



WILEY-VCH

Hans R.
Kricheldorf

Menschen und ihre Materialien

Von der
Steinzeit
bis heute

ERLEBNIS
wissenschaft



Hans R. Kricheldorf

Menschen und ihre Materialien

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 Wundererelement?
Wahrheit oder Hokuspokus
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, Sternstaub
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

Druck und Bindung in Deutschland durch
Ebner & Spiegel GmbH, Ulm

Druckert auf säurefreiem Papier

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

Inhalt

Vorwort XIII

Historischer Überblick 1

Von der Steinzeit zur Neuzeit 1

Das Zeitalter der Kunststoffe 9

Literatur 17

Kupfer, Bronze, Messing, Geld 19

Kupfer 19

Bronze 24

Messing 27

Geld 31

Was wäre wenn? 33

Literatur 34

Eisen und Stahl 35

Eisen, Herstellung und Eigenschaften 35

Stahl 40

Waffen mit Rufnamen 45

Was wäre wenn? 50

Literatur 51

Aluminium 53

Herstellung und Eigenschaften 53

Verwendung 56

Was wäre wenn? 59

Literatur 61

Silizium und Silikate	63
Silikate	63
Silizium, Herstellung und Eigenschaften	69
Silizium-Anwendungen	71
Was wäre wenn?	75
Literatur	75
Keramik	77
Herstellung und Geschichte	77
Tongut – Baustoffe	78
Tongut – Sanitärerzeugnisse	80
Tongut – Geschirr	81
Tonzeug – Terracotta	83
Tonzeug – Steinzeug	84
Tonzeug – Porzellan	85
Hochleistungskeramik	87
Was wäre wenn?	90
Literatur	90
Glas	91
Die Glasherstellung und deren Geschichte	92
Verarbeitung und Verwendung	95
Was wäre wenn?	106
Literatur	106
Kunstdünger und Agrochemikalien	107
Kunstdünger	107
Agrochemikalien	114
Was wäre wenn?	122
Literatur	122
Cellulose, Papier, Textilfasern und Dynamit	123
Cellulose	123
Papier	126
Baumwolle und andere Naturfasern	133
Dynamit und Schießpulver	143

Was wäre wenn? 148
Literatur 148

Synthetische Textilfasern 149

Wallace Hume Carothers und die Erfindung der Nylons 149
Paul Schlack und das Perlon (Nylon-6) 153
Weitere Fasermaterialien 155
Was wäre wenn? 164
Literatur 165

Kunststoffe, Werkstoffe, Plastik 167

Klassifizierung und Verarbeitung 167
Duroplasten 170
Polystyrol (PS) 173
Polyethylen (PE) 177
Polypropylen (PP) 181
Polyvinylchlorid (PVC) 185
Thermoplasten 186
Was wäre wenn? 190
Literatur 190

Filme, Folien, Flaschen, Membranen 191

Filme 191
Folien 193
Flaschen 195
Membranen 197
Was wäre wenn? 202
Literatur 202

Natur-Kautschuk, Gummi, Elastomere 203

Natur-Kautschuk (NK) 203
Buna und Auschwitz 206
Moderne Elastomere 217
Was wäre wenn? 219
Literatur 219

Fette, Seifen, Biomaterialien	221
Einleitung	221
Fette und Speiseöle	222
Seife und Waschmittel	224
Polysaccharide	229
Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen	231
Was wäre wenn?	236
Literatur	236
Index	237

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 duktileres 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 (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 Spanien, das nach 750 von Mauren in Besitz genommen worden war (Eroberung Gibraltars um 742). In Xetiva 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 Kalisalpete (KNO₃), wurde wie Papier zuerst in China erfunden, allerdings wesentlich später, nämlich im 11. 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 Kalisalpete, 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 zusammengeschnitten. 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 die-

ser 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 (NH_3) und Cyanationen (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 verän-