Stuttgart 1993

Knauth, P.: Die Entdeckung des Metalls, Time Life International B.V., Amsterdam 1976

Moesta, H.: Erze und Metalle – ihre Kulturgeschichte im Experiment, Springer, Berlin 1982

Förster, O.: Das Gold der Kelten, Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart 1997

Zu den Aufgaben

A1 Die Temperatur im Rennfeuerofen reichte nicht aus, um vollständig geschmolzenes Roheisen von einheitlicher Zusammensetzung zu erzeugen. Bei diesem Verfahren bildete sich ein Eisenklumpen, der noch viel Kohlenstoff enthält, und Schlacke. Durch wiederholtes Erhitzen (Umschmieden) und mechanische Bearbeitung (Schmieden) werden Schlackenreste und ein großer Teil des Kohlenstoffs entfernt. So konnte Eisen von gleichmäßiger Qualität gewonnen werden.

A2 Beim Einblasen der Luft mithilfe eines Föns in den Rennofen ist die Luft bereits vorgewärmt, es werden so schnell höhere Temperaturen erreicht. Es gelangt auch wesentlich mehr Luft in den Rennofen als beim natürlichen Einzug.

4.5 Edle und unedle Metalle**Zur Aufgabe**

A1 Als Edelmetall kommt Gold nur gediegen vor.

A2 Unedle Metalle reagieren leicht mit dem in der Luft befindlichen Sauerstoff. Dabei bildet sich eine dünne Oxidschicht auf der Metalloberfläche und der Glanz geht verloren.

Anmerkung

Man hört mitunter Formulierungen wie „Eisen oxidiert an feuchter Luft“, die aus folgenden Gründen inakzeptabel sind. Eisen oxidiert nicht, sondern reduziert seinen Reaktionspartner. Die unbedachte Formulierung rührt von einem unzulässigen Ersatz des Wortes „rostet“ durch „oxidiert“ her. Das ist sprachlich und sachlich falsch. „Rosten“ ist intransitiv, „oxidieren“ dagegen transitiv. Sachlich ist falsch: Natürlich *wird* Eisen beim Rosten oxidiert und oxidiert nicht. Die Verhältnisse um die Begriffe Reduktionsmittel, Oxidationsmittel und alles, was damit zusammenhängt, sind für den Anfänger schon verwirrend genug.

Die Unterscheidung in **edle und unedle Metalle** kann eine Verunsicherung hinsichtlich des Kupfers herbeiführen. Man stuft es als Halbedelmetall ein, aber bei *einem* klaren Kriterium sollte eigentlich ein klares Ergebnis der Einstufung resultieren.

Zur Definition von Edelmetallen werden jedoch *zwei verschiedene Kriterien* angewandt.

Einmal bezieht man sich auf die elektrochemische Spannungsreihe und orientiert sich am Standardpotential des Redoxpaares H_2/H_3O^+ . Das Standardpotential von Cu/Cu^{2+} ist höher, somit wäre Kupfer nach diesem Kriterium als Edelmetall anzusehen. Auch für Schüler/-innen der Sekundarstufe I lässt sich der Sachverhalt leicht darstellen: Kupfer reagiert nicht mit verdünnten Säuren.

Das andere Kriterium basiert auf der Reaktion mit Sauerstoff. Kupfer bildet zwei Oxide und ist nach diesem Kriterium kein Edelmetall. Die beiden Kriterien sind zwar nicht unabhängig voneinander, aber sie trennen die Grundmenge keineswegs auf dieselbe Weise in Teilmengen.

Durch Anwenden beider Kriterien entsteht deshalb eine *Skala mit drei unterschiedlichen Bereichen*:

- a) Redoxpaar A/A^{n+} hat ein positives Standardpotential und Metall A reagiert nicht mit Sauerstoff.
- b) Redoxpaar B/B^{m+} hat ein positives Standardpotential, Metall B reagiert aber mit Sauerstoff.
- c) Redoxpaar C/C^{n+} hat ein negatives Standardpotential (und Metall C reagiert daher auf jeden Fall mit Sauerstoff).

A ist ein edles Metall, B ein halbedles und C ein unedles Metall.

Standardpotential	negativ	positiv	
Reaktion mit Sauerstoff	ja	nein	
Einstufung	unedel	halbedel	edel
Beispiel	Eisen	Kupfer	Platin

Durch diese Klarstellung, dass *zwei verschiedene Kriterien überlappend* angewandt werden, erhält man eine einwandfreie Situation.

4.6 Praktikum Metalle reagieren mit Schwefel

Zu den Versuchen

V1/V2 Vor der Entnahme des Kupfersulfidstreifens sollte an dieser Stelle das Reagenzglas noch einmal kräftig erhitzt werden, um ein Festkleben des Streifens durch flüssigen Schwefel zu verhindern. Das Kupfersulfid enthält noch Schwefel „gelöst“, dieser sollte vor der weiteren Untersuchung entfernt werden. Dazu kann der Kupfersulfidstreifen kurz in die Brennerflamme gehalten werden. Allerdings muss dieses unter dem Abzug geschehen. Günstiger ist es, den Kupfersulfidstreifen in ein zweites Reagenzglas zu schieben, dieses mit einem Glaswollebausch oder mit Watte, die allerdings schwarz werden kann, zu verschließen und den Schwefel dann aus dem Kupfersulfidstreifen durch Erhitzen auszutreiben. Der Schwefel resublimiert an der Glaswolle oder Watte,

es kommt nicht zum Verbrennen des Schwefels an der Reagenzglasöffnung und damit nicht zur Bildung des Schwefeldioxids. Der Versuch kann dann außerhalb des Abzugs durchgeführt werden.

Versuchsbeobachtungen: Wird der gelbe Schwefel erhitzt, entsteht brauner, flüssiger Schwefel aus dem brauner Schwefeldampf entweicht und über das heiße Kupferblech streicht. Eine schmale Zone glüht auf, die durch das ganze Kupferblech wandert. Nach dem Erkalten erkennt man, dass sich auf dem erhaltenen Streifen kleine blauschwarze, glänzende Kristalle gebildet haben.

Versucht man den Streifen des Reaktionsprodukts zu verbiegen, so bricht er im Gegensatz zum Kupferblechstreifen sofort auseinander.

Vergleich der Eigenschaften von Kupfer und Schwefel mit denen des Reaktionsprodukts:

Eigenschaften	Kupfer	Schwefel	Reaktionsprodukt
Farbe	rötlich	gelb	blauschwarz
Verformbarkeit	biegsam	spröde	spröde
Wärmeleitfähigkeit	sehr gut	schlecht	schlecht
Dichte	8,9 g/cm ³	2,1 g/cm ³	5,6 g/cm ³
Schmelztemperatur	1083 °C	113 °C	1130 °C

Reaktionsschema:

Kupfer + Schwefel → Kupfersulfid

V3 Beim Ablauf der Reaktion kann es vorkommen, dass das Reaktionsgemisch im Reagenzglas ein wenig aufsteigt. Werden die Mengenangaben eingehalten, wird aber kaum etwas von dem Gemisch aus dem Reagenzglas geschleudert. Es muss aber auf jeden Fall die Schutzbrille getragen werden. Bei diesem Versuch entsteht kein einheitliches Reaktionsprodukt, deshalb ist es sehr wichtig, dass der Reagenzglasinhalt nach dem Experiment zerrieben wird, sodass er einheitlich erscheint. Bei der Untersuchung der magnetischen Anziehung sollte zwischen Magnet und Stoffgemisch ein Blatt Papier gehalten werden. Wenn das Gemisch aus Eisen und Schwefel sehr innig vermischt worden ist, werden auch Schwefelkörnchen, die an den Eisenpartikeln haften, angezogen. Dies kann den Schülern leicht erklärt werden, wenn zum Vergleich der Magnet über Schwefelpulver gehalten wird. Die Untersuchung des Verhaltens in Wasser sollte zusätzlich durchgeführt werden, weil sich hier das Gemisch recht ordentlich trennt. Problematisch ist es, dass natürlich auch das Schwefelpulver aufgrund seiner Dichte absinken sollte. Bei Zugabe eines Spülmittelspritzers oder bei Einsatz eines Schwefelstücks geschieht dies auch, das feine Pulver jedoch schwimmt meist in Wasser. Die elektrische Leitfähigkeit wird mit einem Schwefelstück, einem Eisennagel und einem kompakten Stück des Reaktionsproduktes untersucht.

Versuchsbeobachtungen: Erhitzt man das hellgraue Eisen-Schwefel-Gemisch am Boden des Reagenzglases, so beginnt es an dieser Stelle aufzuglühen. Ohne weitere Wärmezufuhr durchdringt eine Glühfront das ganze Gemisch. Es ist ein grauschwarzes, sprödes Reaktionsprodukt entstanden.

Vergleich der Eigenschaften von Eisen und Schwefel mit denen des Reaktionsproduktes:

Eigenschaften	Eisen	Schwefel	Reaktionsprodukt
Farbe	grau	gelb	grauschwarz
magnetische Anziehung	stark	keine	schwach
elektrische Leitfähigkeit	gut	keine	schwach
Schmelztemperatur	1535 °C	113 °C	1193 °C
Dichte	7,9 g/cm ³	2,1 g/cm ³	4,7 g/cm ³
Verhalten in Wasser	nicht löslich, sinkt	nicht löslich, schwimmt als Pulver	nicht löslich, sinkt

V4 Versuchsbeobachtungen: Wird der Schwefel erhitzt, schmilzt er. Streicht der Schwefeldampf über das heiße Blech, wird es zunächst dunkel, fast schwarz. Nach einiger Zeit sind schöne, schwarze (grauschwarze) Kristalle zu erkennen.

Vergleich der Eigenschaften von Silber und Schwefel mit denen des neu entstandenen Stoffes

Eigenschaften	Silberblech	Schwefel	Reaktionsprodukt
Farbe	silbern glänzend	gelb	schwarz
elektrische Leitfähigkeit	gut	keine	keine
Wärmeleitfähigkeit	gut	schlecht	schlecht
Verformbarkeit	biegsam	spröde	spröde

Zusatzversuch:

Die Zinksulfidbildung aus den Elementen ist ein sehr anschaulicher Versuch, an dem sich die Phänomene der chemischen Reaktion sehr gut verdeutlichen lassen. Zur Versuchsdurchführung mischt man 4 g Schwefelpulver und 8 g Zinkpulver und schüttet das Gemisch in Form eines Kegels auf eine Eisenplatte.

Das Gemisch wird durch eine Wunderkerze, einen dicken Eisendraht (z.B. Fahrradspeiche oder dicke Stricknadel), dessen eines Ende man zum Glühen erhitzt, oder direkt mit der rauschenden Brennerflamme (Achtung: Schutzbrille, Schutzhandschuhe!) an der Spitze des Kegels entzündet. Die Reaktion verläuft sehr heftig, sie darf auf *keinen Fall im Reagenzglas durchgeführt werden*. Es entsteht auch Schwefeldioxid, außerdem wirbeln Zinksulfidpartikel durch die Luft. Der Versuch muss unter dem Abzug durchgeführt werden. Das Zinksulfid ist bei höherer Temperatur gelb, nach dem Abkühlen weißgrau.

4.7 Reduktion von Metalloxiden

Zu den Versuchen

V1 Der beim Erhitzen von Silberoxid entstehende Sauerstoff kann mit der Glimmspanprobe nachgewiesen werden.

Hinweis: Das Silberoxid wird durch Erhitzen sehr schnell quantitativ zerlegt. Ein Problem besteht darin, dass das zurückbleibende Silber meist weißgrau erscheint und damit nicht der Vorstellung der Schülerinnen und Schüler von einem silberglänzenden Metall entspricht. Wird das Silberoxid stärker erhitzt, backt das Silber zusammen und haftet so fest am Reagenzglas, dass es nicht herausgeschüttelt oder durch Erhitzen und Schmelzen ausgetrieben werden kann.

Wird das Silberoxidpulver allerdings mit der nur gerade entleuchteten Flamme befächelt, wird es ebenfalls quantitativ zerlegt. Es bleibt ein weißgraues Silberpulver zurück, das sich vollständig aus dem Reagenzglas schütten lässt. Gibt man das Silberpulver in eine kleine Vertiefung eines Stückes Holzkohle (Lötrohrkohle) und schmilzt das Pulver mit der Reduktionsflamme, erhält man eine silberglänzende Kugel. Diese Kugel lässt sich plattklopfen und aushämmern. Das Zusammenschmelzen des Pulvers dauert nicht einmal eine Minute und ist für viele Schülerinnen und Schüler faszinierend.

V2 Bei dem Versuch ist darauf zu achten, dass trockene Reagenzgläser und Materialien benutzt werden! Zur näheren Untersuchung der Reaktionsprodukte muss das Reagenzglas zerschlagen werden. (Vorsicht! Abdeckung mit einem Lappen, damit keine Glassplitter umherfliegen!) Zur Betrachtung der Reaktionsprodukte ist eine Lupe empfehlenswert. Man erkennt kleine rote Kügelchen des entstandenen Kupfers.

V3, V4 Die stark exotherme Reaktion kann, bedingt durch die erforderliche Aktivierungsenergie, verzögert, aber dann mit sehr großer Heftigkeit einsetzen.

V5 Dieser Versuch kann in zwei unterschiedlichen Versionen vorgeführt werden.

a) Als Gefäß wird ein kleiner Blumentopf aus Ton verwendet. Das Loch im Boden wird mit einem Filterpapier oder einem dünnen Metallplättchen verschlossen [B5]. Es ist sehr eindrucksvoll zu sehen, wie das flüssige Metall in einem glühenden Strahl in die darunterstehende, mit Sand gefüllte Wanne fließt. Häufig lässt sich aber nur ein unansehnlicher Metallkörper gewinnen.

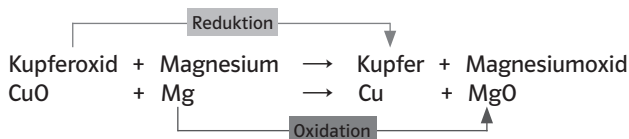
b) Führt man das Experiment in einem Spezialtiegel (Hessischer Tontiegel) aus, kann man nach dem Abkühlen und dem Zerschlagen des Tontiegels aus der erstarrten Schlacke einen schön geformten Eisenkörper („Regulus“) gewinnen, den man noch zusätzlich mit einer Feile oder Drahtbürste bearbeiten kann.

Ein fertiges Experimentierset für die Thermitreaktion kann von Aug. Hedinger, Heiligenwiesen 26, 70327 Stuttgart, bezogen werden.

V6 Um den exothermen Charakter der Reaktion zu zeigen, ist es sinnvoll, die Schüler vorher darauf hinzuweisen, dass der Brenner unmittelbar nach dem ersten Aufglühen entfernt wird. Die Glühfront zieht dann weiter, ohne dass von außen Energie zugeführt wird. Nach der Reaktion lassen sich rote Kupferkörnchen erkennen. Diese müssen bei der Reaktion entstanden sein.

Zu den Aufgaben

A1 Reaktionsgleichung für die Reaktion von Kupferoxid mit Magnesium:

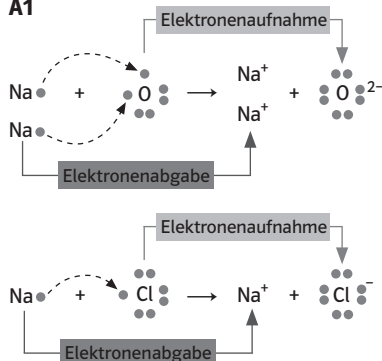


A2 Mit Zink und Magnesium kann man Eisenoxid reduzieren.

4.8 Elektronenübergänge – Redoxreaktionen

Zur Aufgabe

A1



4.9 Wie viel Metall kann man aus einem Erz gewinnen?

Zur Aufgabe

A1

Elementargruppe	Masse in u
Cu_2O	143
FeO	71,8
Fe_3O_4	231,4

A2

a)

$$m(\text{Eisen}) : m(\text{Magnetisenerz}) = 167,4 \text{ u} : 231,4 \text{ u} = 0,72$$

$$m(\text{Eisen}) = 0,72 \cdot m(\text{Magnetisenerz}) = 0,72 \cdot 1 \text{ t} = 0,72 \text{ t}$$

b)

$$m(\text{Cuprit}) : m(\text{Kupfer}) = 143 \text{ u} : 127 \text{ u} = 1,13$$

$$m(\text{Cuprit}) = 1,13 \cdot m(\text{Kupfer}) = 1,13 \cdot 2 \text{ t} = 2,26 \text{ t}$$

c)

$$m(\text{Sauerstoff}) : m(\text{schwarzes Kupferoxid}) = 16 \text{ u} : 79,5 \text{ u} = 0,20$$

$$m(\text{Sauerstoff}) = 0,2 \cdot 100 \text{ g} = 20 \text{ g}$$

$$V(\text{Sauerstoff}) = m(\text{Sauerstoff}) : \rho(\text{Sauerstoff}) = 15,04 \text{ l}$$

$$V(\text{Luft}) = V(\text{Sauerstoff}) : \varphi(\text{Sauerstoff in Luft}) = 71,61 \text{ l}$$

A3

Teil 1: $m(\text{Kupferoxid}) = 200 \text{ mg}$

$$m(\text{Kupfer}) = 178 \text{ mg}$$

$$m(\text{Kupfer}) : m(\text{Kupferoxid}) = 0,89$$

Teil 2: $m(\text{Kupferoxid}) = 250 \text{ mg}$

$$m(\text{Kupfer}) = 222,5 \text{ mg}$$

$$m(\text{Kupfer}) : m(\text{Kupferoxid}) = 0,89$$

Teil 3: $m(\text{Kupferoxid}) = 300 \text{ mg}$

$$m(\text{Kupfer}) = 267 \text{ mg}$$

$$m(\text{Kupfer}) : m(\text{Kupferoxid}) = 0,89$$

Der Massenanteil von Kupfer im Kupferoxid ist jeweils gleich. Dies muss der Fall sein, weil es sich um verschieden große Portionen des gleichen Stoffs handelt. Der Kupferanteil ist aber allein durch dessen Verhältnisformel bestimmt.

Zum Versuch

V1 Für den Versuch geeignet sind Kupfer(II)-oxid-Pulver oder gekörntes Kupfer(II)-oxid. Am schnellsten wird natürlich das Pulver reduziert. Nicht geeignet ist Kupfer(II)-oxid in Drahtform. Bei Kupfer(II)-oxid in Drahtform handelt es sich um ein Gemisch von Kupfer(I)-oxid und Kupfer(II)-oxid.

4.10 Ötzi und sein Kupferbeil

Zum Versuch

V1 Beim Erhitzen des Kupfercarbonats verschwindet die blaugrüne Farbe sehr schnell, es bildet sich ein schwarzes Pulver. Nach der Zugabe von 0,2 g Holzkohlepulver, kräftigem Schütteln und erneutem Erhitzen glüht der Reagenzglasinhalt auf. Wird der Reagenzglasinhalt nach kurzem Abkühlen auf das Wasser im Becherglas geschüttet, bleibt Holzkohlepulver auf der Wasseroberfläche, auf dem Boden des Becherglases liegen rotbraune Krümel. Die Farbe dieser

Krümeln wird deutlicher sichtbar, wenn man die Krümeln auf Filterpapier gibt.

Alternative: Führt man das Experiment mit Malachit durch, sind im Wesentlichen die gleichen Beobachtungen zu machen. Setzt man Malachitbröckchen ein, so ist die rotbraune Farbe des Kupfers am Ende gut zu beobachten. Pulverisiert man die Malachitbröckchen in der Reibschale, so wird das, sich beim Erhitzen bildende, Kupferoxid im zweiten Schritt mit dem Holzkohlepulver vollständiger reduziert. Die rotbraune Farbe ist wiederum gut zu erkennen.

Wird der Reagenzglasinhalt am Ende der Reduktion noch einmal stark erhitzt, bildet sich ein Kupferspiegel im Reagenzglas.

Zusatzinformationen: Der historische Gang der Kupfergewinnung für den Unterricht der Sek. I wird im folgenden Aufsatz dargestellt.

Wloka, K., Eine Welt voller Metalle ... und wie es dazu kam, Praxis der Naturwissenschaften, Chemie in der Schule, 5/55 (Juli 2006), 21-24.

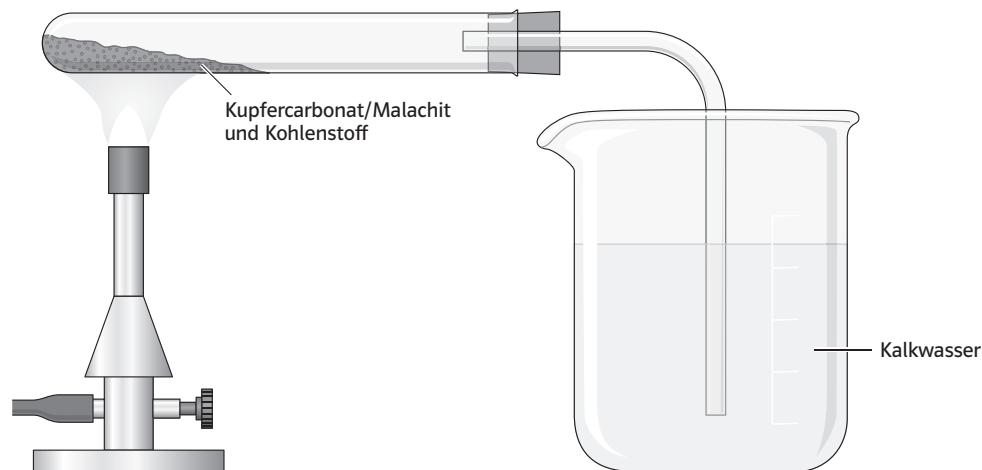
Bezugsquelle für Malachit:

Malachit Erzstücke, große Kupfer Nuggets bei: Dr. F. Krantz, Rheinisches Mineralienkontor GmbH & Co KG, Fraunhoferstraße 7, 53121 Bonn, <http://www.krantz-online.de>, info@krantz-online.de (01.06.2013)

Zu den Aufgaben

A1 Versuchsanleitung: Gib mit dem Spatellöffel zwei bis drei Spatel Kupfercarbonat bzw. Malachit in das Reagenzglas. Schiebe das gewinkelte Glasrohr vorsichtig in den Stopfen und verschließe das Reagenzglas damit. Bringe das Reagenzglas waagrecht so am Stativ an, dass das Glasrohr gerade in das Kalkwasser ragt. Erhitze das Kupfercarbonat bzw. Malachit. Perlt kein Gas mehr durch das Kalkwasser, so schiebst du sofort die Klemme am Stativ nach oben und hebst dadurch das Glasrohr aus dem Kalkwasser. Hierdurch wird verhindert, dass Kalkwasser in das Reagenzglas steigt.

Versuchsskizze:



A2 Der Körper des ca. 45 Jahre alten und ungefähr 1,58 m großen Mannes ist nahezu vollständig erhalten. Eine mit hoher Genauigkeit durchgeführte Mehrschicht-Computertomographie lässt den Schluss zu, dass Ötzi starb, weil er von einem Feuersteinpfeil in die linke Schulter getroffen wurde. Dieser Pfeil durchschlug das linke Schulterblatt und traf wahrscheinlich die Hauptschlagader, die den Arm versorgt. Diese Verletzung führte innerhalb weniger Minuten zum Tod durch Verbluten.

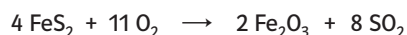
In den Haaren wurden hohe Metallkonzentrationen nachgewiesen, daher vermutet man, dass Ötzi sich mit der Bearbeitung von Kupfer beschäftigte. Die Zähne waren stark abgenutzt.

An der Mumie wurden 15 blauschwarze Tätowierungsgruppen aus Kohlestaub gefunden. Diese dienten vielleicht Therapiezwecken und setzen sich aus insgesamt 47 Einzeltätowierungen zusammen (parallele Linien im Lendenbereich, Streifen um seinen rechten Fußknöchel und eine Tätowierung in Form eines Kreuzes hinter seinem rechten Knie und einige Punktierungen an klassischen Akkupunkturpunkten. Auch von anderen Völkern ist dieses Brennen bekannt, bei dem Heilkräuter mit Nadeln unter die Haut gebracht werden.

Neben der Leiche wurden außer der Bekleidung auch zahlreiche Alltags- und Gebrauchsgegenstände gefunden. Es fällt auf, dass keinerlei gewebte Stoffe zur Anwendung kamen, sondern lediglich gegerbte Felle und ein Grasmantel.

Die längs gestreifte Jacke ist aus braunem und weißem Ziegenfell angefertigt worden. Die Hosen aus Ziegenfell ähnelten den Leggings nordamerikanischer Indianer und waren an einem Gürtel aus Kalbsleder befestigt. Der Lendenschurz reichte etwa bis zur Kniehöhe. Bei den Schuhen war die Sohle aus Braunbärenleder, das Oberteil aus Hirschleder. In den Schuhen diente eine Grasschicht der Wärmedämmung und Polsterung. Als Kopfbedeckung trug Ötzi eine Bärenfellmütze. Außerdem wurde noch ein etwa 25 cm² großer Grasfetzen aus geflochtenem Pfeifengras gefunden, den man als Teil eines Umhangs oder einer Liegematte vermutet.

Das mitgeführte Kupferbeil ist vollständig erhalten. Die Klinge besteht zu 99 % aus Kupfer, welches laut Analysen aus dem Salzburger Land stammt. Während kupferne Beilklingen aus dem 4. Jahrtausend v. Chr. in einiger Zahl bekannt sind, ist Ötzis Beil das einzige, welches geschäftet (d. h. mit einem festigenden Schaft versehen) erhalten ist. Mit diesem Beil war es möglich, Bäume zu fällen. Ötzi muss ein angesehenener Mann gewesen sein, da Kupfer zu dieser Zeit sehr wertvoll war. Mit dem Beil ist auch der noch nicht vollständig fertiggestellte Bogen aus Ebenholz bearbeitet worden. Er ist 1,80 m lang. Die Schäfte der Pfeile sind aus den Ästen des „Wolligen Schneeballs“ (ein Strauch) gefertigt. Feuersteine, befestigt mit Pflanzenfasern und Birkenteer, dienten als Spitzen. Zur Ausrüstung gehörte auch ein Dolch mit einem Griff aus Eschenholz und einer Feuersteinspitze. Es wurden auch Reste eines Rucksackgestells, einer Kraxe, und eines Gefäßes aus Birkenrinde, das wohl als Glutbehälter gedient hatte, gefunden. Außerdem entdeckte man in einer kleinen Ledertasche eine Ahle. Dies ist ein Werkzeug, mit dem man Löcher, z. B. in Leder, drücken kann. Auch Feuersteinklingen und einen Retuschierstift zu deren Schärfung hatte Ötzi bei sich. Der ebenfalls enthaltene Zunder und Spuren von Pyrit weist auf deren Gebrauch als Feuerzeug hin. Der Name Pyrit stammt aus dem Griechischen (von griech. pyr, Feuer). Mit einem harten Feuerstein lassen sich Pyrit-Splitter abschlagen, die sich entzünden und verbrennen:



Diese Eigenschaft machte man sich in antiken Feuerzeugen zu Nutze.

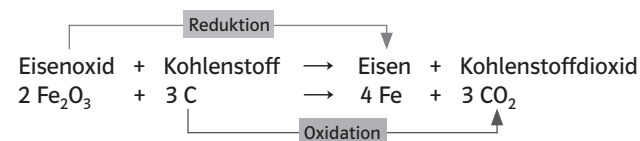
Die von Ötzi mitgeführten Pilze, Birkensporlinge, haben vermutlich als Heilmittel gedient. Unklar ist die Funktion einer gelochten Steinscheibe, die vielleicht als Amulett diente.

Zusatzinformationen: Seit März 1998 ist Ötzi im Südtiroler Archäologiemuseum in Bozen ausgestellt: www.iceman.it/de (01.12.2015)

4.11 Der Hochofen – ein großtechnischer Prozess

Zu den Aufgaben

A1 Reaktionsschema für die Reaktion von Eisenoxid mit Kohlenstoff:



A2 Beide Glocken wirken als Schleuse, um ein Beschicken des Hochofens zu ermöglichen, ohne dass Gichtgase nach draußen gelangen.

1. Arbeitstakt:	Die obere Glocke wird geschlossen, die untere wird geöffnet.	Befüllung mit Koks bzw. Möller. Material, das bereits auf der unteren Glocke lagert, wird in den Ofen gegeben.
2. Arbeitstakt:	Obere Glocke wird geöffnet, die untere wird geschlossen.	Koks bzw. Möller rutschen von der oberen auf die untere Glocke.

A3 Anhand der Tabelle in B6 kann man ablesen, dass ein Hochofen pro Arbeitstag 15 800 t Erz, 2 300 t Zuschläge und 5 000 t Koks benötigt. Damit müssen die Lastwagen ein Gesamtgewicht von 23 100 t pro Tag transportieren.

Wenn jeder Güterwagen 30 t fasst, braucht man 770 Güterwagen:

$$23\,100\text{ t} / (30\text{ t}) = 770$$

Da ein Güterzug aus 50 Güterwagen besteht, braucht man somit 16 Güterzüge:

$$770 / 50 = 15,4$$

A4 $m(\text{Eisen}) : m(\text{Eisenoxid}) = 0,7$

$$\text{daher: } m(\text{Eisen}) = 0,7 \cdot m(\text{Eisenoxid})$$

$$= 0,7 \cdot 1\text{ t}$$

$$= 0,7\text{ t}$$

Hinweise zum Hochofenprozess

Die Vorgänge im Hochofen werden in einer vereinfachten Form dargestellt. Ein Bezug zum Boudouard-Gleichgewicht ist natürlich nicht möglich. Den Schülerinnen und Schülern ist aus dem Kapitel „Nichtmetalle reagieren mit Sauerstoff“ (Kap. 1.16) das Kohlenstoffmonooxid bekannt. Sie haben dort erfahren, dass es durch Verbrennung bei ungenügender Luftzufuhr entsteht. Dieser Gedanke wird hier aufgegriffen. Primär gebildetes Kohlenstoffdioxid reagiert in einer Folgereaktion mit glühendem Kohlenstoff zu Kohlenstoffmonooxid, das als Reduktionsmittel wirkt.

Die Rolle des Kohlenstoffmonooxids bei der Reduktion von Eisenerzen im Hochofenprozess wird jedoch oft so stark betont, dass man darüber in Gefahr gerät, die **Bruttoreaktion** zu übersehen. Mitunter wird sie nicht einmal mehr angeschrieben. Sie besteht natürlich darin, dass das Eisenerz letztendlich durch Kohle reduziert wird.

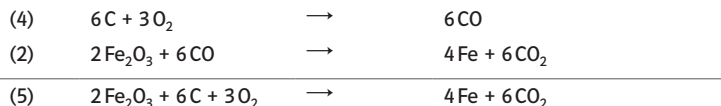
Die Vorgänge mit Eisen(III)-oxid laufen im Einzelnen sowie insgesamt folgendermaßen ab:



Der Gesamtvorgang (3) besteht also in der Reduktion des Eisenoxids zum Eisen und der Oxidation des „Kohlenstoffs“ zum Kohlenstoffdioxid. Dies ist das Wichtigste des Vorgangs; an dieser Gleichung sieht man, welche Edukte eingesetzt und welche Produkte gebildet werden.

Dass zwischendurch zuerst Kohlenstoffmonooxid gebildet wird, das dann erst zu Kohlenstoffdioxid weiterreagiert, ist vielleicht wissenswert, aber jedenfalls zweitrangig. Bevor man sich mit Zwischenprodukten beschäftigt, sollte man erst einmal den Gesamtvorgang kennenlernen.

Ein weiterer, ebenfalls eher zweitrangiger Aspekt des Vorgangs wäre zum Beispiel, dass das Kohlenstoffmonooxid nicht allein aus dem oben genannten Vorgang (1) stammt, sondern auch durch Reaktion (4) gebildet wird:



Diesem Vorgang (5) wiederum kann angesehen werden, dass er auch aus den folgenden beiden Teilschritten zusammengesetzt sein kann (man sieht es daran, dass zwei Oxidationsmittel für den „Kohlenstoff“ vorhanden sind, Fe_2O_3 und O_2):



Auch auf diesem Weg wird man wieder auf den Gesamtvorgang (3) geführt. Die Reaktion (6) ist technisch nur zum Aufheizen relevant und ist für das Verständnis des Wesentlichen ebenfalls weniger wichtig.

Der Hochofenprozess liefert ein Beispiel für eine Situation, in der die Gefahr besteht, dass die Schüler/-innen beim Mitbeachten der CO-Bildung den Wald vor Bäumen nicht mehr sehen, und man sollte daher darauf achten, dass hauptsächlich der Gesamtvorgang (3) im Gedächtnis bleibt. (Zu „Kohlenstoff“ vgl. Kap. 1.17 zum Elementbegriff)

Zu B5: Ablaufrinnen moderner Hochofenanlagen sind abgedeckt, um Wärmeverluste und vor allem Staubemissionen zu vermeiden. Hier wird wegen der Attraktivität des Bildes eine nicht abgedeckte Ablaufrinne gezeigt.

4.12 Impulse Stahl – ein Hightech-Produkt

Zu den Aufgaben

A1

Teilthema 1: Sauerstoffaufblasverfahren

Beim Sauerstoffaufblasverfahren werden bis zu 400 t Roheisen und Schrott in ein schwenkbares Gefäß, den **Konverter** [B3] gefüllt. Aus einer mit Wasser gekühlten Stahllanze wird von oben unter hohem Druck ein Sauerstoffstrahl auf die Roheisenschmelze gerichtet [B2].

Während der Blaszeit von 10 bis 20 Minuten werden unter kräftiger Durchmischung die unerwünschten Begleitstoffe bevorzugt oxidiert. Alle Reaktionen mit Sauerstoff verlaufen exotherm. Dadurch steigt die Temperatur während des Frischens auf etwa 1700 °C. Bei diesem Prozess wird der Kohlenstoff als letzter Begleitstoff oxidiert. Deshalb kann durch die Blaszeit der gewünschte Kohlenstoffgehalt eingestellt werden.

Gasförmige Oxide entweichen durch die Konverteröffnung, die anderen bilden mit zugegebenem Kalk eine Schlacke, die auf der Oberfläche schwimmt. Am Ende des Frischvorgangs wird der Konverter gekippt. Der flüssige Stahl fließt durch ein Abstichloch aus. Die Schlacke wird durch Kippen des Converters zur anderen Seite ausgegossen. Durch den Einsatz von Schrott werden Energie und Rohstoffe eingespart. Die kontrollierte Zugabe von Zusätzen, z. B. von Chrom und Nickel, führt zu Stahlsorten mit gewünschten Eigenschaften, z. B. nicht rostender Stahl.

Teilthema 1: Elektrolichtbogenverfahren

Bei diesem Verfahren werden **Elektroschmelzöfen** [B5] eingesetzt, die bis zu 300 t Roheisen, Schrott, Erz und Zuschläge in einer feuerfest ausgemauerten Wanne aufnehmen. Die elektrische Energie wird über Kohlelektroden zugeführt. Sie erzeugen einen Lichtbogen, der das Material im Ofen zum Schmelzen bringt. Das Eisenoxid, das in dem Erz und Schrott enthalten ist, oxidiert unerwünschte Beimischungen, vor allem den Kohlenstoff. Dabei entstehen Kohlenstoffmonooxid und auf dem Metallbad schwimmende Schlacke. Diese wird mit einem Schieber von der Oberfläche abgezogen. Zum Ablassen des Stahls wird der Ofen in Kipplage gebracht. Der gesamte Vorgang dauert ca. 1,5 Stunden.

Beim Elektrolichtbogenverfahren kann der Kohlenstoffanteil der Schmelze sehr genau eingestellt werden. Außerdem können Legierungsbestandteile eingesetzt werden, die beim Aufblasverfahren oxidiert würden. Deshalb lassen sich im Lichtbogen hochwertige Spezialstähle herstellen.

Teilthema 3: Stahlsorten

Durch geringe Zusätze von Stahlveredlern werden die Eigenschaften der Stähle wesentlich verbessert. Stahlveredler können Aluminium, Chrom, Cobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän, Nickel, Niob, Silicium, Titan, Vanadium, Wolfram oder andere Metalle sein. In Deutschland werden etwa 2500 Stahlsorten hergestellt. Eine auch im Küchenbereich häufig verwendete Stahlsorte ist V2A-Stahl. Je nach den Zusätzen erhält man nicht rostende oder hitzebeständige Stähle, unmagnetische Stähle oder Stähle mit außerordentlich hohen magnetischen Eigenschaften, Stahlsorten mit besonderer Härte, Säurebeständigkeit oder Zugfestigkeit. So bewirken z. B. Zusätze von Chrom und Wolfram mehr Härte, Zusätze von Nickel und Vanadium mehr Zähigkeit.

V2A-Stahl wird durch Zusätze von Chrom und Nickel etwa besonders säurebeständig, was beim Kontakt mit Speisesäuren in Küchen vorteilhaft ist. Nirosta (verkürzt nach nicht rostender Stahl) ist eine Markenbezeichnung für nicht rostenden Stahl. Durch einen Anteil von mindestens 10,5% Chrom bildet sich auf der Oberfläche eine schützende Schicht aus Chromoxid, der ein Rosten des Stahls verhindert.

Teilthema 4: Stahlherstellung und -verbrauch

Die 10 größten Stahlhersteller (Stand 2015, Quelle: world steel association, www.worldsteel.org):

Rang	Land	Produktion in Tausend Tonnen
1.	China	738 380
2.	Japan	96 564
3.	Indien	82 092
4.	USA	73 138
5.	Russland	65 164
6.	Südkorea	63 833
7.	Deutschland	39 691
8.	Brasilien	30 784
9.	Türkei	28 808
10.	Ukraine	21 033

Die größten Stahlverbraucher in Deutschland sind:

- der Fahrzeugbau
- der Maschinenbau
- die Bauwirtschaft (Hochbau und Brückenbau)

In Deutschland finden sich Stahlwerke schwerpunktmäßig im Ruhrgebiet (Thyssen Krupp Duisburg, ArcelorMittal Duisburg) sowie im Saarland (Saarstahl AG, AG der Dillinger Hüttenwerke)

4.13 Exkurs Metalle überall

Zu den Aufgaben

A1 Gegenstände, die ganz oder teilweise aus Stahl bestehen und denen man im Alltag häufig begegnet: Küchengeräte aus Edelstahl (Töpfe, Besteck), Topfreiniger aus Stahlwolle, Nähnadeln, Kugellager von Inlineskates, Fahrrad, Auto, Getränkedosen, Werkzeuge (Hammer, Zange, Schraubenzieher usw.).

A2 Vorzüge des Werkstoffs Kupfer sind: leichte Verformbarkeit; wird mit dem Alter nicht brüchig; hemmt das Wachstum von Bakterien; überzieht sich an der Luft mit Patina, diese Schicht schützt das Metall vor Korrosion; hohe elektrische Leitfähigkeit.

A3

Kupfer: elektrische Leiter, Trinkwasserrohre, Dachrinnen und Fallrohre, Verkleidung von Dachgauben, Euromünzen aus Legierungen von Kupfer und Nickel

Aluminium: Fensterrahmen und Haustüren, Folien zum Einpacken, Getränkedosen, Fahrradrahmen und Räder

Zink: Dachrinnen und Fallrohre, Verkleidung von Dachgauben

Chrom: Armaturen, verchromte Lampenstützen, verchromte Fahrradlenker

Stahl: Töpfe und Besteck aus Edelstahl, Fahrradrahmen, Getränkedosen aus verzinnem Stahlblech, Werkzeuge (Hammer, Zange, Schraubenzieher usw.) aus Stahllegierungen

Messing: Treppengeländer, Lampen, Bettgestelle, Gas- und Wasserarmaturen

4.14 Praktikum Untersuchung von Getränkedosen

Zu den Versuchen

V1 Prüfung des Materials einer Getränkedose

Der Deckel einer Getränkedose ist nicht magnetisierbar, während der Dosenkörper manchmal magnetisierbar ist. Bei der Prüfung der Metallproben in der Flamme lassen sich im Falle des Deckels die folgenden Beobachtungen machen: Die Oberfläche wird schwarz und wirft Blasen, das Material schmilzt.

Der Deckel besteht aus Aluminium, der Dosenkörper besteht aus Eisen (Weißblech).

V2 Einwirkung von sauren Lösungen auf das Material einer Konservendose

a) Es bildet sich eine tiefblaue Lösung. Durch diese Reaktion lassen sich gelöste Eisenverbindungen nachweisen.

c) Im ersten Reagenzglas (Streifen der Getränkedose in verd. Salzsäure) ist zunächst nichts zu beobachten. Im zweiten Reagenzglas (abgeschmirgelter Streifen und verd. Salzsäure) bilden sich nach einiger Zeit an den abgeschmirgelten Stellen Gasblasen, die sich vom Blech lösen und aufsteigen. Bei der Lösung aus dem ersten Reagenzglas zeigt sich zunächst keine Blaufärbung. Im zweiten Reagenzglas verläuft der Nachweis für Eisen bzw. Eisenverbindungen positiv, es bilden sich blaue Schlieren. Nach zwei bis drei Tagen verläuft der Nachweis auf Eisenverbindungen auch im ersten Reagenzglas positiv. Auch der Getränkestreifen reagiert nach einiger Zeit mit der Salzsäure, durch die Schnittkanten ist die Beschichtung des Stahls verletzt. Die Lösung im ersten Reagenzglas weist eine wesentlich hellere Farbe auf, während im zweiten Reagenzglas sich dicke, tiefblaue Schlieren gebildet haben.

d) Es sollte farbloser Essig eingesetzt werden. Es sind vergleichbare Beobachtungen wie in c) zu beobachten, allerdings verzögert und schwächer.

Auswertung: Die „verletzten“ Metallproben des Dosenkörpers reagieren mit sauren Lösungen; es bildet sich eine Eisenverbindung: das Material enthielt also Eisen.

Zu den Aufgaben

a) Der Deckel der Getränkedosen (Cola, Fanta, Sprite) besteht aus Aluminium, der Dosenkörper aus Weißblech.

b) Da Weißblech magnetisierbar ist, lassen sich Dosen mithilfe eines Magneten aus dem Müll aussortieren. Die Aufarbeitung von Dosen, die aus mehreren Stoffen aufgebaut sind, ist wesentlich aufwendiger und teurer als bei Gegenständen aus einem Stoff.

Hinweise: Getränkedosen bestehen in der Regel aus einem einteiligen, zylindrischen Behälter aus Weißblech oder Aluminium und einem aufgefalteten Deckel aus Aluminium mit einer ovalen

Ritzlinie und einer angerieteten Metalllasche. Beim Anheben wird das angeritzte Oval ins Doseninnere gedrückt, sodass sich eine Ausgieß- bzw. Trinköffnung ergibt. Getränkedosen halten einem Innendruck von bis zu 6 bar stand und verfügen durch den nach innen gewölbten Boden über eine Sicherheitsreserve. Bevor die Dose platzt, wölbt sich der Boden nach außen, sodass sich das Volumen vergrößert.

Seit 2003 gibt es in Deutschland ein Dosenpfand für Einweg-Getränkeverpackungen von Bier, Mineralwasser und Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure. Aus Recyclinggründen wäre ein Deckel aus Stahl bzw. Weißblech sinnvoll. Allerdings hätte ein Stahldeckel nicht dieselben Eigenschaften wie ein Deckel aus Aluminium. Die Hauptschwierigkeit ist die Verfestigung des Materials im Bereich der Ritzlinie, die das Öffnen der Getränkedose unterstützt. Die höhere Festigkeit von Stahl gegenüber Aluminium würde das Öffnen der Dose schwieriger gestalten.

Werden leere Getränkedosen der Stahlschmelze zugefügt, oxidiert das Aluminium der Deckel. Aluminiumoxid geht in die anfallende Schlacke über, die im Bauwesen Verwendung findet.

4.15 Rosten

Praktikum dem Rost auf der Spur

a) Nach vier Tagen kann das Ergebnis etwa folgendermaßen aussehen:

Versuchsansatz	Abnahme des Gasvolumens	Rostbildung
1 trockene Stahlwolle mit Luft	–	–
2 trockene Stahlwolle mit Sauerstoff	–	–
3 feuchte Stahlwolle mit Luft	3 cm ³	schwarze Flecken
4 feuchte Stahlwolle mit Sauerstoff	4 cm ³	braune Flecken
5 angefeuchtete Stahlwolle mit Zinkstaub	2 cm ³	braune und weiße Flecken
6 trockene Eisenwolle mit Öl gefettet	–	–

b) Unter geeigneten Bedingungen, d. h. besonders bei Vorhandensein von Feuchtigkeit und Sauerstoff, wird Eisen vom Rost zerfressen. Deshalb ist hier der Ausdruck Korrosion durchaus angebracht.

(Die Eisenverbindungen ziehen sich also nicht etwa als schützender Überzug über das Metall, wie das zum Beispiel beim Aluminium der Fall ist.)

4.16 Durchblick Zusammenfassung und Übung

Zu den Aufgaben

A1

- Blei
- Eisen
- Gold
- Quecksilber

Hinweis: Die im Buch angegebenen Werte lassen sich mit den Tabellen im Anhang vergleichen. Auf diese Weise können die Schüler die Metalle ausfindig machen.

A2 Oxidation, Schwermetall, Reduktion, Redoxreaktion, Hochofen

A3 Das Schwermetall aus der Tabelle der chemischen Elemente im Anhang mit der höchsten Dichte ist Osmium ($\rho = 22,5 \text{ g/cm}^3$), das Schwermetall mit der geringsten Dichte ist Germanium ($\rho = 5,32 \text{ g/cm}^3$).

A4 Aluminium weist mit $2,7 \text{ g/cm}^3$ eine geringe Dichte auf. Es ist korrosionsbeständig. Fahrräder aus Aluminium haben also eine geringere Masse als Fahrräder aus Stahl vergleichbarer Größe. Außerdem rosten Aluminiumteile nicht. Wird hingegen die Schutzschicht des Stahls verletzt, setzt das Rosten ein.

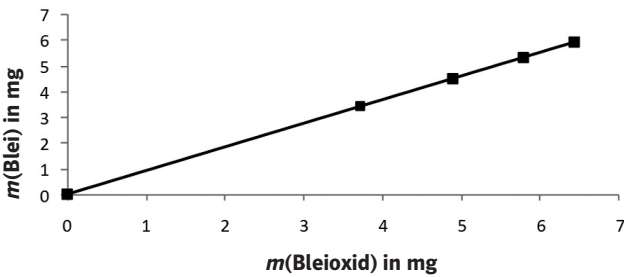
A5 Das Recycling von Weißblech lohnt sich in jeder Hinsicht:

- es schont Rohstoffe,
- es fallen sehr viel weniger Abfälle an,
- die Belastung mit Luftschadstoffen ist deutlich niedriger,
- Weißblech aus Recyclingstahl spart Energie.

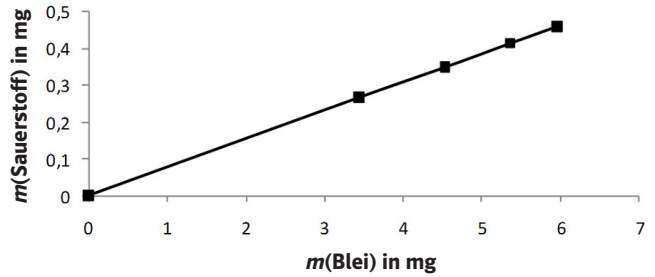
A6

Grafische Auswertung (Die Diagramme können z. B. mit der Tabellenkalkulation Excel von Microsoft™ erstellt werden):

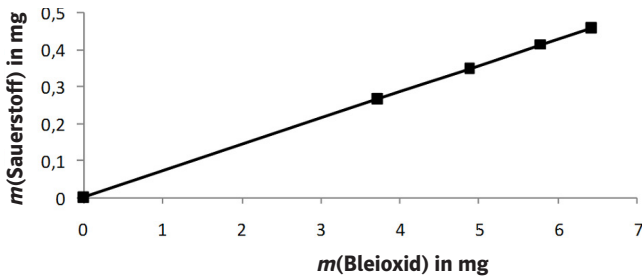
Masse des Bleis in Abhängigkeit von der Masse des Bleioxids



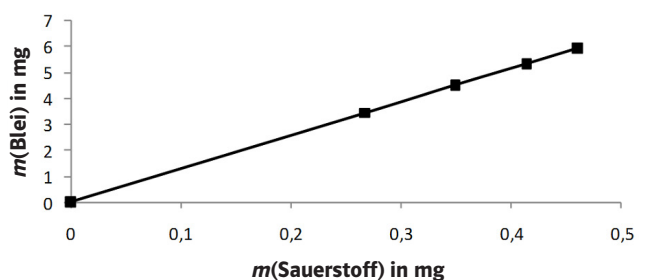
Masse des Sauerstoffs in Abhängigkeit von der Masse des Bleis



Masse des Sauerstoffs in Abhängigkeit von der Masse des Bleioxids

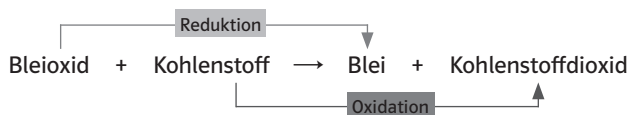


Masse des Bleis in Abhängigkeit von der Masse des Sauerstoffs



Die beiden erfassten Größen sind jeweils proportional zueinander.

- a) Es ist Blei entstanden.
 b) Reaktionsschema für die Reaktion von Bleioxid mit Kohlenstoff:



c)

Nr. des Versuchs	$m(\text{Bleioxid})$	$m(\text{Blei})$	$m(\text{Sauerstoff})$	$\frac{m(\text{Blei})}{m(\text{Sauerstoff})}$
1	3,712 g	3,445 g	0,267 g	12,903
2	4,885 g	4,536 g	0,349 g	12,997
3	5,778 g	5,364 g	0,414 g	12,957
4	6,422 g	5,962 g	0,460 g	12,961

A7

Lösungswort

↓

1	B	R	O	N	Z	E			
2	E	X	O	T	H	E	R	M	
3	O	X	I	D	A	T	I	O	N
4	K	U	P	F	E	R			
5	N	I	C	K	E	L			
6	E	N	D	O	T	H	E	R	M
7	R	O	H	E	I	S	E	N	
8	K	O	K	S					
9	A	L	U	M	I	N	I	U	M

A8

	Salze	Metalle
Kurzbeschreibung der Bindungsart	Ionenbindung: Metall-Kationen (positiv geladen) und Nichtmetall-Anionen (negativ geladen) ziehen sich in einem Ionenlattice gegenseitig an.	Metallbindung: Metallrümpfe (positiv geladen) und Elektronengas (negativ geladene Elektronen) ziehen sich an.
Elektrische Leitfähigkeit des Reinstoffs	keine, weil die Ionen sich im Feststoff nicht frei bewegen können	vorhanden, da die hohe Beweglichkeit der Elektronen zwischen den Atomrümpfen eine gute elektrische Leitfähigkeit bewirkt
Verformbarkeit	keine, da Salze spröde sind und damit nicht verformbar. Wirkt man auf einen Salzkristall ein (beispielsweise mit einem Hammer) kommt es irgendwann zu einer Situation, bei der gleichgeladene Ionen nebeneinander liegen. Dadurch überwiegen die Abstoßungskräfte, die Schichten stoßen sich ab.	ist gegeben: Durch das Verformen werden die Atomrümpfe und Elektronen zwar verschoben, es entstehen dadurch allerdings keine neuen Bindungssituationen.

A9

a) Eisen + Kupferoxid \rightarrow Eisenoxid + Kupfer

b) Eisen + Calciumoxid \nrightarrow keine Reaktion

Eisen kann mit Calciumoxid nicht oxidiert werden, da Calciumoxid ein geringeres Oxidationsvermögen als Eisenoxid hat.

c) Aluminium + Eisenoxid \rightarrow Aluminiumoxid + Eisen

Clever suchen im Internet

Die Anwendungsmöglichkeiten des Thermitverfahrens sind vielfältig. Die häufigste Anwendung ist die Reduktion von Eisenoxid mit Aluminium, wobei Temperaturen bis zu 2400 °C erreicht werden.

Eisenoxid + Aluminium \rightarrow Eisen + Aluminiumoxid | exotherm

Diese Reaktion wird seit etwa 1920 zum Verschweißen von Schienen genutzt. Thermitgranaten und -bomben werden in Kämpfen als Brandmittel verwendet, da sie schwere Panzerung oder andere Feuerbarrieren durch Schmelzen durchdringen können. Die Stabbrandbombe, auch *Brandstab* oder *Elektron-Thermitstab* ist eine Brandbombe, die ein Thermitgemisch aufweist. Sie wurde im 2. Weltkrieg eingesetzt und löste verheerende Brände aus.

Die Redoxreaktion mit Aluminium kann auch verwendet werden, um andere Metalloxide oder -erze, z. B. Chromoxid, Siliziumdioxid oder Manganoxid zu den jeweiligen Metallen zu reduzieren. Dieses Verfahren wird hauptsächlich zur Gewinnung von Metallen genutzt, bei denen bei der Reduktion mit Kohlenstoff Carbide entstehen wie z. B. Mangan und Silizium, aber auch Titan und Zirkon.