



Zink: Vorkommen, Darstellung und Verwendung

Sylvia Schmid (WS 03/04), Sven Denzler (WS 06/07), Julia Frank (WS 20/21)

Gliederung

1	Erscheinungsform von Zink	3
1.1	Zinkblende: kubisch dichteste Kugelpackung	3
1.2	Wurtzit: hexagonal dichteste Kugelpackung	4
2	Experiment 1: Feuerball	4
3	Gewinnung von Zink-Erzen	5
4	Die Darstellung von Zink	6
4.1	Das trockene Verfahren	6
4.1.1	Vom Zink-Erz zu Zinkoxid	6
4.1.2	Vom Zinkoxid zu reinem Zink	6
4.1.3	Reinigung des Roh-Zinks	6
4.2	Nasschemisches Verfahren – die Elektrolyse	7
4.2.1	Bevor mit der Elektrolyse gestartet werden kann	7
4.2.2	Reaktionen bei der Elektrolyse	7
5	Eigenschaften von reinem Zink	8
6	Experiment 2: Zinkpulver in Salzsäure	8
7	Verwendung und Produkte aus Zink	9
8	Legierungen	10
9	Zinkoxid	10
10	Verzinkung	10
10.1	Feuer-Verzinken	10
10.2	Spritz-Verzinken	10
10.3	Sendzimir Verfahren	10
10.4	Galvanisches Verzinken	10
11	Korrosions-Schutz	10
12	Abfall und Recycling	11

Einstieg 1: Denken wir an einen ganz normalen Alltagstag, wie ihn manche von uns durchleben. Nach dem Aufstehen folgt der Gang ins Bad, man dreht den Messingwasserhahn auf und putzt sich die Zähne. Anschließend geht man die Treppen nach unten, hält sich am Geländer fest, da Kinderspielzeug auf der Treppe liegt und man nicht stürzen möchte und drückt schließlich die Tür-Klinke, um in die Küche einzutreten. Nachdem man alles andere Nötige zu Hause erledigt hat, setzt man sich in sein Auto und fährt aus der Garage hinaus, dreht sich noch ein letztes Mal um, betrachtet sein Eigenheim mit der schiefen Dachrinne und fährt schließlich in die Arbeit.

Wie man sicher gemerkt hat, haben viele Gegenstände in der Erzählung etwas gemeinsam: Sie enthalten Zink. Anhand von diesem Schema wird das Element Zink vorgestellt.

Recyclingkreislauf

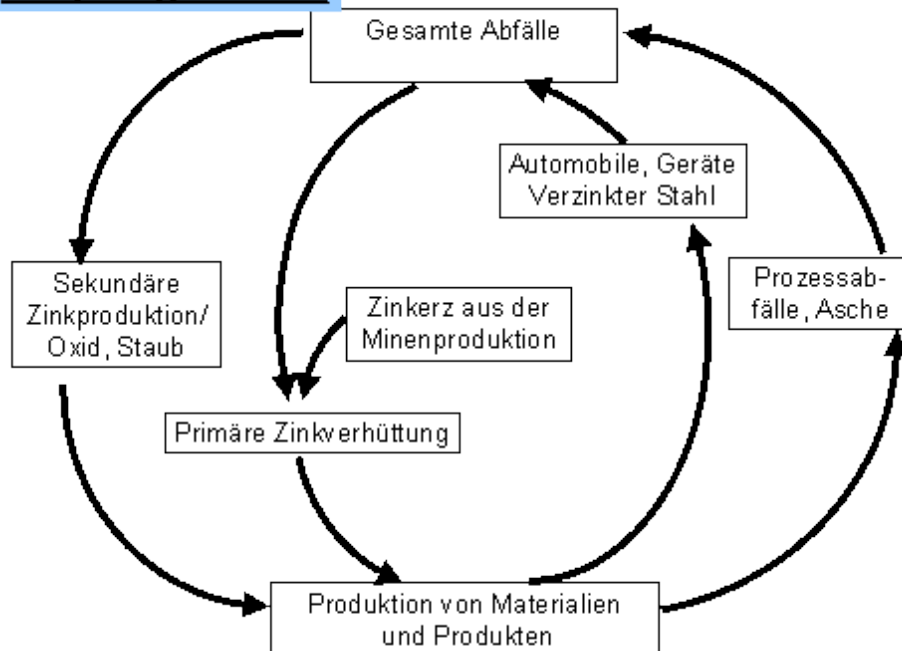


Abb. 1: Recycling-Kreislauf von Zink

Einstieg 2: Wir alle brauchen Zink. Wir bemerken es nur selten. In vielen Gegenständen des Alltags wird Zink verwendet. Ob verzinkte Autoteile in der Garage, die Dach-Rinne, die Batterie im Spielzeug oder die Sonnen-Creme – all diese Gegenstände enthalten Zink. Wie der Rohstoff aus dem Bergbau zu reinem Zink verarbeitet wird, welche Herstellungs-Methoden und Ausgangs-Stoffe es gibt, erfahren Sie im folgenden Vortrag.

Einstieg 3: Jährlich werden weltweit 13.4 Millionen Tonnen Zink hergestellt und zusätzlich 14 Millionen Tonnen Zink aus Schrott recycelt. Wozu man diese gigantischen Mengen des Metalls benötigt und wie Zink genau hergestellt wird, soll im Folgenden anhand seiner Eigenschaften erklärt werden.

1 Erscheinungsform von Zink

In der Erdkruste kommt Zink nicht elementar, sondern hauptsächlich in drei verschiedenen Verbindungen vor: eine Verbindung mit Schwefel, **Zinksulfid** (ZnS); als Carbonat, **Zinkspat** (ZnCO_3) (Abb. 4) und als **Kieselzinkerz** $\text{Zn}_4(\text{OH})_2[\text{Si}_2\text{O}_7]\cdot\text{H}_2\text{O}$ (Abb. 5).

Zinksulfid kann in zwei unterschiedlichen Kristallstrukturen auftreten. Deshalb unterscheidet man Zinksulfid als **Zinkblende** (Abb. 2) und **Wurtzit** (Abb. 3). Die Unterschiede in der Kristallstruktur werden unter 1.1 und 1.2 erklärt.



Abb. 2: Zinkblende [1]



Abb. 3: Wurtzit [2]



Abb. 4: Zinkspat [3]



Abb. 5: Kieselzinkerz [4]

1.1 Zinkblende: kubisch dichteste Kugelpackung

Bei der **Zinkblende** handelt es sich um zwei sich gegenseitig durchdringende, **kubisch dichtest gepackte** Zink- und Schwefel-Gitter, die durch Besetzen der Tetraeder-Lücken des jeweils anderen Gitters vierfache Koordination erreicht.

1.2 Wurtzit: hexagonal dichteste Kugelpackung

In der [Wurtzit-Struktur](#) ist, wie in der Zinkblende-Struktur, jede Atomsorte von der anderen tetraedrisch umgeben. Es liegt hierbei eine **hexagonal dichteste Kugelpackung** vor.

2 Experiment 1: Feuerball

Die Verbindung des Zinksulfids kann ziemlich einfach, aber sehr eindrucksvoll selbst hergestellt werden. Dies gelingt durch folgendes Experiment. [5] **(nicht zu Hause nachmachen, eventuell unter Aufsicht an einem geeigneten Ort mit ausreichend Sicherheitsvorkehrungen)**

Material:

- 1 großes Uhrglas
- Spatel
- Feuerfeste Unterlage
- Gasbrenner
- Abzug
- Feuerfeste Handschuhe

Chemikalien:

- Zinkpulver
- Schwefelpulver

CAS-Nr.: 7440-66-6



H250, H260, H410

P222, P280, P370+P378, P231+P232, P210, P302+P335+P334, P27

CAS-Nr.: 7704-34-9



H315

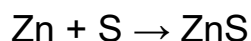
Durchführung: 6 g Zinkpulver und 3 g Schwefelpulver werden mithilfe der Waage abgewogen, auf das Uhrglas gegeben und vorsichtig mittels des Spatels miteinander vermischt. Im Anschluss wird das Gemisch als Häufchen auf die feuerfeste Unterlage gegeben und im Abzug mit dem Gasbrenner erhitzt. Achtung: Stichflamme, Explosionsgefahr. Nicht in die Flamme schauen.

Beobachtung: Das Gemisch entzündet sich und ein Feuerball steigt auf. Das gelbe Schwefelpulver, sowie das graue Zinkpulver sind nach der Reaktion nicht mehr vorhanden. Dafür ist ein weißer Feststoff entstanden.



Abb. 6: Feuerball bei Entzünden des Pulvergemisches aus Zinkpulver und Schwefelpulver.

Erklärung: Durch die Aktivierungsenergie, geliefert durch den Gasbrenner, konnte die exotherme Reaktion von reinem Zink und reinem Schwefel zu Zinksulfid gestartet werden. Durch eine exotherme Reaktion, welche durch den Feuerball sichtbar wurde, ist weißes Zinksulfid entstanden.



Hinweise: Das Zinksulfid kann im anorganischen Feststoffabfall entsorgt werden.

Entzündet sich das Pulvergemisch nicht durch den Gasbrenner, kann dies daran liegen, dass das Zinkpulver mit der Zeit eine Passivierungsschicht an Zinkoxid (ZnO) gebildet hat und deshalb die Reaktion nicht mehr eingehen kann.

3 Gewinnung von Zink-Erzen

In Deutschland sind die Vorräte an Zink-Erzen erschöpft. Es findet deshalb seit 1993 kein Abbau mehr statt. Europa wird von verschiedenen Ländern beliefert z.B. von:

- Australien
- USA
- Süd-Amerika
- Alaska

Dort findet noch Tief- und Tagebau statt. Da sich in dem abgebauten Erz nur eine Zinkkonzentration von 5-15% befindet und das Gestein meist per Schiff transportiert werden muss, wird es in nahen Anlagen aufkonzentriert. Dort wird das Erz auf 55% Zinkanteil angereichert und abtransportiert.

Dies geschieht durch eine Schwimmaufbereitung: In einen großen Behälter wird Wasser, das fein zerteilte Ausgangsmaterial und ein Tensid gegeben. Durch das Einblasen von Luft von unten in den Behälter bildet sich oben eine Schaumschicht. Das vom Tensid benetzte Erz erhält eine wasserabstoßende Hülle. Diese Mineralpartikel werden durch die eingeblasene Luft nach oben getrieben und bleiben in dem Schaum hängen. Die Gangart setzt sich am Boden ab. Der Schaum muss nur noch abgeschöpft und von dem Tensid gereinigt werden.

4 Die Darstellung von Zink

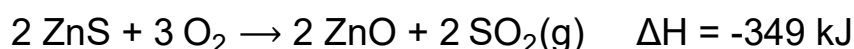
4.1 Das trockene Verfahren

4.1.1 Vom Zink-Erz zu Zinkoxid

Problematisch bei der Zink-Herstellung ist, dass dieses in der Natur nur in Erzen vorkommt. Deshalb werden viele Zinkverbindungen im ersten Schritt zunächst zu Zinkoxid umgewandelt. Wenn dafür **Zinksulfid verwendet** wird, geschieht das durch das sogenannte **Röst-Verfahren**. Dem Erz wird Sauerstoff zugeführt. Zinkoxid, sowie Schwefeldioxid, entsteht. Dabei wird Energie frei.

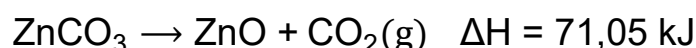
Das Nebenprodukt Schwefeldioxid kann darüber hinaus bei der Schwefelsäureproduktion verarbeitet werden, was den Vorgang des Röstens umweltfreundlicher als das Brennen macht.

Rösten:



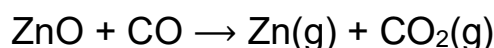
Beim Einsatz von **Zinkspat wird das Erz gebrannt**. Hierbei wird Energie zugeführt. Es entsteht Zinkoxid und Kohlenstoffdioxid. Für diesen Vorgang wird Energie benötigt.

Brennen:



4.1.2 Vom Zinkoxid zu reinem Zink

Das Zinkoxid wird mit gemahlener Kohle im Überschuss vermischt und im geschlossenen Gebläseschacht-Ofen auf 1100-1300°C erhitzt. Dabei erfolgt die Reduktion zu elementarem Zink.



Wichtig für die Reaktion ist auch das sogenannte **Boudouard-Gleichgewicht**. Das Gleichgewicht beschreibt die **chemische Reaktion zwischen Kohlenstoffdioxid und Kohlenstoff zu Kohlestoffmonoxid**. Die hohen Temperaturen im Gebläseschacht-Ofen sind dafür verantwortlich, dass das **Gleichgewicht der Reaktion nach dem Gesetz des kleinsten Zwangs von Le Chatelier** permanent auf die rechte Seite des Gleichgewichts verschoben wird, sodass immer neues Kohlenstoffmonoxid für die Reduktion von Zinkoxid zur Verfügung steht. Bei der Verhüttung von Metallen ist nämlich nicht die Kohle das Reduktionsmittel, sondern das Kohlenstoffmonoxid.



Wegen der hohen Temperaturen entweicht das Zink (Sdp: 908.5 °C) dampfförmig und wird in Vorlagen aus Schamotte, die vor den Muffeln angebracht sind, zu flüssigem Metall kondensiert.

Die Reste des Zinkdampfes (5-13 %) schlagen sich außen auf die Vorlagen aufgesteckten Blechbehältern, den "Vorstecktuten" als Zinkstaub nieder.

4.1.3 Reinigung des Roh-Zinks

Die **Reinigung des Rohzinks erfolgt durch fraktionierte Destillation**. Zink (Sdp.=908 °C) und Cadmium (Sdp.=767.3 °C) gehen zuerst in den gasförmigen Zustand über. Eisen (Sdp.=3.070 °C) und Blei (Sdp.=1.751 °C) bleiben als Rückstand zurück. Es folgt eine

zweite Destillation, wobei sich Zink als Fein-Zink (99.99 %) verflüssigt. Cadmium schlägt sich zusammen mit Zinkdampf als Cadmiumstaub nieder. Dieser ist Ausgangsprodukt für die Cadmiumherstellung.

Zinkstaub:

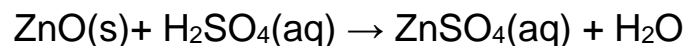
- grau-blaues Pulver von Zink-Metall
- Partikel von extrem dünnem Oxid-Häutchen umgeben.
- Kann nicht ohne Weiteres zu Metall zusammengeschmolzen werden.

4.2 Nasschemisches Verfahren – die Elektrolyse

4.2.1 Bevor mit der Elektrolyse gestartet werden kann

Wie beim thermischen Verfahren unter 4.1.1 wird, bevor die Elektrolyse gestartet werden kann, Zink-Erz zu Zinkoxid umgewandelt.

Das Zinkoxid wird mit Schwefelsäure versetzt. Es entsteht eine Zinksulfat-Lösung.



4.2.2 Reaktionen bei der Elektrolyse

Unter Verwendung von Bleianoden und Aluminium-Kathoden wird die Lösung elektrolysiert zu Elektrolyt-Zink (schlägt sich auf der Aluminium-Kathode nieder). Es entsteht Fein-Zink $w(\text{Zn})=99,99\%$.



Die verwendeten Zinksalz-Lösungen müssen besonders rein sein, damit eine Überspannung entsteht und auch bestehen bleibt. Dafür benötigt man umfangreiche Anlagen. Diese Voraussetzungen sind mit erheblichen Kosten verbunden. Deshalb wurde das Muffel-Verfahren noch nicht ganz verdrängt. Auf die Überspannung wird unter 11 noch näher eingegangen.

Das hochreine Zink wird von der Elektrode abgeschnitten und zu Barren geschmolzen (siehe Abb. 7).



Abb. 7: Hochreines Zink, links als Würfel mit 1 cm^3 , in der Mitte als Bruchstück aus einem Barren und rechts sublimiert. [6]

5 Eigenschaften von reinem Zink

Das Rein-Zink hat folgende Eigenschaften:

- bläulich-weißes Übergangsmetall
- unedel, wird leicht oxidiert
- Schmelzpunkt: 419°C
- Siedepunkt: 908°C
- Bei 100 – 200 °C gut verformbar
- Beständig gegenüber Luft und Wasser durch Bildung von Schutz-Schichten aus Oxid und Carbonat bzw. Hydroxid
- Oxidationsstufe +2

6 Experiment 2: Zinkpulver in Salzsäure

Der unedle Charakter von Zink kann gut mit einem Experiment nachgewiesen werden.
[7]

(nicht zu Hause nachmachen, eventuell unter Aufsicht an einem geeigneten Ort mit ausreichend Sicherheitsvorkehrungen)

Material:

- 2 Reagenzgläser
- Spatel
- Einwegpipette
- 10 ml-Einwegspitze
- Reagenzglasstopfen mit Loch, passend für die Einwegspritze
- Bunsenbrenner
- Feuerzeug
- Reagenzglasständer
- Einweghandschuhe

Chemikalien:

- Zinkpulver

CAS-Nr.: 7440-66-6



H250, H260, H410

P222, P280, P370+P378, P231+P232, P210,
P302+P335+P334, P27

- Konzentrierte Salzsäure

CAS-Nr.: 7647-01-0



H290, H314, H335

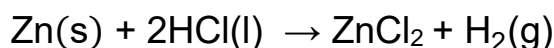
P280, P303+P361+P353,
P305+P351+P338+P310

Durchführung: In das Reagenzglas wird eine Spatelspitze des Zinkpulvers gegeben und anschließend zwei Pipetten Salzsäure dazugegeben. Das sich entwickelnde Gas wird mithilfe der Einwegspritze aufgefangen. Dazu wird bereits vorher der Reagenzglasstopfen mit Loch auf die Kanülenöffnung der Einwegspritze montiert und beides zusammen auf die Reagenzglasöffnung gesteckt und gut festgehalten. Ist die Spritze mit Gas befüllt, wird dieses in ein weiteres Reagenzglas überführt. Der Spritzeninhalt wird in das Reagenzglas gespritzt, wobei dieses verkehrtherum gehalten wird und die Spritze mit der Öffnung Richtung Decke zeigt. Danach wird der Daumen auf die Reagenzglasöffnung gedrückt, sodass das Gas nicht entweichen kann. Zuletzt wird das gasbefüllte Reagenzglas vor den brennenden Bunsenbrenner (sollte bereits vorher entflammt werden) gehalten und geöffnet.

Beobachtung: Bei der Zugabe von Salzsäure zum Zinkpulver beginnt das Gemisch durch Gasentwicklung zu Schäumen. Das Reagenzglas wird außen sehr warm.

Beim Aufsetzen der Spritze auf das Reagenzglas füllt sich diese mit unsichtbarem Gas. Dies ist daran zu erkennen, dass sich der Kolben der Spritze nach hinten schiebt.

Bei Entweichung des Gases aus dem Reagenzglas in die Bunsenbrennerflamme ist ein Knall zu hören.



Erklärung: Durch die Zugabe von Salzsäure zum unedlen Metall Zink reagiert dieses zu Zinkchlorid und Wasserstoff (g) bei einer exothermen Redoxreaktion. Dabei wird Zink oxidiert, da es ein Elektron abgibt. Dieses wird vom Wasserstoffproton der Säure aufgenommen. Das Wasserstoffproton wird zu Wasserstoff reduziert. Die freiwerdende Energie erhitzt das Reagenzglas. Der entstehende Wasserstoff kann mittels der Spritze aufgefangen werden und durch die Knallgasprobe nachgewiesen werden.

7 Verwendung und Produkte aus Zink

Zink und Zink-Ionen sind in vielen Produkten/Materialien in unserem alltäglichen Leben enthalten. Zink-Ionen befinden sich z. B. in Wund- und Hautpflege-Produkten und in Nahrungs-Ergänzungsmitteln als Spuren-Element. Zink-Verbindungen sind auch in Farben enthalten. Zink selbst ist in Rostschutz-Mitteln zu finden sowie in elektronischen Geräten und Messing.

8 Legierungen

Eine weitere Möglichkeit zur Verwendung von Zink ist in Legierungen: Die bekannteste Zink-Legierung ist das Messing. Dieses besteht aus Zink (maximal 40 %) und Kupfer.

- Rot-Messing: $w(\text{Zn}) = 20 \%$; sehr dehnbar und korrosionsbeständig
- Gelb-Messing: $w(\text{Zn}) = 20 - 40 \%$, Verwendung in Maschinen-Teilen

Druckgusserzeugnisse werden aus einer Mischung von Zink mit 4 % Aluminium und weiteren Metallspuren hergestellt. Die Zink-Legierung ist durch ihre Düninflüssigkeit beim Erhitzen besonders gut zum formgenauen Pressen von Autoteilen, Computerteilen, Maschinenelementen, Handgriffen, Dosenöffnern etc. geeignet.

9 Zinkoxid

In Farben wird oft Zinkoxid verwendet. Es dient als Rost-Schutz, sorgt für eine leuchtend weiße Farbe und ist ein gut deckender Anstrich.

10 Verzinkung

Gegenstände werden verzinkt, um sie vor dem Rosten zu schützen. Zink dient gegenüber edleren Metallen als **Opferanode**. Das bedeutet, dass das Zink statt dem edlen Metall oxidiert wird. Mit der Zeit bildet sich auch eine Passivierungsschicht aus. Oxidationsmittel aus der Umgebung können nicht mehr bis zum edlen Metall vordringen und somit keine Reaktion (wie z.B. das Rosten) eingehen.

10.1 Feuer-Verzinken

Zum einen gibt es das Feuer-Verzinken, die wohl am häufigsten angewendete Methode in Deutschland. Bei diesem Verfahren wird der zu verzinkende Gegenstand in 450°C heißes Zink eingetaucht.

10.2 Spritz-Verzinken

Mit Spritz-Verzinken ist das Einbrennen von zerstäubtem, flüssigen Zink oder das Einbrennen des Zink-Staubs als Korrosionsschutz für rostanfällige Materialien gemeint.

10.3 Sendzimir Verfahren

Breitgewalzter Band-Stahl wird von der Rolle mit 120 m pro min durch das Zink-Bad gezogen und somit ebenfalls verzinkt.

10.4 Galvanisches Verzinken

Zink oder Zink-Legierungen werden durch Elektrolyse auf Eisengegenständen abgeschieden.

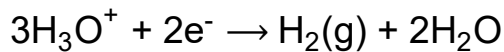
In dieser Verarbeitungs-Form hat Zink eine große Bedeutung. So werden Geländer, Auto-Karosserien, Kleinst-Gegenstände z. B. Schrauben, verzinkt.

11 Korrosionsschutz

Warum Zink eine derartig wichtige Rolle beim Korrosions-Schutz spielt, lässt sich mit dem Begriff der „Überspannung“ erklären. Man bezeichnet die Überspannung als eine Spannungs-Erhöhung. Bei der Elektrolyse gilt:

Zersetzungsspannung = Differenz der Redox-Potentiale + Überspannung

Die Überspannung liegt bei Zink bei 0,70 V. Sie erlaubt die elektrolytische Abscheidung des Zinks aus wässriger Lösung und macht reines Zink beständig gegenüber Wasser und sogar verdünnten Säuren. An einer Zink-Oberfläche ist die Reaktion



kinetisch gehemmt, da eine große Überspannung auftritt. An der Eisen-Oberfläche ist dies nicht der Fall. Sorgt man für eine Verunreinigung der Zink-Oberfläche mit Eisen z. B. durch Verzinkung bildet sich ein Lokal-Element. Die bei der Auflösung von Zink gebildeten Elektronen fließen zum Eisen und können dort rasch mit H_3O^+ -Ionen zu Wasserstoff reagieren.

$$E^0(\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}) = -0,76 \text{ V}$$

$$E^0(\text{Fe}/\text{Fe}^{2+}) = -0,41 \text{ V}$$

Das Phänomen der Überspannung, das die Entladung des Wasserstoff-Ions an bestimmten Metall-Oberflächen behindert, liefert so eine Basis für die Bedeutung des Zinks als Korrosions-Schutz.

12 Abfall und Recycling

Egal in welcher Form Zink in unserer Gesellschaft Verwendung findet, wird es nach einigen Jahrzehnten seinen Dienst aufgeben und zum Zink-Abfall wandern. Allerdings kann **Zink recycelt** werden. Etwa 25 % des weltweit produzierten Zinks werden aus Recycling-Materialien gewonnen. Man spricht von **Sekundär-Rohstoffen**. Je nach vorhergehendem Einsatz der Zink-Produkte unterscheiden sich auch die Sekundär-Rohstoffe. Aus seiner Anwendung für Stahl als Korrosions-Schutz, wird es zusammen mit dem Stahl eingeschmolzen, von dem Eisen getrennt und von der Zink-Industrie weiterverarbeitet. Zink-Bleche werden wieder eingeschmolzen oder umgeformt und Messing-Schrotte werden in der Kupfer-Industrie ebenfalls wieder eingeschmolzen und zu neuen Messing-Produkten umgeschmolzen.

Zusammenfassung 3: Zink ist ein vielseitiges Metall. Auf den ersten Blick erscheinen dessen Eigenschaft nachteilig, da es leicht oxidierbar, es ziemlich unscheinbar ist und dessen Salze löslich in Säuren sind. Bei genauerem Hinsehen stellt man fest, dass viele Eigenschaften dennoch sinnvoll genutzt werden können. Durch die leichte Oxidierbarkeit bildet Zink eine Passivierung aus, welche im Bereich des Korrosionsschutzes viele Stahl-objekte schützt. Des Weiteren kann man sich die Löslichkeit in Säure bei der Elektrolyse zu Nutze machen. Zink wird recycelt, weshalb vom Lebenszyklus des Zinks (Recycling-Kreislauf von Zink Abb. 1) gesprochen werden kann.

Abschluss 1: fehlt.

Abschluss 2: *Wer aber glaubt, dass Zink austauschbarer Luxus für unseren Alltag ist, dass Karosserien aus Kunststoff nicht rosten, Wasser-Hähne und Dach-Rinnen nicht unbedingt aus Zink sein müssen und im deutschen Sommer sowieso niemand Sonnen-Creme braucht, der übersieht die Tatsache, dass Zink nicht nur außerhalb unseres Körpers für wichtige Anwendungen gebraucht wird. Als Kind wurden vielleicht auch Sie zum exzessiven Konsum von Spinat gezwungen, und warum? Angeblich enthält dieser viel Eisen, welches zum Transport von Sauerstoff im Blut benötigt wird. Obwohl für das Ausscheiden des aus dem Sauerstoff gebildeten Kohlenstoffdioxids Zink benötigt wird, werden Sie sich aber wohl kaum an den Satz: „Iss viel Gemüse XY, das enthält viel Zink!“ erinnern können. Falls Sie also in der nächsten Zeit eine Mineralwasser-Flasche sehen: Freuen Sie sich, dass es Zink gibt.*

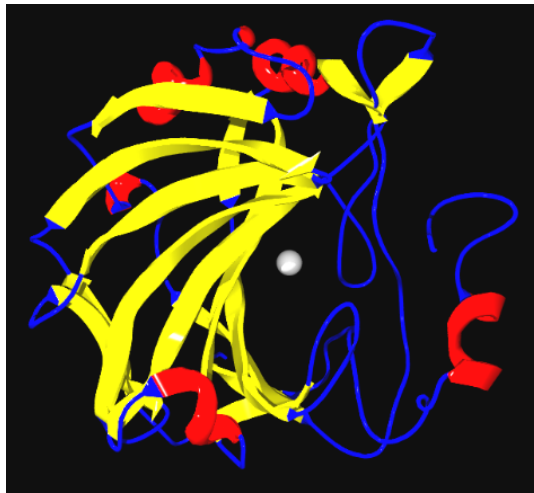


Abb. 8: Um CO₂ aus dem Körper auszuscheiden benötigt der Körper die Carboanhydrase. Sie hat Zink als aktives Zentrum. [8]

Abschluss 3: In Zeiten von Corona muss sich auch die Universität Bayreuth ein neues Nachhaltigkeitskonzept einfallen lassen, um die Müllberge aus Verpackungsmüll von Mensaeßern und gebrauchten Gesichtsmasken zu bewältigen. Beim Zinkrecycling besteht schon lange ein nachhaltiger Recyclingprozess in der chemischen Industrie. Es werden circa 60 % der end-of-life-Materialien dem Recycling zugeführt. Dies geschieht nicht nur wegen der Nachhaltigkeit, sondern auch aus Kostenersparnis- und Endlichkeitsgründen des Metalls. Die Universität Bayreuth könnte sich am Recycling-Vorbild des Zinks durchaus ein Beispiel nehmen.

Quellen:

- [1] I. Leidus, *Sphalerite (4.5 × 3.5 × 2.0 cm) from Iron Cap mine, Graham, Arizona, USA*, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sphalerite_-_Iron_Cap_mine,_Graham,_Arizona,_USA.jpg?uselang=de, **2021**. Lizenz: [Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International](#), keine Veränderungen vorgenommen
- [2] R. Lavinsky, *Wurzit*, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wurtzite-176485.jpg?uselang=de>, **2010**. Lizenz: [Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported](#), keine Veränderungen vorgenommen
- [3] DerHexer, *Harvard Museum of Natural History. Smithsonite. Kelly Mine, Magdalena district, Socorro Co., NM.*, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Harvard_Museum_of_Natural_History._Smithsonite._Kelly_Mine,_Magdalena_district,_Socorro_Co.,_NM_\(DerHexer\)_2012-07-20.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Harvard_Museum_of_Natural_History._Smithsonite._Kelly_Mine,_Magdalena_district,_Socorro_Co.,_NM_(DerHexer)_2012-07-20.jpg), **2012**. Lizenz: DerHexer, [Wikimedia Commons](#), [CC-by-sa 4.0](#), keine Veränderungen vorgenommen
- [4] I. Leidus, *Farblose prismatische Hemimorphitkristalle auf Matrix (4,5 × 4,0 × 2,0 cm) mit Calcit. Gefunden aus dem Bergwerk Ojuela, Mapimí, Durango, Mexiko.*, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hemimorphite_-_Mapimi,_Durango,_Mexico.jpg?uselang=de, **26.01.2021**. Lizenz: [Creative-Com-mons-Lizenz „Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 international“](#), keine Veränderungen vorgenommen
- [5] M. Northolz und R. Herbst-Irmer, *Exotherme Reaktion von Zink und Schwefel*, <http://unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de/material/7-8/V7-375.pdf>, **2009**.
- [6] Alchemist_hp, *Zink, reinst 99,995 %, links: ein kristallines Bruchstück aus einem Barren, rechts: sublimiert-dendritisch, sowie für den Größenvergleich ein 1 cm³ Würfel aus gleichem Material.*, Zink, reinst 99,995 %, links: ein kristallines Bruch-

stück aus einem Barren, rechts: sublimiert-dendritisch, sowie für den Größenvergleich ein 1 cm³ Würfel aus gleichem Material., **2010**. Lizenz: [Lizenz „Freie Kunst“](#). [„Copyleft Attitude“-Seite](#), keine Veränderungen vorgenommen

- [7] A. Schunk, <http://www.medchem.axel-schunk.de/amalgam/elektrochemie.html>, **2001**.
- [8] Labrador2, *Ribbon diagram of carbonic anhydrase generated from PDB 1MOO*, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carbonic_anhydrase.png?uselang=de, **2007**. Lizenz: [GNU Free Documentation License](#), keine Veränderungen vorgenommen
- [9] T. Seilnacht, *Zink*, <https://www.seilnacht.com/Lexikon/30Zink.htm>.
- [10] N. N. Greenwood und A. Earnshaw, *Chemie der Elemente*, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, **1989**.
- [11] A. F. Holleman, *Lehrbuch der anorganischen Chemie*, 101. Aufl., Walter de Gruyter GmbH & Co KG, Berlin, **2019**.
- [12] Initiative Zink, *ZINK-Werkstoff mit Zukunft*, <https://www.zink.de/>.
- [13] Institut für seltene Erden und strategische Metalle, *Zink Preis, Vorkommen, Gewinnung und Verwendung*, <https://institut-seltene-erden.de/seltene-erden-und-metalle/basismetalle/zink/>.
- [14] International Zinc Assosiation, *Zinc Recycling*, https://www.zink.de/wp-content/uploads/2012_IZA_Closing_the_Loop.pdf, **2011**.
- [15] Labrador2, *Ribbon diagram of carbonic anhydrase generated from PDB 1MOO*, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carbonic_anhydrase.png?uselang=de, **2007**.
- [16] E. Riedel und C. Janiak, *Anorganische Chemie*, 5. Aufl., De Gruyter, **2002**.
- [17] V. März, *Verzinkerei März Pulverbeschichtung*, <http://www.feuerverzinken.de/index.php>, **2019**.
- [18] H. Vahrenkamp, *Chem. Unserer Zeit* **1988**, 22, 73–84, DOI: 10.1002/ciuz.19880220302.