



WILEY-VCH

Hans R.  
Kricheldorf

# Menschen und ihre Materialien

Von der  
Steinzeit  
bis heute

ERLEBNIS  
wissenschaft



# Inhalt

## Vorwort

## Historischer Überblick

Von der Steinzeit zur Neuzeit

Das Zeitalter der Kunststoffe

Literatur

## Kupfer, Bronze, Messing, Geld

Kupfer

Bronze

Messing

Geld

Was wäre wenn?

Literatur

## Eisen und Stahl

Eisen, Herstellung und Eigenschaften

Stahl

Waffen mit Rufnamen

Was wäre wenn?

Literatur

## Aluminium

Herstellung und Eigenschaften

Verwendung

Was wäre wenn?

Literatur

## **Silizium und Silikate**

Silikate

Silizium, Herstellung und Eigenschaften

Silizium-Anwendungen

Was wäre wenn?

Literatur

## **Keramik**

Herstellung und Geschichte

Tongut - Baustoffe

Tongut - Sanitärerzeugnisse

Tongut - Geschirr

Tonzeug - Terracotta

Tonzeug - Steinzeug

Tonzeug - Porzellan

Hochleistungskeramik

Was wäre wenn?

Literatur

## **Glas**

Die Glasherstellung und deren Geschichte

Verarbeitung und Verwendung

Was wäre wenn?

Literatur

## **Kunstdünger und Agrochemikalien**

Kunstdünger

Agrochemikalien

Was wäre wenn?

Literatur

## **Cellulose, Papier, Textilfasern und Dynamit**

Cellulose

Papier

Baumwolle und andere Naturfasern

Dynamit und Schießpulver

Was wäre wenn?

Literatur

## **Synthetische Textilfasern**

Wallace Hume Carothers und die Erfindung der Nylons

Paul Schlack und das Perlon (Nylon-6)

Weitere Fasermaterialien

Was wäre wenn?

Literatur

## **Kunststoffe, Werkstoffe, Plastik**

Klassifizierung und Verarbeitung

Duroplasten

Polystyrol (PS)

Polyethylen (PE)

Polypropylen (PP)

Polyvinylchlorid (PVC)

Thermoplasten

Was wäre wenn?  
Literatur

## **Filme, Folien, Flaschen, Membranen**

Filme  
Folien  
Flaschen  
Membranen  
Was wäre wenn?  
Literatur

## **Natur-Kautschuk, Gummi, Elastomere**

Natur-Kautschuk (NK)  
Buna und Auschwitz  
Moderne Elastomere  
Was wäre wenn?  
Literatur

## **Fette, Seifen, Biomaterialien**

Einleitung  
Fette und Speiseöle  
Seife und Waschmittel  
Polysaccharide  
Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen  
Was wäre wenn?  
Literatur

## **Index**

**Weitere Titel aus der Reihe »Erlebnis  
Wissenschaft«**

Groß, M.

**Von Geckos, Garn und Goldwasser  
Die Nanoweltwelt lässt grüßen**

2012

ISBN: 978-3-527-33272-4

Lutzke, D.

**Surfen in die digitale Zukunft**

2012

ISBN: 978-3-527-32931-1

Heuer, A.

**Der perfekte Tipp  
Die Statistik des Fußballspiels**

2012

ISBN: 978-3-527-33103-1

Ganteför, G.

**Klima - Der Weltuntergang findet nicht statt**

2012

ISBN: 978-3-527-32863-5

Hüfner, J./Löhken, R.

**Physik ohne Ende  
Eine geführte Tour von Kopernikus bis Hawking**

2012

ISBN: 978-3-527-41017-0

Roloff, E.

**Göttliche Geistesblitze  
Pfarrer und Priester als Erfinder und Entdecker**

2012

ISBN: 978-3-527-32864-2

Zankl, H.

**Kampfhähne der Wissenschaft  
Kontroversen und Feindschaften**

2012

ISBN: 978-3-527-32865-9

Al-Shamery, K. (Hrsg.)

**Moleküle aus dem All?**

2011

ISBN: 978-3-527-32877-2

Bergmann, H.

**Wasser, das Wunderelement?**

**Wahrheit oder Hokusfokus**

2011

ISBN: 978-3-527-32959-5

Schwedt, G.

**Die Chemie des Lebens**

2011

ISBN: 978-3-527-32973-1

Gross, M.

**Der Kuss des Schnabeltiers**

**und 60 weitere irrwitzige Geschichten aus Natur und Wissenschaft**

2011

ISBN: 978-3-527-32738-6

Groß, M.

**9 Millionen Fahrräder am Rande des Universums**

**Obskures aus Forschung und Wissenschaft**

2011

ISBN: 978-3-527-32917-5

Köhler, M.

**Vom Urknall zum Cyberspace**

**Fast alles über Mensch, Natur und Universum**

2011

ISBN: 978-3-527-32739-3

Schatz, G.

**Feuersucher**

**Die Jagd nach dem Geheimnis der Lebensenergie**

2011

ISBN: 978-3-527-33084-3

Schwedt, G.

**Lava, Magma, Sternenstaub**

**Chemie im Inneren von Erde, Mond und Sonne**

2011

ISBN: 978-3-527-32853-6

Synwoldt, C.

**Alles über Strom**

**So funktioniert Alltagselektronik**

2011

ISBN: 978-3-527-32741-6

Hans R. Kricheldorf

**Menschen und ihre Materialien**

Von der Steinzeit bis heute



WILEY-  
VCH

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

**Autor**

Prof. Dr. Hans R. Kricheldorf

Universität Hamburg

Technische und Makromolekulare Chemie

Bundesstr. 45

20146 Hamburg

**Umschlaggestaltung** Simone Benjamin, McLeese Lake, Canada

**Satz** Mitterweger & Partner, Plankstadt

1. Auflage 2012

Alle Bücher von Wiley-VCH werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2012 Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA,  
Boschstr. 12, 69469 Weinheim, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Print ISBN: 978-3-527-33082-9

ePDF ISBN: 978-3-527-66670-6

ePub ISBN: 978-3-527-66669-0

mobi ISBN: 978-3-527-66668-3

Für meine Großeltern Dr. Johannes und Lina Kricheldorf

# Danksagung

Die zügige Fertigstellung dieses Buches basiert auf der Mithilfe dreier Personen, bei denen ich mich hiermit bedanken möchte. Prof. Mohammed Lahcini (TU Marrakesch) hat die Formelschemata gezeichnet, Dr. Norbert Czerwinski (TU Karlsruhe) hat die gewünschten Photoabbildungen beschafft und Frau Dr. Waltraud Wüst hat in geduldiger und verständnisvoller Lektoratsarbeit das gesamte Manuskript zur Druckreife gebracht.

Hamburg, Mai 2012

# Vorwort

Wenn von Historikern, Philosophen, Linguisten oder anderen Geisteswissenschaftlern über die Grundlagen einer Kultur oder Zivilisation geschrieben wird, dann stehen Ideen oder geistige und politische Konzepte im Vordergrund der Betrachtung. Nun zeigt Geschichte immer wieder, dass die Entfaltung politischer Wirksamkeit von Ideen, Schriften und Worten an bestimmte materielle Voraussetzungen gebunden ist. So war z.B. die breite Verfügbarkeit von Papier, zusammen mit der von Gutenberg verbesserten Drucktechnik, die entscheidende Voraussetzung dafür, dass sich Luthers Thesen und Schriften schnell über Sachsen hinaus verbreiten konnten. Ohne die großtechnische Erzeugung von Stahl, zusammen mit der Erfindung der Dampfmaschine, hätte sich vor 1900 kaum ein Proletariat entwickelt, das Karl Marx zu seinen Schriften stimuliert oder diesen eine breite Wirkung verliehen hätte. Ohne das zur Düngemittelproduktion entwickelte Haber-Bosch-Verfahren hätte es keinen Versailler Vertrag gegeben und keinen Aufstieg Hitlers.

In dem vorliegenden Buch sollen - mit den unten genannten Einschränkungen - die materiellen Grundlagen unserer Zivilisation zur Sprache kommen und unter vier verschiedenen Aspekten betrachtet werden: 1) die Eigenschaften der Materialien, 2) die Grundzüge ihrer Herstellung, 3) ihre Geschichte und 4) ihre Nutzenanwendung. Ferner sollen soweit historisch möglich und mit dem Umfang des Buches verträglich, die wichtigsten Erfinder und ihre oft tragischen Lebenswege vorgestellt werden.

Zwei Materialgruppen werden in diesem Buch nicht besprochen, nämlich Hölzer und Medikamente. Holz ist neben Lehm seit Jahrtausenden das wichtigste Baumaterial für Behausungen und wird seit alters her auch bevorzugt zur

Anfertigung von Möbeln verwendet. Es wird auch heute noch, vom Lackieren abgesehen, überwiegend in seiner Naturform verarbeitet und ist jedem Menschen bekannt. Ferner ist seine Verwendung nicht charakteristisch für die westliche Zivilisation und deren Niveau. Von einer Besprechung verschiedener Hölzer wurde daher abgesehen. Allerdings wird der Hauptbestandteil des Holzes, die Cellulose, mit ihren vielen Verwendungsmöglichkeiten ausführlich vorgestellt.

Das Niveau einer Zivilisation spiegelt sich auch wesentlich im Stand der medizinischen Versorgung ihrer Bevölkerung wider. Dazu gehört vor allem die Verfügbarkeit wirksamer Medikamente. Vorsichtig geschätzt gibt es über 300 wirksame Arzneien und mehrere Hundert Medikamente, über deren Wirksamkeit es geteilte Ansichten gibt. Die Besprechung von Eigenschaften, Herstellung und Wirkungsweise dieser Medikamente würde nicht nur ein weiteres, noch viel umfangreicheres Buch erfordern, sondern auch erhebliche chemische und medizinische Kenntnisse beim Leser, die in diesem Buch nicht vorausgesetzt werden sollen. Von diesen Einschränkungen abgesehen, haben fast alle für unseren Alltag wichtigen Substanzgruppen Erwähnung gefunden.

Berlin, Mai 2012

*H.-R. Kricheldorf*

# Historischer Überblick

## Von der Steinzeit zur Neuzeit

Als sich im Lauf des 19. Jahrhunderts die Archäologie von der Schatzgräberei zu einer systematischen Wissenschaft entwickelte, zeigte sich, dass die zivilisatorischen Entwicklungsschübe in der Frühzeit der Menschheitsgeschichte ganz wesentlich von der Entdeckung und Entwicklung neuer Materialien abhängig waren. Es war der Engländer Ch. J. Thomson, der in einer Publikation über frühe Zivilisationen im Jahre 1836 erstmals die Begriffe Steinzeit, Bronzezeit und Eisenzeit verwendete. Diese Klassifizierung der zivilisatorischen Entwicklungsstufen in den Jahrtausenden vor Christi Geburt wurde später beibehalten, aber in zwei Richtungen weiter entwickelt. Es wurde eine Feingliederung eingeführt, in der die Steinzeit in eine ältere Phase, Altsteinzeit oder Paläolithikum genannt, und eine jüngere als Jungsteinzeit oder Neolithikum bezeichnete Periode unterteilt wurde. Ferner wurde zwischen Neolithikum und Bronzezeit die »Kupferzeit« eingeschoben. In dieser Periode wurde schon Kupfer erzeugt und genutzt, aber Zinn war für die Herstellung von Bronze noch nicht verfügbar. Eine weitere Feingliederung dieser Zivilisationsstufen erfolgte dann nach regionalen Gesichtspunkten. Es wurden Kulturkreise definiert, die vor allem anhand spezifischer Keramik oder aufgrund bestimmter Bestattungssitten, klassifiziert wurden. Namen wie Glockenbecher- und Schnurkeramik oder Hünengräber sind wohl die bekanntesten Beispiele für Begriffe aus dieser Klassifizierungsmethodik.

Eine andere Art und Weise die klassische Unterteilung in Stein-, Bronze- und Eisenzeit dem sich ständig erweiternden Kenntnisstand der Archäologie anzupassen, besteht in der zeitlichen Abstufung je nach Land. So fand der Übergang vom Neolithikum zur Kupferzeit in Kleinasien zu einem viel früheren Zeitpunkt statt als etwa in Dänemark.

Während manche Erfindungen und Entdeckungen der Menschheit in verschiedenen Ländern und zu verschiedenen Zeitpunkten unabhängig voneinander gemacht wurden (z.B. der Bau von Pyramiden), scheint es im Fall der Kupfergewinnung aus Sulfiderzen einen einzigen Ursprung zu geben, von dem sich die Kenntnis dieser Technologie nach allen Himmelsrichtungen ausgebreitet hat. Nach dem Kenntnisstand des Jahres 2010 scheint die Technologie des Kupferschmelzens erstmals in Anatolien im 7. Jahrtausend v. Chr. erarbeitet worden zu sein. Von dort erfolgte die Ausbreitung der Kupfer- und Bronzezeit über Europa und über das Mittelmeer hinweg und erreichte Skandinavien etwa um 1700–1500 v. Chr. Die Archäologie der letzten dreißig Jahre hat hierzu einige neue Ergebnisse und Einsichten gebracht, die für einige Regionen frühere Datierungen erfordern. So sind aus den Balkanländern einige Kupferlagerstätten mit Verhüttungsprozessen bekannt geworden, die bis ins 5. Jahrtausend zurückreichen. Ferner wurden im Inntal erste Versuche zur Verarbeitung von Kupfererzen schon ab 4000 v. Chr. unternommen. Allerdings muss man berücksichtigen, dass von ersten Experimenten mit Kupfererzen bis hin zu einer kontinuierlichen und effizienten Produktion von Kupfer mehrere Jahrhunderte vergangen sein können.

Der Übergang vom Neolithikum zur Kupferzeit war auch aus anderen Gründen fließend und erstreckte sich zumindest in Kleinasien sowie in Südosteuropa über Jahrhunderte. Da Kupfer ein relativ weiches und duktiles Metall ist, war es zur Herstellung unzerbrechlicher

Schmuck-, Kult- und Gebrauchsgegenstände sehr gut geeignet und brachte für die Menschen des ausgehenden Neolithikums erheblichen Fortschritt und materiellen Gewinn mit sich. Für die Herstellung von Waffen und Werkzeugen wie Messer, Beile oder Pfeile, die harte und scharfe Spitzen oder Schneiden erfordern, war Kupfer jedoch wenig geeignet. Für derartige Anwendungen waren geeignete Steine, wie etwa Obsidian, sicherlich noch so lange im Gebrauch, bis sie durch die harte, aber gießbare Bronze ersetzt werden konnten. Nun machten die Menschen der Frühzeit wohl die Beobachtung, dass Kupfer, das aus verschiedenen Lagerstätten gewonnen wurde, unterschiedliche Härtegrade aufweisen konnte. In sulfidischen Lagerstätten findet sich Kupfer nicht nur in Gesellschaft von Eisen, mit dem es sich kaum legieren lässt, sondern auch in Gesellschaft von Arsen, Antimon und Blei. Während ein Zusatz von Blei das Kupfer weicher macht und auch den Schmelzpunkt deutlich erniedrigt, bewirkt ein Zusatz kleiner Mengen an Arsen oder Antimon eine merkliche Härtung. Beide Elemente konnten jedoch während der Kupfer- und Bronzezeit auch nicht annähernd rein dargestellt werden, sodass eine gezielte Metallurgie mit diesen Elementen damals nicht möglich war. Arsen und Antimon wurden schließlich in der Antike bekannt, zumal Arsen in geringen Mengen gediegen, d.h. als Element, in der Natur vorkommt. Eine technische Produktion aus den Sulfiderzen wurde aber erst in den letzten vierhundert Jahren möglich.

Die Situation änderte sich mit dem Auffinden von Zinnoxid-(Kassiterit-)Lagerstätten, etwa 2000–3000 v. Chr. Durch die Reduktion des Oxids ( $\text{SnO}_2$ ) ließ sich einigermaßen reines Zinn relativ leicht gewinnen. Da Zinn trotz seiner Weichheit bei einem Zusatz von ca. 5–15% eine deutliche Härtung des Kupfers bewirkt, wurde mit der Verfügbarkeit von Zinn auch eine systematische Metallurgie

möglich: Die Bronzezeit wurde geboren. Den Namen Bronze erhielten die Kupfer-Zinn-Legierungen von der süditalienischen Hafenstadt Brindisi (aes brundisium), die sich in der Antike zu einem wichtigen Umschlagplatz für Metalle und deren Legierungen entwickelte. In dem Maße, wie harte Bronze verfügbar wurde, verschwanden allmählich Pfeil und Speerspitzen, Messer und Schaber aus Stein.

Die Verhüttung von Eisenerzen und die Herstellung von Waffen und Geräten aus Eisen ist von den Hethitern etwa ab 1300 v. Chr. in Kleinasien nachgewiesen und später im östlichen Mittelmeer. Durch seine größere Härte verdrängte Eisen die Bronze schnell aus allen Anwendungen, bei denen Härte die entscheidende Eigenschaft war. Ferner fanden sich oberflächennahe Eisenerzlagerstätten wesentlich häufiger als Zinnminen, sodass Eisen schließlich auch billiger wurde als Bronze. Für eine breitere Anwendung des Eisens bestand jedoch bis zum Anfang des 18. Jahrhunderts der Nachteil, dass die Menschheit den Bau von Hochöfen nicht beherrschte, in welchen Temperaturen von über 1600 °C erreicht werden konnten. Da reines Eisen erst bei 1535 °C schmilzt, ließ es sich daher nicht in Formen gießen. Bei den Temperaturen von 1200–1300 °C, die in den Verhüttungsprozessen der vorausgehenden drei Jahrtausende erreicht werden konnten, wurde das Eisen in Form von inhomogenen Plaques, sogenannten Luppen, erhalten. Diese Luppen mussten durch aufwendige Schmiedearbeiten zu den gewünschten Waffen oder Geräten weiter verarbeitet werden. Erst etwa ab dem 14. Jahrhundert konnten Schachtöfen und ab 1720 konnten Hochöfen gebaut werden, die ein vollständiges Schmelzen des Eisens und den Guss in vorgefertigte Formen erlaubten. Bis zu diesem Zeitpunkt stellte die Verwendung von Bronze immer einen Vorteil dar, wenn es darum ging, das gewünschte Objekt durch Guss herzustellen. Von der Antike bis in die Neuzeit war dies beispielsweise immer der Fall,

wenn Kultgegenstände wie Amulette oder Kerzenständer, Kunstobjekte wie Statuen, Schmuckstücke wie Armreifen und Ohrringe oder auch Gebrauchsgegenstände wie Löffel und Vasen hergestellt werden sollten. Nach der Völkerwanderung kam das Gießen von Glocken sowie etwa ab 1400 das Gießen von Kanonenrohren hinzu. Der Beginn der Eisenzeit bedeutete daher keineswegs eine rasche und vollständige Verdrängung der Bronze, nicht einmal bei den Waffen.

Bronze ist zudem wesentlich weniger korrosionsanfällig als Eisen und auch leichter zu schmieden und zu prägen. Dementsprechend hatte die Bronze schon in der Antike bis in die Völkerwanderungszeit hinein einen hohen Stellenwert als Münzmetall. Für die Verwendung als Zahlungsmittel war Eisen also aus mehreren Gründen völlig ungeeignet.

Will man für die Zeit nach der Völkerwanderung große Zivilisationsschübe durch das Aufkommen neuer Materialien definieren, so fällt zunächst die Zeit von 1400–1500 ins Auge. In diesem Zeitraum fanden unabhängig voneinander zwei weitgehend parallele Entwicklungen statt, die auf unterschiedliche Weise die Zivilisation und Geschichte Europas prägten. Da wäre einmal die Entstehung einer mechanisierten, quasi technischen, Produktion von Papier zu nennen. Papier wurde in China zu Beginn der Han Dynastie (ca. 200 v. Chr.) erfunden. Die Kenntnis der Papierherstellung konnte lange Zeit geheim gehalten werden, doch durch die Ausbreitung des Islam entlang der Seidenstraße, änderte sich nach 700 die Situation. Insbesondere durch die Eroberung Samarkands kamen in der ersten Hälfte des achten Jahrhunderts mit der Papierherstellung vertraute, chinesische Handwerker an die Höfe arabischer Herrscher. Allmählich breitete sich die Kenntnis im gesamten islamischen Kulturkreis aus und gelangte so auch nach Südspanien, das nach 750 von Mauren in Besitz genommen worden war (Eroberung

Gibraltars um 742). In Xettiva bei Valencia wurde um 1144 die erste »Papierproduktion« Europas in Gang gesetzt. Dort und anschließend in Italien wurden die ersten Schritte zur Mechanisierung des Herstellungsprozesses erarbeitet. In all den Jahrhunderten zuvor war die Papiergewinnung ein Vorgang, bei dem jeder der zahlreichen Schritte ausschließlich Handarbeit war. Dazu gehörte das Zerkleinern des Rohmaterials, das die Cellulosefasern lieferte, deren Reinigung im Wasserbad, das Abschöpfen dünner Schichten von Cellulosefasern mit geeigneten Sieben und schließlich das Pressen und Trocknen des Vlieses. Bei anspruchsvolleren Papieren umfasste dieser Prozess auch die Zugabe von Pflanzenleimen und anorganischen Salzen. Besonders zeit- und kraftaufwendig war das Zerkleinern der Pflanzenfasern und Lumpen, die als Lieferanten der Cellulosefasern dienten. Mit Wasserkraft getriebene »Papiermühlen« brachten hier einen wesentlichen Fortschritt für die Produktion von Papier in größeren Mengen und zu niedrigeren Kosten. Die Kenntnis der Papierherstellung gelangte schließlich von Spanien über Südfrankreich sowie von Italien über die Alpen nach Süddeutschland. Hier wurde soweit bekannt die erste mit Wasserkraft betriebene Papiermühle, Geismühl genannt, im Jahre 1389 bei Nürnberg in Betrieb genommen. In den anschließenden fünf Jahrzehnten folgten zahlreiche deutsche und nordeuropäische Städte diesem Beispiel.

In all den Jahrhunderten zuvor war in Europa die Vervielfältigung oder Neufassung von Texten durch Schreiben mit Tinte auf Pergament erfolgt. Auf diese umständliche Art und Weise ließen sich Informationen jedoch nur sehr langsam vervielfältigen und verbreiten. Da außerdem nur ein kleiner Teil der Bevölkerung, vor allem Mönche und der höhere Klerus, des Schreibens kundig war, unterlag die Überlieferung und Verbreitung von Texten aller Art auch einer Zensur durch die Kirche. In den Jahren 1448

bis 1450 erfand Johann Gensfleisch, genannt Gutenberg, in Mainz den Buchdruck mit beweglichen Lettern. Dieses relativ effiziente Druckverfahren ließ sich nun nicht nur zur Vervielfältigung der Bibel und anderer Bücher, sondern auch zur Herstellung von Flugblättern und Zeitungen nutzen. Diese neue Anwendung kam etwa ab 1480 zunehmend in Schwung. Die Verfügbarkeit von großen Mengen an Papier (gemessen an der damaligen geringen Bevölkerungsdichte) ermöglichte nun eine rasche und weitreichende Verbreitung von Nachrichten und Texten aller Art. Spielten die Flugblätter zunächst vor allem die Rolle der Sensationspresse, welche vorzugsweise über Verbrechen, Monster und übernatürliche Vorgänge berichtete, so änderte sich die Situation rasch, nachdem Martin Luther 1517 seine 95 Thesen gegen den Ablasshandel an der Schlosskirche in Wittenberg angeschlagen hatte. Damit war der Startschuss für die Reformationsbewegung gegeben und Flugblätter wie Zeitungen füllten sich nun überwiegend mit religiösen und politischen Texten. Andersherum lässt sich feststellen, dass die schnelle Produktion und Verbreitung von Flugblättern und Zeitungen eine wesentliche Voraussetzung für die rasche Verbreitung der Reformationsbewegung war. Kurz gesagt, in den Jahren von 1480 bis 1530 ereignete sich die erste »Medienrevolution Europas«, die am ehesten mit der Entstehung des Internets im 20. Jahrhundert vergleichbar ist.

Eine in mancherlei Hinsicht parallele Entwicklung, die sich jedoch auf einer ganz anderen Ebene abspielte, ergab sich durch die Entdeckung des Schwarzpulvers und seiner Verwendung als Schießpulver und Explosivstoff. Auch Schwarzpulver, bestehend aus Holzkohle, Schwefel und Kalisalpeter ( $\text{KNO}_3$ ), wurde wie Papier zuerst in China erfunden, allerdings wesentlich später, nämlich im II. Jahrhundert. Schwarzpulver wurde in China zunächst vor allem für Feuerwerkskörper verwendet. Ferner wurden in

zahlreichen Kriegen, vor allem gegen die Mongolen, verschiedene Arten von Brandsätzen eingesetzt. Diese enthielten Kalisalpeter, um ein intensives Abbrennen auch ohne größere Sauerstoffzufuhr von außen zu gewährleisten. Diese Brandsätze wurden vor allem dazu verwendet, die hölzernen Bauwerke belagerter Städte, Belagerungsmaschinen und die Schiffe angreifender Truppen in Brand zu setzen. Eine systematische Entwicklung von Feuerwaffen mit metallenen Rohren fand dagegen in China für lange Zeit nicht statt.

Ob die Kenntnis der Schwarzpulver-Zubereitung auf denselben Wegen wie die der Papierherstellung nach Europa gelangte oder es in Europa zu einer unabhängigen Erfindung und Entwicklung kam, ließ sich bis heute nicht eindeutig klären. Derartige Brandsätze wurden als »griechische Feuer« aus verschiedenen Angriffs- und Verteidigungskriegen Konstantinopels bekannt. Das Geheimnis ihrer Zusammensetzung kann sehr wohl über die Seidenstraße nach Kleinasien gelangt sein. Derartige Brandbeschleuniger sind aber nicht mit der Entwicklung eines für Schieß- und Sprengzwecke optimierten Schwarzpulvers gleichzusetzen. Fest steht, dass der Minoritenmönch Roger Bacon in seiner um 1247 in Oxford verfassten Schrift »De secretis operibus artis et naturae« eine optimale Zusammensetzung von Schwarzpulver beschreibt. Dagegen ist die Erfindung von Schwarzpulver durch den Franziskanermönch Berthold Schwarz Anfang des 14. Jahrhunderts in Freiburg i. Br. eine unbewiesene Legende.

Parallel zur »technischen« Produktion von Papier in Papiermühlen entstanden nach 1350 mit Wasserkraft betriebene Pulvermühlen, die es ermöglichten Schwarzpulver in größeren Mengen herzustellen. Das »Feinmahlen« der Komponenten und deren innige Durchmischung waren entscheidend für ein

reproduzierbares schnelles Abbrennen des Pulvers. Diese Entwicklung zog dreierlei Konsequenzen nach sich. Als erste, allerdings unbedeutendste Konsequenz ist die Entstehung einer ausgefeilten Pyrotechnik zu nennen. Im Barock konnte kein Fürst darauf verzichten, ein größeres Fest mit einem beeindruckenden Feuerwerk zu krönen. Eine zweite, wesentlich wichtigere Konsequenz der Verfügbarkeit von Schwarzpulver war die Entwicklung der Artillerie und deren Einfluss auf die äußere Gestalt der europäischen Städte. Im Unterschied zu China setzte in Europa schon kurz nach Bekanntwerden des Schwarzpulvers auch die Entwicklung von Feuerwaffen ein, deren Zweck es war, Geschosse möglichst weit und zielgenau gegen den Feind zu schleudern. Die erste erhalten gebliebene Abbildung eines primitiven Kanonenrohres, aus dem dicke Bolzen mit scharfen Spitzen verschossen wurden, ist aus dem Jahre 1326 (englische Handschrift des Walter de Milimete) überliefert. Erste große Kanonenrohre, die zum Verschießen von Steinkugeln geeignet waren, wurden gegen Ende des 14. Jahrhunderts angefertigt. Diese noch sehr primitiven Rohre wurden aus zahlreichen gleich langen Eisenstangen, die parallel um einen Baumstamm angeordnet waren, mühsam zusammengeschiedet. Sie wurden auf Schlitten gezogen oder mithilfe mehrerer gekürzter Baumstämme vorwärts gerollt und dienten ausschließlich zur Belagerung von Burgen und Städten. Mit der Entdeckung neuer Zinnlagerstätten, vor allem im Erzgebirge, wurde etwa ab 1450 Bronze in größeren Mengen zugänglich, und in der Folgezeit wurden Kanonen unterschiedlicher Größe, vor allem aus Bronze, gegossen und in der Feldschlacht eingesetzt. Bronzene Kanonenrohre dienten in allen europäischen Armeen noch bis zum Ende der Napoleonischen Kriege.

Die Verwendung von Kanonen zur Belagerung von Städten hatte gravierende Folgen für den Städtebau. Die Mauern,

mit denen die mittelalterlichen Stadtkerne und die angrenzenden Vorstädte geschützt waren, konnten dem Beschuss aus Kanonen nicht lange standhalten. Daher wurden im 16. und 17. Jahrhundert mächtige Erdwälle vor den Stadtmauern aufgeworfen, in denen die Kanonenkugeln ohne Schaden anzurichten stecken blieben. Für den Ausbau dieser Wallanlagen und um freies Schussfeld für die Kanonen der Stadt zu schaffen, mussten die meisten Vorstädte aufgegeben und eingeebnet werden. Die solchermaßen stark befestigten Städte steckten nun für 300 Jahre im engen Korsett ihrer Wallanlagen und konnten nicht mehr wachsen.

Die dritte und mit Abstand bedeutendste Konsequenz des Beherrschens der Pulverproduktion war die Entwicklung von Kanonen und Handfeuerwaffen für die Verwendung auf Schiffen und in Schlachten auf freiem Felde. Damit hatten die Europäer die militärische Potenz die Weltmeere zu beherrschen und Kolonien zu erobern. So gelang es z. B. einer relativ geringen Zahl von Spaniern die großen und kriegserfahrenen Reiche der Azteken und Inkas zu erobern. Ganz Süd- und Mittelamerika sowie der Südwesten Nordamerikas wurden von Portugiesen und Spaniern in Besitz genommen. Im Falle Afrikas errichteten zuerst die Portugiesen befestigte Handelsplätze entlang der Küste, und anschließend erfolgte die schrittweise Kolonisierung des ganzen Kontinents durch alle größeren europäischen Mächte. Indien, China und andere asiatische Länder wurden nach dem gleichen Muster teils unterworfen, teils zu Handelsverträgen gezwungen, die nur für den europäischen Vertragspartner günstig waren. Kaum einer dieser Eroberungspläne hätte Erfolg gehabt, wenn die Europäer nicht über effektive Feuerwaffen verfügt hätten.

Um 1500, als die Kolonialisierung fremder Länder ihren Anfang nahm, waren Reichweite, Treffsicherheit und Schussfolge einer Arkebuse oder Muskete auch nicht

nennenswert besser als die einer guten Armbrust, aber die psychologische Wirkung der Schüsse war ungleich größer. Dieser psychologische Effekt war insbesondere bei Völkern wirksam, für die Blitz und Donner noch göttliche Attribute waren. Die mit Feuerwaffen auftretenden Weißen hatten zunächst den Nimbus über göttliche Kräfte zu verfügen auf ihrer Seite.

Im Gefolge der Eroberung Süd- und Mittelamerikas sowie Indiens und Indochinas gelangten ungeheure Schätze an Silber, Gold, Edelsteinen, Seide und Gewürzen nach Europa. Dieser ungeheure Gewinn finanzierte einerseits die kulturelle Blüte der Renaissance und des Barocks, andererseits aber auch die zahlreichen Kriege im Europa des 16., 17. und 18. Jahrhunderts.

Will man nun in den letzten vier Jahrhunderten einen auf neuen Materialien basierenden Zivilisationsschub identifizieren, so scheint dem Autor am ehesten die Zeit von 1920 bis 1970 dafür infrage zu kommen. In diese Zeit fallen die Entwicklung der Polymerchemie und die Nutzung von Erdölquellen als neue Ressourcen für Chemikalien und Energie. Die großtechnische Herstellung von Polymeren, oft etwas irreführend unter dem Begriff Kunststoffe summiert, hatte sowohl weitreichende Folgen für den Fortschritt auf mehreren Forschungsgebieten (neben Polymerchemie auch Biochemie, Molekularbiologie, Gentechnik und Medizin) als auch für die Gestaltung des alltäglichen Lebens. Es sind nicht nur die zahlreichen Gebrauchsgegenstände und Verpackungsmaterialien, die den heutigen Alltag dominieren. Ohne billig zugängliche, elektrisch isolierende Materialien hätte auch die nach 1900 verfügbare Elektrizität nicht in Industrie und Privatleben Einzug halten können. Es lässt sich daher etwas salopp sagen, dass die Menschheit seit etwa 1920 im »Kunststoff-Zeitalter« lebt. Eine ausführlichere Darstellung dieser wichtigen Entwicklung soll im folgenden Abschnitt gegeben werden.

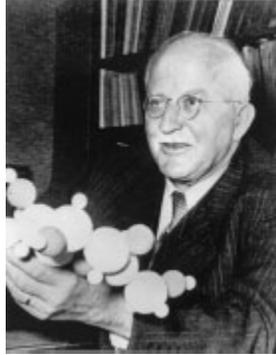
# Das Zeitalter der Kunststoffe

Unter den zahlreichen Erfindungen und Entdeckungen, mit denen Chemiker die Menschheit beglückt haben, gibt es wohl nur zwei, die man als weitgehende Paradigmenwechsel einstufen kann. Da ist zum einen die Synthese organischer Moleküle im Labor, vor allem die erste Harnstoffsynthese, die Friedrich Wöhler im Jahre 1826 aus dem anorganischen Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Cyanationen ( $\text{OCN}$ ) vollzogen hat (s. Kapitel »Aluminium«), und zum anderen die von Hermann Staudinger (1881–1965) erarbeitete Beweisführung für die Existenz langer, ausschließlich kovalent (d.h. aus stabilen Atombindungen) aufgebauter Polymerketten. In den Jahrzehnten und Jahrhunderten vor Wöhlers bahnbrechender Arbeit waren alle mit Alchemie oder Chemie mehr oder weniger vertrauten Wissenschaftler, Apotheker und Mediziner der Ansicht, dass zwischen der anorganischen und organischen Chemie keine Querverbindungen bestünden. In anderen Worten, die Chemie der unbelebten Materie und die organische Chemie der Lebewesen wurden als zwei Bereiche der Schöpfung aufgefasst, zwischen denen eine für den experimentellen Chemiker unüberwindbare Barriere existierte. In allen Lebewesen wurde eine besondere, auf alle organischen bzw. biochemischen Reaktionen einwirkende Kraft (*vis vitalis* oder *phlogiston*) vermutet. Wöhler veränderte daher zwar das Weltbild der Menschheit, hatte aber auf den Alltag und das Niveau der damaligen Zivilisation keinen direkten Einfluss.

Die Entstehung der Polymerchemie, der Wissenschaft von den Kunststoffen, zu Anfang des 20. Jahrhunderts speiste sich aus mehreren Quellen. Eine herausragende Rolle spielte dabei der spätere Nobelpreisträger Hermann Staudinger. Zum besseren Verständnis sollen jedoch zunächst einige

fundamentale Begriffe der Polymerchemie hinsichtlich ihres Ursprungs und ihrer Bedeutung erklärt werden.

Hermann Staudinger der Vater der Polymerchemie



Das Adjektiv »polymer« (direkt aus dem Griechischen übersetzt: »vielteilig«) wurde erstmals von dem schwedischen Chemiker J. Berzelius 1832 in einer schwedischen Publikation gebraucht (ein Jahr später auch in einer deutschen Veröffentlichung). Gemessen an unserem heutigen Verständnis basierte dieser Begriff jedoch auf drei Missverständnissen. Erstens wurde er für vermeintliche Oligomere (»wenigteilige« Moleküle) des Ethylens verwendet. Zweitens bezeichnete Berzelius damit ölige Beiprodukte der Weinherstellung, die gar keine Oligomere des Ethylens waren, und drittens verstand Berzelius unter Ethylen ein Gas mit der Formel  $\text{CH}_2$ . Dennoch setzten sich die Begriffe polymer und Polymer durch, wurden aber noch etwa hundert Jahre lang für Oligomere benutzt. So berichtete Berthelot 1866 und 1867 über die Polymerisation von Acetylen, beschrieb aber die Reaktionsprodukte Benzol und Styrol. Ferner wurden in Arnolds »Repetitorium der Chemie« noch 1896 Formaldehyd ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), Essigsäure ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ ), Milchsäure ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ ) und Glucose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) als eine Serie von Polymeren vorgestellt. Erst ab 1933 verwendete Helferich die Begriffe Oligosaccharide und Oligopeptide im heutigen Sinne, wodurch indirekt auch der

Begriff Polymere auf die Bezeichnung langer Molekülketten festgelegt wurde.

Die erstaunlich späte Festlegung dieser fundamentalen Begriffe ist erwähnenswert, weil sie die Denkweise der Wissenschaftler vor 1935 widerspiegelt. In der Zeit davor waren fast alle Chemiker und mit Naturprodukten befassten Wissenschaftler davon überzeugt, dass alle Biopolymere (Cellulose, Stärke, Proteine, Naturkautschuk) und deren Derivate sowie die wenigen damals bekannten synthetischen Polymere (Polystyrol, Polyformaldehyd) Assoziate von kovalent aufgebauten Oligomeren darstellen. Es war das besondere Verdienst Staudingers eindeutig nachgewiesen zu haben, dass lange Polymerketten existieren können, deren Hunderte oder Tausende von Atomen ausschließlich durch Kovalenzen (feste Atombindungen) zusammengehalten werden. Staudinger benötigte zwanzig Jahre intensiver Arbeit, um die internationale Wissenschaftsgemeinde von der Richtigkeit seiner Hypothese überzeugen zu können. Zu seinen wissenschaftlichen Gegnern gehörten auch zahlreiche »Koryphäen« der damaligen Zeit, insbesondere die Nobelpreisträger E. Fischer (1852–1919, Nobelpreis 1902) und H. Wieland (1877–1957, Nobelpreis 1927).

Fischer und seinen zahlreichen hervorragenden Mitarbeitern war es noch vor der Jahrhundertwende gelungen, Polysaccharide durch schrittweise Synthese mit Molekulargewichten bis zu 4000 g/mol herzustellen. Bei Polypeptiden gelang die schrittweise Synthese bis zu Molekulargewichten um 2000 g/mol. Fischer war der Ansicht, dass auch die von lebenden Organismen produzierten Biopolymere keine Molekulargewichte oberhalb von 5000 g/mol haben könnten. Er starb 1919 und konnte somit keinen Einfluss mehr auf den weiteren Verlauf der Auseinandersetzung nehmen.