

Geschichte des Stahls

The [newest version](#) of this module (including more prose and pictures) can be found in the Hyperscript "Defects"

Advanced

- Um [Stahl](#) zu machen braucht es zunächst mal **Eisen**. Im Gegensatz zu den Edelmetallen (und gelegentlich auch mal **Cu**), kommt Eisen in der Natur nicht elementar vor, sondern immer als Verbindung, i.d.R. als Oxid.
 - Aber im Gegensatz zu einigen anderen als Oxidverbindung vorliegenden Metallen, reicht die Temperatur eines besseren Feuers nicht aus, um Eisenoxid zu reduzieren *und* das entstandene Eisen zu verflüssigen - der Schmelzpunkt von **Fe** ist $T_m(\text{Fe}) = 1535 \text{ }^\circ\text{C}$.
 - Deshalb hat niemand in den ersten **2000** Jahren (oder so) der Eisenzeit jemals Eisen oder Stahl *geschmolzen und gegossen* (das "**Gußeisen**" der alten Chinesen fällt nicht unter "Eisen und Stahl"!)- es wurde immer nur **geschmiedet**! Wagners **Siegfried**, wie auch die Typen in "**Conan der Barbar**", usw. usf., haben Schwerter nicht *gegossen*, sondern *geschmiedet*, d.h. aus kleinen festen Brocken mühsame "feuergeschweißte" und in die gewünschte Form geklopft. Und das war unvorstellbar **mühsam und kunstreich**!
 - Bei **Cu** ist das anders ($T_m(\text{Cu}) = 1083 \text{ }^\circ\text{C}$); bei einem heißen Feuer mit viel Holzkohle wird fast automatisch flüssiges **Cu** herauslaufen, wenn kupferhaltiges Gestein im Feuer liegt. Das ist wahrscheinlich schon vor gut **6000** Jahren geschehen und in seiner Bedeutung erkannt worden. Man kann spekulieren, daß die frühen Töpfer (die in ihren Brennöfen die nötige Temperatur von ca. **1200 }^\circ\text{C}** erreichten), vielleicht versucht haben, das als Schmuckstein bekannte grüne Mineral **Malachit** zum Verzieren der Töpfe zu verwenden. Was für eine Überraschung, als sie statt schöner Töpfe in der Asche das sehr wertvolle **Cu** vorfanden, das man bisher nur in kleinen Mengen aus Funden im Gebirge oder in Flußbetten kannte.
- Entscheidend ist, daß die Menschheit schon früh erkannte, daß Materialien ineinander umwandelbar waren; aus unscheinbaren Steinen konnten schimmernde Metalle gewonnen werden! Die **Alchemie** hat hier ihre Wurzeln.
 - Die frühe Metallindustrie begann; das nächste großtechnische Produkt war die **Bronze (Cu + (5 - 10) % Sn** und oft etwas **As**). Hier stoßen wir schon auf die Bedeutung der "Verunreinigung": Ein bißchen **As** als Fremdatom macht Bronze "fester"; sie verformt sich nicht mehr so leicht.
 - Außerdem begann eine Umweltkatastrophe, denn für die Verhüttung von Metallen braucht man große Mengen Kohle - einmal um hohe Temperaturen zu erreichen, aber auch als Reduktionsagent nach der Grundgleichung $\text{MeO} + \text{C} \Rightarrow \text{Me} + \text{CO}$. Zur Verfügung stand ausschließlich **Holzkohle** - man brauchte ca. **100 kg** davon um **5 kg Cu** zu produzieren.
 - Hier liegt - neben dem Schiffsbau - einer der Gründe für die weitestgehend verschwundenen Wälder in Europa (insbesondere in England) und der unzähligen Geschichten um die "**Köhler**" als Berufsstand.
 - Andere Metalle, die schon in der Frühzeit mit beachtlichen Geschick aus Oxiden und anderen Verbindungen produziert wurden, waren die Edelmetalle, insbesondere **Ag**, sowie **Pb** und **Hg**. Besonders die Römer waren sehr geschickt in dieser frühen Metallurgie.
- Aber das nützt alles gar nichts, wenn es um Eisen und Stahl geht. Die Alten kannten Eisen durchaus - als extrem seltenes und wertvolles Metall, das gelegentlich (als Meteorit) vom Himmel fiel. (Eskimos in Grönland haben für hunderte von Jahren ihre Schneidwerkzeuge aus einem **30 to** Meteor geschmiedet!). Im alten Sumer hieß Eisen "Himmelmetall" und bei den Pharaonen "schwarzes Kupfer vom Himmel".
 - Man kann also annehmen, daß die alten Materialwissenschaftler nichts unversucht ließen, auch **Fe** aus geeigneten Steinen zu *erschmelzen*. Leider wollte das nicht so recht klappen - dafür braucht man nämlich eine Temperatur von **1535 }^\circ\text{C}**, und das ist nicht so ganz einfach zu erreichen. Zwar wußte man schon, daß kräftiges Blasen ins Feuer die Temperatur erhöht, aber dafür stand nur Lungenkraft zur Verfügung. Im [Link](#) ist ein ca. **4500** Jahre altes Relief aus einer Mastaba, dem altägyptischen Grab der Pharaonen und Würdenträger gezeigt, in dem Goldschmiede dargestellt sind, die zu viert durch Bambusrohre ins Feuer blasen.
 - Bei den in der Antike max. verfügbaren **1200 }^\circ\text{C}** wird nun Eisenoxid zwar reduziert, aber das Fe wird dabei nicht flüssig. Kleine **Fe** - Partikel entstanden durch Festkörperreaktionen und waren eingeschlossen in die "**Eisenblüte**", eine Mixtur aus unreaktiertem Eisenoxid, Schlacke und unverbrannter Holzkohle, die man dann im Feuer fand.
- Die frühen Schmiede konnte aber dieses recht reine und weiche Eisen durch Hämmern bei hohen Temperaturen und allerlei Tricks (inkl. der [Magie](#) und Anrufung der Götter) extrahieren und zu "**Schmiedeeisen**" kompaktieren.
 - Große Sorgfalt war nötig. Wenn man nicht aufpaßte, oxidierte das **Fe** wieder; nahm es zuviel Kohlenstoff auf (**3% - 4%**), erhielt man **Gußeisen** mit einem Schmelzpunkt um **1130 }^\circ\text{C}**, das also flüssig und damit leicht bearbeitbar, aber auch sehr spröde und relativ nutzlos war.
 - Trotzdem konnten die frühen Schmiede - vom griechischen Gott **Hephaistos** (dem römischen Vulkan) über den wagnerischen **Mime** bis zum germanischen **Wieland dem Schmied** - aus ihrem mühsam gewonnenen Schmiedeeisen Gerätschaften bauen (insbesondere natürlich Schwerter), die einfach viel besser waren als die handelsüblichen Bronzeartikel.

Was war das Geheimnis? Zunächst ist es sehr einfach: Der richtige Gehalt des interstitiellen Fremdatoms **C** im **bcc**-Gitter des Eisens bei Raumtemperatur ist wichtig. Erhöhte man (ohne natürlich zu wissen was man tat) den kleinen **C**-Gehalt von **ca. 0,1 %** des Schmiedeeisens auf optimale **0,9%**, stieg die Festigkeit aufs dreifache! War allerdings zuviel **C** im **Fe** - z.B. **2%** - war man schon auf dem Weg zum spröden und für Schwerter unbrauchbaren Gußeisen.

- Da man **Fe** aber nicht schmelzen konnte, war der übliche (empirische) Weg des Zufügens von "magischen" Substanzen zur Schmelze versperrt. Der einzige Weg war, Kohlenstoff (und/oder, mit ebenfalls guter Wirkung, Stickstoff) über die Oberfläche einzudiffundieren. Das Rezept dazu war, das **Fe** (d.h. meist gleich das ganze Schwert) lange bei hoher Temperatur in einem Holzkohlenfeuer zu rösten, zu "tempern". Die alten Schmiede hatten dabei keine Ahnung was wirklich passierte; sie dachten, daß sie das Eisen im heiligen Feuer "reinigten". Diese Fehlmeinung geht, wie so viele andere, auf den aus Sicht der Materialwissenschaft etwas fragwürdigen Philosophen **Aristoteles** zurück.

- Der erste Schritt zum Stahl ist damit getan: Es geht darum, den richtigen Kohlenstoffgehalt einzustellen.

Aber das Ganze ist noch viel komplizierter (und in einem [eigenen Modul](#) etwa detaillierter abgehandelt). **Fe** (mit ganz wenig Kohlenstoff) wandelt sich bei hoher Temperatur (genau bei **723 °C**) vom **bcc**-Gitter in ein **fcc**-Gitter um. Die **bcc**-Phase heißt allgemein **Ferrit** oder ferritisches Eisen, die **fcc**-Phase **Austenit** oder austenitisches Eisen.

- Kohlenstoff fühlt sich nun im Austenit viel wohler als im Ferrit, d.h. bei hoher Temperatur kann sich relativ viel Kohlenstoff im (austenitischen) **Fe** lösen. Hat der Schmied lange genug geglüht oder kohlenstoffreiches Ausgangsmaterial genommen, hat er möglicherweise einen relativ kohlenstoffreichen Austenit, zumindest in den oberflächennahen Bereichen des Schwerts - die Frage ist, was jetzt beim Abkühlen passiert.

- Kühlt das **Fe** g a n z l a n g s a m ab, wird sich der **bcc**-Austenit hauptsächlich in den **fcc**-Ferrit umwandeln. Ist aber relativ viel **C** im Austenit, passiert etwas anderes, es bildet sich zwar auch Ferrit, aber mit weniger Kohlenstoff als im (heißen) Austenit und gleichzeitig eine neue Phase, eine **Fe - C** Verbindung mit dem Namen **Zementit** und einem komplizierten Gitter. In einem Schlibbild sieht man die beiden Phasen wie eine Schichtung von Platten nebeneinander liegen, das ganze Gebilde heißt **Perlit** (weil es im Mikroskop ähnlich wie Perlen gänzt).

- Perlit, die Mixtur aus Ferrit und Zementit ist aber kaum besser als Bronze - nicht ohne weiteres zu gebrauchen. Die Phasenumwandlung vom Austenit zum Perlit muß verhindert werden, wenn man harten Stahl haben will. Die Kohlenstoffatome dürfen nicht genug Zeit bekommen, um durch sich durch Diffusion in einem Gebiet anreichern zu können, aus dem dann Zementit werden kann. Also muß **schnell** abgekühlt werden.

Hier kommt - nach der Gewinnung des Schmiedeeisens aus der Eisenblume und dem Glühprozeß zur "Aufkohlung", der nächste große Zauber der Schmiede zum Tragen: Das Abkühlen! Das heiße Schwert wird für einige Zeit in eine Flüssigkeit gesteckt (nur einfallslose Schmiede nahmen einfach Wasser) und dadurch "**abgeschreckt**", d.h. schnell abgekühlt.

- Den Kohlenstoffatomen bleibt keine Zeit zur Umorganisation - es kann sich nur ein Ferrit bilden, das relativ viel Kohlenstoff enthält und das dadurch eine stark gestörte Gitterstruktur aufweist; eine Art Mischung aus **fcc**- und **bcc**-Gitter mit dem Namen **Martensit** und mit einer ca. fünffachen "Stärke" im Vergleich zum Schmiedeeisen.

- Vor allem die japanischen Schmiede haben diese Technik bis zur Perfektion entwickelt; nachzulesen [im Link](#).

- Dummerweise war dieses Martensit, so man es überhaupt erhielt, ziemlich spröde. Die Eigenschaften wurden aber - mit Glück und vielleicht den richtigen [magischen Prozeduren und Sprüchen](#) - viel besser, wenn man das Schwert jetzt nochmals heiß machte (allerdings nicht so heiß wie beim Aufkohlungsprozeß), ein bißchen darauf herumhämmerte usw.. Dabei manipulierte man ein **zweite** Defektsorte, die Versetzungen (siehe [Kapitel 4](#)); auf die wir aber in diesem Zusammenhang nicht näher eingehen wollen. Wenn alles klappte, hatte man ein (selbstverständlich dann magisches) Schwert aus Stahl!

Auch ein Professor lernt manchmal noch was dazu, und der nächste **blaue** Abschnitt sollte mit Vorsicht gelesen werden; er wurde geschrieben bevor ich mich mit der Geschichte des Schwertschmiedens etwas intensiver befaßte. In der vorliegenden Version basiert er auf den [Büchern](#) von [Steve Sass](#) und [Rolf Hummel](#).

- Was folgt ist nicht etwa falsch, aber auch nicht die volle Wahrheit. Insbesondere die zum das Stichwort "**Damaszenertechnik**" gemachte Bemerkungen geben die Komplexität dieser Technik (und die vielen Mißverständnisse dazu) in keinsten Weise wieder.

- In den folgende Links gibt es eine Vielzahl an Informationen (meist in Englisch), die die Kunst der antiken und mittelalterlichen Schmiede in einem noch viel hellerem Licht erscheinen lassen.

- [Damascene Technique in Metal Working](#): Hier ist gezeigt, wie bei Merowingers, Wikingers, Kelten, Alemannen usw. ein besseres Schwert geschmiedet wurde, und warum es mit Recht fast "magisch" genannt werden kann.

- [Literature to Damascene \(and Other\) Techniques in the Production of Iron and Steel From the Internet](#)

- [A Cross-Linked Glossary of Some Terms from the History of Metal Working](#)

- [Magische Schwerter](#)

Wenn man bedenkt, was alles schiefgehen konnte (und hier ist bei weitem nicht alles aufgezählt, was auf die Qualität eines Schwertes noch Einfluß nehmen kann), ist es überaus erstaunlich, daß die alten Schmiede überhaupt Stahlschwerter zustande brachten. Außerdem war nicht unbedingt das ganze Schwert aus Stahl, sondern nur die äußere Schicht; soweit der Kohlenstoff eben eindiffundieren konnte.

- Erfindungsreiche Schmiede nahmen deshalb dünne Folien, die erstmal alle einzeln behandelt wurden, um dann - bei mindesten **800 °C** - zusammengeschiedet zu werden. Dazu mußten erstmal die Werkzeuge - besonders wichtig waren Eisenzangen - entwickelt werden. Diese Technik hatte ihre Blüte in **Toledo**, von wo aus vor allem die römische Truppen versorgt wurden.

- Eine fünffach größer Festigkeit scheint nicht so besonders viel zu sein, aber die Konsequenzen waren schon beachtlich. Die alten Gallier wurden auch deshalb von den Römern unterworfen (außer dem bekannten kleinen Dorf natürlich), weil nach zeitgenössischen Berichten die alten Gallier ihre Schwerter nach jedem besseren Schlag erstmal überm Knie wieder geradebiegen mußten, während die römischen Schwerter "so stark waren, daß es keinen Helm gibt, der nicht von ihnen zerschlagen werden kann".

- Eine andere Hochburg der Stahlherstellung war Damaskus mit den berühmten **Damaszener Klingen**. Diese beruhten auf einem aus Indien eingeführten Rohstahl (genannt "**Wootz**") mit sehr hohem Kohlenstoffanteil (**1,5 % - 2 %**) bestehend aus einer Mixtur aus **Zementit** und **Perlit**. Der Herstellungsprozeß einer Damaszener Klinge; ebenfalls eine **zusammengehämmerte** (*stimmt nicht!!*) Mixtur aus diesem tendenziell sprödem Material und weichem Schmiedeeisen, war schwierig und nicht ohne Besonderheiten. Wir sehen hier auch, daß das Wort "Stahl" ein Sammelbegriff ist, der viele verschiedene eisenbasierte Legierungen und Gefüge umschreibt.

Aber nicht nur im Mittelmeerraum wurde die Eisen und Stahl Technologie entwickelt. Besonders weit entwickelte Technologien hatten zum Beispiel die Chinesen, die viele der großen Entdeckungen des Englands des **19.** Jahrhunderte vorwegnahmen (aber nicht sehr viel damit machten) und die Inder.

- Letztere konnte das Geheimnis ihres "**Wootz**" **Stahls**, von dem die ganzen Meisterschmiede des Mittelmeerraumes abhingen, für viel hundert Jahre, wenn nicht gar **1000** Jahre geheimhalten (Man mische kleine Stücke von Schmiedeeisen mit Holzstücken und gewissen Blättern und heize das ganze in einem Tontopf mit Tondeckel in einem sehr heißen Feuer (unter diversen magischen Sprüche, versteht sich). Damit bekommt man vollständig mit Kohlenstoff durchsetzte Eisenstückchen, die man anschließend wieder durch Hämmern bei hoher Temperatur zusammenschmiedet).

Nicht vergessen sollte man auch die **Haya**, ein Volk das im heutigen Tansania lebte und ebenfalls die Eisentechnologie bis zu einem gewissen Grad beherrschte. Ihr Mythen und Märchen enthielten viel Geschichten um das Eisenmachen, in einem Vokabular das stark angereichert war mit Ausdrücken die sich aufs Menschenmachen bezogen.

Im Laufe der Jahrtausende wurde Eisen und Stahl trotz der vielen Schwierigkeiten allmählich übliche Materialien, auch der Schmelzpunkt von **Fe** wurde bald erreicht, aber die Massenproduktion von Stahl mußte noch bis zum **19.** Jahrhundert warten. Mit der ganzen Kunst der Schmiede konnten nach wie vor nur "dünne" Objekte wie Schwerter und Dolche, in die man genügend Kohlenstoff hineinbrachte, hergestellt werden .

Auch die Holzkohle wurde ab dem **17.** Jahrhundert allmählich durch Kohle ersetzt, aber auch das war nicht ohne unangenehme Überraschungen. Eisen, das mit Steinkohle statt Holzkohle erschmolzen wurde, war ungeheure spröde und zu nichts nutze. Wie wir heute wissen, reichen geringste Mengen Schwefel Atome im **Fe** - Gitter (sie setzen sich in die Korngrenzen) um das Metall völlig zu verspröden, und Schwefel, wie auch andere Verunreinigungen, ist in Steinkohle reichlich enthalten.

- Die Lösung dieses Problem kam ausnahmsweise nicht vom Militär, sondern vom **Bier**. Auch die Bierbrauer hatten versucht, Kohle statt Holz als Heizmaterial zu verwenden um das Malz zu dörren, und erhielten ein stinkiges übel-schmeckendes Gesöff. So wurde Koks erfunden: man röste die Kohle unter Sauerstoffausschluß; das treibt die stinkigen Teile aus; was bleibt ist reiner sauberer Kohlenstoff - eben Koks - der nicht nur fürs Bierbrauen sondern auch für die Eisenverhüttung brauchbar war.

Mit Beginn der industriellen Revolution wurde ein fehlender großtechnischer Prozeß zur Herstellung großer Volumina von Stahl zur Fortschrittsbremse. Die paradigmatische **Eisenbahn** braucht Gleise; mit normalem Schmiede- oder Gußeisen mußte man die Schienen alle drei bis **6** Monate auswechseln weil sie sich unter der Beanspruchung verformten. Unfälle waren häufig und oft katastrophal.

- Zwar hatte man längst gelernt, große Mengen von Eisen zu schmelzen - mit massiver Zufuhr von Luft durch Blasebälge, die auch durch Dampfmaschinen angetrieben wurden. **1850** lag allein die (führende) englische Produktion an Eisen bei immerhin **2,5** Millionen Tonnen im Jahr, aber Stahl war immer noch nur in relativ kleinen Mengen (im % Bereich des Eisens), mit wechselnder Qualität und mit hohen Kosten erhältlich.

- Immerhin wußte man seit **1786**, daß Stahl etwas mit dem Kohlenstoffgehalt des Eisens zu tun hatte (die ersten, die diesen Verdacht äußerten, waren die Herren **Vandemonte**, **Berthollet** und **Monge** aus Frankreich.

- Aber alle Versuche, Eisen gleich mit dem richtigen Kohlenstoffgehalt (und, wie wir wissen, dem richtigen Gefüge) herzustellen, waren vergeblich. Mal klappte es, mal klappte es nicht; einen verlässlichen großtechnischen Prozeß gab es nicht. Und damit auch keine großen Brücken, Wolkenkratzer, Autos, "richtige" Eisenbahnen, effiziente Antriebsmaschinen und Energieumwandler - man macht sich selten klar, wie stark Stahl die Welt verändert hat!

Wie so oft, war es die Rüstungsindustrie, die den Durchbruch brachte. Es war zunehmend lästig, daß die Kanonen oft selbst explodierten, es mußte etwas getan werden.

- Henry **Bessemer**, der auf der Suche nach besseren Kanonen war (er hatte gerade den Drall für Munition in Granatenform erfunden; nur leider hielten die gußeisernen Kanonen dem zusätzlichen Druck nicht stand), hatte auf der Suche nach besseren Kanonen und damit nach großen Mengen billigen Stahls **1855** als erster (so glaubte man) die Idee, durch das geschmolzene kohlenstoffreiche Roheisen Luft, oder noch besser, Sauerstoff in großen Mengen durchzublasen (was, nebenbei bemerkt, ohne Dampfmaschinen nicht möglich wäre). Damit bildet sich **CO**, das abbrennt und nebenbei die Temperatur hochhält. Wenn man rechtzeitig aufhört, kann man den Kohlenstoffgehalt von großen Mengen Eisen jetzt in einem schnellen Prozeß auf den richtigen Wert einstellen und erstmals große Volumenmengen an Stahl produzieren.
- Der Trick war also, nicht wie bisher kohlenstoffarmem Schmiedeeisen mühsam etwas Kohlenstoff einzudiffundieren, sondern aus kohlenstoffreichem Gußeisen den Kohlenstoff bis auf einen nützlichen und genau definierten Rest zu entfernen (wann der richtige Zeitpunkt gekommen war, sah der Experte an der Farbe der Flammen die aus der Bessemerbirne Herausschossen).
- Herr Bessemer, der auch schon als Erfinder des "**Blei**"stiftes (der in Wahrheit Graphit enthält) kein Unbekannter war, wurde über Nacht berühmt, und innerhalb eines Monats schwer reich - alle wollten sein Rezept übernehmen. Aber so leicht sind atomare Fehlstellen dann doch nicht zu überlisten. Die großtechnische Umsetzung des "**Bessemerprozesses**" führte zu einer der großen Überraschungen ("**Denn sie wissen nicht, was sie tun**") in der Produktion: Der Bessemer Stahl aus der Großproduktion war, im Gegensatz zu den Ergebnissen der "Laborversuche", spröde und zu nichts zu gebrauchen. Für Bessemer war es "wie ein Blitzschlag aus heiterem Himmel"; der Absturz vom Erfinderolymp in die Verzweiflung war jäh und hart.
- Aber Bessemer war ein guter Materialwissenschaftler; er biß die Zähne zusammen, arbeitete Tag und Nacht und gewann. Was war passiert?

Bessemer hatte für seine Versuche **schwedisches** Eisenerz verwendet; seine Landsleute verwendeten einheimisches - und **englisches** Eisenerz enthielt **Phosphor**. Phosphor wird im Bessemerprozeß so wie er gemacht wurde nicht beseitigt; wiederum reichen kleine Menge dieser atomaren Fehlstelle, um **Fe** oder Stahl spröde zu machen. Wie wir heute wissen, setzen sich die **P** - Atom gerne in die Korngrenzen des Stahls und verändern dort die lokalen Eigenschaften ins Negative.

- Der Phosphor mußte raus - aber wie? Es waren die Vettern Sydney Gilchrist **Thomas** und Percy Carlyle **Gilchrist**, die den Weg wiesen: man nehme (auch) Kalkstein zur Ausmauerung der "Bessemerbirne" und gebe ein bißchen auch direkt in die Schmelze, und der Phosphor bleibt in der Schlacke oder der Ummantelung.
- Bessemer's Auskleidung seiner "Bessemerbirne" nutze "saure" Silikate; das funktioniert dann nicht. Natürlich wäre auch niemand auf die Idee gekommen, dass eine simple Sache wie die keramische Auskleidung eines überdimensionierten "Kochtopfs" sozusagen über Leben und Tod entscheidet.
- Ein anderes Problem mit dem Bessemerprozeß war, daß gelegentlich Sauerstoff zurückblieb und im Stahl Gasblasen formte, die das Produkt wiederum unbrauchbar machten. Ein Herr **Mushet**, ein anderer Engländer, hatte dafür die rettende Idee: Man füge der Schmelze etwas Spiegeleisen zu - ein Konglomerat das **Fe**, **Mn** und **C** enthielt - und man bekommt besten Stahl, denn das **Mn** reagiert mit dem Überschußsauerstoff zu Manganoxiden, die in der Schlacke verbleiben. Außerdem neutralisiert es den sehr schädlichen Schwefel.
- Wie so oft, ging aber sein Beitrag aber in der Aufbruchsstimmung des **19.** Jahrhunderts unter; der Name Bessemer wird wohl weiterhin mit der großindustriellen Herstellung von Stahl assoziiert bleiben. Auch Herr **Kelly** aus den **USA**, der eigentlich knapp **10** Jahre vor Bessemer das "Bessemer" Verfahren entdeckte, wurde in den Patentstreitigkeiten zwar mit Geld fürstlich abgespeist, ist aber als Materialwissenschaftler vergessen.
- Nach Bessemer ging es Schlag auf Schlag: **Siemens** in Deutschland und **Martin** in Frankreich entwickelten das "Siemens-Martin-Verfahren usw., die Weltproduktion an Stahl schnellte exponentiell in die Höhe: **22 kto** in **1867**, **1 Mto** in **1880** und **9 Mto** in **1900** und **>500 Mto** heute. Noch in den **70er** Jahren unseres Jahrhunderts wurde allgemein unterstellt, daß die Wirtschaftsmacht, und damit auch die politische Macht eines Landes, sich praktisch nur aus seiner Stahlproduktion/ und damit nach dem Grad der Beherrschung von atomaren Fehlstellen in **Fe**, bestimmt.

Man könnte jetzt das Gefühl haben, dies sei eigentlich Chemie und es ginge um das Uranliegen der Chemie, besonders reine Stoffe herzustellen. Das ist zwar nicht gänzlich falsch; aber in Wirklichkeit geht es ausschließlich um den Einfluß **atomarer Fehlstellen** auf die Bildung verschiedener Phasen und auf die Erzeugungen und Bewegung anderer Defekt im Eisenkristall, den Versetzungen. Mit Chemie hat das nichts zu tun.

Wer es genauer wissen möchte, vielleicht auch mehr über die Bedeutung der Metalle für die Entwicklungen im Mittelmeerraum wissen möchte, liest nach, insbesondere bei [S. Sass, I. Amato und R. Hummel](#)

▼ Hier noch einige andere Module zum allgemeinen Thema im Zusammenhang:

- [Stahl aus materialwissenschaftlicher Sicht](#)
- [Magische Schwerter](#) (und japanische Schwerter)
- [Gruselige Schmiedegeschichten](#) (mit Magie).
- [Der Ring des Nibelungen](#) Zur Schmiedekunst und Siegfrieds Schwert
- [Details zur Damaszener Technik](#) (Englisch); viele weiterführende Links.
- [Ein "magisches" Schwert](#) (Englisch). Originalbild und Nachbau.