

Deutschland 8,00 € • Österreich 9,00 € • Schweiz 15,80 sfr • Benelux 9,50 € • Finnland 11,50 € • Frankreich 10,50 € • Griechenland 10,50 € • Italien 10,50 € • Portugal 10,50 € • Spanien 10,50 €

GEO kompakt Nr. 18

Die Grundlagen des Wissens



Die 100 wichtigsten Erfindungen

Vom Feuer
Die

GEO kompakt Die 100 wichtigsten Erfindungen



THINKTANK
Eine Fabrik der Denker

NIKOLA TESLA
Das betrogene Genie

BIONIK
Vorbild Evolution

AUTO-ZUKUNFT
Das 800-Milliarden-Projekt



Liebe Leserin, lieber Leser,

die Erfolgsgeschichte der Menschheit begann vor 1,5 Millionen Jahren mit einer Erfindung: dem Faustkeil. So ein Werkzeug planmäßig fertigen zu können, das unterschied den Urmenschen von seinen affenähnlichen Vorfahren. Es versetzte ihn in die Lage, nun auch große Beutestücke zu zerlegen, Holz zu bearbeiten, sich Unterkünfte zu bauen. Und so heißt dieser frühe Vorfahr des modernen Menschen bei den Anthropologen aufgrund seiner Fähigkeiten *Homo ergaster*, „der Handwerker“.

Dank seiner Erfindungsgabe war *Homo ergaster* in der Lage, seine Heimat Afrika zu verlassen und halb Asien zu besiedeln. In seiner Nachfolge stieg der moderne Mensch nach und nach zum Herrscher über den Planeten Erde auf – wuchs sozusagen über sich selbst hinaus. Speere und Messer, Pfeil und Bogen halfen ihm, zu jagen und sich gegen Feinde durchzusetzen. Das Feuer erleuchtete die Nacht, das Rad ermöglichte einen effizienteren Lastentransport, das Fischernetz gab ihm die Chance zur Ernte auf hoher See und der Kochtopf die Gelegenheit, Erlegtes erstmals zu garen und damit haltbarer zu machen.

Fortan entwickelten die Erdenbewohner in immer kürzeren Abständen neue Werkzeuge, Geräte und schließlich Maschinen. Und fast jede Neuerung, die der Homo ersann und die sich durchsetzte, erleichterte ihm das Dasein. Doch obwohl unsere heutige Zivilisation auf Technik und Innovationen beruht, hatten es die Tüftler mit ihren Einfällen nicht immer leicht.

Denn viele Erfindungen waren ihrer Zeit weit voraus – so das Rad bei den Indianern Mexikos (die es anfangs nur als Spielzeug verwendeten, weil sie keine Zugtiere hatten und damit auch keinen Bedarf für einen Wagen mit Rädern). Oder der Kompass, den die Chinesen vor mehr als 2200 Jahren entwickelten, zunächst aber nur für zeremonielle Zwecke nutzten. Oder der Fallschirm, den Leonardo da Vinci um 1500 entwarf – 350 Jahre vor dem ersten Flugzeug.

Ob eine Innovation von Zeitgenossen auch tatsächlich genutzt wird, hängt häufig eben nicht von der Genialität ihres Schöpfers ab, sondern von der Gesellschaft und davon, ob sie sich dank alter Gewohnheiten gegen das Neue sträubt.

Jede Erfindung braucht demnach ein gutes Timing. Und so kommt es, dass manche Innovation, die sich nur in Details von ihrem Vorgängermodell unterscheidet, deshalb berühmt wird, weil Historiker mit ihr später den Beginn einer Epoche verbinden. Wie beim Bau des ersten brauchbaren Dynamos, den Werner von Siemens 1866 entwickelt: Seine Maschine zur Erzeugung großer Stromstärken markiert den Beginn des elektrischen Zeitalters.

Nach der GEOkompakt-Ausgabe über die „100 größten Forscher aller Zeiten“, erschienen vor einem Jahr, präsentieren wir nun die 100 wichtigsten Erfindungen der Geschichte – angefangen beim Faustkeil, endend beim Nanomotor aus dem Jahr 2000.

Entscheidend für die Auswahl – erstellt von meinen Kollegen Jörn Auf dem Kampe und Dr. Arno Nehlsen sowie den Wissenschaftshistorikern Prof. Dr. Gudrun Wolfschmidt und Prof. Dr. Stefan Kirschner – war, ob die jeweilige Erfindung:

- mehr war als ein Einfall, nämlich ein konkreter Gegenstand (wie der Hammer) oder eine innovative Substanz (wie der Mineraldünger);
- alltägliche Arbeiten erheblich erleichterte, wie etwa das Wasserrad;
- eine neue Epoche begründete, wie der Buchdruck;
- der Wissenschaft zu einem Durchbruch verhalf, wie das Mikroskop;
- der Heilkunst einen neuen Weg eröffnete, wie die Ätherkugel;
- unserer Kultur eine neue Dimension hinzufügte, wie die Filmkamera.

Und natürlich musste das Team auch Erfindungen aufnehmen, bei denen sich lange diskutieren lässt, ob sie die Menschheit vorangebracht haben – etwa das Schießpulver oder der Atomreaktor –, deren Relevanz aber unbestreitbar ist. Andererseits wurden Innovationen ausgeklammert, die eher für eine Idee stehen – wie das World Wide Web. (Unter www.geokompakt.de laden wir Sie dennoch herzlich ein, unsere Auswahl zu kommentieren.)

Auch wenn so mancher Tüftler als weltfremder Spinner gesehen wird – unsere Welt wäre ohne die Ideen der Erfinder, ohne Maschinen, Apparate, Geräte und andere technische Hilfsmittel eine ganz andere. Es gäbe fast nichts von dem, was heute unser Leben erleichtert: weder Schraube noch Dübel, weder Papier noch Glas, weder Kühlschrank noch Konservendose. Auch kein WC.

Und nicht einmal eine Lampe, die das Dunkel der Nacht erhellt.



Das Auswahlgremium: die GEO-Redakteure Jörn Auf dem Kampe (der die Produktion dieses Heftes verantwortet hat) und Dr. Arno Nehlsen sowie die Wissenschaftshistoriker Prof. Stefan Kirschner und Prof. Gudrun Wolfschmidt (beide Universität Hamburg)

Herzlich Ihr

Michael Steyer

Chronologie der 100 Erfindungen

1 Faustkeil vor 1,5 Millionen Jahren	20	26 Wasserschöpfrad spätestens um 1200 v. Chr.	43
2 Speer vor 400 000 Jahren	20	27 Flaschenzug spätestens 550 v. Chr.	44
3 Messer vor 200 000 Jahren	21	28 Kompass frühestens 475 v. Chr.	45
4 Klebstoff vor spätestens 80 000 Jahren	22	29 Zahnrad spätestens 300 v. Chr.	45
5 Hammer vor 60 000 Jahren	23	30 Abakus spätestens 300 v. Chr.	46
6 Bohrer vor spätestens 40 000 Jahren	23	31 Schraube um 300 v. Chr.	46
7 Musikinstrument vor spätestens 37 000 Jahren	24	32 Spinnrad frühestens um 200 v. Chr.	47
8 Feuerzeug vor 32 000 Jahren	25	33 Beton um 150 v. Chr.	48
9 Nähnadel vor 25 000 Jahren	26	34 Papier um 140 v. Chr.	54
10 Pfeil und Bogen vor spätestens 20 000 Jahren	26	35 Glas um Christi Geburt	56
11 Lampe vor spätestens 17 000 Jahren	27	36 Destillationsapparat um 100 n. Chr.	56
12 Topf vor spätestens 16 000 Jahren	27	37 Steigbügel 3. Jahrhundert n. Chr.	57
13 Boot spätestens 8000 v. Chr.	28	38 Windmühle vermutlich 9. Jahrhundert n. Chr.	57
14 Fischernetz 6800 v. Chr.	28	39 Schießpulver um 800	58
15 Webstuhl um 6000 v. Chr.	29	40 Rakete um 1000	60
16 Spiegel um 6000 v. Chr.	29	41 Buchdruck um 1041	61
17 Verhüttung 5000 v. Chr.	30	42 Uhr um 1280	62
18 Pflug spätestens 4000 v. Chr.	30	43 Brille um 1280	62
19 Rad spätestens 3650 v. Chr.	31	44 Kondom spätestens 1564	63
20 Joch um 3500 v. Chr.	31	45 Mikroskop 1590	63
21 Segel spätestens 3200 v. Chr.	40	46 WC 1596	64
22 Säge um 2500 v. Chr.	41	47 Thermometer um 1600	65
23 Seife um 2500 v. Chr.	41	48 Fernrohr 1608	65
24 Pille um 1550 v. Chr.	42	49 Unterseeboot um 1620	76
25 Drehbank vermutlich um 1500 v. Chr.	42	50 Rollstuhl 1655	76



Die erste Erfindung der Menschheit: der Faustkeil 20



Unscheinbar, aber kriegsentscheidend: der Steigbügel 57



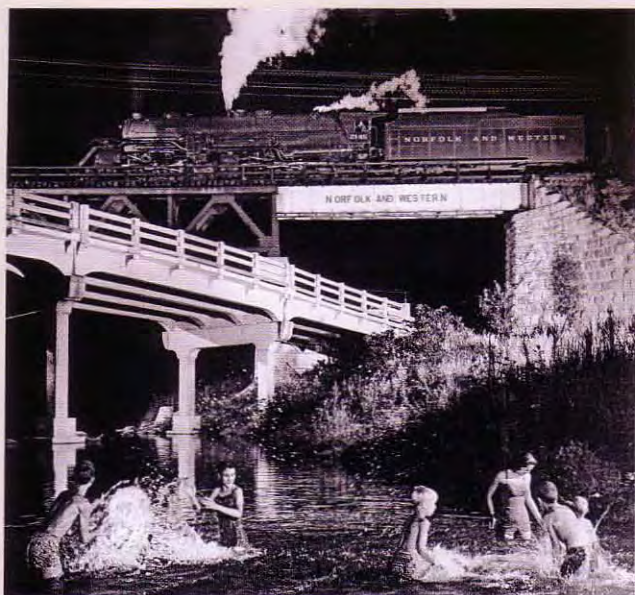
Den Kompass erbauen Chinesen ab 475 v. Chr. Europäer fügen später eine Windrose für die Himmelsrichtungen hinzu 45



Mit der Schraube beginnt das Maschinenzeitalter 46



Thomas A. Edison und sein sprechender Phonograph 106



Die Dampfmaschine auf Rädern revolutioniert 1804 den Verkehr – noch 150 Jahre später rattern Dampfloks durch die USA 82



Das erste Automobil wird 1769 von dem Franzosen Nicolas Cugnot vorgestellt – und bewegt sich noch per Dampfkraft 81



Seit mehr als 3000 Jahren beherrschen Menschen die Kunst, Stahl herzustellen – wie hier in Eisenhüttenstadt 100

51	Waschmaschine	1677	77	76	Dynamo	1866	103
52	Heißluftballon	1709	77	77	Dynamit	1867	104
53	Schreibmaschine	1714	78	78	Druckknopf	1870	105
54	Lochkarte	1728	78	79	Telefon	1876	105
55	Blitzableiter	1752	79	80	Phonograph	1877	106
56	Dampfmaschine	1769	80	81	Glühlampe	1879	107
57	Automobil	1769	81	82	Dampfturbine	1883	107
58	Batterie	1799	81	83	Filmkamera	1886	116
59	Eisenbahn	1804	82	84	Röntgenapparat	1895	118
60	Konservendose	1810	84	85	Radio	1896	118
61	Fotoapparat	1826	84	86	Radargerät	1904	119
62	Schiffspropeller	1826	85	87	Kunststoff	1907	120
63	Kühlschrank	1834	86	88	Dübel	1911	120
64	Brennstoffzelle	1839	87	89	Echolot	1913	121
65	Gummi	1839	87	90	Fließband	1913	128
66	Mineraldünger	1842	94	91	Fernsehgerät	1925	130
67	Telegraph	1844	95	92	Glasfaser	1930	130
68	Ätherkugel	1846	95	93	Computer	1941	131
69	Flugzeug	1849	96	94	Atomreaktor	1942	132
70	Nähmaschine	1851	98	95	Herzschrittmacher	1952	133
71	Spritze	1853	98	96	Solarzelle	1954	133
72	Aufzug	1854	99	97	Satellit	1957	134
73	Stahl	1855	100	98	Laser	1960	134
74	Verbrennungsmotor	1860	102	99	3-D-Drucker	1986	135
75	Fahrrad	1863	102	100	Nanomotor	2000	135

Porträts und Reportagen

Hightech-Erfindungen

Der Mensch wächst über sich hinaus 8

Leonardo da Vinci

Der Mann, der sich selbst voraus war 32

Perpetuum Mobile

Der Reiz des Unmöglichen 50

Bionik

Wenn die Natur als Vorbild dient 66

Geschichte der Mine

Waffenerfinder – die Tüftler des Todes 88

Nikola Tesla

Das betrogene Genie 108

Thinktank

Die Fabrik der Ideen 122

Auto-Forschung

Patent DE102004006468 oder: die Geschichte der Einparkhilfe 136

Martensteins Kolumne

Der Plastik-Milchtopf und die dritte Hand 152

Impressum, Bildnachweis, Autorenverzeichnis 151

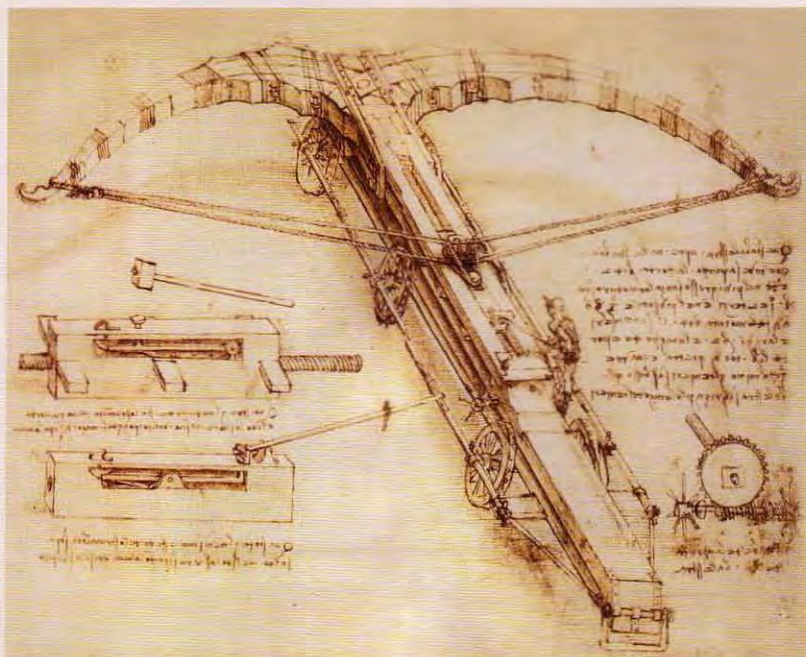
Vorschau „Naturgewalten“ 151

Redaktionsschluss dieser
Ausgabe: 18. Februar 2009

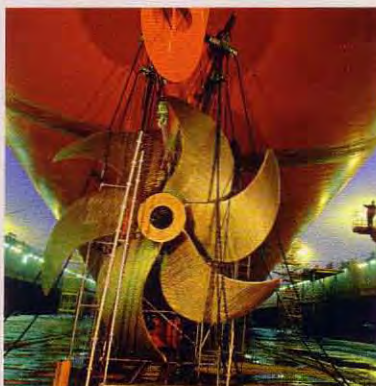
Alle Fakten und Daten in diesem
Heft sind vom GEOkompakt-
Verifikationsteam auf Präzi-
sion, Relevanz und Richtigkeit
überprüft worden.

Informationen zum Thema und
Kontakt zur Redaktion unter
www.geokompakt.de

Titelbild: Jonas Hamers,
Illustrationen: GEOkompakt



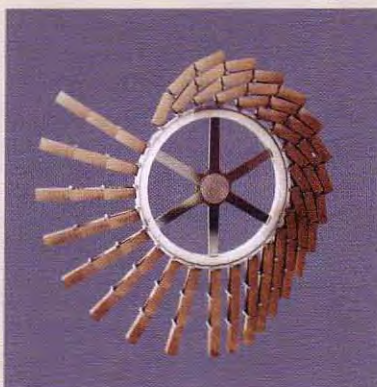
Leonardo da Vinci entwickelt gewaltige Armbrüste sowie Flugzeuge und Fallschirme. Doch weshalb setzt er offenbar keinen seiner Entwürfe jemals um? 32



Schiffspropeller, Rakete, Chip: Von Giganten und kleinen Wunderwerken 8



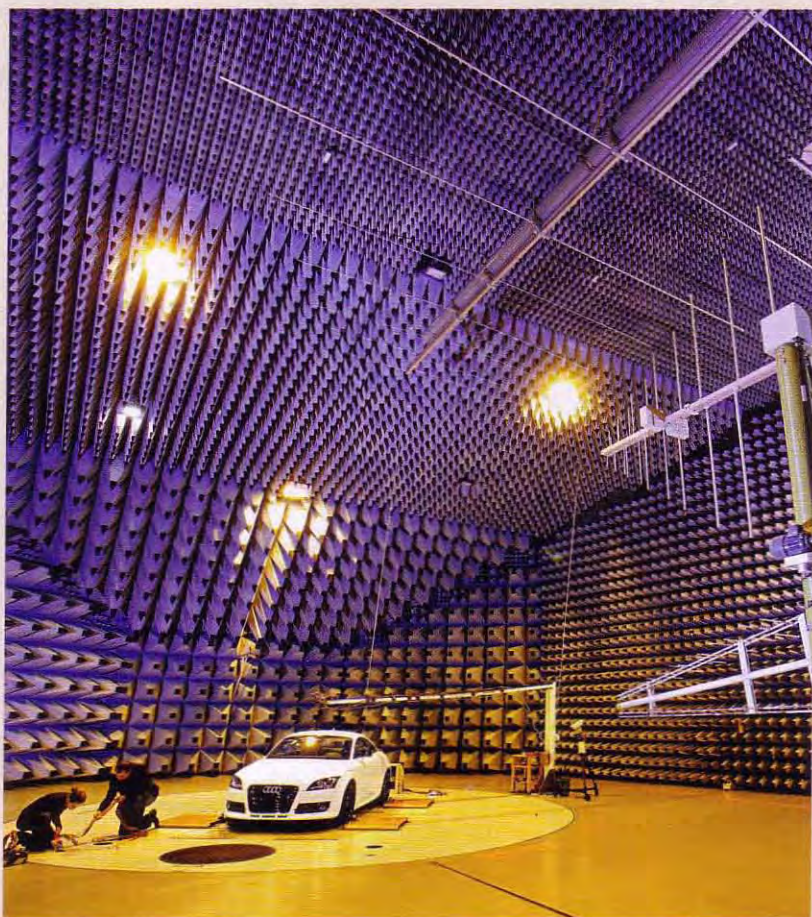
Minenopfer in der Sahara: Wenn Ingenieure eine tödliche Waffe bauen 88



Die unmögliche Erfindung: Eine kurze Geschichte des Perpetuum Mobile 50



Ideenfabrik: Nathan Myhrvold und sein Erfinder-Kollektiv 122



Erfinder heute: Wie die Entwicklungsabteilungen von Autokonzernen arbeiten – und wie bei Volkswagen die jetzt schon legendäre Einparkhilfe entstand

136



Porträt eines Betrogenen: Der Serbe Nikola Tesla war einer der genialsten Erfinder aller Zeiten, doch immer wieder ließ er sich um die Früchte seiner Arbeit bringen

108

Die 100 Erfindungen in alphabetischer Reihenfolge

Abakus	46	Lampe	27
Ätherkugel	95	Laser	134
Atomreaktor	132	Lochkarte	78
Aufzug	99	Messer	21
Automobil	81	Mikroskop	63
Batterie	81	Mineraldünger	94
Beton	48	Musikinstrument	24
Blitzableiter	79	Nähmaschine	98
Bohrer	23	Nähnadel	26
Boot	28	Nanomotor	135
Brennstoffzelle	87	Papier	54
Brille	62	Pfeil und Bogen	26
Buchdruck	61	Pflug	30
Computer	131	Phonograph	106
Dampfmaschine	80	Pille	42
Dampfturbine	107	Rad	31
Destillationsapparat	56	Radargerät	119
Drehbank	42	Radio	118
3-D-Drucker	135	Rakete	60
Druckknopf	105	Rollstuhl	76
Dübel	120	Röntgenapparat	118
Dynamit	104	Säge	41
Dynamo	103	Satellit	134
Echolot	121	Schießpulver	58
Eisenbahn	82	Schiffspropeller	85
Fahrrad	102	Schraube	46
Faustkeil	20	Schreibmaschine	78
Fernrohr	65	Segel	40
Fernsehgerät	130	Seife	41
Feuerzeug	25	Solarzelle	133
Filmkamera	116	Speer	20
Fischernetz	28	Spiegel	29
Flaschenzug	44	Spinnrad	47
Fließband	128	Spritze	98
Flugzeug	96	Stahl	100
Fotoapparat	84	Steigbügel	57
Glas	56	Telefon	105
Glasfaser	130	Telegraph	95
Glühlampe	107	Thermometer	65
Gummi	87	Topf	27
Hammer	23	Uhr	62
Heißluftballon	77	Unterseeboot	76
Herzschrittmacher	133	Verbrennungsmotor	102
Joch	31	Verhüttung	30
Klebstoff	22	Waschmaschine	77
Kompass	45	Wasserschöpftrad	43
Kondom	63	WC	64
Konservendose	84	Webstuhl	29
Kühlschrank	86	Windmühle	57
Kunststoff	120	Zahnrad	45

Der **Mensch** wächst übe



Selbst etwas scheinbar so
Simples wie den Schiffspropeller,
erfunden vor gut 180 Jahren,
verbessern Ingenieure im Lauf der
Zeit immer weiter. Der Antrieb
wird heutzutage zur hydrodyna-
mischen Optimierung am Computer
entworfen – so auch der Riesen-
propeller eines modernen
Containerschiffs



er sich hinaus

Texte: Henning Engeln

Manche Erfindungen beruhen auf dem Zufall – etwa das Teflon, das bei der Suche nach einem Kältemittel für den Kühlschrank entdeckt wurde. Andere sind vom Prinzip her früh bekannt und benötigen dennoch langjährige Tüftelei, bis sie einsetzbar sind – so die Glühbirne. Einige erscheinen anfangs unmöglich – wie das Flugzeug, da viele Gelehrte lange Zeit der Meinung sind, alles, was schwerer als Luft ist, könne nicht von der Erde abheben. Andere braucht im Alltag zunächst niemand, und doch werden sie schon bald unentbehrlich – so der Computer, der ursprünglich nur für hoch spezielle Rechenoperationen konstruiert wurde. Die Geschichte der Erfindungen ist eine der ständigen Weiterentwicklung. Kaum eine ist von Anfang an perfekt. Das Automobil etwa wird seit mehr als 100 Jahren verbessert, ohne dass ein Ende abzusehen ist. Es ist eine Spirale der gegenseitigen Befruchtung und permanenten Innovation, die sich immer mehr beschleunigt – mit unbekanntem Ausgang

Die Betäubung mit Äther
barg anfangs Gefahren durch
Überdosierung. Heute leiten
Mediziner Lachgas und andere
Narkotika kontrolliert und
sicher über Masken in
die Atemwege





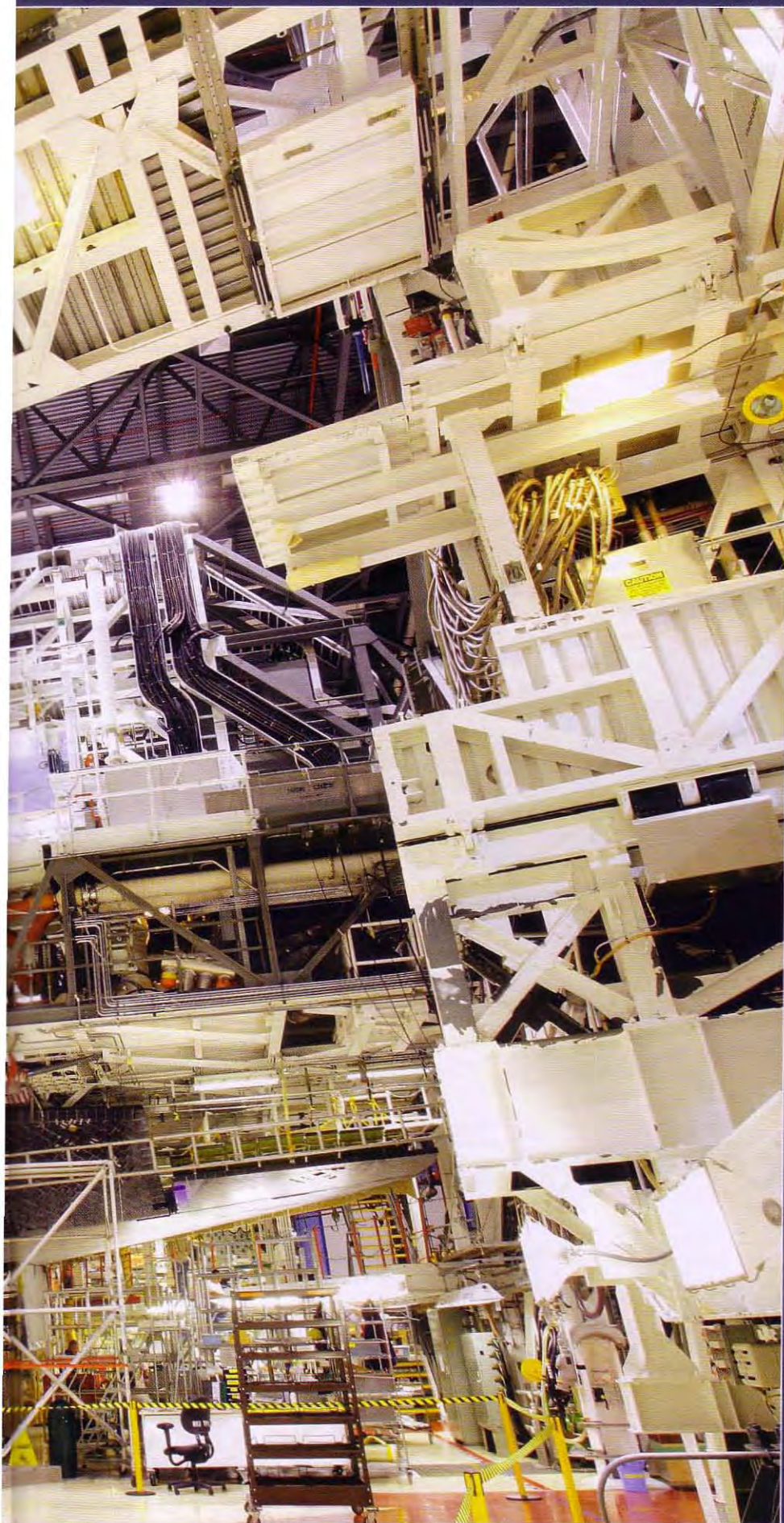
Kaum etwas gemein mit den Vehikeln aus der Pionierzeit der Rollstühle hat dieses Hightech-Modell des vom Becken an gelähmten deutschen Paralympikers Alhassane Baldé, der damit 400 Meter in 49,04 Sekunden zurücklegt

Heilkunst

Während die Neandertaler meist im Alter zwischen 20 und 30 Jahren starben und in manchen Ländern Afrikas die Lebenserwartung auch heute im Durchschnitt nicht über 40 Jahren liegt, werden in Deutschland Männer inzwischen rund 77, Frauen sogar 82 Jahre alt. Dafür sorgt vor allem der medizinische Fortschritt, denn für die meisten Leiden gibt es Erfindungen, die sie besser diagnostizieren, kurieren, lindern oder sie zumindest erträglicher machen. Röntgengeräte und Computertomographen erlauben den direkten Blick in den Körper, Prothesen ersetzen defekte Körperteile, und auf der Intensivstation übernehmen Apparate lebenswichtige Dienste: Sie regulieren die Atmung, überwachen den Herzschlag oder versorgen den Körper mit Nahrung und Flüssigkeit

Der Traum von der Reise
ins All: Die US-Raumfähren –
hier die »Atlantis« in einer
Wartungshalle – haben bereits
mehr als 600 Menschen und
1360 Tonnen Nutzlast in den
Weltraum transportiert. Ein
Spaceshuttle kann in Umlauf-
bahnen von bis zu 643 Kilo-
meter Höhe operieren





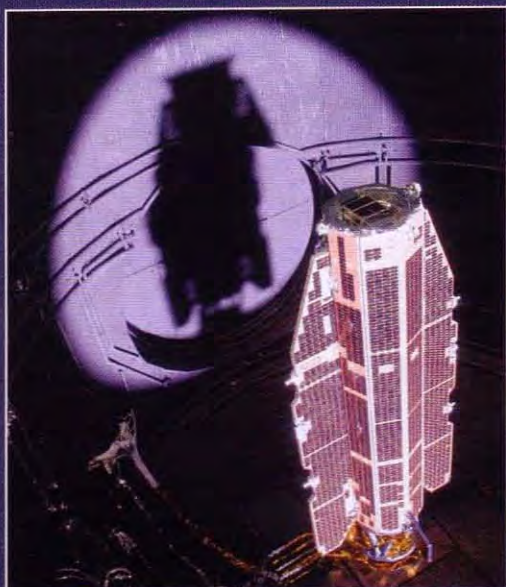
Der erste Motorflieger trug den Piloten auf dem Jungfernflug 36,5 Meter weit, der Airbus A380 befördert 525 Menschen über 15 200 Kilometer

Himmelsstürmer

Der Mensch scheint unvollkommen: Der Gepard rennt schneller, der Delfin ist ihm im Wasser überlegen. Doch mithilfe von Maschinen gleicht *Homo sapiens* diese Nachteile aus. Er wird schneller als jedes Tier, kann schwerere Lasten transportieren und auch vom Boden abheben. Ja, er schafft sogar, was zuvor unmöglich war: seinen Heimatplaneten zu verlassen und ins All zu fliegen

Rakete: Vor 1000 Jahren ein mit Schießpulver gefülltes Rohr, heute ein sicheres Transportvehikel ins All – wie die »Falcon 1«





Mithilfe von künstlichen Trabanten wie dem europäischen »GOCE«-Satelliten kann der *Homo sapiens* vom All aus auf die Erde schauen

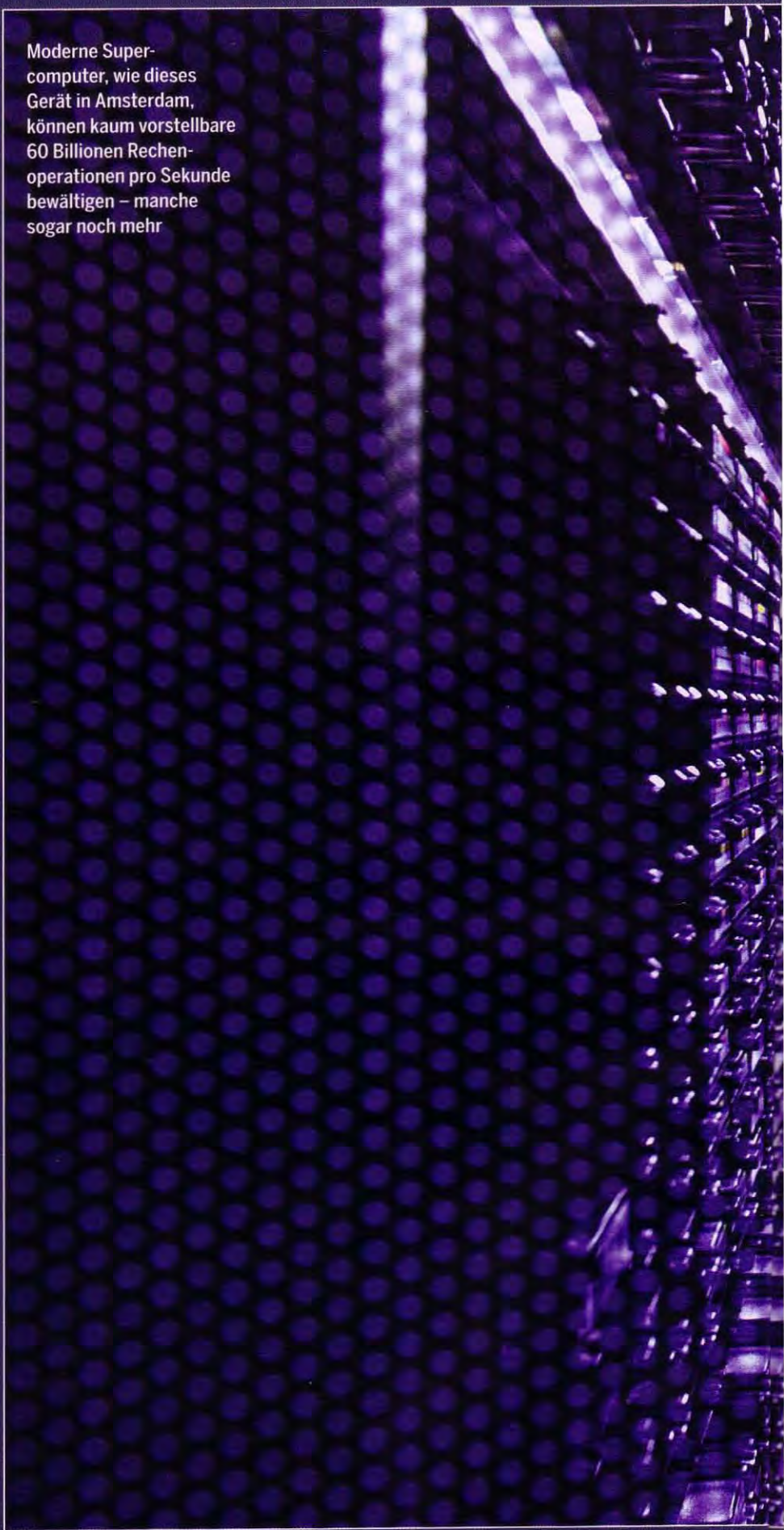
Datenpfade

Mit der Schrift gelang es der Menschheit erstmals, Wissen auf einem Medium zu speichern und es an andere zu übermitteln. Die digitale Informationsverarbeitung revolutioniert diese Fähigkeit nochmals: Heute ist es möglich, gigantische Datenmengen in Supercomputern zu verarbeiten, sie in winzigen Chips zu speichern, über Satelliten und Kabel blitzartig um den Globus zu schicken und jedermann zugänglich zu machen

In Glasfaserkabeln, hier die Kabeltrommel auf einem Schiff, flitzen Informationen wie in menschlichen Nervenfasern – nur viel schneller



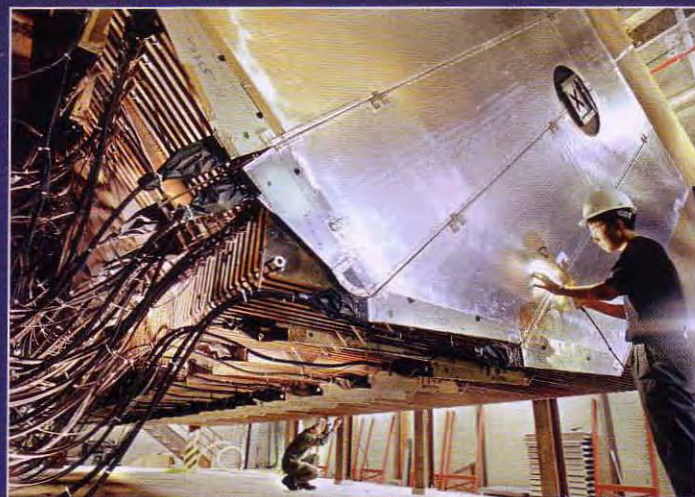
Moderne Supercomputer, wie dieses Gerät in Amsterdam, können kaum vorstellbare 60 Billionen Rechenoperationen pro Sekunde bewältigen – manche sogar noch mehr



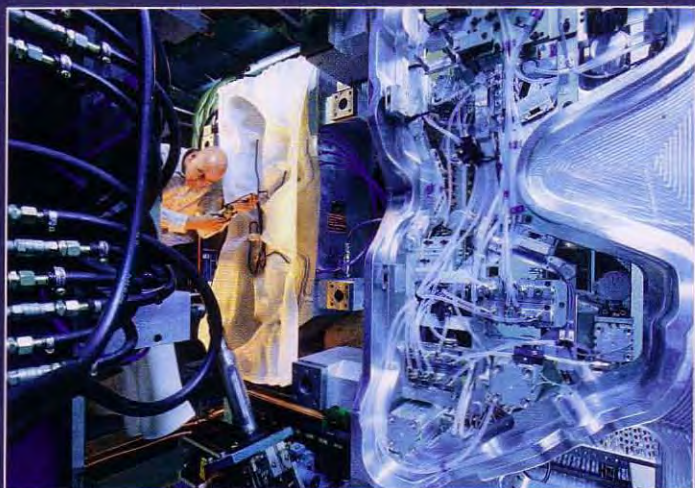


A low-angle, wide shot of a massive particle accelerator. The structure is composed of several large, dark, cylindrical sections supported by a complex network of metal beams and rings. The lighting is dramatic, with strong highlights and deep shadows. In the foreground, a person wearing a yellow hard hat and a dark shirt is standing, looking up at the machinery. The background shows more of the facility's structure and a bright light source.

Im amerikanischen Fermilab beschleunigen Physiker winzige Teilchen auf nahezu Lichtgeschwindigkeit und lassen sie anschließend zusammenprallen. Selbst aus solcher Grundlagenforschung kann Nützliches für den Alltag entstehen – wie im Fall der Teilchenstrahl-Therapie, die in der Tumorbekämpfung eingesetzt wird



Teilchenforscher nutzen für ihre komplexen Geräte (hier das Modul eines Detektors) auch eigene Erfindungen – etwa supraleitende Magnetspulen, die extrem starke Magnetfelder ermöglichen



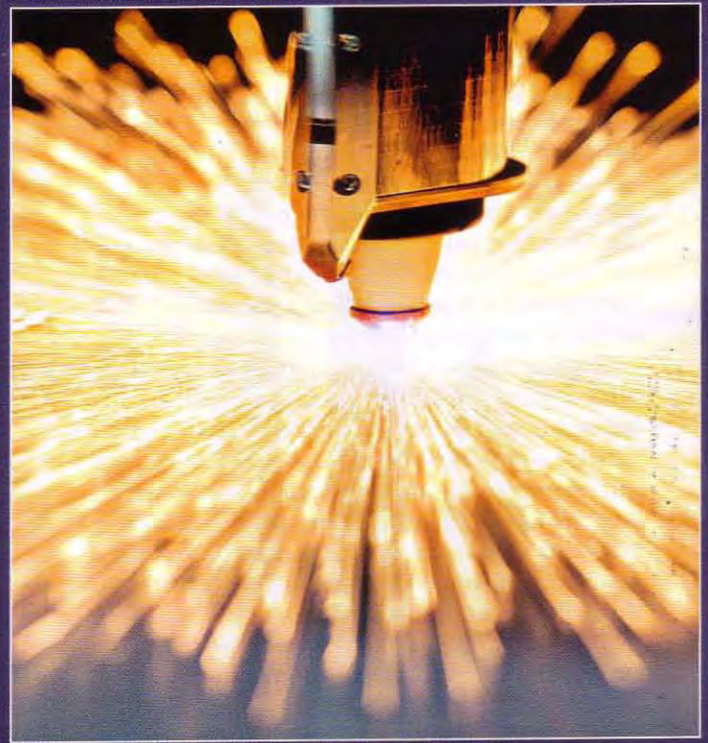
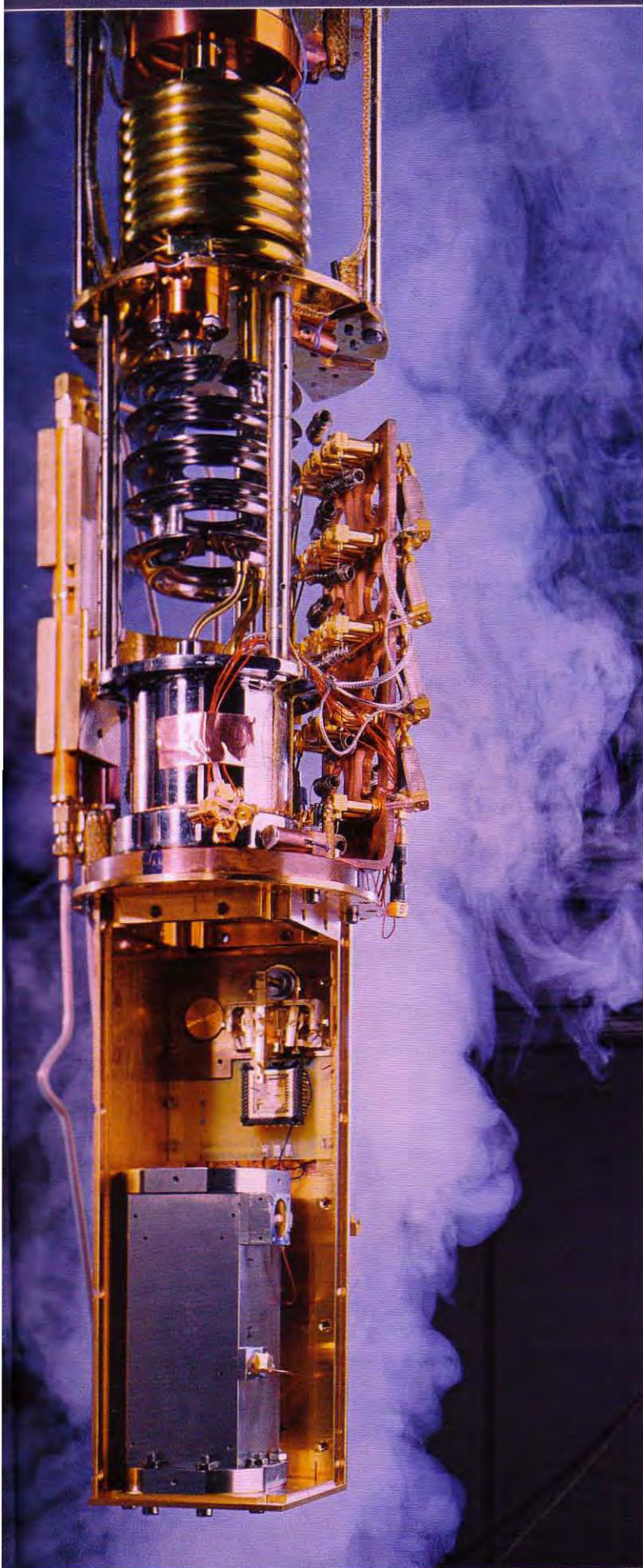
Ob im Erhabenen oder im scheinbar Trivialen, wie einer neuen Technik zur Fertigung von Autotanks aus Kunststoff in nur einem Schritt (oben): Tüftler geben sich mit vorhandenen Lösungen nicht zufrieden

Wissensfindung

Mit immer größeren, immer komplexeren Messinstrumenten und Maschinen versuchen Forscher unter anderem den Aufbau aller Materie zu begreifen. Viele von ihnen treibt allein die akademische Suche nach Erkenntnis. Doch andere nehmen die Ergebnisse der Grundlagenforschung, um auf Ideen für neue Produkte zu kommen, die sich massenhaft herstellen und vertreiben lassen. Manche dieser Erfindungen helfen dann wieder den Wissenschaftlern. Ohne Mikrochips etwa – im Prinzip erdacht von Grundlagenforschern, weiterentwickelt von Computerexperten – würde heute kaum ein Forschungsgerät funktionieren. Es ist ein Kreislauf der gegenseitigen Befruchtung

Mikrochips stecken heute
in fast allen technischen Geräten
des Alltags – aber auch in komplizierten Forschungsapparaturen
wie dieser, die dazu dient, eine
neue und genauere Definition
für die Einheit der elektrischen
Stromstärke zu entwickeln





Schneiden mit Licht: Aus bis zu 25 Millimeter dicken Stahlblechen trennt dieser Hightech-Laser Werkstücke in beliebigen Formen heraus

Mikrowelten

Der erste Elektronenrechner füllte ein großes Zimmer, die frühen Laser erforderten ein komplettes Labor. Doch dank der Erfindungskraft von Physikern und Ingenieuren werden Geräte immer kleiner. Heute arbeiten winzige und extrem leistungsfähige Mikrochips unter anderem in Waschmaschinen, Kühlschränken und Automobilen. Winzige Laser rufen im DVD-Spieler digitale Informationen ab, die von Mikrochips in Bilder und Klänge verwandelt werden. Dieser Trend zur Miniaturisierung von Geräten wird irgendwann vermutlich Nanomaschinen schaffen, so klein wie Moleküle □

Faustkeil

1

Das erste Universalwerkzeug

Es ist eine der frühesten Erfindungen des Menschen überhaupt und die wohl am längsten genutzte: der Faustkeil. Bereits vor rund 1,5 Millionen Jahren entwickeln die Ahnen des *Homo sapiens* dieses vielseitige Steinwerkzeug in Afrika.

Zwar haben andere Menschenvorfahren schon eine Million Jahre zuvor damit begonnen, primitive Instrumente aus Stein zu fertigen, indem sie Geröll oder Kiesel so aneinanderschlagen, dass grobe Haumesser mit scharfen Kanten entstanden. Doch der Faustkeil ist ein völlig neuartiges, handliches Utensil – und die Hersteller müssen eine genaue Vorstellung von der gewünschten Form im Kopf haben und sie gezielt aus dem Rohmaterial herausarbeiten.

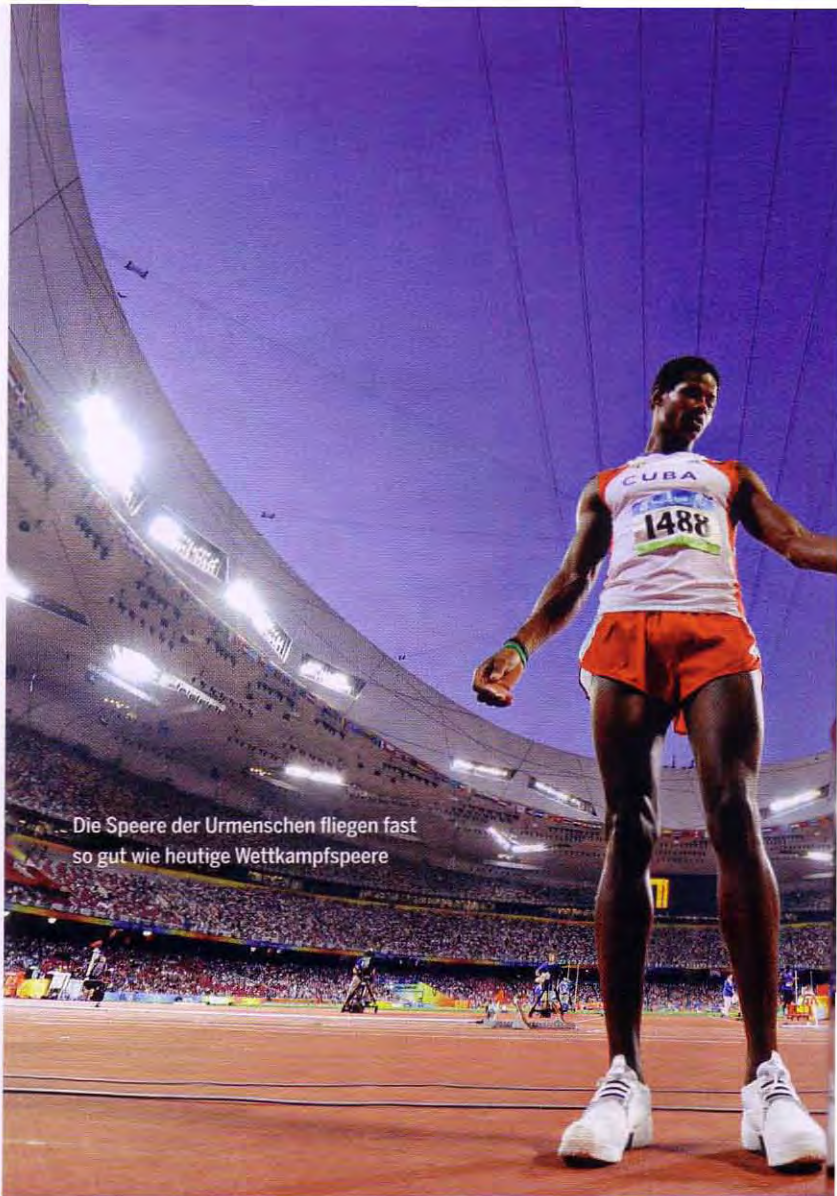
Der typische Keil hat die Form eines Tropfens, misst meist mehr als 15, manchmal über 30 Zentimeter. Als Material dienen Steine, die sich gut spalten lassen: etwa Feuerstein, Quarz, Obsidian oder Andesit. Durch gezielte Schläge mit einem Hammerstein auf die Kante des Rohmaterials erfolgt die Fertigung, und bei einem geübten Handwerker dauert sie nur wenige Minuten.

Dank der Rundung ist das Gerät gut in die Hand zu nehmen, mit den scharfen Seiten und der Spitze wird gearbeitet: Die Urmenschen trennen damit das Fell von Beutetieren auf, schneiden Fleisch heraus, bohren Löcher ins Holz oder graben nach Knollen. Auch zum Aufbrechen von Tierknochen eignet sich dieses

allerfrüheste Universalwerkzeug der Welt, das zum ersten Klassiker in der Menschheitsgeschichte wird: Denn Jäger und Sammler gebrauchen den Faustkeil rund 1,3 Millionen Jahre lang in nahezu unveränderter Gestalt.



Unten handlich gerundet, oben spitz, an der Seite scharf: der Faustkeil



Die Speere der Urmenschen fliegen fast so gut wie heutige Wettkampfspeere

vor 400 000 Jahren

Speer

2

Der verlängerte Arm des Jägers

Archäologen finden 1995 in einer Braunkohlegrube bei Helmstedt ein längliches Holzobjekt: den ältesten bislang entdeckten Speer. Gut 400 000 Jahre zuvor leben in dieser Gegend Urmenschen der Art *Homo heidelbergensis*. Zumeist aus Fichtenstämmchen fertigen sie Speere von bis zu 2,5 Meter Länge. Sie entfernen Äste und Rinde, wählen den Schwerpunkt so, dass er im vorderen Drittel liegt, und spitzen das Ende auf etwa zehn Zentimeter Länge zu.

Damit sind sie im Besitz der vermutlich ersten Distanzwaffe der Geschichte. Aus 15 Meter Entfernung können sie so Wildpferde erlegen: ein enormer Fortschritt der Jagdtechnik. Die Flugeigenschaften der Speie können sich sogar mit Hochleistungsspeeren der Moderne messen. Über Jahrhunderttausende bleiben sie offenbar die einzigen Waffen, mit denen Steinzeitmenschen aus der Ferne größere Beute erlegen. Auch die Nachfahren der Weidmänner von Helmstedt, die Neandertaler, nutzen sie bei der Jagd.

Vielleicht kommen die Neandertaler auch schon auf die Idee, die Speere mit Spitzen aus Stein oder Knochen zu versehen. Spätestens aber *Homo sapiens* beginnt vor etwa 28 000 Jahren, Steinzacken mit Birkenpech an die Speere zu kleben, um sie noch effizienter zu machen.



Vor rund 20 000 Jahren dann die nächste Neuerung: die Speerschleuder. Mithilfe eines Schleuderstabes, in den der Speer eingehakt ist – und der durch den Armschwung, aber auch aus dem Handgelenk beschleunigt wird –, nutzt der Jäger die Waffe wie eine Art Katapult. Und verdoppelt so seine Reichweite.

Schon die Helmstedter Jäger besitzen noch eine weitere Distanzwaffe: einen 80 Zentimeter langen, an beiden Enden angespitzten Wurfstock. Sie werfen ihn so, dass er während des Fluges in Drehung gerät, und jagen damit Vögel oder Hasen. Vor vermutlich rund 100 000 Jahren kommt die „Bola“ hinzu: zwei bis drei mit Riemen verbundene Steinkugeln, die auf kleinere Tiere geschleudert werden.

Erst Jahrzehntausende danach entwickeln Konstrukteure das Prinzip des Schleuderns zum Katapult weiter, mit dem sich Steine über große Entfernungen schießen lassen. Erstmals erwähnt wird der Einsatz dieser Waffe für das Jahr 400 v. Chr. auf Sizilien. Spätestens jetzt ist aus der Jagd Krieg geworden.



Messer werden schon seit Jahrtausenden aus Metall gefertigt – die ersten aber bestanden aus Feuerstein

vor 200 000 Jahren

Messer

3

Am Anfang sind die Fleischer

Irgendwann in der Zeit vor 200 000 Jahren hat ein Neandertaler einen Geistesblitz: Er bearbeitet den Kern eines Feuersteins mit einem Schlagstein so, dass er von ihm je nach Bedarf unterschiedlich geformte Stücke abschlagen kann. Eines davon ist eine längliche Klinge mit einer scharfen, oftmals leicht gezähnten Schneide: das erste Messer.

Schon bald darauf kommt ein Handwerker auf die Idee, die Klinge mit einem Griff aus Holz, Knochen oder Geweih zu versehen. Dank einer solchen „Schäftung“ ist die Hand nun vor der scharfen Schneide geschützt, und das Messer lässt sich besser führen.

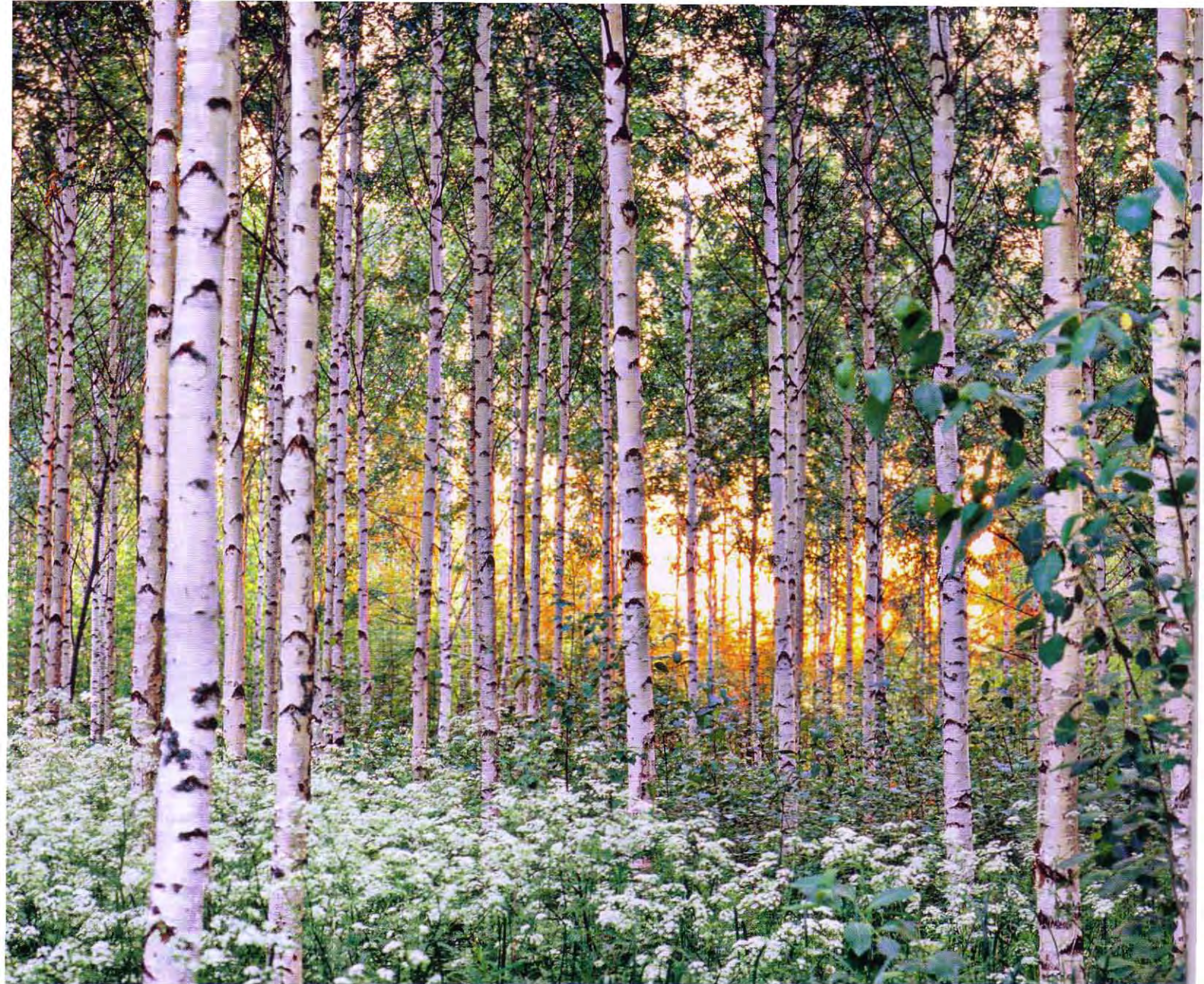
So gerüstet, können die Neandertaler nun Beutetiere leichter abhäuten und zerlegen, das Fleisch von den Knochen trennen, Sehnen oder Bindegewebe ablösen. Oder Fleisch in Streifen schneiden, um es zu trocknen und so für schlechtere Zeiten lagern zu können. Zudem schärfen und reparieren sie mit dem Messer hölzerne Speere und Wurfstöcke.

Eine weitere wichtige Erfindung aus dieser Zeit ist der Schaber – ein Instrument mit scharfer Kante, das die Benutzer über eine Oberfläche ziehen. Unter anderem enthaaren und reinigen die Urmenschen damit Tierhäute, glätten Holz, schaben Rillen in Geweih, Knochen und Elfenbein.

Ab wann die Menschen mit dem Messer Happen von ihrer Nahrung abtrennen und die Bissen mit der Schneide in den Mund befördern, ist nicht überliefert. Vom 17. Jahrhundert an verwenden Europäer immer häufiger die Gabel (was anfangs jedoch als albern gilt).

Messer und Gabel werden zum Inbegriff der modernen westlichen Esskultur – doch möglicherweise nicht auf Dauer, denn zumindest beim Fast Food geht der Trend wieder zurück zum Gebrauch der Finger.

So wie einst bei den Neandertalern.



Aus Birkenrinde gewinnen Neandertaler Klebstoff: Sie erhitzen das pflanzliche Material unter Luftabschluss und erhalten zähflüssigen Teer

vor spätestens 80 000 Jahren

Klebstoff

Die Kunst des Verbindens

Mehr als 30 Jahre lang sind die zwei schwarzbraunen Klumpen, die 1963 bei der Erkundung eines 80 000 Jahre alten Lagerplatzes in der Nähe von Halle entdeckt worden sind, im Besitz von Archäologen, ohne dass ihre Bedeutung erkannt wird. Erst 1996 erweisen chemische Untersuchungen, dass es sich bei der dunklen Masse um Birkenpech handelt, den ältesten nachgewiesenen Klebstoff der Menschheit.

In jener Zeit leben und jagen Neandertaler auf dem Gebiet des heutigen Deutschland. Wie die Urmenschen auf den Klebstoff kommen, ist unbekannt. Doch zeugt die schwierige Herstellung von beachtlichen geistigen Fähigkeiten: Birkenpech entsteht durch Verschmelzung aus Birkenrinde, die unter Luftabschluss auf eine Temperatur von 340 bis 400 Grad Celsius erhitzt werden muss.

Versuche belegen, dass sich Birkenpech mithilfe einer in den Boden eingelassenen und mit einem Stein abgedeckten Vertiefung gewinnen

4

lässt, auf die Birkenrinde, darüber Asche und Pflanzenmaterial geschichtet und angezündet werden. Der entstehende Birkenteer tropft über den Stein nach unten in das kleine Auffangloch.

Für die Neandertaler ist der Klebstoff ein enormer Fortschritt: Nun können sie Werkzeuge fertigen, für deren Herstellung sie beispielsweise einen Holzgriff und eine Steinspitze stabil verkitten. Dies bezeugen Abdruckspuren von Holz und Stein auf den Birkenpech-Klumpen. Sogar der Fingerabdruck eines Neandertalers ist dort verewigt.

Später wird die zähe Masse zum Abdichten von Geräten und als Kaugummi verwendet. Sicher nutzen die Menschen schon früh auch natürliche Klebstoffe wie Baumharz, Eiweiß oder Blut. In der Jungsteinzeit kommen dann vor mehr als 5000 Jahren Knochenleim und natürliches Bitumen hinzu.

Heute halten Kleber Chips auf EC-Karten fest, helfen Chirurgen, Adern zu verbinden, und werden inzwischen selbst beim Rumpfbau von **Flugzeugen** eingesetzt.

Denn die stärksten der rund 250 000 Klebstoffsorten widerstehen einer größeren Zugkraft als beispielsweise **Stahl**.

Hammer

5

Schläge mit genau dosierter Kraft

Das erste Werkzeug mit Griff und Schlagfläche erfindet vermutlich ein Neandertaler: vor rund 60 000 Jahren. Der Urmensch hat möglicherweise das abgeworfene Geweih eines Rentieres oder Rothirsches entdeckt und oberhalb der ersten Sprosse abgetrennt. Auf diese Weise hätte der Konstrukteur ein Werkzeug geschaffen mit einem natürlich angewachsenen Stiel und einer Schlagfläche. Also einen Hammer.

Belegt ist, dass in dieser Zeit bei den Neandertalern plötzlich besonders flache → **Faustkeile** zum Einsatz kommen, die auf ihrer gesamten Fläche bearbeitet sind und eine sehr gleichmäßig umlaufende Kante aufweisen. So ein Werkzeug lässt sich nur mithilfe eines Geweihschlägels anfertigen. Zweifelsfreie Hämmer aus Geweih sind bislang zwar erst ab der Zeit vor etwa 35 000 Jahren erhalten. Aber Experten gehen davon aus, dass es sie schon wesentlich früher gegeben hat.

Deutlich älter ist das Prinzip des Hämmerns. Bereits die ersten Wesen der Gattung *Homo* verwenden vor 2,5 Millionen Jahren handliche Steine mit gerundeter Oberfläche. Mit solchen natürlichen Werkzeugen aus Sandstein oder Quarzit schlagen sie Splitter von härterem Material – etwa Feuerstein, Hornstein oder Kieselchiefer – so ab, dass einfache Werkzeuge mit scharfen Kanten entstehen.

Die ersten veritablen Hämmer mit einem Kopf aus Metall und einem Stiel aus Holz stammen aus der Bronzezeit. In jener Epoche ist die Fertigkeit besonders gefragt, verschiedene Metalle breit zu schlagen: um beispielsweise Geräte und Waffen zu schärfen oder Schmuck und Gefäße aus Goldblech herzustellen – und um möglicherweise die ersten Nägel der Weltgeschichte in eine Wand zu treiben.

Auch heute noch sind Hämmer bei der Metallbearbeitung von Bedeutung. Die größten bringen → **Stahl** in Form, etwa zu Kurbelwellen. Mit Presskräften von manchmal mehr als 50 000 Tonnen.



Die beschleunigte Masse des Hammerkopfes überträgt beim Aufprall Energie



Mit einem Bogen versetzt um 1480 v. Chr. ein ägyptischer Tischler seinen Drillbohrer in Rotation

vor spätestens 40 000 Jahren

Bohrer

6

Ein Dreh, ein Loch

Die beiden derzeit größten Bohrköpfe der Welt haben gigantische Ausmaße: Sie haben jeweils einen Durchmesser von 15,43 Metern und wurden zuletzt in China eingesetzt, um einen 7,5 Kilometer langen Autobahn- und Metrotunnel zu graben.

Sie sind die vorläufigen Höhepunkte einer technischen Entwicklung, die vor 40 000 Jahren begonnen hat. Zu jener Zeit taucht der moderne Mensch in Europa auf. Und *Homo sapiens* erfindet eine neue Methode, um Steinwerkzeuge herzustellen: die „Punchtechnik“, bei der er von einem vorbehandelten Kernstein mittels eines hölzernen Hammers sowie eines Meißels aus Geweih oder hartem Holz gezielt Steinklingen abschlägt.

Diese Klingen bearbeitet er durch feine Schläge und Drucktechnik so lange weiter, bis die gewünschte Form erreicht ist. Auf diese Weise stellt der Steinzeitmensch eine enorme Vielzahl unterschiedlicher Werkzeugtypen her, darunter Stichel, Schaber, Kratzer.

Und die ersten Bohrer.

Deren Prinzip ist bis heute gleichgeblieben: Ein Instrument mit Spitze und mehreren von ihr ausgehenden scharfen Schneidekanten wird gedreht, hebt so Späne von einem Werkstück ab und arbeitet sich langsam in die Tiefe vor.

Es sind vor allem durchlochte Tierzähne und Knochenperlen, die von der frühesten Bohrtätigkeit der Steinzeitmenschen zeugen. Offenbar reihen sie solche Objekte an Fäden auf und hängen sie sich um – vielleicht als Trophäe ihres Jagderfolgs. Oder um die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Gruppe zu signalisieren. Oder als Tauschobjekt, das den Kontakt mit weiter entfernten Clans belegt.

Welche Mühe sich unsere Vorfahren mit diesem Zierrat zuweilen machten, bezeugt der Grabfund von Sungir in Russland. Vor rund 23 000 Jahren wurde dort ein jugendlicher mit Kleidung bestattet, die mit insgesamt 4903 Perlen und Fragmenten aus Mammutelfenbein verziert war – jede einzelne fein säuberlich durchbohrt.

Die Entdeckung der Harmonie

Für Evolutions- und Neurobiologen war es lange schwer zu verstehen, weshalb Menschen Musik mögen. Ein Instrument zu beherrschen, den richtigen Ton zu treffen oder den Gesängen anderer zu lauschen hat keinen offensichtlichen Nutzen oder Überlebensvorteil. Kein Tier komponiert Symphonien, und auch der Mensch scheint erst spät in seiner Entwicklung Vergnügen an scheinbar nutzlosen Melodien und Rhythmen gefunden zu haben.

Einen ersten Beleg für den Hang zur Musik entdecken Tübinger Archäologen in einer Höhle in der Schwäbischen Alb: zwei Flöten aus Schwanenknochen, eine aus Mammutfelsenbein.

Die Objekte sind bis zu 37 000 Jahre alt. Mindestens drei Grifflöcher hat die Elfenbein-Flöte, und es zeigt sich, dass sich mit ihr verschiedene Töne erzeugen lassen: vier Grund- und drei überblasene Töne. Zudem haben ihre Erbauer bereits ein Gefühl für Harmonien, denn die Löcher sind so angeordnet, dass melodische Intervalle ertönen.

Ob die Menschen vielleicht auch schon früher auf Holzstämmen und Knochen getrommelt, sich rhythmisch bewegt oder einfache Gesänge angestimmt haben, ist nicht überliefert. Als Erfinder von Musik und Instrumenten gilt daher der moderne *Homo sapiens*, der vor rund 40 000 Jahren nach Europa kommt.

Im Laufe der Jahrzehntausende nimmt sein tönendes Repertoire immer weiter zu. Neben Flöten und Pfeifen baut er Schlaginstrumente aus Mammutknochen und in jener Epoche (9000–2200 v. Chr.) mit Häuten bespannte Trommeln aus Ton. Noch in der Jungsteinzeit entsteht der Musikbogen als erstes Saiteninstrument, und in Mesopotamien erklingen um 3000 v. Chr. erstmals Harfe und Leier.

Das musikalische Grundverständnis für Melodien, Rhythmen und Klänge ist im Gehirn angelegt, haben Forscher inzwischen herausgefunden. Musik löst Emotionen aus und könnte daher evolutive Vorteile gebracht haben: Musizierende Männer sind attraktiver für Frauen, Mütter können ihre Babys durch Gesang beruhigen, und Musik hält eine Gruppe sozial zusammen.



Schon mit den ersten Flöten – hier eine aus Schwanenflügelknochen – lassen sich melodische Intervalle erzeugen

Der Klang von Instrumenten weckt Emotionen: der Jazzler Sam Rivers 1965 am Sopransaxofon

Die gezähmte Flamme

Das Unbehagen in der Dunkelheit gehört zu den Urängsten der Menschheit. Umgekehrt löst offenes Feuer Fluchtinstinkte bei Mensch und Tier aus. Aber irgendwann, schon vor rund 1,5 Millionen Jahren, gelingt es mutigen Ahnen des *Homo sapiens*, die Überreste eines natürlichen Brandes zu erhalten und als Lagerfeuer zu nutzen – ein genialer Coup, der beide Ängste zähmt.

Denn nun können die Menschen gleichzeitig die Nacht erhellen und sich Raubtiere vom Leib halten. Doch das ist noch nicht alles: Sie entdecken auch, dass sich im Feuer Fleisch garen lässt – dadurch ist es leichter verdaulich, länger haltbar und frei von Parasiten.

Als sie dann aus Afrika auswandern, nach Asien, später nach Europa, hilft ihnen die Wärme des Lagerfeuers, auch in kühleren Gegenden zu überleben. Bei der Großwildhatz leistet das lodernde Element ebenfalls gute Dienste: Die Jäger lenken ihre Beutetiere mit Fackeln in den Hinterhalt.

Wie jene frühen Menschen das Feuer bewahren, ob sie es – wenn verloschen – aus natürlichen Quellen neu beschaffen oder bereits eine Möglichkeit kennen, es selbst zu entfachen, ist unbekannt. Spätestens vor 32 000 Jahren jedoch gelingt ihnen eine Erfindung, mit der sie die Flammen endlich nach Belieben entzünden können: das Feuerzeug.

Das älteste Exemplar haben Archäologen in der Vogelherdhöhle in Baden-Württemberg entdeckt. Das Fundstück besteht aus einer Knolle schwefelhaltigen Minerals, dem sogenannten Schwefelkies, mit eindeutigen Gebrauchsspuren. Um Feuer zu machen, schlugen die Jäger und Sammler den Schwefelkies gegen ein Stück Feuerstein und richteten die entspringenden Funken auf leicht entzündbares Material (wahrscheinlich Zunderschwamm), das zu glimmen beginnt. Diese Glut lässt sich dann an trockenem Gras zu einer Flamme entfachen.

Auch der Gletschermann aus dem Ötztal, der vor 5200 Jahren im Alpenraum lebt, trägt auf seiner letzten Wanderung dieses Steinzeitfeuerzeug bei sich. Im Metallzeitalter wird das Mineral dann durch Eisen ersetzt.

Und in den 1830er Jahren bekommt das Feuerzeug Konkurrenz durch das Streichholz. Dessen Kopf enthält eine sauerstoffhaltige Substanz, etwa Kaliumchlorat, dazu reibende Zusätze wie Glaspulver sowie einen leicht brennbaren Stoff, der schon vor 32 000 Jahren Verwendung fand: Schwefel.

Der Trick mit der Öse

Vor etwa 25 000 Jahren überspannt die frostige, aber schneefreie Steppe weite Gebiete der nördlichen Erdkugel. Dort leben große Herden von Mammuts, Fellnashörnern und Riesenhirschen. Sowie Menschen, die ihnen nachstellen. Beim Überleben hilft ihnen eine Innovation, die wohl in jener Zeit gelingt: ein „spitzes Stechwerkzeug mit rund- oder längsgeformtem Öhr zur Aufnahme eines Fadens“, wie der Brockhaus die Nähnadel heute definiert.

Natürlich haben auch zuvor schon die Jäger und Sammler jener Zeit, etwa die Neandertaler, der Kälte getrotzt. Sie bekleideten sich mit Häuten und Fellen von Beutetieren, in die sie mit Knochenahlen Löcher stanzen und die sie dann mit Tiersehnern zusammenfügten. Doch mithilfe des neuen Werkzeugs – meist eines unten spitz geschnitzten kleinen Knochens, in den oben zunächst ein Klemmspalt geschnitten, später ein Loch gebohrt ist – geht das wesentlich effektiver. Denn die Nadel zieht den Faden gleich mit durch das Loch.

Heute wird die Nähnadel aus Stahldraht zugerichtet, geprägt, gelocht, gefräst, gehärtet, geschliffen und poliert. Weiterentwickelt zum Bestandteil der →Nähmaschine, hilft sie seit gut 150 Jahren bei der Massenfertigung von Kleidungsstücken.

Inzwischen aber hat die Nadel Konkurrenz bekommen, denn immer mehr moderne Materialien werden mithilfe von Heißluft, →Laser oder Ultraschall verschweißt oder verklebt. Bei feiner Unterwäsche hat das einen besonderen Vorteil: Keine Naht drückt da mehr auf die empfindliche Haut.



Mit Nadel und Faden ist Kleidung viel effizienter herzustellen



Kriegs- und Jagdwaffe: Ein ägyptischer Bogenschütze versucht vom Streitwagen aus, Wild zu erlegen

vor spätestens 20 000 Jahren

Pfeil und Bogen

10

Die mächtigste Waffe der frühen Völker

Seit ungefähr 20 000 Jahren schießen Europäer mit Pfeil und Bogen. Davon gehen jedenfalls Archäologen aus, die in Spanien entdeckte Steinsplitter als Pfeilspitzen interpretieren. Manche Wissenschaftler trauen afrikanischen Steinzeitmenschen anhand von Werkzeugfunden sogar zu, noch einige Zehntausend Jahre früher statt mit Steinbrocken, Knüppel oder Speer mit solch zielgenauen Waffen Beute gemacht zu haben.

Bis heute haben Forscher zwar noch keine der damals vermutlich aus Holz oder Horn gefertigten Schießgeräte gefunden. Erhalten geblieben aber ist dank günstiger Umstände in einem ausgetrockneten Mannheimer Baggersee ein 17 600 Jahre alter Bogen aus eiszeitlich hartem Kiefernholz. Genauer: ein 40 Zentimeter langes Fragment. Und im sudanesischen Dschebel Sahaba haben Wissenschaftler 10 000 Jahre alte Menschenskelette entdeckt, in denen steinerne Pfeilspitzen steckten.

Immer wieder entscheiden Bogenschützen im Verlauf der Zeit Feldzüge, so die Schützen der Assyrer, Kreter, Perser, Skythen, Mongolen, Wikinger, Angelsachsen und Janitscharen. Vor allem die Hunnen sind im 4. Jahrhundert n. Chr. wegen der Reichweite und Durchschlagskraft ihrer Pfeile gefürchtet. Sie schießen mit asymmetrischen Bögen, deren mehrteilige Holzkerne durch Knochenplatten verstärkt sind, verbreiten so Angst und Schrecken – und lösen die europäische Völkerwanderung aus.

Ihre Bogen fertigen die Menschen von Beginn an aus elastischen Hölzern, in Europa vorzugsweise aus dem stahlartig federnden Holz der Eibe. Eine aus Tierdarm verdrehte Sehne schickt, mit aller Kraft gespannt, hölzerne Pfeile ins Ziel; die haben anfangs knöcherne oder steinerne Spitzen, dann bronzene und schließlich eiserne. Manschetten aus Stein, später aus Leder, schützen den Arm gegen die zum Bogen zurückschnellende Sehne.

Selbst die Erfindung der Armbrust – einer mechanischen, durchschlagskräftigeren, aber umständlicher zu bedienenden Bogenvariante – vermag den klassischen Bogen nicht ganz zu verdrängen. Gegen das „Feuerrohr“ aber, das sich seit dem 14. Jahrhundert immer mehr durchsetzt, haben auch die legendären indianischen Bogenschützen der Neuen Welt keine Chance.

Wie das Licht ins Dunkel kommt

Tiere müssen mit der nächtlichen Dunkelheit leben, und auch die frühen Menschen haben als Lichtquelle nur das Feuer. Doch vor mindestens 17 000 Jahren kommt ein Tüftler auf eine Idee: Er füllt in die natürliche oder eigens geschaffene Vertiefung eines Steins tierischen Talg oder als flüssigen Brennstoff Tran und versieht sie mit einem Docht aus Pflanzenfasern: die erste Lampe. Sie brennt mit einer gleichbleibenden, dauerhaften Flamme, weil die Kapillarkräfte im Docht den Brennstoff kontinuierlich ansaugen.

Vermutlich ist der Hang zu Kunst und Kreativität in diesem Fall der Motor des technischen Fortschritts: Denn die Menschen in Europa beginnen in jener Zeit, im Inneren von Höhlen kunstvolle Zeichnungen an den Fels zu malen. Und das geht nur mit einer beständigen Lichtquelle. Die ältesten sicher als Lampen erkannten Funde überdauern die Zeitläufte in der Höhle von Lascaux in Frankreich. Mehr als 100 Funzeln helfen den Künstlern, überaus realistische Darstellungen etwa von Pferden und Stieren in bis zu sechs Meter Höhe auf das Gestein zu malen.

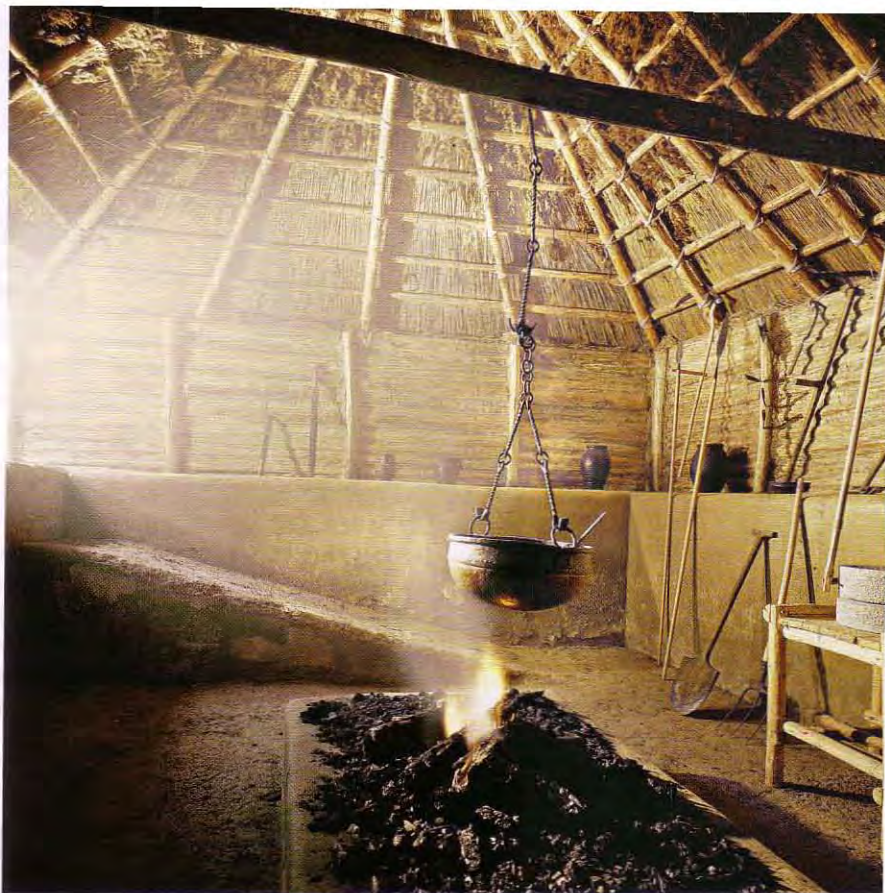
In der Jungsteinzeit (ab 9000 v. Chr.) kommen Lampen aus Ton hinzu, um 3000 v. Chr. nutzen die Ägypter erste Öllampen. Das Prinzip dieser Lampe dominiert über viele Jahrhunderte; einzig Form und Materialien werden variiert. So fertigen etwa die Römer im 1. Jahrhundert n. Chr. große Lampen aus Metall, um öffentliche Plätze zu beleuchten. Erst zur Mitte des 19. Jahrhunderts wird mehr und mehr Petroleum in modernen Lampen eingesetzt, daneben auch Gas. Ab 1879 schließlich setzt sich die → *Glühbirne* durch.

Heutzutage erhellen Flutlichtmasten eine Arena mit einer Beleuchtungsstärke von 1500 Lux (zum Vergleich: Eine Kerze in einem Meter Entfernung sorgt für ein Lux, während die Sonne die Landschaft an einem blauen Sommertag mit 100 000 Lux beleuchtet).

Die derzeit wohl hellste Lampe ist an der Spitze des Luxor-Hotels in Las Vegas installiert: 45 Xenon-Strahler mit je 7000 Watt Leistung senden ein so starkes Lichtbündel aus, dass es theoretisch möglich wäre, noch in 16 Kilometer Höhe eine Zeitung zu lesen. Ihre Lichtstärke entspricht der von 300 Millionen 100-Watt-Glühbirnen – oder 40 Milliarden Kerzen.



Die ersten Lampen dienen den Höhlenmalern. Die Römer stellen bereits raffinierte Leuchten aus Bronze (oben) her



Das Kochen im Topf ermöglicht es *Homo sapiens*, seinen Speiseplan erheblich zu erweitern

vor spätestens 16 000 Jahren

Topf

12

Als der Mensch das Kochen lernt

Niemand weiß heute, wann und wie steinzeitliche Jäger und Sammler erstmals einen Topf herstellen. Vielleicht dichten sie ein geflochtenes Körbchen mit Lehm ab, um damit Wasser zu schöpfen. Womöglich fällt dieses aus Versehen ins Feuer, und anschließend liegt ein Topf aus gebranntem Lehm – also aus Ton – in der Asche.

Inzwischen ist immerhin nachgewiesen, dass Jäger, Sammler und Fischer in China wie in Sibirien schon vor 16 000 und in Japan vor 12 000 Jahren in offenbar eigens hergestellten Keramiktopfen gekocht haben. Denn in den Gefäßen aus gebranntem Ton lässt sich nicht nur Getreide besser lagern – die Menschen können allmählich auch ihren Speiseplan erweitern: um zahlreiche roh ungenießbare Pflanzen, bei denen die Hitze durch das Kochen entweder Inhaltstoffe verdauulich macht oder aber Gifte zersetzt und die nun zu Grundnahrungsmitteln werden.

Ab etwa 6500 v. Chr. sind feuergehärtete Tongefäße in Mesopotamien üblich. Von dort aus verbreitet sich die Töpferscheibe ab dem 4. Jahrtausend v. Chr. über den gesamten Mittelmeerraum; in Asien ist sie seit dem 3. Jahrtausend v. Chr. belegt. Erst mit dieser Erfindung vermögen die Menschen größere Mengen von Keramik zu produzieren.

Seit dieser Zeit findet sich Töpfergut in den meisten vorgeschichtlichen und späteren Siedlungen. Fast von Anfang an dekorieren Menschen ihre Keramikware – nach der speziellen Art der Verzierung werden sogar Kulturepochen wie die der Bandkeramiker der Jungsteinzeit identifiziert. Und da sich das Alter der Scherben unter anderem durch physikalische Analysen bestimmen lässt, sind sie seit Langem schon so etwas wie die Leitfossilien der Archäologen.

Boot

13

Der Weg übers Wasser

Ober einen Rumpf aus Papyrus oder Schilf hatte, ob es durch Aushöhlung eines Baumes entstand oder aus mit Fell oder Baumrinde bezogenen Spanten gefertigt wurde, ist nicht mehr zu erhellen. Auch wo das erste Boot der Menschheit gebaut wurde, lässt sich nicht genau sagen. Aber es muss vor mindestens 10 000 Jahren entstanden sein.

Annähernd so alt jedenfalls ist der drei Meter lange „Einbaum von Pesse“ aus den Niederlanden: der früheste eindeutige Fund eines Bootes in Europa. Noch etwas älter sind in Ahrensburg bei Hamburg gefundene, mit Löchern versehene Überreste aus Rentiergeweih, die manche Forscher als Spanten eines Fellbootes europäischer Steinzeitmenschen deuten. Zudem gibt es aus jener Zeit Knochenharpunen, Angelhaken und Paddel, die auf Seefahrt hinweisen.

In Afrika bauen Menschen seit mindestens 8000 Jahren Boote. Das belegen die Reste eines 8,40 Meter langen und 50 Zentimeter breiten Einbaums, die in Nigeria gefunden wurden. Möglicherweise aber hat



Zeugnis der Bronzezeit: etwa 3000 Jahre alte Felsbilder in Schweden

der Mensch schon weitaus früher Gewässer überquert. So besiedeln Urahnen des *Homo sapiens* bereits vor mehr als 800 000 Jahren die drei Kilometer vom Festland entfernte indonesische Insel Flores. Doch niemand weiß, ob sie diese Reise mit primitiven Flößen, mit Booten oder auf ganz andere Weise bewältigt haben.

Fest steht: Wasserfahrzeuge sind die ersten Verkehrsmittel, die der Mensch hervorbringt. Mit dem Boot wird er zu einem erfolgreicherer Fischer und vermag ferne Inseln und sogar neue Kontinente zu erreichen: Um 7000 v. Chr. beginnen Seefahrer, das Mittelmeer mit Fell- und Plankenbooten zu durchkreuzen, aus dem Jahr 5000 v. Chr. stammt die Darstellung eines ägyptischen Papyrusbootes mit hochgezogenem Heck und Steuerruder. Und um 2500 v. Chr. entsteht das älteste noch heute erhaltene Schiff: die 43,5 Meter lange Totenbarke des Pharo Cheops, gefertigt als Plankenbau aus Zedernholz.



Seit mehr als 8000 Jahren werfen Fischer, wie hier im Malawisee, von Booten engmaschige Netze aus

6800 v. Chr.

Fischernetz

14

Aufbruch in neue Jagdgründe

Mit Speeren oder einfach mit der Hand haben Menschen bereits vor mehreren Hunderttausend Jahren Fische und andere im Wasser lebende Tiere gefangen. Mengenmäßig reiche Beute bringen sie jedoch erst an Land, seit sie Netze durchs Wasser ziehen.

Beispielsweise an der peruanischen Pazifikküste, wo auf der Halbinsel Paracas die ältesten, 8800 Jahre alten Relikte von Fischnetzen

oder Plattfische auf. Und 15 Meter hohe, von „Schwimmern“ und „Senkern“ positionierte kilometerweite Wände von Stellnetzen oder frei schwebende Treibnetze werden zu Fallen für Sardinen, Heringe oder Makrelen: Deren Köpfe bleiben in eigens dafür berechneten feinfädigen Maschen stecken. Weil sich in *treibenden* Riesennetzen nicht nur Lachse oder Thunfische verfängen, sondern auch Haie, Meeresschildkröten und Delfine, haben die Vereinten Nationen den Einsatz von Treibnetzen 1992 generell verboten.

So perfekt ist inzwischen das Material der Fischer, dass die Ozeane heute weithin leer gefischt sind.

gefunden worden sind. Oder in Karelien, wo wenig später ein 30 Meter langes, aus Bast geknüpft und an Birkenrinde-Schwimmern aufgehängtes Netz verwendet wird. Oder in Mesopotamien, wo Fischer vor 7000 Jahren Netz-Absenkgewichte aus gebranntem Ton liegen lassen.

In vielen Regionen der Erde erfinden Menschen das Fischernetz also jeweils unabhängig voneinander, und früh wird es spezialisiert für bestimmte Beute und bestimmte Gewässertiefen – in Ägypten, wie Grabdarstellungen nahelegen, schon vor gut vier Jahrtausenden.

Heute schleppen ein oder zwei kräftige Trawler trichterförmige Netzgiganten in gewünschter Tiefe genau dort durchs Meer, wo raffinierte Elektronik Schwärme geortet hat. Dabei gleiten unter anderem sogenannte Dredgen über den Meeresboden und fangen in ihrem Netzsack Muscheln

Vom Faden zum Stoff

Mehr als 100 000 Jahre lang fertigen Menschen ihre Kleider ausschließlich aus Leder und Fell – bis sie vor gut 25 000 Jahren lernen, pflanzliche oder tierische Fasern so miteinander zu verflechten, dass ein leichtes, anschmiegsames und doch widerstandsfähiges Gewebe entsteht.

Vermutlich um 6000 v. Chr. bauen dann Menschen in der Region des heutigen Ungarn sowie in der anatolischen Stadt Catalhöyük ein Gerät, das ihnen die Herstellung solcher Textilien erheblich erleichtert: den Webstuhl (Archäologen werden die für das Weben mit einer Maschine notwendigen Gewichte finden).

Der Webstuhl besteht aus einem senkrecht aufgestellten Holzrahmen, an dessen oberem Balken zahlreiche Fäden nebeneinander von angehängten Gewichten nach unten gezogen werden. Quer zu diesen „Kettfäden“ zieht der Weber mit einem Stab die „Schussfäden“ ein – und bildet so ein Gewebe. Die Führung der Schussfäden sowie die Verwendung verschiedenfarbiger Garne ermöglicht es bereits steinzeitlichen Webern, dichte Stoffe mit Mustern herzustellen.

Um 1200 n. Chr. kommt der „Trittwebstuhl“ in Gebrauch, bei dem die Fäden mithilfe von Pedalen gezielt gegeneinander bewegt werden können. Das vereinfacht die Fabrikation komplizierter Stoffmuster. Zudem wird das Garn für den Schussfaden auf eine Spule gewickelt und in ein hölzernes „Weberschiffchen“ gelegt, das schneller zwischen die aufgespannten Kettfäden hindurchgefädelt werden kann.

Bereits im 17. Jahrhundert grübeln Tüftler über die Automatisierung des Webens. Doch erst 1784 gelingt es dem englischen Pfarrer Edmund Cartwright, den ersten funktionstüchtigen mechanischen Webstuhl zu konstruieren. Der erledigt die Arbeit fast von selbst, macht einen Großteil der Weber überflüssig und löst in der Folge soziale Unruhen aus.



Stoffe und Tücher statt Leder und Fell: Nachbildung eines Webstuhls aus der Jungsteinzeit



Anfangs betrachten sich Menschen in Spiegeln aus Obsidian, in der Antike polieren sie dafür Metall

um 6000 v. Chr.

Spiegel

16

Das reflektierte Ich

Die Betrachtung des eigenen Spiegelbilds wird erst in der Neuzeit zur Gewohnheit, doch die Sehnsucht danach muss tief im Menschen angelegt sein. Vor 8000 Jahren finden steinzeitliche Bewohner des heutigen Anatolien erstmals einen Weg, gezielt Spiegel anzufertigen: Sie bearbeiten das harte vulkanische Gesteinsglas Obsidian, vermutlich mit feinkörnigem Schlick und mit Leder.

Die Menschen der Antike lernen, Spiegel aus Bronze, Silber oder Kupfer zu fertigen, die sie immer wieder polieren, damit der Glanz erhalten bleibt. Die Römer schließlich fabrizieren um Christi Geburt erstmals Spiegel aus →**Glas**. Dafür lassen die Spiegelmacher geschmolzenes Blei auf dem ebenen Glas erstarren; auf diese Weise entsteht eine blanke Metallfläche, die durch das Glas hindurch Licht reflektiert.

Doch bis ins späte Mittelalter haben die meisten Menschen bestenfalls eine eher schemenhafte Ahnung von ihrem eigenen Gesicht, da Glasspiegel eine Rarität bleiben und Metallspiegel ihr Gegenüber nur grob wiedergeben.

Das ändert sich erst, als venezianische Handwerker gegen 1450 lernen, außerordentlich klares Glas in dünnen Scheiben anzufertigen. In den folgenden Jahrhunderten wird Glas immer aufwendiger gegossen, gewalzt, geschliffen und einseitig mit einer Legierung aus Zinn und Quecksilber beschichtet, später auch mit einer Silberlösung. Immer besser wird die Qualität der Spiegel.

1959 schließlich stellt der Brite Alastair Pilkington ein Herstellungsverfahren vor, das Schleifen und Polieren erspart: Heißes, flüssiges Glas schwimmt dabei auf einem Zinnbad, bis es erkalte und absolut eben und klar wird. Da Zinn einen niedrigeren Schmelzpunkt als Glas hat, bleibt das Metall flüssig und lässt sich leicht vom Glas trennen. Eine Beschichtung aus Aluminium oder Silber sorgt schließlich für die gewünschte Lichtreflexion.

Bis heute werden Spiegel so gefertigt.

Wie aus Erz Metall wird

Es beginnt mit ein paar Schmuckstücken. Vor rund 10 000 Jahren fertigen Steinzeitmenschen in der Osttürkei Perlen aus Kupfer – die ersten metallischen Erzeugnisse der Geschichte. Doch noch verwenden diese frühen Künstler nur jenes Kupfer, das sie als reines Metall vorfinden. Kurz über dem Feuer erhitzt, bringen sie es lediglich in eine andere Gestalt.

Erst rund 3000 Jahre später kommt es zu einem entscheidenden Durchbruch: In der Osttürkei und auf dem iranischen Hochland bauen Menschen Öfen, in denen sie höhere Temperaturen erzeugen als mit jedem Lagerfeuer. Darin rösten sie bei rund 1100 Grad Celsius erstmals Kupfererz. Es bilden sich Schlacken und schließlich aus dem Gestein gelöstes, reines Kupfer.

Womöglich haben die frühen Metallurgen zuvor bereits Steine erwärmt, um darauf zu kochen. Oder sie haben bewusst Materialkunde betrieben. Vielleicht ist es also kein Zufall, dass sie das Prinzip dieser „Verhüttung“ entdecken.

Aus dem Erz gewinnen sie jedenfalls ein vielseitig einsetzbares Metall. Es lässt sich schmieden oder gießen und erstarrt zu neuartigen Werkzeugformen oder Schmuckgebilden. Dazu braucht man Fachleute – in der Bauerngesellschaft, in der jeder alles beherrscht, kommen nun Spezialisten auf.

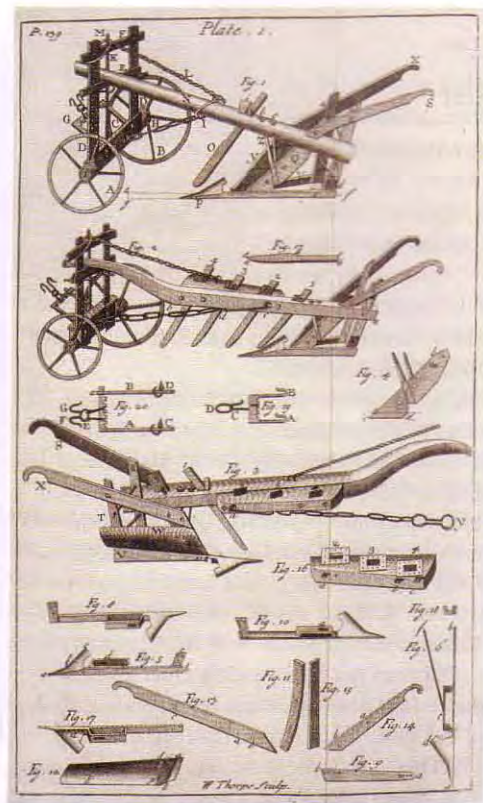


Um 1550 gewinnen Handwerker aus Erzen Silber und andere Metalle

Um 2800 v. Chr. erfinden sie wohl eher zufällig eine Methode, das weiche Kupfer widerstandsfähiger zu machen: Sie erhitzen einen Mineralklumpen, der sowohl Kupfer als auch Zinn enthält. Beide Metalle vermengen sich, Bronze entsteht – eine härtere Legierung.

Mit der zunehmenden Bedeutung der Bronze sowie verschiedener Metalle entstehen Handelswege, werden Lagerstätten planvoll ausgebeutet, Reichtümer angehäuft, Siedlungen mit größerem Schanzwerk als je zuvor gegen Raubzüge geschützt.

Ihren Höhepunkt erreicht die Epoche der Metalle gut anderthalb Jahrtausende nach der Bronze-Premiere: als verbesserte Öfen bei 1500 Grad Eisenerz auslassen. Denn das so gewonnene Eisen verdrängt im Verlauf nur weniger Hundert Jahre die meisten anderen Metalle. Und gehört noch heute, etwa als →**Stahl**, zu den wichtigsten Stoffen der Menschheit.



Pflug mit vier Schneiden: So versucht der Engländer Jethro Tull 1733 eine uralte Erfindung zu verbessern

spätestens 4000 v. Chr.

Pflug

Den Boden bereiten

Die Erfindung des Pflugs markiert einen großen Schritt für die Menschheit: den von der Anlage kleinerer Gärten zum Feldackerbau. Wann und wo genau das erstmals gelingt, ist ungewiss. Doch Bildzeichen dokumentieren, dass bereits vor etwa 6000 Jahren Menschen in Mesopotamien Grabstock und Hacke beiseitelegen und sich vor ein Gerät spannen, das zunächst nur ein Grabstock in Hakenform ist.

Schon damit aber vermögen die Bauern lange Furchen für die Aufnahme der Saat zu ziehen, statt den Boden wie seit Beginn des ersten landwirtschaftlichen Anbaus vor rund 11 000 Jahren Schritt für Schritt aufzuhacken. Zudem können sie größere Flächen bepflanzen und mehr ernten als zuvor – sogar mehr, als sie selbst verbrauchen.

Im Laufe der Frühgeschichte erhöhen zwei weitere kulturelle Erfindungen die Effizienz des Pfluges: die Entwicklung eines geeigneten →**Jochs** (also eines Zugtiergeschirrs) sowie die Fähigkeit, Eisen zu schmieden.

Dank der nun zweckmäßiger eingesetzten Zugkraft von Ochsen oder Pferden, Maultieren oder Dromedaren kann die eiserne Pflugschar den Boden zur höheren Ausnutzung seiner Fruchtbarkeit viel tiefer aufbrechen als die frühere aus Holz – und ist überdies nahezu unverwüsth.

In der Neuen Welt ist der Pflug vor Kolumbus unbekannt, während viele Kulturen der Alten Welt ihn fortwährend verbessern. So entwickeln Bauern in China um etwa 500 v. Chr. das Streichbrett, das die aufgeworfene Scholle zur Seite schiebt. Und die Römer bauen dem Pflug erstmals Stützräder vor und erleichtern auf diese Weise dessen Bewegung.

Diese unablässige Optimierung der Pflugschar ermöglicht es der Menschheit über die Jahrtausende, ihre Versorgung mit selbst gezogenen Pflanzen erheblich zu steigern.



Ohne Rad kein Rollen – nicht einmal in einem Kunstwerk wie diesem Aston Martin DB4 GT von 1960

spätestens 3650 v. Chr.

Rad

19

Vom Schlitten zum Wagen

Nehmen Sie uns das Rad – und wenig wird übrig bleiben“, urteilt 1883 der Physiker Ernst Mach: „Es verschwindet alles. Vom Spinnrad bis zur Spinnfabrik, von der Drehbank bis zum Walzwerk.“

Tatsächlich ist das Rad einer der Schlüssel zur technischen Entwicklung – und zudem eine ureigene Erfindung des menschlichen Verstandes. Nirgendwo hätte *Homo sapiens* es abschauen können: Die Natur hat nichts Vergleichbares hervorgebracht.

Lange Zeit gelten kleine Tontäfelchen aus dem heutigen Irak als älteste Nachweise des Rades. In das weiche Material drücken Menschen um 3400 v. Chr. Zeichen ein, die Forschern heute ein Beleg für Rollen oder Räder sind. Diese Zeichen stützen die Annahme, Rad und Wagen hätten ihren Ursprung in der Kultur des Zweistromlandes.

Seit rund 20 Jahren erschüttern jedoch immer neue Funde von Wagen teilen, Radspuren oder Zeichnungen in Europa diese Hypothese.

Inzwischen glauben Archäologen, dass viele Erfinder schon vor rund 5000 Jahren unabhängig voneinander das Prinzip des Drehs zur Fortbewegung einsetzen – inspiriert vom Schlitten: Denn lange bevor der erste Wagen rollt, schleifen Menschen Lasten bereits auf Kufen umher. Als die Steinzeitkonstrukteure die Kufen mit Achsen und Rädern versehen, gewinnen sie ein kraftvolles Hilfsmittel.

Es dauert aber noch Jahrtausende, ehe findige Geister auf die Idee kommen, dass schon *ein* Rad allein zur Bewegung genügt: Die ältesten Belege für Schubkarren sind aus dem antiken China und aus Griechenland bekannt, wo Arbeiter dank des Rades in kürzester Zeit große Lasten bewegen.

Rollende Gefährte machen jeden, der sie besitzt, überlegen: Bauern können die Ernte schneller einfahren; über weite Strecken lassen sich mehr Waren austauschen; und im Krieg ist siegreich, wer mit wendigen Streitwagen den Feind überrollt. Die Kulturgeschichte der Menschheit wäre ohne die Erfindung des Rades eine völlig andere.

Wenn das Feuer die größte Entdeckung des Menschen ist, so ist das Rad wohl seine größte Erfindung.

um 3500 v. Chr.

Joch

20

Mit der Kraft der Tiere

Vermutlich binden Menschen in der Jüngerer Steinzeit den Ochsen jenen Strick, mit dem die Tiere den →Pflug ziehen sollen, anfangs direkt an die Hörner. Doch schon um 3500 v. Chr. kommen sie im Vorderen Orient darauf, wie sie die Kraft der Zugtiere besser nutzen können: mit dem einfachsten, aber bis heute in Ochsen gespannen verwendeten Geschirr – dem Genickjoch.

Dazu wird den Tieren ein Balken – lang genug, um zwei Ochsen nebeneinander zu verbinden – auf das Genick gelegt und mit Lederriemen an den Hörnern festgezurr. In der Mitte dieses „Jochbalkens“ befestigen die Bauern dann das Zugseil.



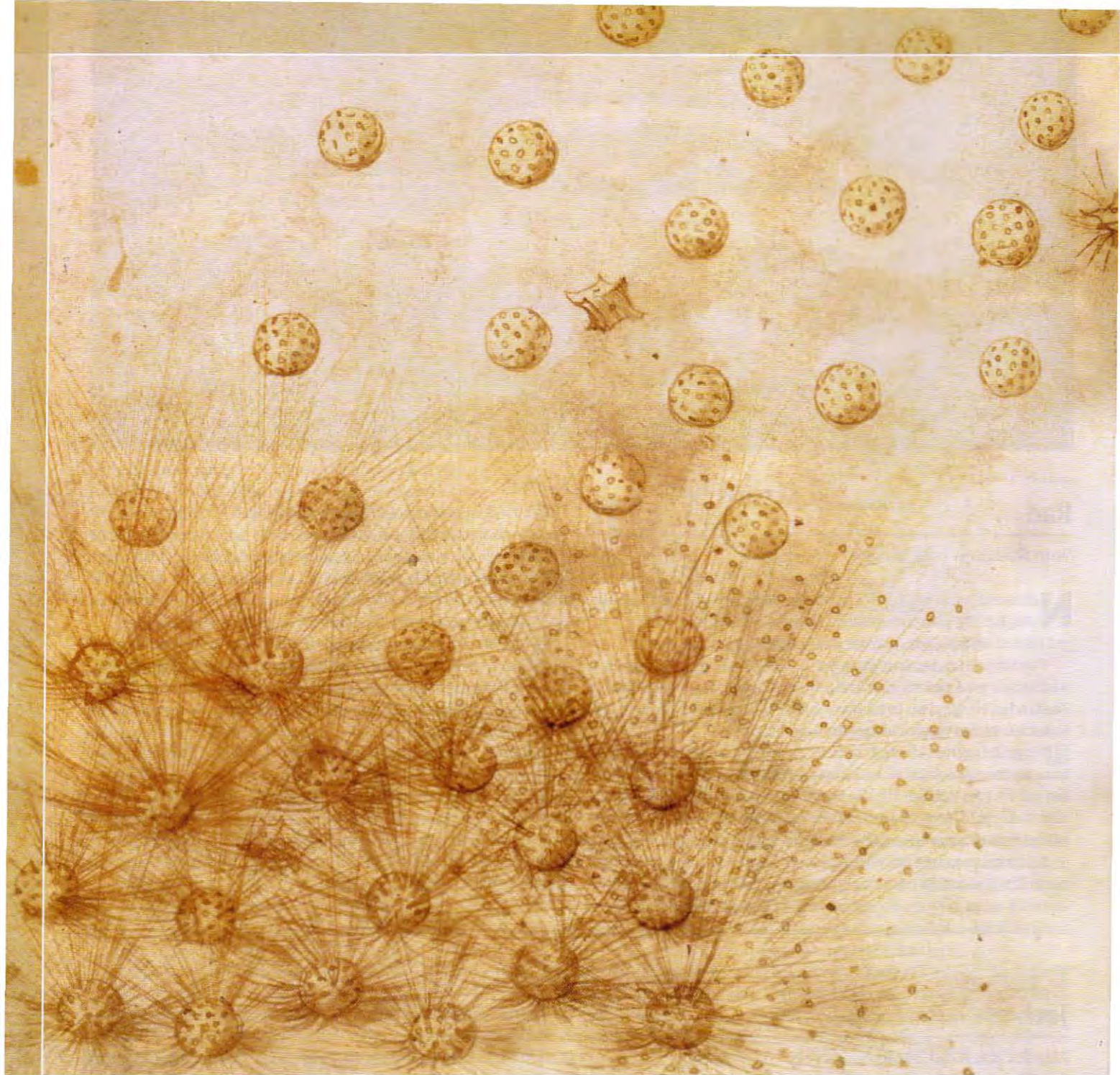
Erstes Zuggeschirr der Welt: das Joch

Später verbessern Tüftler das Zuggeschirr, indem sie seine Form der Nacken-anatomie der Ochsen anpassen. Damit wird die Arbeit für die Tiere bequemer und für die Nutzer effizienter. Mit einem Joch vor dem Widerrist (dem erhöhten Übergang vom Hals zum

Rücken bei Säugetieren) können schließlich auch Pferde angespannt werden. Noch besser arbeiten die Rösser – in China etwa seit 100 v. Chr. – mit dem Kummet: einem ledernen, individuell gepolsterten Halsring, an dem hängt, was zu ziehen ist.

Das Joch erhöht die Produktivität beträchtlich, denn die antiken Bauern nehmen nun mehr Land als zuvor unter den Pflug. Zudem lassen sich dank diverser Optimierungen, etwa dem ledernen Brustblattgeschirr der Kutschpferde, später auch Schlitten, Karren und Wagen bewegen.

Mit dem Joch beginnt also auch das moderne Transportwesen.



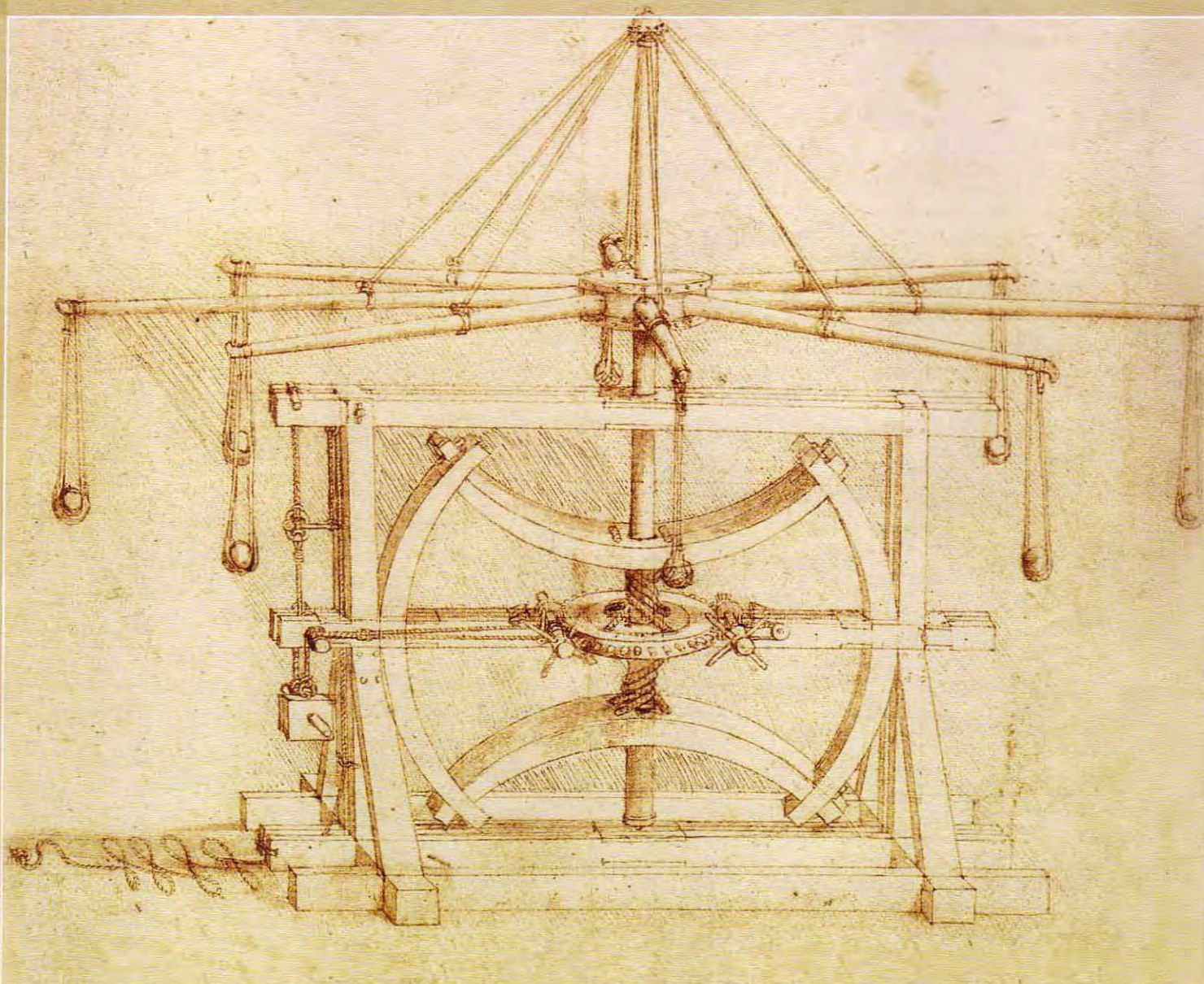
Leonardo da Vinci

DER MANN, DER SICH SELBST VORAUS WAR

Auf einen Papierbogen
zeichnet Leonardo da Vinci
(unten ein Selbstporträt)
gewaltige Mörser, die Salven
von zerplatzenden Kano-
nenkugeln abfeuern



Er entwirft Dutzende Maschinen, deren Raffinesse oft erst Jahrhunderte später verstanden wird. Er erfindet neue Maltechniken sowie Methoden der Präparation und will das Wesen der Dinge begreifen: Leonardo da Vinci ist so kreativ, dass er stets mit mehreren Dingen gleichzeitig beschäftigt ist – und es womöglich deshalb versäumt, auch nur eine seiner Erfindungen in die Praxis umzusetzen



Text: Rainer Harf

Leonardo da Vinci ist ein in sich widersprüchlicher Mensch. Ein Tagebuchschriftsteller, der auf Tausenden Seiten kaum ein Wort über seine eigenen Gefühle verliert. Ein Pazifist, der Massenvernichtungswaffen ersinnt. Ein unermüdlicher Erfinder, der womöglich keinen einzigen Plan in die Tat umsetzt.

Zudem scheint er mehrere Jahrhunderte in die Zukunft sehen zu können, so modern muten viele seiner Entwürfe an. Unter anderem skizziert er einen Segelflieger, einen Fallschirm sowie eine Art Hubschrauber aus Schilf, Holz und Leinen.

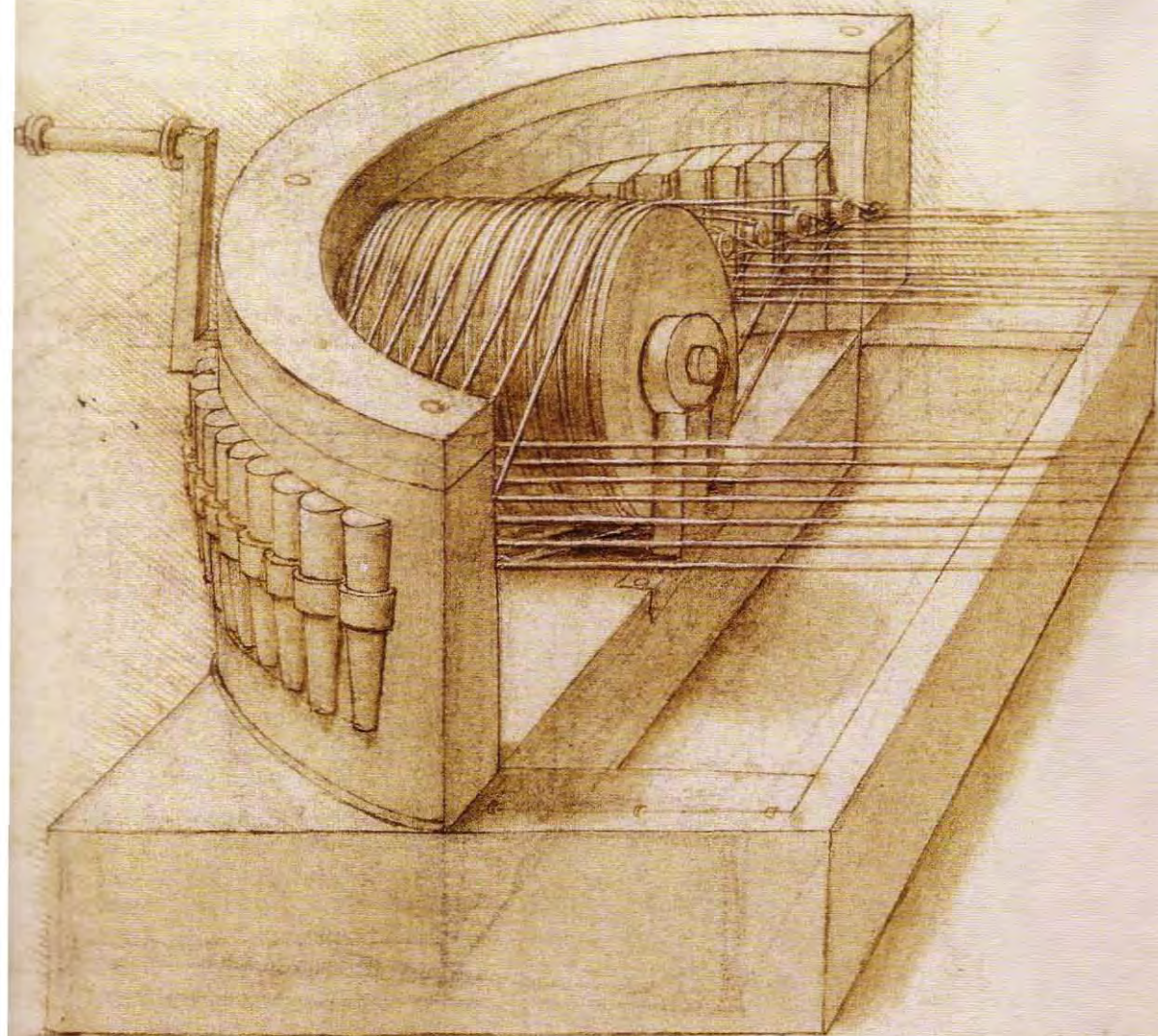
Angeregt durch Wurfmaschinen aus der Antike, skizziert Leonardo diese Mehrfachsteinschleuder, mit der Angreifer Festungen beschießen sollen. Und er beschäftigt sich mit der Verteidigung von Burgen – etwa damit, wie sich Eindringlinge mittels rotierender Balken abwehren lassen

Auf anderen Bögen zeichnet Leonardo ein Unterseeboot, mit Kanonen bestückte Panzerfahrzeuge und einen Sichelwagen, dessen rotierende Klingen feindliche Soldaten in Stücke schneiden sollen.

Er plant eine futuristisch anmutende zweistöckige Stadt, in der ein System von Wasserrädern automatisch die Straßen von Unrat und Exkrementen befreit. Seine Gedanken kreisen darum, Berge zu durchbohren, Flüsse mit

schwimmenden Baggern auszuheben oder mit riesigen Drehbrücken zu überspannen. Leonardo da Vinci gleiche „einem Menschen, der in der Finsternis zu früh erwacht war, während die anderen noch alle schliefen“, schreibt gut 450 Jahre später Sigmund Freud.

AM 15. APRIL 1452 wird Leonardo in dem toskanischen Dorf Vinci als unehelicher Sohn eines Bauernmädchens und eines Notars geboren. Früh erkennt der Vater den Ehrgeiz und die Begabung seines Sohnes: Mit 17 Jahren schickt er ihn nach Florenz, wo der junge Mann eine Lehre beginnt bei Andrea del Verrocchio, einem angesehenen Bildhauer und Hoflieferanten der mächtigen Patrizierfamilie Medici.



Neben Kriegsmaschinen und Fluggeräten entwirft der Universalgelehrte Konstruktionen, die eher Alltagszwecken dienen sollen, darunter diese Apparatur zur Herstellung von Seilen sowie ein Schaufelradboot, eine mechanische Säge und eine Kanalbaumaschine

**ER ZERTEILT EIDECHSEN,
INSEKTEN, SCHLANGEN,
FLEDERMÄUSE UND
BASTELT AUS IHREN
LEIBERN FANTASIEWESEN**

Schon bald bringt es Leonardo zu großer Meisterschaft: Als er den hölzernen Rundschild eines Bekannten des Vaters bemalen soll, fängt er Eidechsen, Insekten, Schlangen und Fledermäuse, zerreißt die Tiere und bastelt aus ihren Leibern als Vorlage ein Fantasiewesen. Tagelang arbeitet er an dem Werk, bis sein Zimmer vom Gestank der Kadaver erfüllt ist.

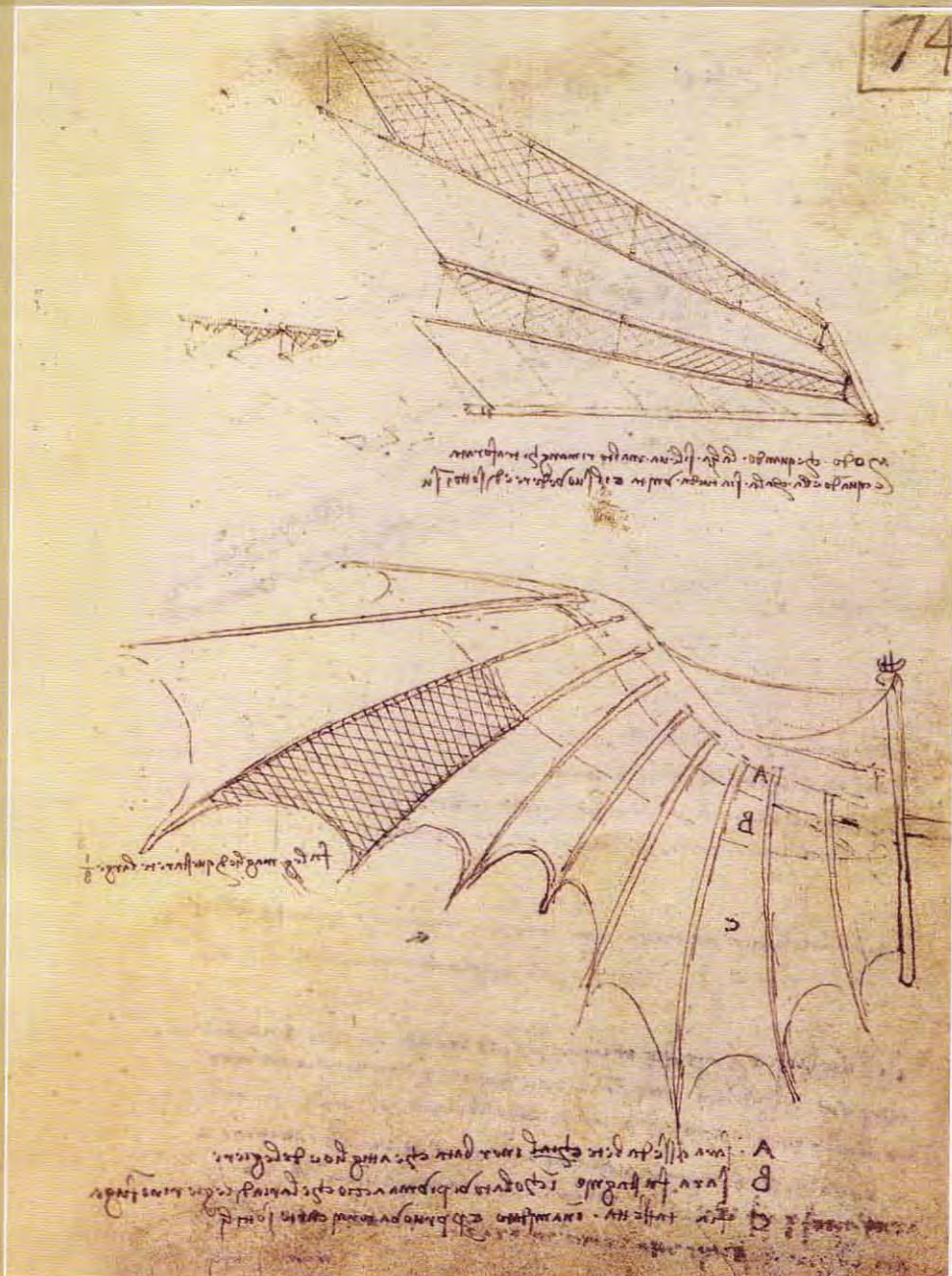
Schließlich präsentiert er das Gemälde eines Gift und Feuer speienden Ungeheuers, das so lebensecht wirkt, dass der Vater seinem Bekannten einen anderen Schild besorgt und den von seinem Sohn bemalten für viel Geld an einen Kaufmann veräußert.

Nach nur drei Jahren wird Leonardo in die angesehene Lukas-Gilde für

Maler aufgenommen – und lebt fortan von Auftragsarbeiten. Verrocchio, der unter anderem als Metallurg und Maschinenbauer arbeitet, fördert daneben die wissenschaftliche Neugierde und Beobachtungsgabe seines Schülers.

Das wichtigste Instrument der Erkenntnis ist für Leonardo das Auge. Eingehend beschäftigt er sich mit den Gesetzen der Optik, mit der Gestalt und dem Erscheinungsbild der Dinge – und gelangt zu verblüffenden Einsichten: „Die äußeren Begrenzungen eines Gegenstandes sind keinesfalls Teil des Gegenstandes selbst“, schreibt er. „Denn das Ende eines Gegenstandes ist bereits der Beginn eines anderen.“

Eine Auffassung, die Leonardo dazu veranlasst, eine völlig neue Maltechnik



Für den Entwurf eines künstlichen Flügels studiert der Gelehrte die Mechanik des Vogel-
flugs, erkundet die Strömung der Luft und skizziert Hunderte Vogelschwingen

zu entwickeln, das *sfumato* (ital. = ver-
raucht). Auf seinen Gemälden grenzt er
Figuren und Objekte nicht durch klare
Konturen voneinander ab, sondern lässt
sie durch weiche Farbverläufe ineinan-
der übergehen – als seien sie von einem
zarten Schleier bedeckt.

Nach einigen Jahren als Maler und
Bildhauer in Florenz bewirbt sich Leo-
nardo beim Herzog von Mailand. Mehr
als ein Jahrzehnt arbeitet er an dessen
Hof: als Musiker, Sänger, Bühnenbild-
ner, Kostümdesigner, Regisseur – und
als Waffenkonstrukteur für seinen
kriegshungrigen Arbeitgeber.

Die Faszination, die Kraft des Men-
schen mithilfe von Maschinen zu ver-
vielfachen: Sie treibt Leonardo offenbar
zu vielen seiner technischen Utopien.

Er zeichnet Kanonen, die ganze Sal-
ven von Granaten abfeuern. Schleudern,
die gleichzeitig acht Steingeschosse
katapultieren. 16 Armbrüste, die an
einem riesigen rotierenden Rad befest-
igt sind; eine gigantische Armbrust mit
30 Meter Bogenspannweite.

Vermutlich weiß Leonardo, dass sich
fast alle diese Pläne nicht umsetzen
lassen. Es geht ihm vielmehr darum,
seinen Auftraggeber zu beeindrucken.

Denn sein Renommee als Kriegstech-
niker beruht nicht zuletzt auf seiner
Wirkkraft als Künstler. Virtuos setzt er
die Effekte der Perspektive ein, spielt
in seinen Skizzen mit Licht und Schat-
ten, hebt selbst in den utopischen Ent-
würfen technische Details so genau
hervor, dass Wunsch und Wirklichkeit
kaum auseinanderzuhalten sind.

Leonardo liebt die Freiheit, und so-
lange der Herzog mit seiner Arbeit zu-
frieden ist, hat der Künstler Zeit, seinen
eigenen Studien nachzugehen. Nie gibt
er sich damit zufrieden, die Natur nur
oberflächlich wiederzugeben. Er ist ge-
trieben vom Drang des Naturforschers,
das Wesen der Dinge begreifen und dar-
stellen zu wollen.

Um etwa den Mechanismus des Se-
hens, des „edelsten“ der fünf Sinne, zu
ergründen, schneidet Leonardo Augen
auf und studiert deren Innenleben.

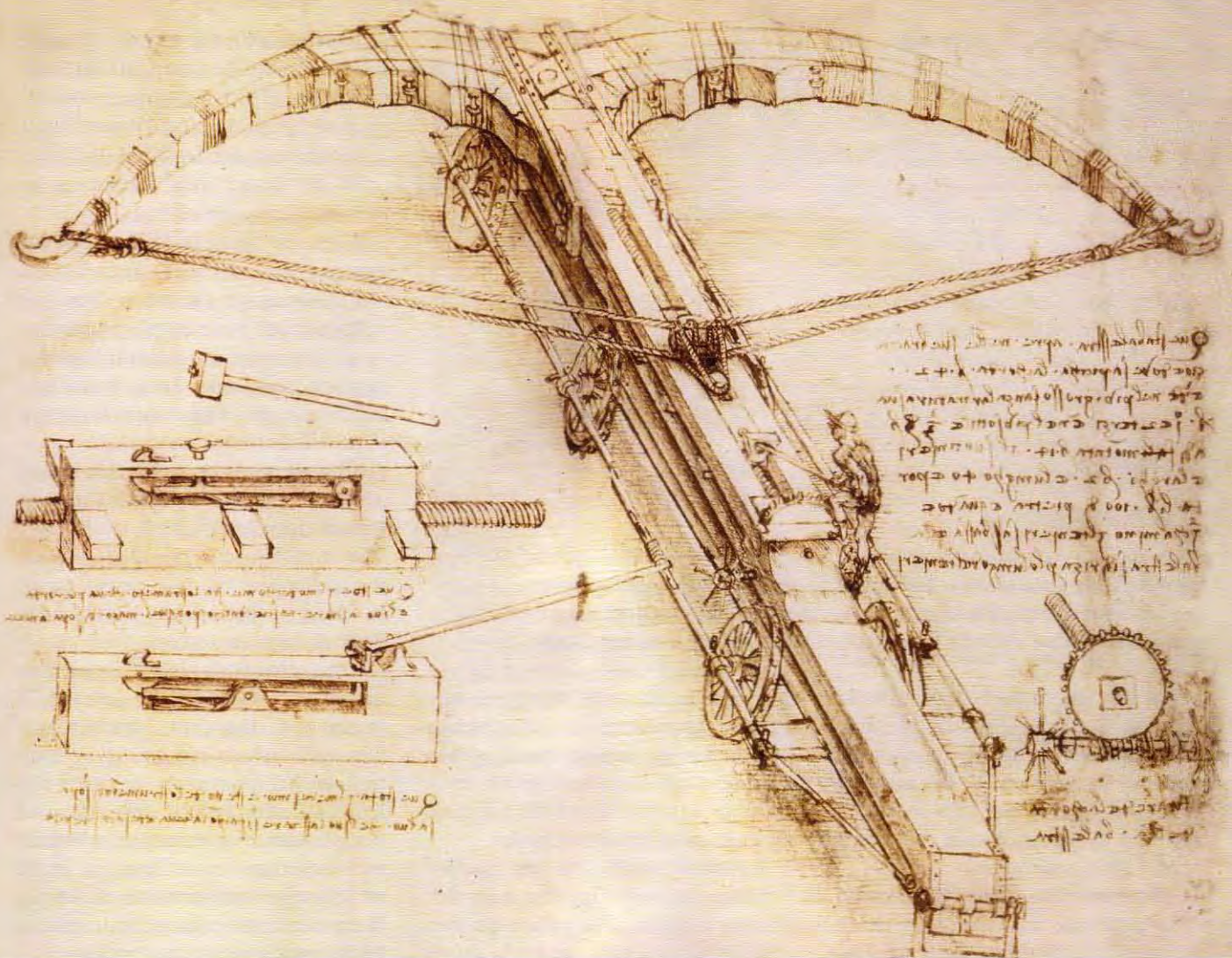
Scheinbar beiläufig erfindet er dafür
eine neue Methode der Präparation: Da
Augen normalerweise nach wenigen
Schnitten zu gallertartigen Klumpen
zusammenfallen, erhitzt er sie in Ei-
weiß und Wasser. Sind die Sehorgane
dann fest wie gekochte Eier, kann er sie
müheless halbieren.

Kein Detail entgeht dem Blick des
Anatomen. Stets hält er das Beobach-
tete in Skizzen fest. Denn Zeichnen be-
deutet für ihn: erkennen. Mit dem Stift
erforscht er die Mechanik des mensch-
lichen Körpers. Er seziiert Köpfe, legt de-
ren Gesichtsmuskulatur frei, geht den
Prinzipien der Mimik auf den Grund.

Dabei erkennt er unter anderem,
dass die Lippen nichts anderes als Mus-
keln sind und von seitlichen Strängen
zu einem Lächeln verzogen werden.

„Der Maler streitet und eifert mit der
Natur um die Wette“, notiert er. Das gilt
auch für den Erfinder Leonardo. Der
menschliche Schöpfergeist könne zwar
immer neue Erfindungen ersinnen –
doch nie werde ihm eine gelingen, die
schöner, ökonomischer und geradlini-
ger sei als die Natur selbst. Denn in
allem, was sie hervorbringe, fehle nichts,
und nichts sei zu viel.

Lebewesen, das seien perfekte Ma-
schinen. Vorbilder für Leonardos mecha-
nische Konstruktionen. Gelenke und
Sehnen vergleicht er mit Scharnieren



und Winden, Muskeln und Knochen mit Zahnrädern und Hebeln. Unser Kopf werde von den Halsmuskeln in Position gehalten wie der Mast eines Bootes von den Wanten.

Auch ein Vogel sei nur ein Gerät, das gemäß mathematischen Gesetzen funktioniere. Leonardo ist sich sicher, dass es dem Menschen ebenso möglich sein müsse, mit einer Flugmaschine den Luftraum zu erobern.

UM DEN TRAUM VOM FLIEGEN zu verwirklichen, studiert der Mann aus Vinci die Mechanik des Vogelflugs, untersucht die Strömung der Luft, die Kräfte, die an einem fliegenden Körper zerren. Er zeichnet Hunderte Vogelflügel, skizziert Antriebsmechanismen und künstliche Schwingen. Prüft und notiert Materialien für seine Fluggeräte: Tannenholz, mit Linde verstärkt;

Diese gigantische Armbrust lässt sich nur mithilfe eines Zahnrads spannen. Unklar ist, ob Leonardo den Bau und Einsatz einer solchen Waffe tatsächlich für möglich erachtet – oder ob es ihn einfach nur reizt, die komplizierte Technik darzustellen

EIN POLSTER AUS LUFTGEFÜLLTEN WEINSCHLÄUCHEN SOLL ZUKÜNFTIGE PILOTEN BEIM ABSTURZ SCHÜTZEN

die Haut eines fliegenden Fisches für die Tragflächen; Gurtleder, mit Fett behandelt.

Und er ersinnt gar eine Konstruktion aus luftgefüllten Weinschläuchen, die sich der Pilot umbinden soll, um einen etwaigen Absturz zu überleben. „Fällst du mit dem doppelten Schlauch herab, den du unter dem Gesäß hast, so Sorge dafür, dass du mit ihm auf dem Boden aufschlägst“, schreibt Leonardo auf ein Notizblatt.

Trotz dieser konkreten Überlegungen ist kein einziger Flugversuch dokumentiert, kein einziges Modell eines Fluggerätes aus jener Zeit vorhanden.

Manche Experten vermuten daher, Leonardo habe sich nie darum bemüht, seine theoretischen Entwürfe in die Praxis umzusetzen.

Die meisten seiner Modelle wären wohl ohnehin nicht flugtauglich ge-



Für den Herzog von Mailand ersinnt Leonardo einen die Gegner verstümmelnden Sichelwagen und einen rundum mit Kanonen bestückten und mit Holzschirm geschützten Panzer. Doch die Kriegsgeräte kommen offenbar nie zum Einsatz

wesen: Schwingen aus Federn etwa, die sich beim Auffalten spreizen. Oder eine Art Tretmühle, in der ein Mann steht und über Kurbeln und Pedale mehrere Paddel oberhalb seines Kopf so schnell auf- und abbewegt, dass er sich selbst in die Luft hinaufrudert.

Immerhin: Ein halbes Jahrtausend nach Leonardos Tod testet Judy Leden, die dreifache Weltmeisterin im Drachenfliegen, im Oktober 2002 eine nach seinen Plänen erbaute Flugkonstruktion. Es ist ein Gleiter mit geschwungener Tragfläche und rund zehn Meter Spannweite. In der Mitte baumelt ein pyramidenartiges Gestell, an dem die Pilotin hängt.

Und tatsächlich: Judy Leden hebt ab, fliegt zehn Meter hoch, 200 Meter weit – und übertrifft damit die Flugversuche der Pioniere Lilienthal und Wright aus den Jahren 1891 und 1903 (→ *Flugzeug*).

WESHALB HAT LEONARDO seine Pläne nicht schon im 16. Jahrhundert realisiert? Womöglich kommt es dem Augenmenschen darauf gar nicht an: „Nachdenken ist ein edles Werk“, notiert er, „Ausführen ein unterwürfiges.“

Wie sein erster Biograf Giorgio Vasari 1550 schreibt, hat Leonardo viele Dinge nicht zu Ende gebracht, weil

ihm schien, dass die Hand niemals die Perfektion jener Dinge erreichen könne, die er sich vorzustellen vermochte. Wohl auch deshalb hat er in mehr als 40 Jahren als Maler nur rund ein Dutzend Gemälde vollendet.

Vielleicht stand sich der rastlose Erfinder auch selbst im Weg, da er sich ständig verzettelte. Man dürfe glauben, schreibt Vasari, dass Leonardo durch seine großartige und vortreffliche Veranlagung so ambitioniert war, dass er sich selbst behinderte.

Und der Leonardo-Forscher Martin Kemp von der Universität Oxford bemerkt: „Dank seines immensen Erfindungsreichtums boten sich ihm häufig so viele Alternativen, dass dies seine Entscheidungskraft lähmte.“

Tatsächlich beschäftigt sich Leonardo stets mit mehreren Projekten gleichzeitig. Nie betrachtet er einen Gegenstand, ohne dabei zugleich an ganz andere Themen zu denken: Ein Notizblatt über Optik ergänzt Leonardo mit der Skizze eines Gesichts, einer kurzen Abhandlung über die Herstellung einer Farbe und mit dem Rezept für eine Arznei.

Auf einer seiner zahlreichen Listen schreibt der Universalgelehrte: „Finde heraus, wie man Bombarden und Festungswälle bei Tag und Nacht errichtet, wie der Turm von Ferrara ohne Fugen

gemauert wurde, wie man ein Dreieck quadriert.“ Weiter unten auf der Seite notiert er, einem Franzosen versprochen zu haben, ihm die Dimensionen der Sonne mitzuteilen. Und stellt sich dann die Frage: „Wie laufen sie in Flandern auf dem Eis?“

Alles mit allem in Verbindung zu bringen: Das zeichnet Leonardo aus. Was heutzutage Hunderte Forscher in Thinktanks bewerkstelligen, vereint er in einer einzigen Person: laterales Denken. Statt einer Frage geradlinig auf den Grund zu gehen, springt er von einer Assoziation zur nächsten.

Überall sucht er nach Analogien. „Um den Geist zu den verschiedensten Erfindungen anzuregen“, rät er etwa seinen Schülern, zufällige Muster (beispielsweise die auf einem Stein) so lange zu betrachten, bis sie neue Formen darin entdecken.

Leonardos Welt gleicht einem Baukasten. Er betrachtet nicht – wie andere Ingenieure seiner Zeit – Maschinen als Ganzes, sondern zerlegt sie in funktionale Komponenten. Zeichnet Gelenke, Getriebe, Federn, Zahnräder und Kupplungen. Einzelteile, deren Nutzen nicht schon im Voraus festgelegt ist. Eine Schraube etwa kann ihm als Verbindungselement dienen, als hydraulische Fördermaschine oder als Propeller.

Der Ingenieur Leonardo begründet so ein bis heute angewandetes Prinzip: aus der Variation, Modifikation und Kombination einfacher Maschinenelemente komplexe technische Geräte unterschiedlichster Funktion zusammenzusetzen.

Er entwirft Maschinen zum Scheren von Stoffbahnen, zum Hämmern von Feilen, zum Durchbohren von Holzklötzen, zum Schleifen von Spiegeln. Einen über Heißluft betriebenen automatischen Bratenwender. Und ein Gerät zur Herstellung von Nadeln, das nach seiner Berechnung bei 20 Arbeitstagen im Monat 60 000 Dukaten Profit im Jahr abwerfen würde.

Ganz Europa sei voll von Leonardos Erfindungen, schwärmt Lomazzo, ein Maler und Zeitgenosse, im 16. Jahrhundert. Und doch: Niemand hat bislang einen eindeutigen Beleg dafür gefunden, dass seine neuartigen Maschinen

auch tatsächlich gebaut worden sind. Da Vinci schreibt keine größeren Publikationen, veröffentlicht kaum einen seiner Entwürfe. Sondern verbirgt die allermeisten seiner Ideen in Stapeln von Notizblättern.

Ein möglicher Grund: Der Meister hat Angst vor Plagiatoren. Vor allem in späteren Jahren verfasst er seine Gedanken nicht nur in der für ihn typischen Spiegelschrift, die ihm als Linkshänder das Schreiben erleichtert, sondern verschlüsselt seine Worte zudem mit alchemistischen Symbolen.

SEINEN AUFZEICHNUNGEN lässt sich entnehmen, dass Leonardo zu einer Zeit, als Karren und Kutschen die raffiniertesten verfügbaren Vehikel waren und die Dampfmaschine noch fast drei Jahrhunderte lang unbekannt blieb, geradezu besessen war von der Idee, die Welt zu automatisieren und Prozesse zu beschleunigen.

Einen der verblüffendsten Entwürfe hat der US-Roboterexperte Mark Ros-

heim exakt nach den Plänen Leonardos nachgebaut: ein Wägelchen auf drei Rädern, in dessen Innerem eine komplizierte Konstruktion aus Zahnrädern, Spangen und Hebeln montiert ist. Über

LEONARDO IST DAVON BESESSEN, DIE WELT ZU AUTOMATISIEREN UND MIT MASCHINEN AUSZUSTATTEN

ein Rad lässt sich eine Feder aufziehen, deren Kraft dafür sorgt, dass sich die Maschine in Bewegung setzt.

Sie fährt zunächst ein Stück geradeaus, schlägt dann eine Kurve ein und rollt weiter. Werden ein paar Nocken im Inneren ausgetauscht, schlägt das Gefährt nach erneutem Aufziehen einen

ganz anderen Kurs ein. Es ist, vermutet Rosheim, wohl der älteste Automat der Welt, der sich programmieren lässt.

Eine Idee, die Leonardo da Vinci wie so viele andere scheinbar beiläufig skizziert hat.

Als er am 2. Mai 1519 im Alter von 67 Jahren stirbt, vermacht er seinem Lieblingsschüler Francesco Melzi einen Schatz aus Papier: Tausende großformatige Bögen, winzige Notizbücher, in Leder gefasste Kladden – gefüllt mit den Gedanken und Erkenntnissen, den Erfindungen und Visionen eines Jahrtausendgenies. Melzi stellt zwei Sekretäre ein, um Leonardos Nachlass zu ordnen.

In einem Brief an die Hinterbliebenen schreibt er über den toten Freund: „Einen wie ihn zu erschaffen, hat die Natur nicht mehr die Macht.“ □

Rainer Harf, 32, ist GEOkompakt-Redakteur.

Literatur: Stefan Klein, „Da Vincis Vermächtnis“, S. Fischer. Frank Zöllner, „Leonardo da Vinci“, Taschen. Mario Taddei et al., „Leonardo dreidimensional“, Belser, zwei Bände.

Hightech-Yacht vom
Typ »70«: Solche Boote
werden bis zu 35 Knoten
(65 km/h) schnell



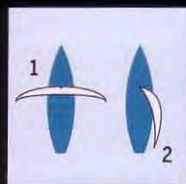
spätestens 3200 v. Chr.

Segel

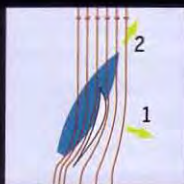
21

Die Energie des Windes

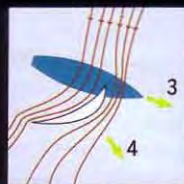
Sicher belegt ist, dass Menschen seit mehr als 5000 Jahren Segel setzen, und sehr wahrscheinlich, dass sie das schon früher getan haben. Zwar stammt der älteste Beweis – ein Keramikgefäß, auf dem ein Segel abgebildet ist – aus



Segeltypen: Rahsegel (1) sind quer zum Mast aufgehängt, Schratsegel (2) werden längs zur Schiffsachse geführt



Die Luftströmung (rot) übt einen Druck auf das Schratsegel aus (1), Kiel oder Schwert vermindern eine Abdrift und halten das Boot auf seinem Kurs »hoch am Wind« (2). Bei einem Kurs »halber Wind« (3) treibt der Druck (4) das Schiff schneller voran, es hat weniger Abdrift



der Zeit zwischen 3500 und 3200 v. Chr. Doch müssen Not oder die Neugier auf das andere Ufer schon lange zuvor viele Mutige aufs Meer gelockt haben; und kaum denkbar, dass niemand von ihnen dabei auf die Idee gekommen sein sollte, die hilfreiche Kraft des Windes zu nutzen.

Jedenfalls bläst er seit unvorstellbaren Zeiten Entdecker und Händler, Krieger und Piraten durch die Weltgeschichte. Jahrhundertlang kommen dabei ausschließlich rechteckige Segel zum Einsatz, die an Querstangen hängen: den Rahen.

Mit diesen Rahsegeln werden Schiffe bei Rückenwind gut vorangetrieben – bei Gegenwind jedoch machen Rahsegler kaum Fahrt.

Denn will ein Segler ein Ziel in jener Richtung erreichen, aus der ihm der Wind entgegenbläst, muss er einen Zickzackkurs einschlagen. Dabei wird das Schiff im Wechsel nach Back- und Steuerbord gelenkt und „kreuzt“ immer wieder den Wind. Für Rahsegler sind solche Manöver zuweilen jedoch schwierig, weil sie sich auf eng gesteckten Kursen nicht so leicht oder gar nicht steuern lassen.

Erst nach mehr als drei Jahrtausenden gelingt dies mit einem neuen Segeltyp: dem Schratsegler, bei dem das Segel längs der Schiffsachse geführt wird. Dank seiner guten Aerodynamik vermag er in spitzeren Winkeln am Wind zu fahren und kommt selbst dann noch schnell voran, wenn der Wind von vorn bläst (siehe Illustration).

Schratsegel setzen möglicherweise schon antike Seefahrer im 2. Jahrhundert v. Chr., gewiss jedoch 400 Jahre später. Im Laufe der Jahrhunderte werden die Schiffe immer größer, sie tragen mehr Masten und somit auch mehr Segel. Rah- und Schratsegel werden nun auch miteinander kombiniert.

Ende des 19. Jahrhunderts dann verdrängen die neuen Dampfer und Turbinenschiffe die Segler. Doch inzwischen arbeiten Ingenieure angesichts schwindender Energie-Ressourcen wieder an einem Comeback der „Windjammer“ – elektronisch-mechanisch aufgetaktet, versteht sich.

Zahn um Zahn

Die Idee ist gut, doch sie bringt dem zwölfjährigen Talus aus Athen kein Glück. Mit dem zahnbewehrten Unterkiefer einer Schlange zersägt der Neffe des Erfinders Daedalus zufällig ein Stück Holz – was ihn auf den Einfall bringt, so ein Gerät aus Metall nachzubauen. Doch so viel Erfindungsgeist ist dem berühmten Onkel gar nicht recht. Aus Furcht, übertrumpft zu werden, stürzt er den Jungen von einem Felsen.

Das tragische Erfinderschicksal ist nur eine Legende, besungen vom Dichter Sophokles. Denn tatsächlich sind Sägen aus Obsidian, einem harten vulkanischen Glas, schon um 4000 v. Chr. in Mesopotamien in Gebrauch. Mit fünf Zentimeter Länge sind deren Sägeblätter aber viel zu klein, um etwa Bretter zu sägen. Deshalb benutzen die Menschen zur Holzbearbeitung grobe Beile und schartige Messer aus Stein.

Metallene Sägen stellen erst die Ägypter her: Um 2500 v. Chr. fertigen sie Sägeblätter aus Bronze. Es sind ungespannte Stichsägen mit einem breiten Blatt, am stärkeren Ende mit einem Handgriff versehen. Sie werden vor allem beim Sägen von Brettern aus Bäumen verwendet.

Da die Zähne dieser Geräte noch nicht geschränkt sind (also abwechselnd nach links und rechts gebogen, um den Sägespalt zu verbreitern und so ein Festklemmen zu verhindern), ist die Herstellung großer Planken mühsam: Der Stamm wird dazu senkrecht fixiert und von oben eingesägt. Um dem Werkzeug das nötige Spiel zu verschaffen, müssen die aufgesägten Teile des Holzes mit Stricken auseinandergezogen werden.

Sägeblätter mit geschränkten Zähnen kommen wohl schon in der Bronzezeit auf, beschrieben werden sie aber erst sehr viel später. Jahrtausendlang werden damit nun Baumstämme zersägt und zugerichtet – aber nicht gefällt: Für die Baumernte ist noch die Axt das wichtigste Werkzeug. Erst ab etwa 1830 wird sie von der Handsäge abgelöst: Der Holzbedarf der Industrie ist anders nicht mehr zu bewältigen.



Den Germanen dient Seife vor allem als Pomade. Die Römer nutzen auch ihre Reinigungswirkung

um 2500 v. Chr.

Seife

23

Pflege mit Asche und Öl

Man nehme Öl und Pflanzenasche, aus Palmholz zum Beispiel, und koche alles über Stunden. Heraus kommt eine schmierige Masse: Seife. Denn über dem Feuer entsteht aus der Mixtur von Öl und Asche eine wasserlösliche Substanz, die von Schmutz befreit. Das Rezept dafür ist mehr als 4000 Jahre alt; um 2500 v. Chr. hält es ein Sumerer auf einer Tontafel fest und berichtet somit über eines der ältesten Chemieprodukte der Geschichte.

Die Sumerer sind vermutlich die Ersten, die damit ihre Kleidung waschen. Vor allem aber benutzen sie die Seife, ebenso wie später auch die Ägypter, für medizinische Zwecke, etwa als Mittel gegen Hautkrankheiten.

Zur Zeitenwende kennen auch Gallier und Germanen das Geheimnis der Seife – doch verwenden sie die Rezeptur, die statt Ölen Tierfette enthält, als Kosmetikum für die Haare. Die Germanen exportieren ihre Paste gar ins alte Rom: Jenseits der Alpen ist sie als Haarpomade begehrt. Dass man sich damit auch waschen kann, erkennen die Römer erst nach mehr als 100 Jahren.

Im 9. Jahrhundert wird Marseille zu einem Zentrum der Seifenherstellung. 500 Jahre später tritt Venedig als Seifenexporteur hervor: Das italienische Produkt, mit Duftstoffen angereichert, avanciert zum Luxusgut.

In Deutschland entwickelt sich die Kunst der Seifensiederei dagegen nur langsam, erst im 16. Jahrhundert finden sich in Büchern hin und wieder Seifenrezepte. 1844 preist der deutsche Chemiker Justus von Liebig die Seife schließlich als „Maßstab für den Wohlstand und die Kultur der Staaten“. Denn: „Es ist gewiss, dass man bei der Vergleichung zweier Staaten bei gleicher Einwohnerzahl denjenigen für den reicheren, wohlhabenderen und kultivierteren erklären kann, welcher die meiste Seife verbraucht.“



Vorläufer der Säge: 5000 Jahre altes Steinzeitwerkzeug aus Flintstein

Das heilende Kügelchen

Angepriesen ist die Revolution als „Heilmittel für das Beseitigen von Krankheiten im Bauch“. Dafür „werde Malachit fein zerrieben, in eine Brotfladenmasse gegeben, zu drei Pillen gemacht, werde geschluckt und heruntergespült mit süßem Bier“. 3550 Jahre alt ist diese Rezeptur, festgehalten in einem altägyptischen Standardwerk der Medizin.

Was hier beschrieben ist, kann als erste Pille gelten: Sie ist klein, hat eine feste Form und lässt sich rasch herunterschlucken. Zudem enthält sie die für Pillen typischen Bestandteile: einen Wirkstoff (Malachit, einen Halbedelstein) und einen Trägerstoff (das Brot), der die Pille zusammenhält und den Geschmack des Wirkstoffs überdeckt.

Anleitungen zum Pillendrehen finden sich später auch auf babylonischen und assyrischen Tontafeln sowie im antiken Griechenland. Doch zum Durchbruch kommt die neue Form der Arznei wohl erst im alten Rom: „Pillen sind zahlreich, und man bereitet sie zu verschiedenen Zwecken“, schreibt der Enzyklopädist Celsus um die Zeitenwende. Unter anderem erwähnt Celsus eine „Pille zur Heilung der Leber“ mit

den Zutaten Safran, Myrrhe, Keltischer Baldrian, dem Salzmineral Soda sowie Honig – der die Arzneistoffe bindet, konserviert und das Schlucken erleichtert.

Knapp 3500 Jahre lang gehört die Pille zu den wichtigsten Arzneiformen, bis der Engländer William Brockedon 1843 die Tablette erfindet. Er lässt sich eine Presse patentieren, mit der er das Arzneipulver durch Hammer-schläge enorm komprimieren



Vorgänger der Tablette: Noch 1934 drehen Apotheker Pillen mit der Hand

kann. Das neue Produkt ist der Pille deutlich überlegen: Es lässt sich lagern und kann auch maschinell trocken hergestellt werden. Und der Wirkstoff wird im Körper besser freigesetzt. Dank Brockedons Presse, die in den folgenden Jahrzehnten ständig weiterentwickelt wird, beginnt Ende des 19. Jahrhunderts die industrielle Produktion: Heute ist die Tablette die am häufigsten verwendete Arzneiform der Welt – allein in Deutschland werden jährlich rund 55 Milliarden Stück verkauft.

Die Kraft der Rotation

Ein rund 3500 Jahre altes ägyptisches Grabgemälde zeigt einen Schreiner, der einen →Bohrer auf ein Holzstück presst und ihn mittels eines Fiedelbogens dreht, also eines Holzbogens mit einer gespannten Schnur, die zudem um die Bohrstange geschlungen ist; wird der Bogen hin- und herbewegt, dreht sich der Bohrer in jeweils unterschiedliche Richtungen.

Nach dem umgekehrten Prinzip sind die ersten Drehbänke konstruiert, bei denen ein hölzernes Werkstück waagrecht eingespannt wird. Mithilfe des Bogens in Rotation versetzt, kann es mit Meißel, Stichel oder Schleifstein bearbeitet werden.

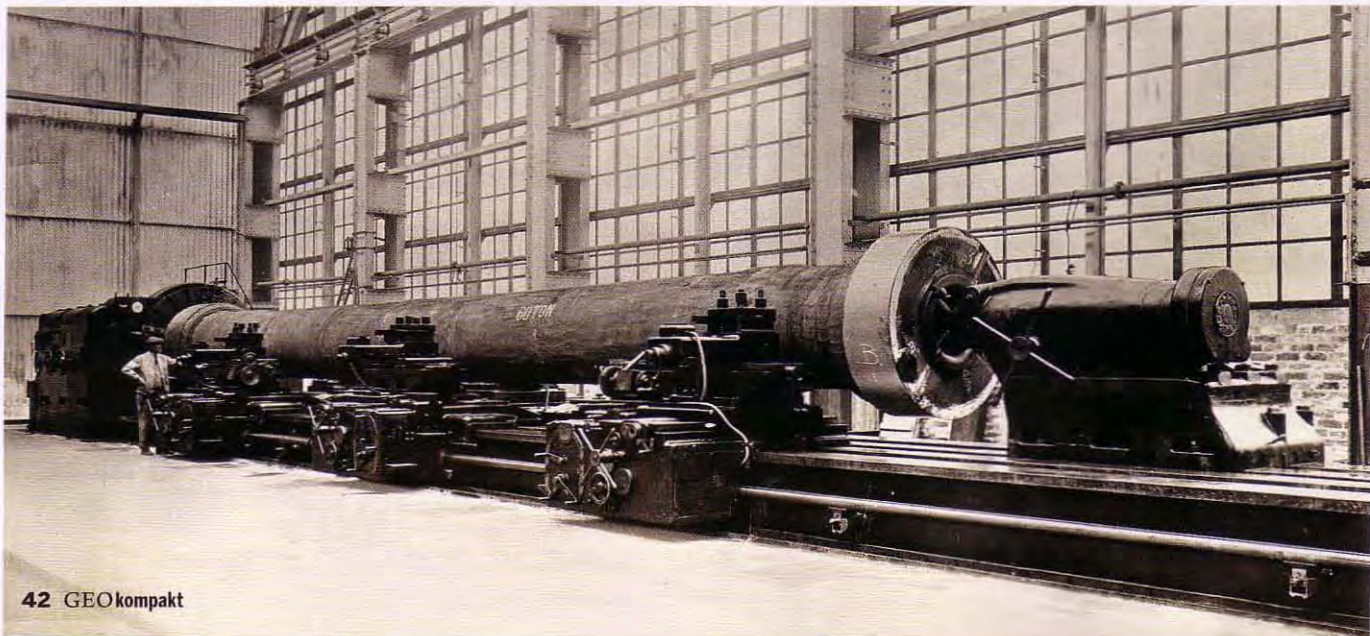
Schneller und präziser als je zuvor lassen sich so vermutlich bereits um 1500 v. Chr. Rundhölzer erzeugen (die Datierung beruht auf der Ähnlichkeit mit dem Prinzip des Drillbohrers, der zu jener Zeit aufkommt; die früheste Darstellung einer Drehbank findet sich jedoch erst auf einem ägyptischen Grabrelief aus der Zeit um 300 v. Chr.).


Im 1. Jahrhundert n. Chr. setzt sich zunehmend eine neue Bauweise durch. Dabei ist die um das Werkstück gelegte Schnur zwischen einem federnden Galgen und einem Wipfbrett befestigt, das der Dreher mit den Füßen bedient; er hat nun beide Hände für die Holzbearbeitung frei.

1568 stellt der Franzose Jacques Besson dann eine Drehbank vor, die stählerne Gewinde fräst. Und 1794 präsentiert der englische Maschinenbauer Henry Maudslay die erste moderne Drehbank, bei der sich das Bearbeitungswerkzeug in Längs- wie in Querrichtung verschieben lässt.

An den neuen Drehbänken fabrizieren Arbeiter im Akkord Maschinenbauteile – mit bis dahin unerreichter Geschwindigkeit und Präzision.

Bewegt Werkstücke mit einem Gewicht von bis zu 100 Tonnen: Drehbank von 1930





spätestens um 1200 v. Chr.

Wasserschöpfrad 26

Kraftsparendes Karussell

Der Schadensfall trägt sich um 1200 v. Chr. in Mesopotamien zu und wird auf einer Tontafel vermerkt: „Ein Mann hatte für das 17-stufige, sechs Meter große Tret-
rad eines Schöpfrades Ersatz zu leisten.“ Diese Notiz ist der älteste Hinweis auf ein Wasserschöpf-
rad, aus dem sich nach und nach das Wasserrad entwickelt, eine der wichtigsten Innovationen der Geschichte. Es ermöglicht den Transport großer Wassermengen in höher gelegene Bewässerungssysteme und Aquädukte.

Jahrhundertlang werden diese Schöpfräder fortan mit Muskelkraft betrieben. Der Bauer tritt auf die außen oder neben dem Rad angebrachten hölzernen Speichen. Dreht es sich, füllen sich am Rand befestigte Eimer beim unteren Durchgang mit Wasser und befördern es nach oben.

In Ägypten übernehmen diese Arbeit um 300 v. Chr. erstmals Esel und Ochsen: Dazu übersetzt ein hölzernes Zahnradgetriebe den waagerechten Zug der Tiere in die senkrechte Bewegung des Schöpf-
rades. Um 230 v. Chr. beschreibt der berühmte Archimedes von Syrakus eine Weiterentwicklung: eine frühe Pumpe, die das Wasser in einem Rohr per Schneckenwinde nach oben schiebt.

Zur gleichen Zeit drehen sich in Griechenland bereits Wasserräder, für die keine Körperkraft mehr nötig ist: Der Erfinder Philon von Byzanz erwähnt um 200 v. Chr. ein Schaufelrad, das allein vom strömenden Wasser angetrieben wird – die erste Energiemaschine.

Gut 180 Jahre später berichtet der römische Architekt Vitruv, wie das Schaufelrad dem Menschen eine der beschwerlichsten Arbeiten abnimmt: Es hält Kornmühlen in Bewegung. Bis ins 19. Jahrhundert ist die Wasserkraft der wichtigste Antrieb für Spinnmaschinen und Webstühle, für Eisenhämmer und Sägemühlen.

Ohne sie wäre die Industrialisierung nicht denkbar gewesen.

Die weltgrößten Wasserräder mit einem Durchmesser von bis zu 20 Metern schöpfen noch heute in Syrien

Von Seilen und Rollen

Gebt mir einen festen Platz zum Stehen, und ich werde die Erde bewegen“, ruft Archimedes von Syrakus (287–212 v. Chr.) der Legende nach einem staunenden Publikum zu. Dann rollt er ein Seil auf und hebt im Hafen der Stadt den voll beladenen Dreimaster „Syrakosia“ empor.

Ganz allein.

Der Mathematiker und Ingenieur bedient sich eines genialen Tricks: Er wendet das von ihm selbst formulierte Hebelgesetz an, wonach sich die Zugkraft verringert, wenn das Seil, das eine Last bewegen soll, um mehrere Rollen geschlungen wird: also einen Flaschenzug bildet.

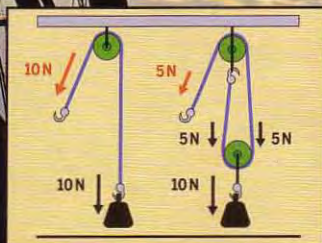
So erzeugt Archimedes an jenem Tag um 225 v. Chr. mithilfe eines komplexen Systems von Flaschenzügen die für das Hebe- manöver nötige Übersetzung – und kurbelt per Winde und mit minimalem Kraftaufwand das Schiff in die Höhe.

Bereits Jahrhunderte vor Archimedes fällt Menschen auf, dass sich eine Last leichter heben lässt, wenn sie an ein Seil gebunden wird, das man zuvor über einen Ast geworfen hat. Wird es über eine festsitzende Rolle geführt, erleichtert das die Arbeit noch mehr. Die erste bekannte Darstellung dieser Vorform des Flaschenzuges – der Rollenzug – findet sich auf einem assyrischen Relief um 870 v. Chr.

Später lenken Menschen die Zugseile sowohl um feste als auch um lose Rollen. Lange bevor es Archimedes gelingt, die Wirkweise des Flaschenzuges in mathematische Formeln zu fassen, nutzen Arbeiter – spätestens um 550 v. Chr. – Apparaturen mit drei bis fünf Rollen, etwa beim Beladen von Schiffen, in Steinbrüchen und auf Baustellen.

An der Anwendung des Prinzips hat sich nichts geändert: Bis heute arbeiten weltweit die meisten Kräne mit der Kraftübertragung durch Flaschenzüge.

Noch heute heben Kräne (hier in Rotterdam) Lasten mit Flaschenzügen



Das Flaschenzug-Prinzip: Läuft ein Seil über zwei Rollen (oben rechts), verteilt sich die Gewichtskraft (10 Newton) auf zwei Seilabschnitte – daher genügt die halbe Kraft (5 Newton), um die Last zu heben

Das Prinzip Kraftübertragung

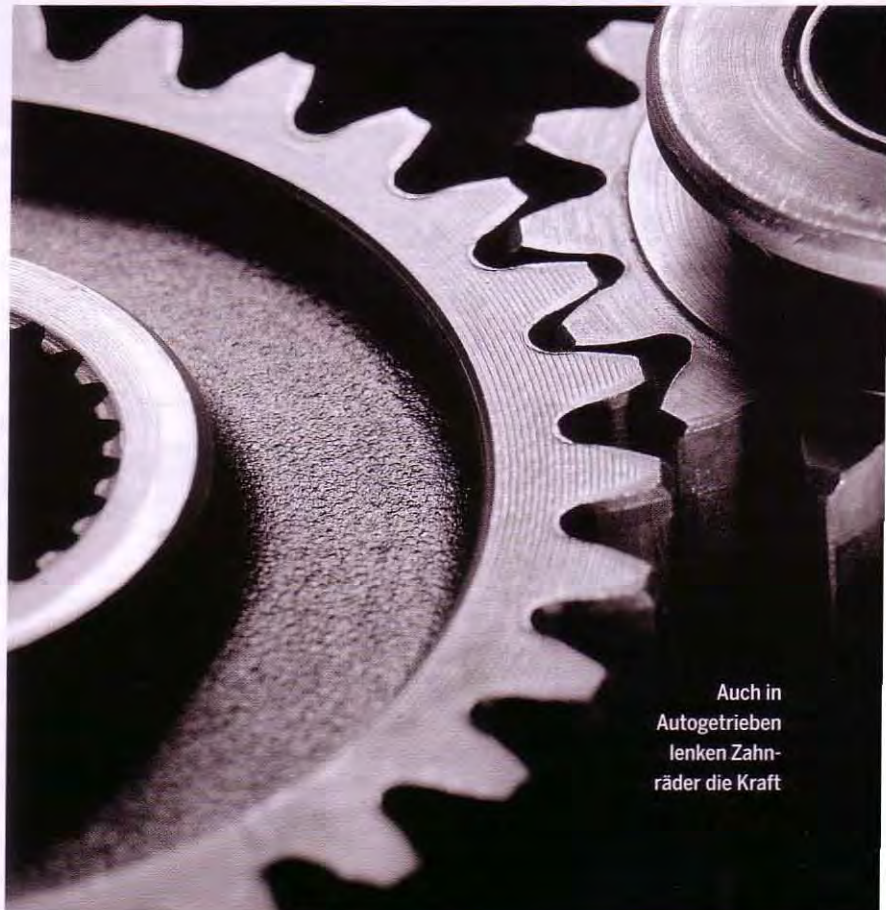
Das Gerät, das Taucher im Jahr 1900 vor der Ägäisinsel Antikythera finden, ist nicht viel mehr als ein korrodierter Klumpen. Er stammt von einem römischen Handelsschiff, das vermutlich um 80 v. Chr. gesunken ist. Doch tatsächlich besteht der „Mechanismus von Antikythera“ aus mehr als 30 Zahnrädern, die ineinandergreifen. Forscher wissen inzwischen: Das Räderwerk ist eine Art **Computer**, mit dem sich unter anderem Sonnen- und Mondfinsternisse vorhersagen ließen. Es ist das bisher komplexeste bekannte Zahnradgetriebe der Antike.

Wann und wo das Zahnrad erstmals auftaucht, ist unbekannt. Nur so viel steht fest: An ägyptischen **Wasserschöpfädern** drehen sich um 300 v. Chr. Zahnradgetriebe, die eine horizontale Drehbewegung in eine vertikale übersetzen. Etwa zur gleichen Zeit experimentieren griechische Gelehrte mit komplizierteren Gebilden – so Aristoteles (384–322 v. Chr.), der die Verwendung von Zahnrädern zur Umkehrung einer Bewegung beschreibt: Zwei ineinandergreifende Räder haben stets entgegengesetzte Drehrichtungen. Und sie weisen einen großen Vorteil auf: Anders als ein Riemen geben Zahnräder die Kraft ohne Verlust durch Schlupf weiter.

Archimedes von Syrakus soll um 230 v. Chr. mithilfe eines Zahnradwerkes sogar große Lasten gezogen haben. Dabei überträgt das Räderwerk die Kraft von einem kleinen, mit einer Kurbel versehenen Zahnrad auf ein großes; die Verbindung zwischen beiden stellen mehrere Zahnräder von unterschiedlicher Größe her.

Die schnelle Drehbewegung der Kurbel am kleinen Zahnrad, die einen relativ geringen Kraftaufwand erfordert, wird dabei bis zum großen Zahnrad geleitet, das langsamer, aber dafür mit größerer Hebelbewegung rotiert – und deshalb auch große Lasten bewegen kann.

Nach diesem Verfahren arbeiten bis heute viele Getriebe.



Auch in
Autogetrieben
lenken Zahn-
räder die Kraft



Die Windrose erleichtert das präzise Navigieren mit einem Kompass wie diesem aus dem Jahr 1775

frühestens 475 v. Chr.

Kompass

28

Orientierung in der Fremde

Niemand weiß, wann zum ersten Mal auffällt, dass Magneteisen immer annähernd genau nach Norden weist. Vielleicht geschieht dies schon vor Jahrtausenden – es nützt aber niemandem: Wozu brauchen Nomaden auf ihren immer gleichen Wegen einen Richtungsanzeiger?

Erst allmählich lernen Menschen, dass der Kompass ein hilfreiches Instrument ist für all jene, die große Entfernungen in unbekanntem Terrain überwinden. Die ersten Magnetkompass entstehen wahrscheinlich in China. In der Zeit der „Streitenden Reiche“ (475–221 v. Chr.) formen Konstrukteure aus einem magnetischen Mineral Löffel, die sich auf einer quadratischen Platte in Nord-Süd-Richtung einpendeln. In einem Lexikon von 986 n. Chr. definiert ein Gelehrter den Magneten als einen Stein, mit dem man „der Nadel die Richtung eingeben“ könne.

Doch erst das Schiff macht den Kompass zu einem Instrument, mit dem sich die Welt erforschen und erobern lässt. 1119 berichtet eine chinesische Chronik von Dschunken, die so navigiert werden. 1187 erreicht der Kompass Europa, wohl als Übernahme aus China.

Für die Seefahrer des Abendlands muss er wie eine Befreiung sein – vor allem, nachdem die Europäer ihn entscheidend verbessert haben: Um 1250 verbinden sie die Nadel mit der Windrose, einer mit einer Grad-einteilung versehenen Scheibe, die genauere Richtungsangaben nach allen Seiten ermöglicht.

Und weitere rund 50 Jahre später entwickelt ein nautischer Tüftler die kardalische Aufhängung für den Kompass: Erst jetzt bleibt die Nadel auch bei schwerem Seegang einigermaßen konstant nach Norden gerichtet – und erleichtert es so den europäischen Entdeckern, die Welt auch in Übersee zu erforschen.

Der rechnende Diener

Die wohl älteste aller Kalkulationshilfen ist das Rechenbrett. Wann es erfunden wird, kann heute niemand genau sagen. Die Römer verwenden eine Variante, den „Abakus“, bereits um 300 v. Chr. In China und Japan ist das Rechenbrett mindestens seit dem 16. Jahrhundert in Gebrauch. Und russische Händler nutzen es noch heute auf den Märkten.

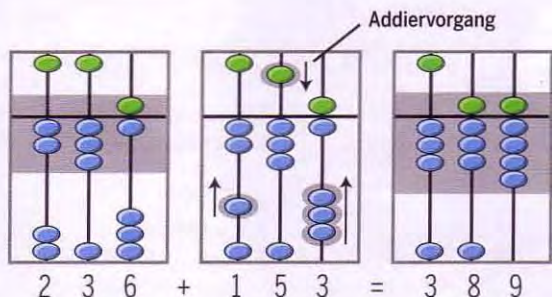
All diese Rechenhilfen arbeiten nach dem gleichen Prinzip: Kugeln oder Steinchen, beweglich auf Stäbchen montiert oder in Rinnen gelagert, stehen für die einzelnen Ziffern einer Zahl; auf diese Weise kann ein Abakus mit neun Reihen Zahlen von null bis 999 999 999 darstellen.

Diese simplen Rechner ermöglichen rasante Additionen und Subtraktionen, indem man die Kugeln um den jeweiligen Betrag verschiebt (siehe Illustration). Doch Dividieren und Multiplizieren sind sehr umständlich.

Für diese beiden Rechenarten entwickelt der Engländer William Oughtred 1622 eine weitere, genial einfache Gerätschaft: den Rechenschieber. Mit dessen Hilfe ordnet man jeder Zahl eine bestimmte andere Zahl zu: ihren Logarithmus. Der Multiplikation zweier Zahlen entspricht die Addition ihrer Logarithmen, der Division die Subtraktion. Umgesetzt wird dieses mathematische Gesetz, indem man auf dem Rechenschieber logarithmisch skalierte Streckenabschnitte aneinanderfügt.

Einen Kalkulator im modernen Sinne erfindet 1623 der Tübinger Astronom Wilhelm Schickard. Seine mit \rightarrow **Zahnrädern**, Drehknöpfen und Schiebern arbeitende Apparatur ist der Urtyp aller mechanischen Rechner: Zum ersten Mal liefert eine Maschine das Ergebnis einer Rechenoperation. Um etwa eine Addition auszuführen, stellt der Benutzer an sechs Rädern mit jeweils zehn Einstellmöglichkeiten (die Räder repräsentieren die Ziffern einer maximal sechsstelligen Zahl) zunächst den ersten Summanden ein. Dann dreht er die Räder um die Ziffern des zweiten Summanden weiter. Ein Zahnradgetriebe, über das die Ziffernräder verbunden sind, sorgt für den automatischen Zehnerübertrag. Das Ergebnis kann dadurch direkt an den Rädern abgelesen werden.

In den 200 Jahren danach entstehen weitere Geräte, die alle vier Grundrechenarten beherrschen. Doch sie werden allesamt nur in sehr geringen Stückzahlen hergestellt. Erst 1821 nimmt der Franzose Charles Xavier Thomas die serienmäßige Produktion von Rechenmaschinen auf. Im Verlauf von knapp 60 Jahren entstehen in seiner Pariser Werkstatt etwa 1500 Exemplare, die aber nach wie vor rein mechanisch funktionieren. Ab 1962 baut die Londoner Firma Bell Punch Co. dann den ersten elektronischen Tischrechner. Doch erst mit dem Aufkommen preiswerter Taschenrechner in den 1970er Jahren finden sich Rechenmaschinen in nahezu allen Haushalten.



Um die Ausgangszahlen 236 und 153 mit dem Abakus zu addieren, werden zunächst die Kugeln auf 236 eingestellt – jede blaue zählt 1, wenn sie zur Querstrebe hin verschoben wird (grau unterlegt), jede grüne 5. Dann bewegt man die Kugeln, die den Ziffern 1, 5 und 3 entsprechen (Mitte). Das Ergebnis: 389. Große Abakusse mit weiteren Reihen ermöglichen Berechnungen mit größeren Zahlen



Metallschrauben sind lange ein Luxusgut und dienen etwa als Zierverschluss

um 300 v. Chr.

Schraube

Das Schneckengewinde

Sie verbinden Maschinenteile, halten \rightarrow **Glühbirnen** in der Fassung und erlauben die Feineinstellung von \rightarrow **Mikroskopen**: Ohne Schrauben und schraubenförmige Gewinde hätte es viele technische Neuerungen nicht gegeben.

Doch wann das Naturprinzip Schraube, das sich im Erbmolekül ebenso findet wie im Schneckenhaus, erstmals vom Menschen angewandt wird, ist ungewiss. So nutzen Naturvölker wie die Inuit seit Urzeiten einfache Gewinde, um Pfeilspitzen an den Schäften zu befestigen.

Vieles spricht dafür, dass Gelehrte die Funktionsweise einer Schraube erstmals im 3. Jahrhundert v. Chr. erkennen und damit für eine Vielzahl technischer Anwendungen erschließen. Archimedes von Syrakus

Statt Wolle nun Zwirn

Schon im 5. Jahrtausend v. Chr. stellen Menschen aus Pflanzenfasern oder Wolle Fäden her – sie spinnen. Dazu müssen sie aus dem Fasermaterial zunächst ein Stück herausziehen, es zu einem kurzen Faden drehen und dann an einer Spindel befestigen: einem Stab, an dessen einem Ende der Faden mit einer Schlaufe befestigt und an dessen anderem Ende eine scheibenförmige Schwungmasse, der Wirtel, aufgeschoben wird. Der auf diese Weise beschwerte Spindelstab wird in Rotation versetzt, und das verdrillt die Fasern zu einem Faden. Der wird umso länger und fester, je mehr Fasern die Spinnerin danach zuführt und je länger und schneller sie die Spindel dreht. Anschließend lassen sich im → **Webstuhl** daraus Stoffe weben.

Während der Westlichen Han-Zeit (206 v. Chr. bis 8 n. Chr.) kommt es in China, dies belegt eine Seidenmalerei aus jener Zeit, zu einer Innovation: Ein unbekannter Erfinder montiert die Spindel auf eine Achse mit einem Antriebsrad, das sich von Hand bewegen lässt – das Spinnrad ist erfunden.

In Europa sind Spinnräder erst im 13. Jahrhundert belegt. Auch sie werden noch mit der Hand gedreht. Rund 250 Jahre später konstruiert ein Tüftler vermutlich in England ein verbessertes Spinnrad mit Fußantrieb. Ab 1764 kommen in England die ersten Spinnmaschinen in Gebrauch, bei denen die Fasern nicht mehr per Hand nachgeschoben werden und die zudem zahlreiche Garne gleichzeitig herstellen können.

Diese „Spinnmühlen“ machen Baumwolle rund 200 Jahre lang zum begehrtesten textilen Rohstoff der Welt.



Mühsamer Weg zur Textilie: Diese Spinnerin in Guatemala verdrillt Fasermaterial zu einem Faden, der später zu Stoff verwoben wird

wird die Erfindung der nach ihm benannten archimedischen Schraube zugesprochen, die als Wasserpumpe zum Einsatz kommt (→ **Wasserschöpftrad**). Zu seiner Zeit gibt es möglicherweise auch schon erste Holzschrauben in Öl- und Weinpressen.

Gegen Ende des 1. Jahrhunderts n. Chr. verfasst der griechische Gelehrte Heron von Alexandria die erste heute noch bekannte Beschreibung eines Apparates zum Schneiden von Schrauben. Zudem benennt er die fünf einfachen „Maschinen“ Schraube, Hebel, Winde, Keil und → **Flaschenzug**, die als Module für die Konstruktion komplexerer Maschinen dienen.

Zu dieser Zeit setzen römische Ärzte bereits medizinische Instrumente ein, die sich über Schraubengewinde verstellen lassen. In aufwendiger Handarbeit gefertigte Metallschrauben bleiben jedoch lange ein Luxusgut: Vom 4. Jahrhundert n. Chr. an dienen sie etwa als Zierverschluss an kostbaren Schmuckstücken. Und am Ende des 15. Jahrhunderts halten sie, bereits mit Schlitz zum Eindrehen, prächtige Ritterrüstungen zusammen. Erst ab 1797 ermöglicht eine von dem Engländer Henry Maudslay gefertigte → **Drehbank** die Massenherstellung präziser Schrauben – und damit auch das Zeitalter der Maschinen.

Hart wie Stein

Dass in vielen Kreuzworträtseln die Frage nach einem „modernen Baustoff“ mit „Beton“ zu beantworten ist, zeugt von einer mutigen Verwendung des Begriffs „modern“.

Tatsächlich bauen Menschen bereits seit Jahrtausenden mit Mischungen aus Sand, grobkörnigen Zuschlägen von Kieselsteingröße, einem Bindemittel und Wasser.

Variiert werden lediglich die Zutaten dieses künstlichen Gesteins, je nach verfügbarem Rohstoff sowie nach dem Fortschritt von Technik und Kenntnissen der Bauphysik.

Schon vor 11 000 Jahren befestigen Menschen in Anatolien die Fußböden ihrer Behausungen mit betonartigen Materialien. Dabei verwenden sie Kalksteinsplitter und als Bindemittel ein Gemisch aus Kalk und Lehm.

Den Phöniziern gelingt es dann um 1000 v. Chr., einen recht haltbaren Baustoff herzustellen. Sie erhitzen und zermahlen Kalkstein zusammen mit tonhaltigem Ziegelmehl und erhalten so ein wirkungsvolleres Bindemittel, das Sand und Zuschläge umschließt und nach Zugabe von Wasser aushärtet.

Die gelehrigsten Schüler der Phönizier werden die Römer: Deren Architekten beginnen ab dem 3. Jahrhundert v. Chr., systematisch Mischungen aus Sand, Steinen, Wasser und gebranntem Kalkstein herzustellen: für Aquädukte, Zisternen, Arenen, Palastmauern.

Die entscheidende Erfindung gelingt ihnen jedoch erst um 150 v. Chr. mit dem hydraulischen, noch heute verwendeten Beton, der sogar unter Wasser erhärtet.

Dieses „Opus caementitium“ ist von bis dahin unerreichter Haltbarkeit. Das beeindruckendste Beispiel für die Qualität ihres Betonbaus ist die über 43 Meter weite Kuppel des Pantheon in Rom – gegossen und verdichtet vor fast 2000 Jahren.

Betonhochhäuser in Schanghai:
Im Jahr 2007 sind weltweit etwa neun
Milliarden Kubikmeter des Universal-
werkstoffs verbaut worden





Auf diese simple Idee eines Perpetuum mobile verfällt 1685 der Physiker Denis Papin: Er geht davon aus, dass der Druck im breiteren Teil des Gefäßes (1) groß genug ist, um das Wasser beständig in das Röhrchen (2) zu pressen und auf diese Weise einen Kreislauf entstehen zu lassen. Tatsächlich ist der Druck in Kelch und Glasschlauch aber gleich stark – und deshalb fließt auch kein Wasser



Text: Bertram Weiß; Illustrationen: Tim Wehrmann

Der Reiz des Unmöglichen

Seit Jahrhunderten versuchen Erfinder, eine Maschine zu bauen, die sich immerfort selbst bewegt. Nach den Gesetzen der Physik kann es so ein »Perpetuum mobile« nicht geben. Aber das hält Tüftler bis heute nicht davon ab, es dennoch zu versuchen

In diesem Modell treiben fallende Kugeln ein Rad (1) an. Dessen Rotation bewegt ein langes Schneckengewinde (2), das die Kugeln wieder nach oben tragen soll. Doch diese Zirkulation würde nur funktionieren, wenn in der Apparatur keinerlei Energie durch Reibung der Maschinenteile verloren ginge (Ulrich von Granach, 1664)

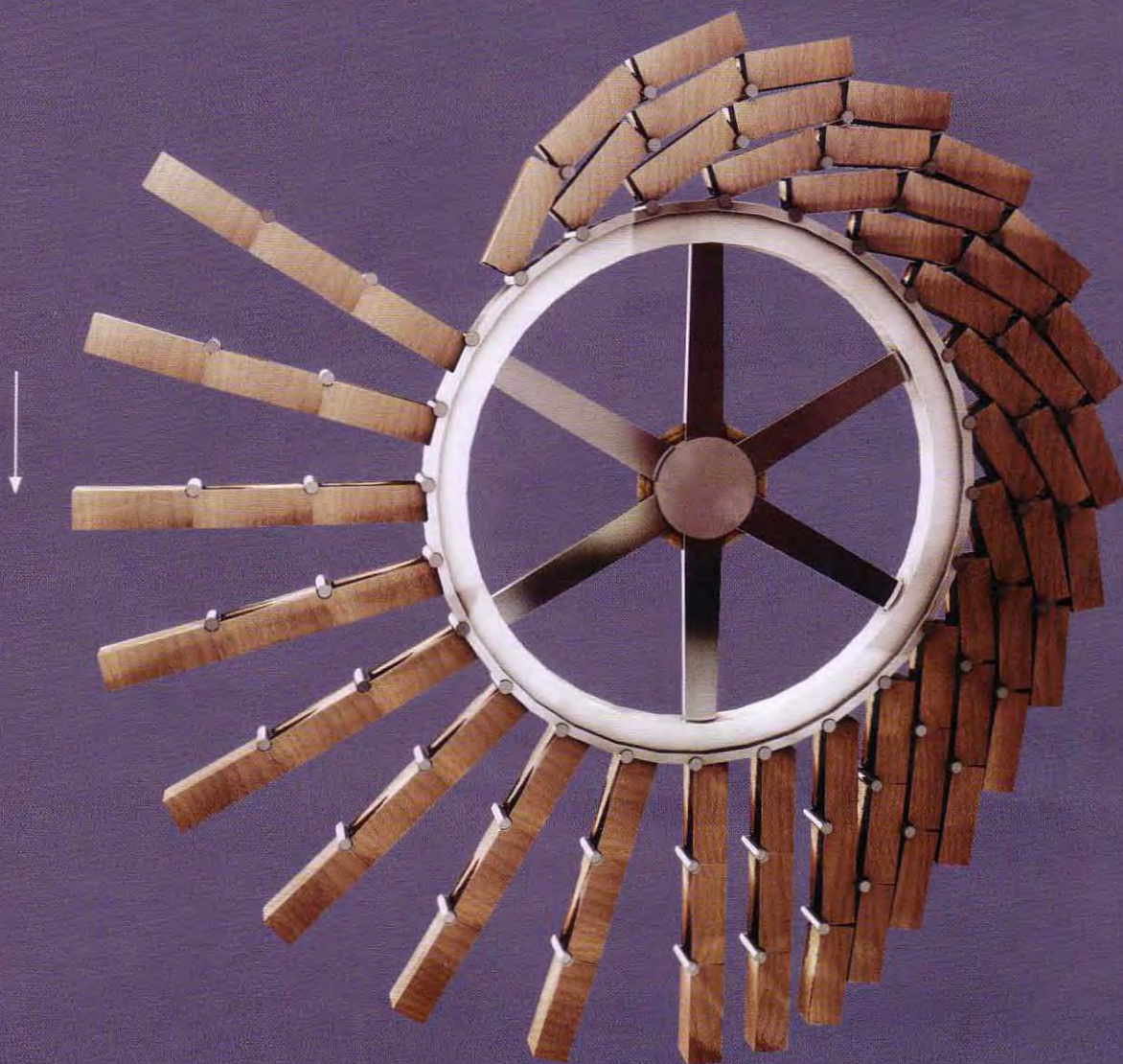


Der größte Erfinder der Geschichte heißt Lukas und ist Lokomotivführer. Wenn es ihn denn wirklich gäbe. Dem Helden aus Michael Endes berühmtem Kinderbuch über Jim Knopf und dessen Freund Lukas gelingt, wonach Menschen seit Jahrhunderten streben: Er baut ein funktionstüchtiges Perpetuum mobile – eine Maschine, die sich von selbst, also ohne fremden Antrieb, bewegt. Dazu befestigt er vor seiner Dampflok Magnetsteine, die das Gefährt anziehen und so in Bewegung setzen.

Doch nach den Gesetzen der Physik kann ein Perpetuum mobile nicht funktionieren: Denn eine Maschine vermag Energie (etwa Treibstoff) immer nur in eine andere Form (etwa Bewegung) zu überführen, niemals aber selbst zu erzeugen. Obendrein geht bei jeder Umwandlung ein wenig Energie verloren – unter anderem als Wärme, wenn Maschinenteile aneinanderreiben. Daher herrscht irgendwann wieder Stillstand.

Diese Erkenntnisse bilden seit rund 150 Jahren das Fundament der Thermodynamik, der Wärme-

Diese Konstruktion mit beweglichen Gliederarmen entstand um 1200 im arabischen Raum. Gibt man dem Rad einen Schwung nach links, klappen die Arme auf der linken Seite aufgrund der Erdanziehung nach unten. Dabei üben sie eine stärkere »Kraft« aus als die Arme rechts – und durch diese Unwucht dreht sich das Rad. Doch schon bald steht es wieder still: Denn so wie ein Pendel nach einer gewissen Zeit am tiefsten Punkt zur Ruhe kommt, verliert die Unwucht nach und nach an Wirkung



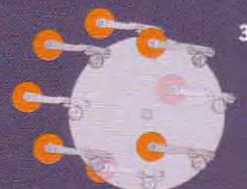
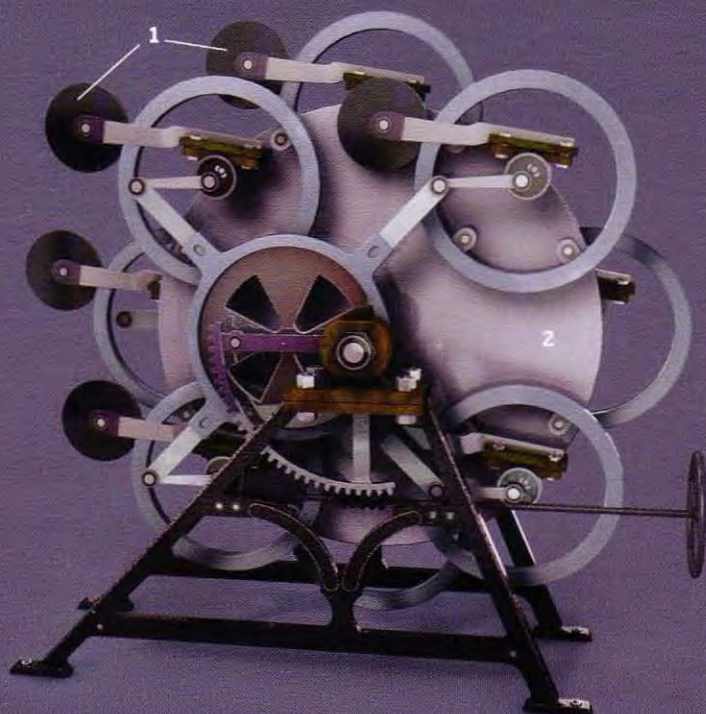
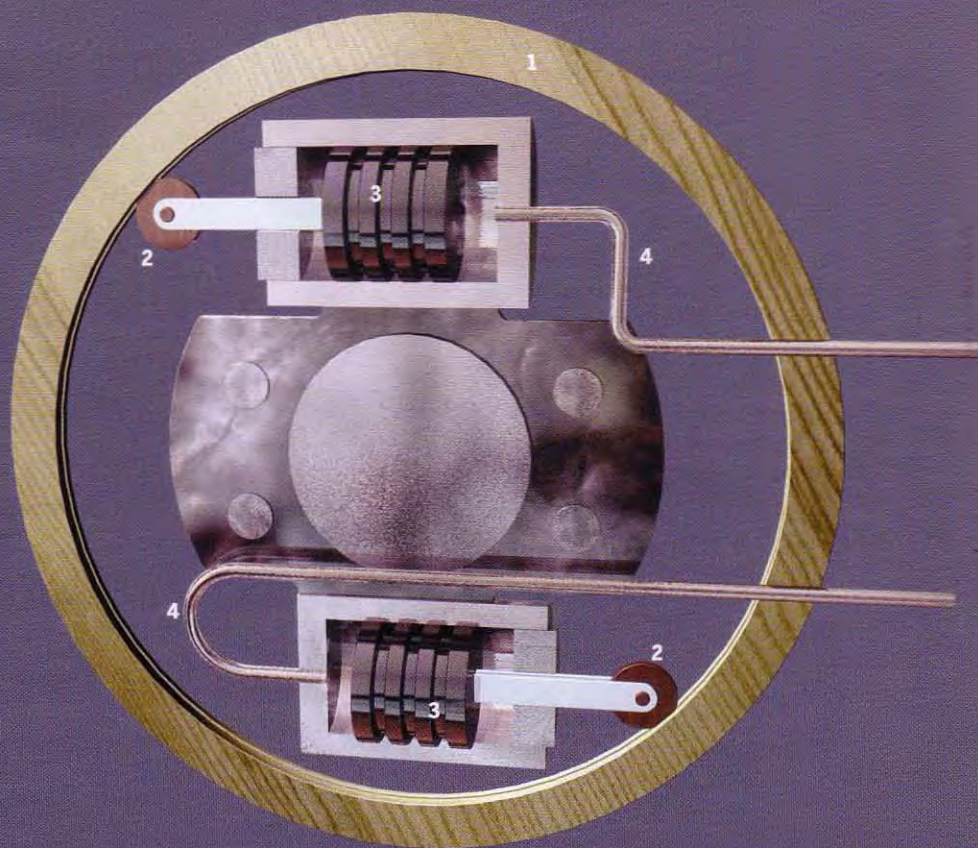
lehre. Doch das hält Menschen bis heute nicht davon ab, allerlei angeblich immerfort sich bewegende Apparaturen zu entwerfen.

Schon um 1150 n. Chr. konstruierte der indische Mathematiker Bhaskara ein Rad, das sich dank Gewichtsverlagerung ewig drehen sollte (ähnlich dem Entwurf oben), tatsächlich aber schon nach wenigen Umdrehungen stehen blieb, abgebremst von der Reibung an der eigenen Achse. In der Renaissance nahm auch bei europäischen Philosophen, Naturforschern

und Ingenieuren das Interesse an der Dauerbewegung aus dem Nichts zu. Dutzende kurioser Entwürfe mit Hämmern und Hebeln, Rädern, Gewichten und Gegengewichten wurden vorgestellt. Einige Geräte schienen anfangs tatsächlich zu funktionieren, wurden aber stets als Betrug entlarvt – so ein Schwungrad von 1717, das in Wirklichkeit heimlich angekurbelt wurde.

Dennoch lebt der Glaube weiter: 2007 stellten irische Unternehmer ein Rad vor, das sich von selbst drehen sollte. Es bewegte sich keinen Zentimeter. □

Der äußere Ring (1) dieser Maschine soll sich ewig drehen. Die Idee: Kleine Rädchen (2), von Kolben (3) an die Ringinnen-seite gepresst, sorgen für dessen Bewegung. Der Kolbendruck entsteht durch extrem komprimierte Luft, die zu Beginn durch dünne Rohrleitungen (4) einmalig in die Maschine gepumpt wird. Tatsächlich aber würde sich der äußere Ring keinen Zentimeter bewegen: Nach den Gesetzen der Physik löst jede Kraft gleichzeitig eine ebenso starke Gegenkraft aus. Das bedeutet: Sobald die Kolben zu drücken beginnen, hält der äußere Ring dagegen. Nichts bewegt sich



Vom Prinzip her gleicht diese Maschine der von 1200 (oben links): Eine dauerhafte Unwucht soll für eine kontinuierliche Rotation sorgen. Die acht schwarzen Gewichte (1; je vier auf jeder Seite der großen Scheibe) haben die gleiche Funktion wie die Klapparme in der älteren Maschine. Eine komplexe Mechanik bewegt die Gewichte so, dass sie immer nur auf der linken Seite über die große Scheibe (2) hinausragen. In dieser Position sind sie weiter von der Mitte entfernt als die auf der rechten Seite (3). Somit befindet sich der Schwerpunkt der Apparatur stets links. Das ständige Ungleichgewicht gibt der Maschine eine immer neue Wucht. Tatsächlich aber verliert die Konstruktion durch Reibungsverluste allmählich an Schwung. Der Schwerpunkt strebt dabei nach unten, also in die niedrigste Lage. In diesem Zustand verharrt die Maschine schließlich

Seit mehr als
2100 Jahren gibt
es Papier – es
wird beschriftet,
bemalt oder,
wie hier, kunst-
voll gefaltet





um 140 v. Chr.

Papier

34

Wie aus Bäumen Blätter werden

Ob auf Stein oder Ton, Knochen oder Rinde: Schon lange vor der Erfindung des Papiers schreiben Menschen. Die Ägypter beschrifteten ab etwa 2900 v. Chr. den aus dem getrockneten Mark der gleichnamigen Staude gefertigten Papyrus, die Griechen verwenden ab frühestens 200 v. Chr. auch Pergament aus Tierhaut. Doch aus diesen Stoffen hergestellte Schriftrollen und Bücher sind teuer; Bildung bleibt wenigen Gelehrten vorbehalten. Erst Papier macht es möglich, Ideen niederzuschreiben und sie zugleich günstig zu verbreiten.

Zunächst ist jedoch auch dieser Schriftträger ein seltenes Luxusgut. Die mit rund 2100 Jahren ältesten bekannten, noch relativ groben und rauen Papierstücke stammen aus Dunhuang im Nordwesten Chinas und bestehen hauptsächlich aus Leinen- und Seidenabfällen. Um 105 n. Chr. verfeinert Cai Lun, ein Beamter am Kaiserhof, das Herstellungsverfahren: Die nun relativ glatten Blätter, aus einem Faserbrei von Hanf- und Stoffresten geschöpft und getrocknet, eignen sich besser für die Kalligraphie.

Die anfangs streng gehütete Erfindung verbreitet sich erst nach Korea und Japan, dann über die Seidenstraße in die islamische Welt. 1151 entsteht im maurischen Spanien die erste europäische Papiermühle, um 1390 geht mit der „Gleißmühle“ in Nürnberg die wohl früheste deutsche Produktionsstätte in Betrieb: Ihre per Wasserkraft angetriebenen Stampfer zerkleinern Lumpen zu Brei.

Als Johannes Gutenberg um 1450 den mechanischen **Buchdruck** in Europa einführt, steigert sich der Bedarf enorm: Gut 50 Jahre später hat sich die Zahl der Mühlen bereits versechsfacht. Im 19. Jahrhundert werden sie durch immer leistungsstärkere Fabriken ersetzt, die ihren Bedarf bald nicht mehr mit Lumpen decken: Heute verbraucht die Papierindustrie jährlich rund 320 Millionen Tonnen Holz.



Im Mittelalter wird die Glasfertigung zur Kunst: hier die »Kindheit Christi« in der Kathedrale Notre-Dame von Chartres

um Christi Geburt

Glas

35

Eine neue Sicht auf die Welt

Anfangs ist Glas keineswegs durchscheinend. Denn die Menschen, die vor mehr als 4000 Jahren in Mesopotamien Quarzsand erhitzen (der als wichtige Zutat Kalk enthält), fügen ihm zum Herabsetzen der Schmelztemperatur Asche bei. Die Schmelze nutzen die Handwerker zunächst, um Tongefäße zu überziehen, also zu glasieren. Später wird sie unter anderem in Hohlformen gegossen: Das Ergebnis sind Glasobjekte, die durch Zusatz von Metalloxiden in verschiedenen Farben leuchten – aber kaum Licht durchlassen.

Erst um Christi Geburt kann die Mischung in Schmelzöfen so weit erhitzt und damit verflüssigt werden, dass sie sich, als Klumpen vor einem Metallrohr, durch Blasen formen lässt: So entstehen zunächst im Nahen Osten, dann in Rom feinwandige Glasgefäße. Auch relativ transparente Platten lassen sich nun entweder gießen oder aus geblasenen, noch formbaren Zylindern fertigen, die an den Enden aufgeschnitten und dann zu einer dünnen Schicht ausgerollt werden.

Solche Scheiben dienen einige Jahre später erstmals als Fensterglas, etwa in Pompeji. Doch in Italien setzen sich Glasfenster nicht durch – günstiger sind leicht durchscheinende Steinscheiben aus Alabaster. Erst die Prachtfenster der großen Kathedralen im 12. Jahrhundert künden von der neuen Kunst am Bau. Seither hat Glas auch unsere Weltsicht verändert: Ohne den transparenten Stoff wären weder Glaslinsen in →**Fernrohr** und →**Mikroskop**, weder Reagenzglas noch Vakuumröhre denkbar gewesen – und damit auch nicht die revolutionären Fortschritte der Wissenschaft.

um 100 n. Chr.

Destillationsapparat

36

Von Schnapsbrennern und Ölraffinerien

Reiner, starker Wein wird mit drei Teilen Salz vermischt und in dazu geeigneten Gefäßen erhitzt. Daraus entsteht ein Wasser, das brennt, ohne das darunterliegende Material anzugreifen. „So steht es, geheimnisvoll verschlüsselt, in den „Mappae Clavicula“, einem Rezeptbuch für Alchemie aus dem 12. Jahrhundert. Es ist die erste Erwähnung des „brennenden Wassers“ – und die erste Beschreibung einer Alkoholdestillation.

Die Destillation selbst (von lat. *destillare* = herabtropfen) ist da schon seit mehr als 1000 Jahren bekannt. Dabei werden verschiedene lösliche Stoffe eines flüssigen Gemischs voneinander getrennt, indem man die Mischung erhitzt und die unterschiedlichen Siedepunkte der Inhaltsstoffe ausnutzt. Die Stoffe kondensieren nach und nach an einer kühleren Oberfläche und sammeln sich in einem Reservoir.

Schon um das Jahr 100 n. Chr. hat in Alexandria eine Alchemistin namens Maria Prophetissa bei ihrem Versuch, Metalle zu veredeln, einen erstaunlich komplexen Destillierapparat entwickelt. Der besteht aus einem Kolben zum Erhitzen der Flüssigkeit, einem Destillierhelm, an dem der Dampf kondensiert, und einem Rohr für den Abfluss in einen Sammelbehälter. Zwar lässt sich damit kein Gold gewinnen, aber er eignet sich ganz vorzüglich, um Duftöl zu destillieren – vor allem Rosenöl, das von der Antike bis ins Mittelalter hochbegehrt ist.

Einige Jahrhunderte später konstruieren Alchemisten dann jene Apparatur, mit der sie das „brennende Wasser“ herstellen: Dabei wird



Branntwein wird, wie hier im französischen Armagnac, bis heute im Destillationsverfahren erzeugt – allein in Deutschland rund 200 Millionen Liter im Jahr

der im Wein enthaltene Alkohol samt der in ihm gelösten Aromastoffe vom Rest abgesondert. Und etwa Mitte des 19. Jahrhunderts beginnen Chemiker schließlich, die Destillation vor allem zur Aufarbeitung von Rohöl einzusetzen: In Raffinerien verdampft das dickflüssige „schwarze Gold“ durch Erhitzen auf 350 bis 400 Grad Celsius, und bei diesem Vorgang werden etliche der mindestens 500 Komponenten des Rohöls als Destillate abgeschieden – darunter Lampenöl, Benzin und Diesel.

Steigbügel

37

Eine Frage der Stabilität

Eine weltbewegende Erfindung könnte kaum unscheinbarer wirken: zwei metallene Stützen, die seitlich vom Sattel baumeln und den Füßen Halt geben. Doch solche Steigbügel haben Schlachten entschieden, zum Aufstieg großer Reiche beigetragen und damit den Lauf der Geschichte verändert.

Obwohl Menschen vermutlich schon seit mehr als 6000 Jahren auf Pferden reiten, haben ihre Füße dabei lange Zeit keinen Halt: Perser, Griechen und Römer müssen sich etwa mithilfe ihres Speeres aufs Ross schwingen und dann die Beine fest gegen dessen Leib pressen, um nicht herunterzufallen.

Um 100 v. Chr. finden sich dann in Indien erste Darstellungen von Sattelriemen zum Einhaken der Füße oder Schlaufen für die großen Zehen. Doch diese Vorrichtungen sind riskant, weil sich der Reiter beim Sturz schwer daraus befreien kann.

Erst den Chinesen gelingt es im 3. Jahrhundert n. Chr., Steigbügel für den ganzen Fuß aus Eisen oder Bronze zu gießen: Sie sind auf einer Reiterskulptur aus dem Jahr 302 zu erkennen.

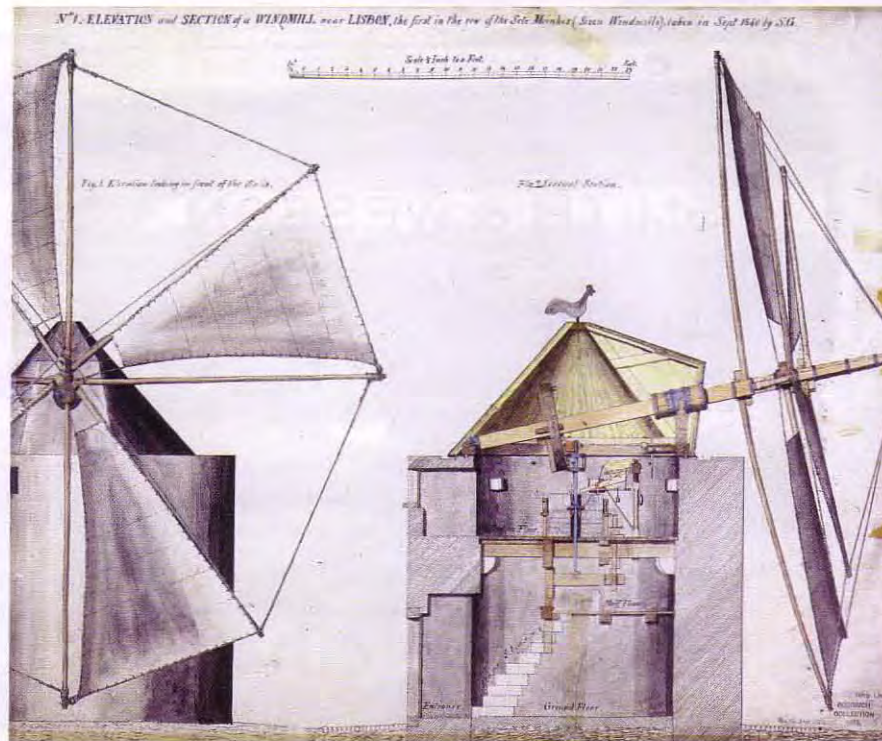
Die Folgen dieser sich rasch über Asien ausbreitenden Erfindung bekommen 560 die Oströmer zu spüren, als sie von Awaren, Reitern aus der zentralasiatischen Steppe, attackiert werden: Dank der Steigbügel entwickeln die Angreifer eine ungekannte Kampfkraft. Im bedrängten Byzanz wird im Jahr 580 ein Militärhandbuch verfasst, das die Einführung der Fußstützen auch bei den Verteidigern fordert.

Als eines der ersten Völker nehmen die Wikinger die Neuerung auf und verbreiten sie in Europa, wo der Steigbügel im 9. Jahrhundert für eine militärische Revolution sorgt: Zusammen mit Hufeisen und neuen Satteltypen, die mehr Halt bieten, verbindet er Pferd und Reiter zu einer schlagkräftigen Kampfeinheit.

Solche schwere Kavallerie hilft zum Beispiel den normannischen Invasoren, die Engländer im Jahr 1066 bei der Schlacht

von Hastings zu schlagen – und verändert so die politische Landschaft Europas.

Auch militärisch eine entscheidende Innovation: Steigbügel an einem deutschen Heeressattel von 1918



Je nach Windrichtung kann diese portugiesische Turmwindmühle ihre »Haube« drehen und damit ihre Flügel optimal in die Luftströmung richten (Zeichnung von 1840)

vermutlich 9. Jahrhundert n. Chr.

Windmühle

38

Mit der Kraft der Luft

Mitte des 13. Jahrhunderts bereist der persische Gelehrte Abu Yahya Zakariya' ibn Muhammad al-Qazwini die sand- und windreiche Region Sistan zwischen Persien und Afghanistan und notiert: „Dort ruht der Wind niemals. Deshalb haben sie dort ihre Mühlen gebaut. Und sie mahlen ihr Getreide nur damit.“ Überlieferungen zufolge sind solche Mühlen in Persien bereits seit dem 9. Jahrhundert in Betrieb.

Die Technik der Windmühlen könnte einfacher kaum sein: Am oberen Ende einer drehbaren, senkrechten Achse ist ein waagerechter Rotor montiert, am unteren ein Mühlstein. Der Rotor liegt dabei zur Hälfte hinter einer Mauer im künstlichen Windschatten; auf diese Weise drückt der anströmende Wind nur auf die frei liegenden Rotorblätter und setzt die Flügel in Bewegung (ohne die Mauer würde er sie zugleich antreiben und abbremesen).

Windmühlen mit *vertikal* angebrachten Flügeln werden erstmals im 12. Jahrhundert in der Normandie, in England und in Flandern gebaut. Es sind „Bockwindmühlen“, bei denen das komplette Mühlenhaus drehbar auf einem hölzernen Bock mit Ständer angebracht ist, was den Mahlbetrieb jetzt auch bei wechselnden Windrichtungen möglich macht.

Mit den Kolonisten aus Europa verbreitet sich dieser Mühlentyp: Alte Stiche zeigen Bockwindmühlen in den USA, Südafrika, Australien und Neuseeland. Vermutlich ab dem 14. Jahrhundert setzt sich dann im Norden Europas wie an den Mittelmeerküsten immer mehr die „Turmwindmühle“ durch, bei der nur noch der obere Teil des Mühlhauses, die Haube, drehbar ist.

Dieses Prinzip gilt heute wieder als zukunftsweisend. Allerdings wird mit modernen Windrädern kein Korn mehr gemahlen, sondern Strom erzeugt: Ende 2008 drehten sich allein in Deutschland 20 301 Windkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von 23 902 Megawatt.



um 800

Schießpulver

39

Der Feind unter Feuer

Das Rezept für Schießpulver entdecken chinesische Alchemisten im 9. Jahrhundert n. Chr.: Auf der Suche nach einem Elixier der Unsterblichkeit vermengen sie Schwefel mit Salpeter und Kräutern. Das Leben verlängert dieses Gemisch zwar nicht, doch schon bald entdecken die Forscher, dass es explosiv ist.

Vermutlich im Jahr 1000 wird es erstmals eingesetzt, als sich die Kaiser der Song-Dynastie mit schießpulvergefüllten Bambusrohren als Raketenwerfer sowie Brandgranaten mit Papierhüllen gegen heranreitende Steppenvölker wehren.

Für die nächsten 200 Jahre tobt ein Rüstungswettlauf zwischen Angreifern und Verteidigern. Aus den Bambusrohren werden Vorläufer der Geschütze mit metallischem Lauf, aus den Brandgranaten die Vorläufer eiserner Sprengbomben.

Unbekannt ist, ob Araber und Europäer das Pulver-Rezept von den Chinesen übernehmen oder unabhängig von ihnen entdecken. Mindestens seit 1304 jedenfalls schießen arabische Krieger Pfeile aus eisenverstärkten Bambuskanonen ab.

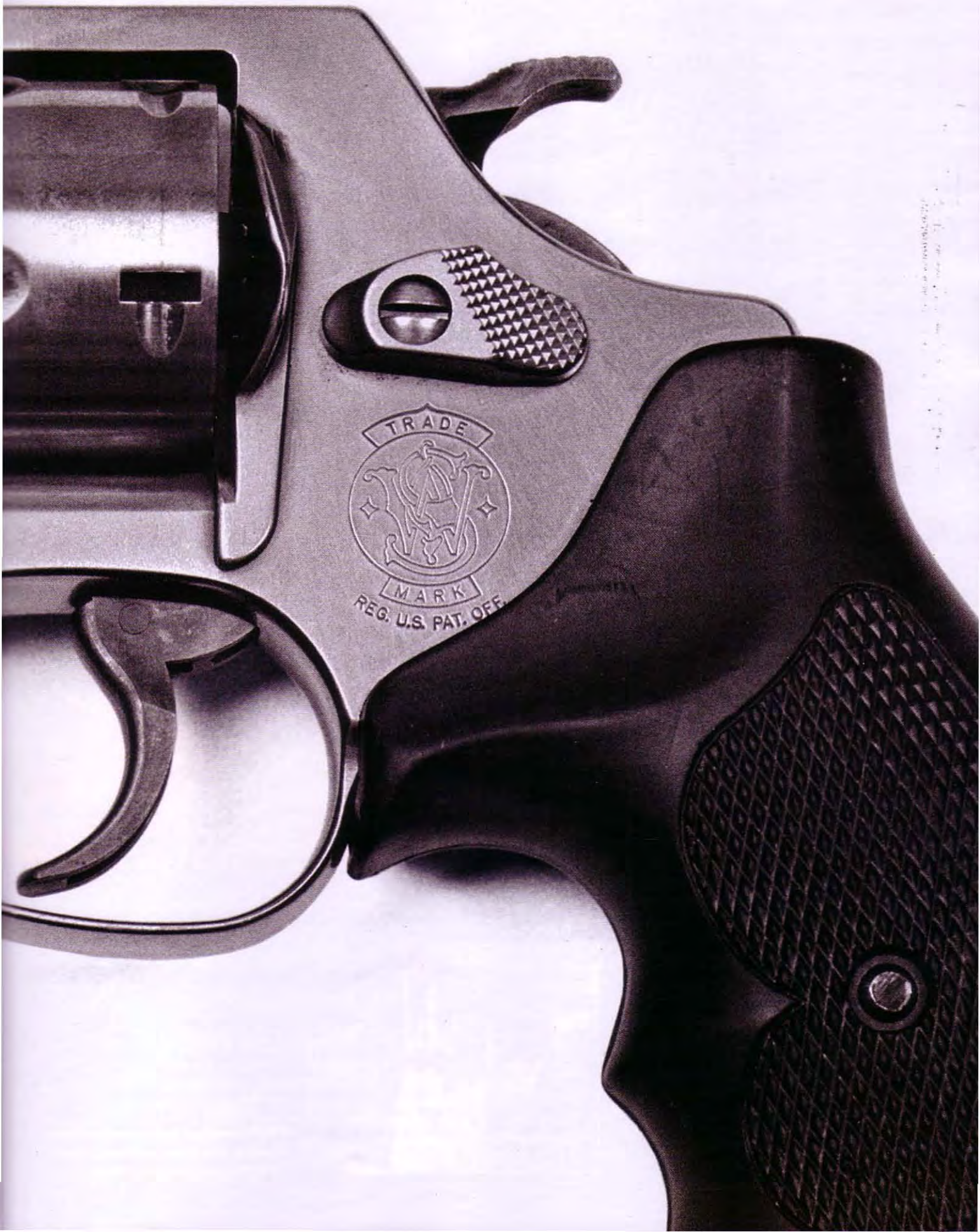
In Europa setzt Kastiliens König Ferdinand IV. erstmals Kanonen ein – 1308 bei der Belagerung des maurischen Gibraltar. Einer deutschen Überlieferung nach entdeckt angeblich der Mönch Berthold der Schwarze in Freiburg als erster Europäer zufällig den explosiven Effekt jener Mischung. Eine Chronik um 1380 berichtet jedenfalls von einem „schwarzen Berthold“, der die „Kunst, aus Büchsen zu schießen“ verbessert habe.

Im 16. Jahrhundert schließlich nutzen die europäischen Mächte Feuerwaffen bei der Kolonialisierung des Globus. Drei Jahrhunderte später sind die Schießeisen so weit verbreitet, dass sich fast jeder einfache Bürger verhältnismäßig leicht zum Amokläufer hochrüsten kann, vor allem in den USA:

Dort besitzen rund 225 Millionen Erwachsene gut 250 Millionen Feuerwaffen.



Schießpulver, der erste Explosivstoff der Geschichte, besteht anfangs aus Salpeter, Kräutern und Schwefel. Heute werden bei der Produktion von Revolverpatronen oder Böllern (links, in Indien) andere Zusammensetzungen benutzt



um 1000

Rakete

40

Vorstoß ins All

Der Bauplan ist etwa 1000 Jahre alt: Man nehme ein langes, an einer Seite geschlossenes Rohr, stopfe *Schießpulver* hinein und fixiere an der Öffnung eine Zündschnur. Beim Verbrennen des Treibsatzes entstehen große Mengen Gas, in der engen Röhre baut sich Druck auf, die Gasteilchen entweichen mit hoher Geschwindigkeit aus der Öffnung. Der Rückstoß beschleunigt das Rohr in die entgegengesetzte Richtung. Nach diesem Prinzip sind jene Raketen konstruiert, mit denen chinesische Soldaten vermutlich um das Jahr 1000 erstmals gegnerische Truppen beschießen.

Gut 300 Jahre später gelangt die Rakete nach Europa, doch als Waffe ist sie lange Zeit kaum von Bedeutung. Erst die zu Beginn des 20. Jahrhunderts aufkommende Begeisterung für die Raumfahrt bringt die Raketenforschung voran. 1926 startet der Amerikaner Robert Goddard erstmals eine Rakete, die mit flüssigem Treibstoff betrieben wird.

In Deutschland nimmt das Militär Goddards Forschung auf. Ingenieure um den jungen Wernher von Braun entwickeln ab 1939 die erste Großrakete mit Flüssigtreibstoff: einem Gemisch aus Alkohol und Sauerstoff. Fünf Jahre später ist die „V2“ einsatzbereit. Das 14 Meter lange Fluggerät trägt eine Sprengladung, erreicht eine Geschwindigkeit von 5800 km/h und fliegt 300 Kilometer weit. Mehr als 3000 V2-Raketen feuert die Wehrmacht in den letzten Monaten des Zweiten Weltkriegs ab, vor allem auf London und Antwerpen.

Nach dem Krieg emigriert von Braun in die USA. Unter seiner Leitung entsteht die „Saturn V“. Die bis heute größte Rakete – knapp 111 Meter hoch und etwa 3000 Tonnen schwer – transportiert am 16. Juli 1969 erstmals Menschen zum Mond.



Mithilfe gewaltiger Triebwerke überwinden »Spaceshuttle« (links) und Interkontinentalraketen (oben) die Erdanziehung



Historischer Setzkasten mit Bleilettern: Buchstabe für Buchstabe müssen Texte für den Druck zusammengefügt werden – bis sich ab 1886 automatische Setzmaschinen etablieren

um 1041

Buchdruck

41

Die Wortmaschine

Vom Erfinder des Buchdrucks ist kaum mehr bekannt als der Name: Bi Sheng. Ein Chinese, der um das Jahr 1041 den Druck mit beweglichen Lettern ersinnt – Jahrhunderte, bevor in Mainz ein Mann namens Johannes Gensfleisch (genannt Gutenberg) die europäische Kultur mit der gleichen Idee in die Neuzeit führt.

Während im mittelalterlichen Europa nur Eliten lesen und schreiben können, blicken Chinesen da bereits auf eine lange literarische Tradition zurück. Schon in den ersten Jahrhunderten nach Christus vervielfältigen sie Schriften mit einer aufwendigen Holzschnitt-Technik: Für jede Seite fertigen sie eine Vorlage, wie beim Drucken von Bildern.

Bi Shengs Verfahren ist einfacher: Mit seinen Zeichenstempeln aus Steingut lässt sich jeder beliebige Text zusammensetzen. Im 13. Jahrhundert stellen Drucker widerstandsfähigere Lettern aus Metall her. Dennoch vermag sich dieses Prinzip gegen die etablierte Holzschnittmethode nie vollends durchzusetzen.

Der Grund dafür liegt in der chinesischen Wortschrift: Denn anders als die Alphabete der Christen, Juden oder Muslime, die nur wenige Dutzend Zeichen benötigen, um daraus Tausende von Wörtern zu bilden, bedarf in China jedes Wort eines eigenen Symbols. Um das Jahr 1000 existieren schon mehr als 20 000 Zeichen – für den Buchdruck sind derart viele Lettern aber denkbar ungeeignet.

Im 14. Jahrhundert erfahren Europäer von den Holzschnittdrucken der Chinesen; in Italien und den Niederlanden tüfteln Handwerker an ähnlichen Druckverfahren. Doch erst Gutenberg gelingt um 1450 der Durchbruch: Aus einer Metalllegierung gießt er bewegliche Lettern, mit denen er **Papier** in einer hölzernen Presse bedruckt.

Die Methode verbreitet sich mit atemberaubendem Tempo. Um 1500 sind wahrscheinlich bereits rund 40 000 Buchtitel mit einer Gesamtauflage von vermutlich acht Millionen Exemplaren gedruckt. Die Druckerpresse ermöglicht die Verbreitung von Wissen, treibt so das Zeitalter der Renaissance an und rettet womöglich den Protestantismus vor der Bedeutungslosigkeit. Ganz sicher ist: Ohne Gutenberg waren die Revolutionen späterer Jahrhunderte kaum denkbar.

Bi Sheng aber, der eigentliche Erfinder des Buchdrucks mit beweglichen Lettern, steht bis heute in seinem Schatten.

um 1280

Uhr

42

Das Maß der Zeit

Schon in der Antike versuchen Menschen, die Zeit zu messen, doch exakt sind ihre Sonnen-, Wasser- und Sanduhren nicht. Erst im 13. Jahrhundert erfindet ein unbekannter Europäer eine Apparatur, die fortan, an Kirchen oder Rathäusern angebracht, den Lebensrhythmus bestimmt: die Räderuhr. Der älteste sichere Hinweis auf einen solchen Zeitgeber findet sich in einem britischen Zahlungsbeleg von 1283; das älteste heute noch erhaltene Uhrwerk stammt von 1386 und war in der Kathedrale von Salisbury installiert.

Die ersten mechanischen Zeitmesser sind gewaltige Konstruktionen. Sie bestehen aus → **Zahnradern**, die durch ein Gewicht in Rotation versetzt werden. Ein raffinierter Mechanismus sorgt dafür, dass die Zähnchen jeweils Stück für Stück weiterrücken und die Zeit in kleine Einheiten unterteilen. Regelmäßig muss das Gewicht hochgezogen werden, um den Mechanismus erneut in Gang zu setzen.

Ab etwa 1500 werden die Uhrwerke dank einer neuen Antriebstechnik immer kleiner: Anstelle schwerer Gewichte bewegt nun die Zugkraft einer gespannten Metallfeder die Radwerke. Bald finden sich Wand-, Tisch- und Taschenuhren in vielen Haushalten. Allerdings sind Abweichungen von 20 bis 40 Minuten pro Tag die Regel – korrigiert werden sie mithilfe etwa von Sonnen- oder Sanduhren.

Dem Briten John Harrison gelingt es 1759 schließlich, die Räderuhr seetauglich zu machen: Sein „Chronometer“ hält auch schwerem Seegang und Temperaturschwankungen stand. Nun können Navigatoren Schiffe gezielt über Ozeane kreuzen lassen: Denn für die präzise Berechnung von Längengraden müssen sie die exakte Uhrzeit vor Ort sowie die des Heimathafens oder eines anderen Bezugsorts kennen.

Im 19. Jahrhundert wird die mechanische Steuerung allmählich von einer durch Stromimpulse oder Elektromagneten abgelöst. Und schließlich machen sich Physiker sogar die Eigenschwingungen in Atomen für die Zeitmessung zunutze: Seit 1968 bestimmen „Atomuhren“ das Zeitmaß der Welt. Mit einer Abweichung von einer Sekunde in 300 000 Jahren.

Ein raffinierter Mechanismus aus Zahnradern im Uhreninneren teilt die Zeit in Stunden, Minuten und Sekunden (Taschenuhr von 1776)

um 1280

Brille

43

Die zweiten Augen

Bevor die Brille auf dem Nasenrücken den Blick für die Dinge schärfen kann, wird sie zunächst noch über Schriftstücke geschoben: Ab 1240 etwa verbreiten sich in Europa sogenannte Lesesteine – Lupen, deren gekrümmte Oberfläche die Unterlage, auf der sie liegen, optisch vergrößert. Diese Sehhilfen sind häufig aus klaren Halbedelsteinen geschliffen – Beryllen –, die der Brille später wohl auch ihren Namen geben.

Wem das Meisterstück gelingt, flache Linsen anzufertigen, die direkt auf der Nase die Lichtbrechung des fehlsichtigen Auges korrigieren, ist nicht bekannt. Der Mönch Giordano da Rivalto berichtet 1305 in Pisa, er habe knapp 20 Jahre zuvor „den

Mann gesehen und gesprochen“. Der Unbekannte löst ein Problem, das Gelehrte seit der Antike beklagen: das Schwinden der Sehkraft im Alter. Viele müssen ihre Arbeit früh aufgeben, weil ihnen das Sehen auf kurze Distanz zunehmend Schwierigkeiten bereitet.

Wahrscheinlich stammt der Brillenkonstrukteur aus Venedig, dem europäischen Zentrum der spätmittelalterlichen Glasmacherkunst. Dort fertigen Handwerker um 1300 erstmals Augengläser in Serie, die Kaufleute, Gelehrte und kirchliche Würdenträger in die Welt tragen.

Die optischen Hilfsmittel stehen wohl nicht zufällig am Anfang einer neuen Epoche der Ideen und der Erkenntnis. Sie werden zum Symbol für Wissen und die Würde des Alters – aber auch zum Gespött: Der Narr Till Eulenspiegel, der 1350 bei Lübeck stirbt, trägt die Gläser zur Belustigung der Leute auf der Nase. „Jemandem Brillen aufsetzen“ heißt in jenen Tagen so viel wie: jemanden betrügen.



Ein elastischer Bügel hält den Kneifer (hier von 1910) auf der Nase

Ein Säckchen aus Darm

Die Anfänge des Kondoms reichen womöglich bis in die Antike zurück, doch der früheste glaubwürdige Nachweis findet sich erst in einer Abhandlung über die Syphilis aus dem Jahr 1564.

Darin empfiehlt der italienische Anatom Gabriele Fallopio, ein Mann solle während des Beischlafs „ein kleines Tuch nehmen, das sich zum Bedecken der Eichel eignet“. Fallopio, der sich als Erfinder dieses „Leinenüberzugs“ rühmt, sieht darin ausschließlich einen Schutz vor der Geschlechtskrankheit.

Die ältesten Überreste von Kondomen haben Forscher in einer Latrine von Dudley Castle bei Birmingham entdeckt. Kurz vor dem Brand der Burg 1646 müssen deren Bewohner die vermutlich aus Schafs- oder Schweinedarm gefertigten Hüllen dort entsorgt haben.

Zwei weitere Fundstücke auf einem britischen Landsitz, datiert auf 1790 und 1810, sind am offenen Ende mit einem Seidenfaden zur Befestigung versehen. Mit einem Durchmesser von fünf bis sieben Zentimetern können jene Säckchen nämlich längst nicht so eng anliegen wie Kondome heutzutage.

Dies ist erst möglich, als es dem Amerikaner Charles Nelson Good-year 1839 gelingt, Kautschuk zu →**Gummi** zu verarbeiten. Aus dem neuen Werkstoff lassen sich die einstmals nur in Adelskreisen gebräuchlichen Kondome fortan billig und als Massenware für jedermann produzieren. Heute werden allein in Deutschland jährlich mehr als 200 Millionen Kondome verkauft – auch zum Schutz gegen Infektionskrankheiten wie Aids.



Wasch- und wiederverwendbar:
ein Gummikondom von 1950



Ende des 16. Jahrhunderts vermögen Menschen mittels spezieller Linsensysteme erstmals den Mikrokosmos zu erkunden. Heute lassen sich per Lichtmikroskop Details erkennen, die nur 50 Millionstelmillimeter groß sind

1590

Mikroskop

45

Die Welt des Allerkleinsten


Die Optikerfamilie Janssen aus dem niederländischen Städtchen Middelburg überschreitet im Jahre 1590 die Schwelle zu einer neuen Welt: dem Mikrokosmos – einem Reich winziger unbekannter Organismen, die für das bloße Auge unsichtbar sind.

Die vergrößernde Wirkung geschliffener Kristalle und wassergefüllter Glasbehälter ist der Menschheit zwar seit Jahrhunderten bekannt, aber sie reicht nicht aus, die verborgene Welt sichtbar zu machen. Erst der Brillenmacher Johannes Janssen kombiniert gemeinsam mit seinem Sohn Zacharias erfolgreich geschliffene Linsen und vervielfacht auf diese Weise den vergrößernden Effekt: Eine Linse (das Objektiv) erzeugt ein detailreiches Bild des betrachteten Gegenstands. Eine zweite (das Okular) vergrößert wiederum diese Darstellung.

Beim Apparat der Janssens ist der Einblick in die Mikrowelt zunächst noch begrenzt: Farbsäume überlagern das Bild, Details sind durch Unschärfen nicht zu erkennen, auch fehlt eine starke Lichtquelle, weshalb die Sicht noch sehr schlecht ist. Von den Janssens gelangt die Konstruktion wahrscheinlich zu Herzog Albrecht von Österreich, verbreitet sich von dort aus in Europa und weckt die Neugier von Naturforschern. 1611 konstruiert der deutsche Astronom Johannes Kepler einen verbesserten Apparat; der Italiener Galileo Galilei aus Pisa folgt ein Jahr später.

Sorgfältiger aber als jeder andere schleift der niederländische Tuchhändler und Amateurforscher Antoni van Leeuwenhoek seine Linsen. Mehr als 200-fach vergrößern sie etwa den Giftapparat einer Spinne. Im Sommer 1674 entdeckt Leeuwenhoek in einem trüben Wassertropfen Lebewesen, die nur aus einer einzelnen Zelle bestehen, und wirft wohl auch als erster Mensch einen Blick auf Bakterien.

Wie kaum ein anderes technisches Instrument wandelt das Mikroskop in den Jahrhunderten darauf das Weltbild der Medizin und Naturwissenschaft.



Mehr als ein Drittel der Menschheit
lebt ohne Wasserklosett – eine der Haupt-
ursachen von Seuchen wie Cholera

1596

WC

46

Im Dienst der Hygiene

In frühen Hochkulturen beschäftigen sich Menschen bereits mit dem Ort, den ein jeder täglich besucht: Im minoischen Palast in Knossos auf Kreta findet sich ein Vorläufer des WC; und die Römer hocken einträchtig auf öffentlichen Donnerbalken mit zehn, 20 oder noch mehr Plätzen, unter denen permanent frisches Wasser fließt.

Doch im Mittelalter wird diese kulturelle Errungenschaft weithin vergessen. Wen ein Bedürfnis überkommt, der schlägt sich in die Büsche oder benutzt den Topf, dessen Inhalt nach Geschäftsschluss im hohen Bogen auf die Straße gekippt wird.

Erst 1596 entwirft der englische Adelige Sir John Harington das erste praktikable *water closet* mit einem Wasserbehälter und einem regelbaren Ventil für die Spülung. Doch weil es in fast allen Ortschaften Europas nur ein rudimentär entwickeltes Abwassersystem gibt, setzt sich die Neuerung erst langsam durch.

1889 konstruiert der englische Klempner Davis Bostel ein besseres, wassersparendes WC mit Spülkasten, das in Kombination mit nunmehr vorhandenen Sielen Pisspott und Plumpsklo aus den Häusern verdrängt.

Seit den 1920er Jahren gehören WCs in Nordamerika und Europa zur Standardeinrichtung von Neubauten. Doch noch heute sind weltweit 2,6 Milliarden Menschen ohne moderne Toiletten – eine der wichtigsten Ursachen von Krankheiten und Seuchen in der Dritten Welt.

Thermometer

47

Ein Maß für „warm“ und „kalt“

Als Galileo Galilei um 1600 an der Universität Padua sein „Thermoskop“ aufbaut, ahnen die Zuschauer nicht, dass sie eine Premiere erleben. Für sie und ihre Zeitgenossen ist Temperatur noch etwas Diffuses. Eine beliebige Größe, exakter Wissenschaft nicht zugänglich: Wärme und Kälte empfindet ja jeder anders.

Galilei dagegen demonstriert mit seinem Apparat, dass Temperatur messbar ist – und benutzt dazu ein dünnes Glasröhrchen, dessen oberes Ende sich zu einer geschlossenen Kugel erweitert. Das untere, offene Ende taucht Galilei senkrecht in ein Wassergefäß. Nach den Gesetzen der Physik steigt in dem Röhrchen daraufhin etwas Flüssigkeit auf. Erwärmt der Forscher mit den Händen die Kugel, dehnt sich die Luft darin aus – und drückt die Wassersäule etwas tiefer. Kühlt die Luft ab, steigt das Wasser wieder an.

Präzise Messwerte liefert Galileis „Wärmebeobachter“ freilich nicht, denn auch der Luftdruck beeinflusst die Ausdehnung des Wassers. Knapp 50 Jahre später gelingt es dem Großherzog der Toskana Ferdinand II., ein von äußeren Einflüssen unabhängiges Thermometer zu bauen: Er füllt eine Kugel mit Weingeist und verbindet sie luftdicht mit einem geschlossenen Röhrchen. Erwärmt sich der Alkohol, dehnt er sich unbeeinflusst vom Luftdruck aus.

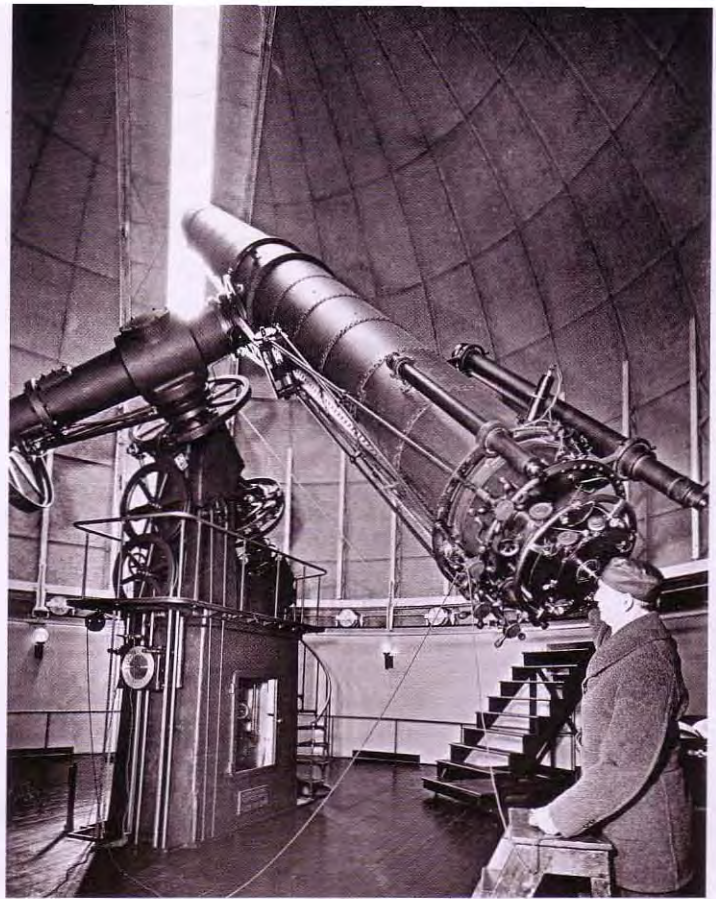
Doch die Veränderungen des Volumens sind ab einer bestimmten Temperatur sehr sprunghaft. Besser geeignet ist Quecksilber, da es über einen weiten Messbereich sehr gleichmäßig auf Schwankungen reagiert und erst bei großer Hitze siedet und verdampft.

Zum ersten Mal verwendet 1714 der Deutsche Daniel Gabriel Fahrenheit das Flüssigmetall für die Temperaturmessung. Er entwickelt zudem eine Skala, die sich am Gefrierpunkt des Wassers und der durchschnittlichen Körperwärme des Menschen orientiert – und die kalibriert ist, also immer die gleichen Temperaturen anzeigt: Endlich können Werte an unterschiedlichen Orten gemessen und verglichen werden.

Die „Fahrenheit-Skala“ setzt sich in den USA durch; in Europa wird dagegen die „Celsius-Skala“ verwendet, die der Schwede Anders Celsius 1742 einführt. Seine Einteilung richtet sich nach dem Gefrier- und Siedepunkt des Wassers. Und so sind Wärme und Kälte für den Menschen heute exakt messbare Eigenschaften.



Thermometer von 1790: Je höher die Temperatur, desto stärker dehnt sich Quecksilber aus und steigt in der Glassäule nach oben



Blick ins All: ein Fernrohr des Naval Observatoriums in Washington D.C.

1608

Fernrohr

48

Wie die Ferne in die Nähe rückt

Zwar stellen schon um 1300 Brillenmacher Linsen her, doch niemand kommt auf die Idee, dass sich daraus auch Ferngläser bauen lassen. Erst der Optiker Hans Lipperhey aus dem niederländischen Middelburg stößt 300 Jahre später zufällig auf das Prinzip der Vergrößerung weit entfernter Objekte: Hält man zwei geschliffene Glaslinsen in einem bestimmten Abstand hintereinander und blickt durch beide hindurch, erscheinen Dinge in der Ferne plötzlich ganz nah.

Die Voraussetzung dafür aber ist, dass die vordere Linse, das Objektiv, nach außen gewölbt (konvex) ist: Sie nimmt das Bild eines Gegenstandes auf und wirft es auf die zweite, augenseitige Linse. Erst dieses nach innen geschliffene (konkave) Okular lässt das Bild auf der Netzhaut des Betrachters vergrößert und scharf erscheinen.

Beide Linsentypen schleift Lipperhey in großer Qualität jeden Tag bei der Brillenherstellung zurecht. Aus ihnen baut er 1608 das erste Fernrohr der Welt: ein unscheinbares, etwa 30 Zentimeter langes Rohr aus Papier, mit Leder verstärkt – und von dreifacher Vergrößerungskraft.

Schon im April 1609 werden Teleskope in Paris verkauft, kurz darauf auch in Mailand und Venedig. Bald verfügen viele Militärs über das neue Werkzeug, denn wohl jeder Heerführer geht davon aus, dass Lipperheys Erfindung den eigenen Truppen entscheidende Vorteile bringen wird.

Als Galileo Galilei von Lipperheys Konstruktion erfährt, entwickelt er selbst Fernrohre, zunächst mit neunfacher, später mit 30-facher Vergrößerung. Mit ihrer Hilfe entdeckt er Mondkrater und Sonnenflecken sowie die Trabanten des Jupiter.

Und begründet so die experimentelle Astronomie.

Bionik

Vorbild Evolution

Im Verlauf von Jahrmillionen hat die Natur Lebewesen hervorgebracht, die optimal an ihre jeweilige Umwelt angepasst sind und erstaunliche Fähigkeiten und Eigenschaften besitzen. Davon versuchen sich Ingenieure anregen zu lassen: im Fachgebiet »Bionik« – der Verschmelzung von Biologie und Technik

Texte: Henning Engeln



Das Auto und der Fisch

Dem plump wirkenden Kofferrisch sieht man nicht an, dass er nahezu ohne Widerstand durch das Meer gleitet. Dank dieser Eigenschaft diente er Ingenieuren von Mercedes-Benz als Vorbild für ein »Bionic Car«, das im Windtunnel verblüffend gute aerodynamische Eigenschaften zeigt. Auch wegen seiner Stromlinienform soll das Auto nur 4,3 Liter Diesel auf 100 Kilometern verbrauchen



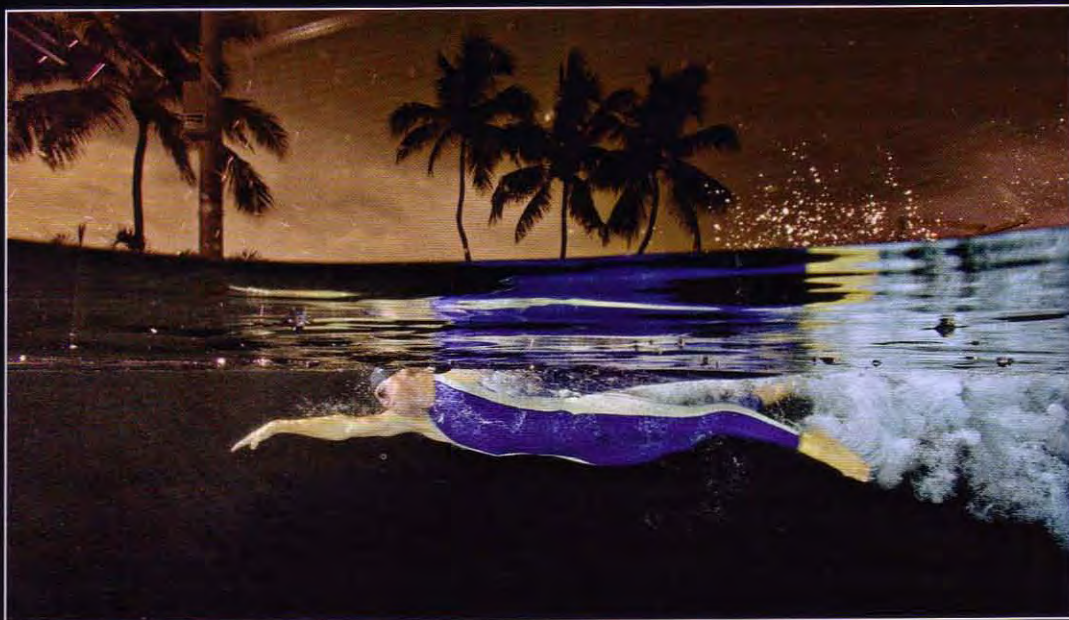


Die Feder im Bein

Trifft der Fuß eines hüpfenden Kängurus auf dem Boden auf, speichert der Muskel-Sehnen-Komplex des Beins für Sekundenbruchteile die Bewegungsenergie – wie eine Feder. Beim nächsten Hüpfen wird die Energie dann wieder frei. Ähnlich effizient arbeitet die Sportprothese der Sprinterin Katrin Green: Mit dem Carbonfederfuß läuft sie die 100 Meter unter 14 Sekunden







Gleiten wie ein Hai

Mikroskopisch kleine, in Strömungsrichtung verlaufende Rillen befinden sich auf der Haut des Hais. Weil die winzigen Erhöhungen Querströmungen verhindern, sinkt der Widerstand im Wasser um bis zu zehn Prozent. Nach dem gleichen Prinzip sind moderne Schwimmanzüge konstruiert; sie sollen die Gleitfähigkeit um 7,5 Prozent verbessern





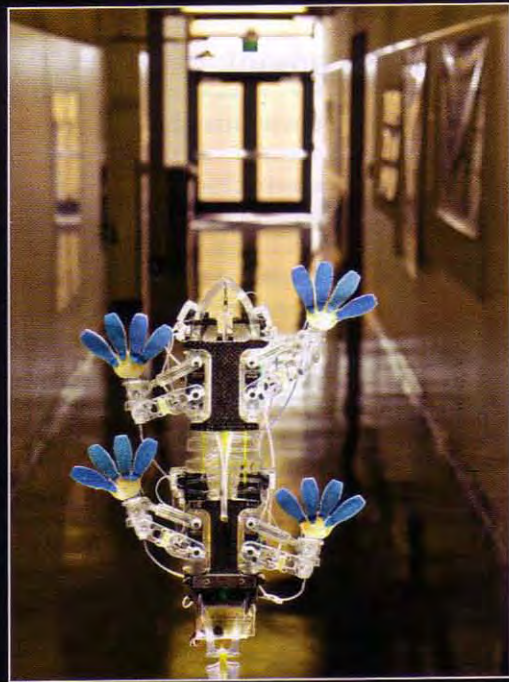




Haftung per Haken

Kletten im Fell seines Hundes brachten den Schweizer George de Mestral in den 1940er Jahren auf die Idee, sich die Gewächse unter dem Mikroskop anzuschauen. Er entdeckte winzige Haken an stachelähnlichen Fortsätzen – und entwickelte den Klettverschluss, der sich beispielsweise 1972 im Handschuh des Astronauten John Young auf dem Mond bewährte





Die Kraft der Härchen

Geckos sind bekannt dafür, dass sie glatte Wände senkrecht hinaufklettern können. Möglich wird dies dank einer speziellen Konstruktion ihrer Füße, deren Zehen Millionen feinsten Haare tragen. Jedes dieser Härchen spaltet sich in noch feinere Strukturen auf, sodass molekulare Anziehungskräfte wirksam werden, mit denen die Zehen selbst auf glattesten Oberflächen haften. Nach diesem Vorbild haben kalifornische Ingenieure einen Roboter entwickelt, der ebenfalls an senkrechten Glasscheiben laufen kann – allerdings sehr viel langsamer als das Reptil □

Unterseeboot

49

Das Schiff, das niemand sehen kann

Eingezwängt in ein Ein-Mann-Tauchboot, treibt Sergeant Ezra Lee in einer Septembernacht 1776 unter dem britischen Kriegsschiff „Eagle“, das während des Unabhängigkeitskrieges vor New York ankert.

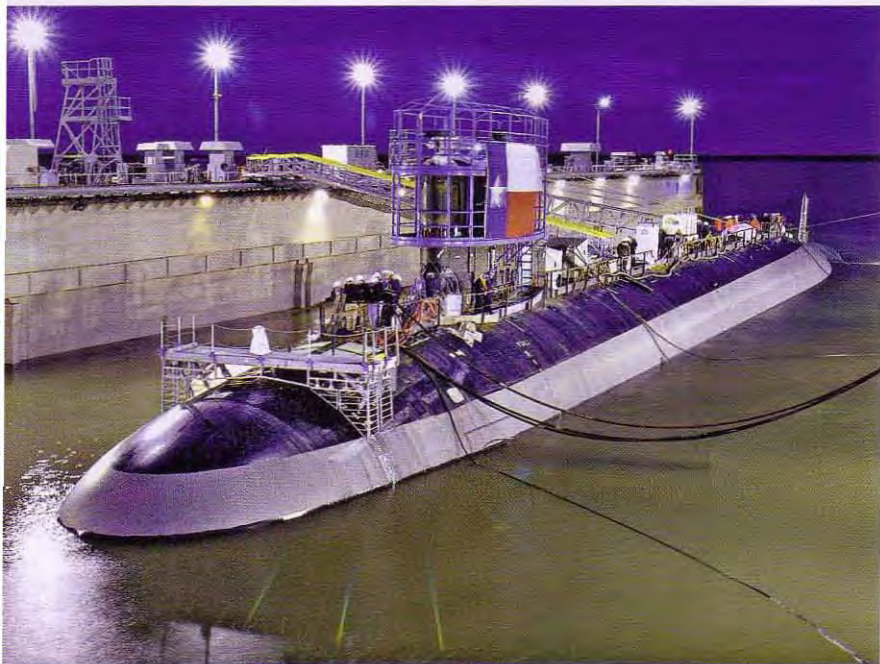
Die Steuerung des U-Bootes nimmt Lee voll in Anspruch: Mit einem Fuß kann er die Ballasttanks mit Wasser füllen, um das Boot sinken zu lassen; zum Aufstieg pumpt er die Tanks mit dem anderen Fuß leer. Zudem lässt sich das Gefährt über zwei handbetriebene Wasserschrauben und ein Ruder in alle Richtungen bewegen. Als Lee seine Position erreicht, versucht er, mit einem außen befestigten Bohrer ein Loch in die „Eagle“ zu treiben, um eine Unterwassermine mit Zeitzünder zu befestigen.

Konstrukteur des U-Bootes ist der Yale-Absolvent David Bushnell. Inspiriert hat ihn womöglich eine Ausgabe des „The Gentleman's Magazine“ von 1747 in der Universitätsbibliothek, in dem das wohl erste manövrierfähige Tauchboot überhaupt beschrieben wird. Gebaut vom Holländer Cornelius van Drebbel, ist das Gefährt – im Prinzip ein geschlossenes, mit eingefettetem Leder überzogenes Ruderboot – um 1620 in der Londoner Themse untergetaucht, wenn auch nur viereinhalb Meter tief. Van Drebbel baut insgesamt drei solcher Boote, bei einer Fahrt soll König James I. an Bord gewesen sein.

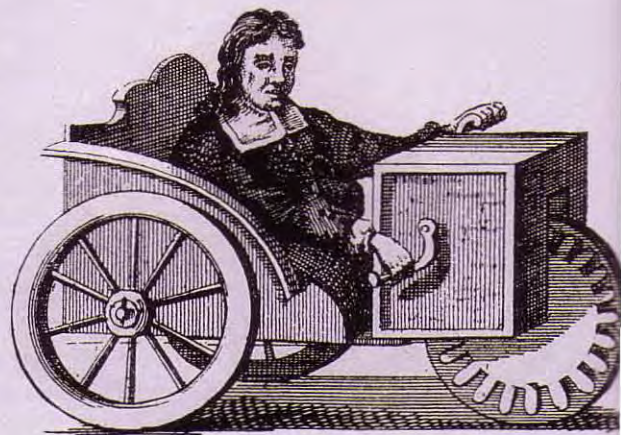
Bushnells Tauchboot ist mehr als 150 Jahre später das erste, das militärisch eingesetzt wird. Die Attacke allerdings schlägt fehl: Lee gelingt es nicht, den Kupferbeschlag des Schiffsrumpfes zu durchbohren – die Bombe detoniert, ohne Schaden anzurichten.

Doch die Eroberung der Meerestiefen, ob friedlich oder militärisch, vollzieht sich von nun an in rasantem Tempo. Bei einer Wrackbergung bewähren sich um 1840 die ersten Tauchanzüge mit geschlossenem Helm, die der Deutsche Augustus Siebe entwickelt hat.

Und 1960 gelangen Jacques Piccard und Don Walsh im pazifischen Marianengraben in einer Stahlkapsel an den mit mehr als 10 900 Metern tiefsten bislang von Menschen erreichten Ort.



Moderne U-Boote wie die knapp 115 Meter lange »PCU Texas« der US-Marine können sich fast lautlos im Wasser fortbewegen. Listenpreis: drei Milliarden Dollar



Mithilfe einer Handkurbel, deren Kraft über einen Zahnkranz auf das vordere Rad übertragen wird, kann sich der gelähmte Uhrmacher Stephan Farfler in diesem selbst konstruierten Rollstuhl fortbewegen

1655

Rollstuhl

50

Die neue Freiheit

Das Gefährt, das sich der gelähmte Uhrmacher Stephan Farfler 1655 baut, muss in Altdorf bei Nürnberg Aufsehen erregt haben: Auf zeitgenössischen Stichen ist ein kompakter, dreirädriger Stuhl zu erkennen, dessen Insasse aufrecht sitzt und sich durch Kurbelbewegungen der Hände selbst fortbewegt – ähnlich einem modernen „Handbike“, das ausschließlich mit den Armen angetrieben wird.

Farfler ist der Erfinder des auto-mobilen Rollstuhls, ähnliche Entwürfe hat es allerdings schon zuvor gegeben. So ist auf einem chinesischen Steinsarg aus dem 6. Jahrhundert n. Chr. ein Stuhl mit drei Rädern zu erkennen; und für Philipp II. von Spanien entwirft der Flame Jehan Lhermite 1595 einen fahrbaren „Gichtstuhl“ mit Fußstütze und verstellbarer Rückenlehne. Und obwohl dieser „nur aus Holz, Leder und gewöhnlichem Eisen“ bestehe, sei er für den Komfort des Königs „das Zehnfache des Materialgewichts in Gold und Silber wert“, befindet der Konstrukteur.

Doch Farflers Rollstuhl ist nicht nur eine radikale Abkehr von früheren Entwürfen, die im Grunde nicht mehr sind als Liegestühle auf Rollen. Er ist vermutlich auch der Erste, der sich über Kurbeln und Zahnradgetriebe von einem Behinderten selbst bewegen lässt – und ihn weitgehend unabhängig macht von Helfern.

1979 schließlich konstruiert die querschnittgelähmte, frühere US-Sportlerin Marilyn Hamilton einen Rollstuhl aus Aluminium und Kunststoff, der viel leichter und beweglicher ist als die zu dieser Zeit noch üblichen „Dinosaurier aus rostfreiem Stahl“. In verschiedenen Ausführungen millionenfach verkauft, hat er seither vielen Betroffenen einen Teil ihrer Bewegungsfreiheit zurückgegeben.

Waschmaschine

Ein Automat für den Alltag

Wäschewaschen ist über Jahrhunderte hinweg eine Knochenschinderei: An den Waschtagen mühen sich Frauen stundenlang damit ab, schmutzige Kleidung in Seifenlauge einzuweichen, zu reiben, zu schlagen, zu spülen und auszuwringen. Zwar gibt es seit jeher Hilfsmittel, vom einfachen Stein bis hin zum Wäschestampfer. Doch der früheste bekannte Hinweis auf eine Maschine, die Teile dieser Arbeit übernimmt, stammt aus dem Jahr 1677, niedergeschrieben von dem Engländer Sir John Hoskyns, der in einem Tagebuch notiert: Mit seiner Erfindung werde „das feinste Leinen gewaschen, gewrungen und dabei nicht beschädigt“.

Eine genauere Beschreibung einer Waschmaschine erscheint erst 1752 im Londoner „The Gentleman's Magazine“: Die „Yorkshire Maiden“ besteht aus einem Holzzuber mit eingebautem, über Handhebel zu bewegendem Wäschestampfer und soll „drei Dutzend Hemden in der Stunde“ waschen.



Dieses Modell von 1913 wird mit Kohle beheizt – die Waschtrommel muss noch per Kurbel gedreht werden

51

Auf Umwegen erfährt der Regensburger Pastor Jacob Christian Schäffer von der Konstruktion und baut sie nach. Seine 1767 vorgestellte „bequeme und höchst vorteilhafte Waschmaschine“ ist ein großer Erfolg – und in kaum veränderter Form fast ein Jahrhundert lang in Gebrauch.

Erst Ende des 19. Jahrhunderts schreitet die Mechanisierung des Haushalts schneller voran – nicht nur beim Waschen. Aus Sorge um ihr kostbares Porzellan entwickelt Josephine Garis Cochrane, eine wohlhabende US-Amerikanerin, die erste Geschirrspülmaschine und lässt sie 1886 patentieren. Den Vakuumstaubsauger erprobt 1901 erstmals der britische Ingenieur Hubert Cecil Booth: Sein benzinbetriebener „Puffing Billy“ ist jedoch so groß, dass er, von Pferden bewegt, vor der Wohnung geparkt werden muss, während durch Türen und Fenster eingeführte Schläuche den Staub ansaugen.

Doch schon 1908 sind mit Strom betriebene Handstaubsauger erhältlich. Und die vermutlich erste elektrische Waschmaschine wird 1906 von der US-Firma „1900 Company“ auf den Markt gebracht: Werbebroschüren zeigen, wie ein Motor den Rührer im Waschtott bewegt – und die Hausmädchen staunend danebenstehen.

1709

Heißluftballon

Leichter als die Luft

52

Zu Beginn seiner Präsentation genießt der 23-jährige Brasilianer Bartolomeu Lourenço de Gusmão noch die Bewunderung des portugiesischen Königs Johann V. Es ist der 8. August 1709, und Pater Gusmão führt im Palast eine Erfindung vor: einen Heißluftballon.

Freilich in einem geschlossenen Raum. Gusmão hängt unter einen kleinen, an der Unterseite offenen Ballon aus Segeltuch einen Trog mit einer brennenden Flüssigkeit. Der heiße Qualm füllt den Ballon, Gusmão lässt los – der Ballon fliegt. Ein Beobachter beschreibt später, was dann geschieht: „Es stieg ein Stück empor und stieß gegen die Wand, kam dann zum Boden zurück und fing Feuer, als die Materialien durcheinandergerieten. Es setzte alles, wogegen es stieß, in Brand.“ Doch der Jesuit hat Glück: „Majestät war so gnädig, es nicht übelzunehmen.“

Erstmals hat ein Mensch ein Fluggerät gebaut, das leichter ist als Luft. Bis zum nächsten Versuch vergehen 74 Jahre: Am 5. Juni 1783 breiten die französischen Brüder Joseph Michel und Jacques Étienne Montgolfier auf dem Marktplatz ihrer Heimatstadt Annonay eine Hülle aus Leinen und Papier aus, entfachen ein Feuer und leiten den Qualm in die Hülle. Die bläht sich auf zu einem zwölf Meter hohen Ballon, der unter dem Jubel der Zuschauer auf rund 1000 Meter Höhe steigt. Und bereits am 21. November wagen sich zwei Piloten zur ersten Luftfahrt der Geschichte in die „Montgolfière“. Nach 25 Minuten landen sie wieder wohlbehalten.

Überall in Europa starten jetzt Heißluftballons, und bis zur Erfindung des →*Flugzeugs* gilt das Konzept „Leichter als Luft“ als alleinige Möglichkeit, den Himmel zu erobern.



Hunderte Zuschauer beobachteten 1783 im spanischen Aranjuez, wie sich einer der ersten Heißluftballons in die Lüfte erhebt

Schneller als jede Hand

Die Maschine hat zahlreiche Vorzüge“, schreibt der Schriftsteller Mark Twain am 9. Dezember 1874 an seinen Bruder: „Ich glaube, sie wird schneller drucken, als ich schreiben kann.“ Den Brief hat Twain mit einem neumodischen Gerät zu Papier gebracht: einer Schreibmaschine der Firma Remington, die bis dahin eher für Waffen und →**Nähmaschinen** bekannt ist.

Die von dem Drucker Christopher Sholes und zwei Mitarbeitern ab 1867 entwickelte Apparatur ist nicht die erste ihrer Art: Bereits 1714 hat der Brite Henry Mill ein Patent erhalten für eine „künstliche Maschine oder Methode, Buchstaben abzdrukken oder abzuschreiben.“ Doch die Konstruktion stößt auf geringes Interesse; auch weitere Geräte haben wenig Erfolg.

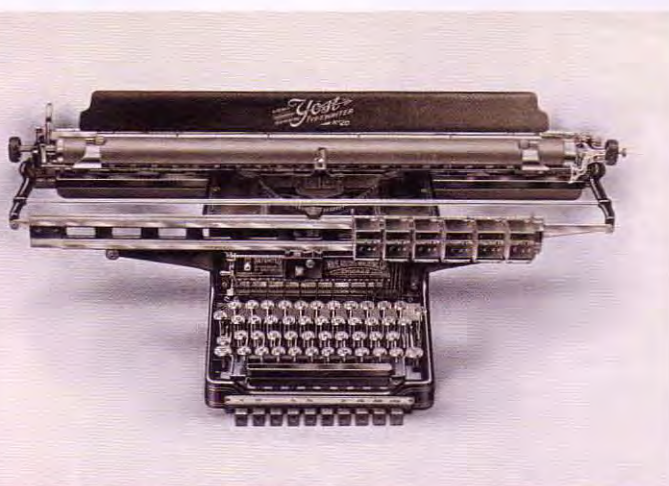
Für den kommerziellen Durchbruch der Schreibmaschine sorgt erst der Amerikaner Sholes. Aber seine Prototypen haben ebenfalls noch Mängel: Sie sind klobig und können nur Großbuchstaben schreiben.

Zudem verklemmt bei der anfangs alphabetisch angelegten Tastenfolge immer wieder die Mechanik. Denn die Hebel mancher Buchstaben – darunter die in der englischen Sprache besonders häufig verwendeten Kombinationen wie TH und ND – schlagen bei schnellem Schreiben aneinander oder verhaken sich.

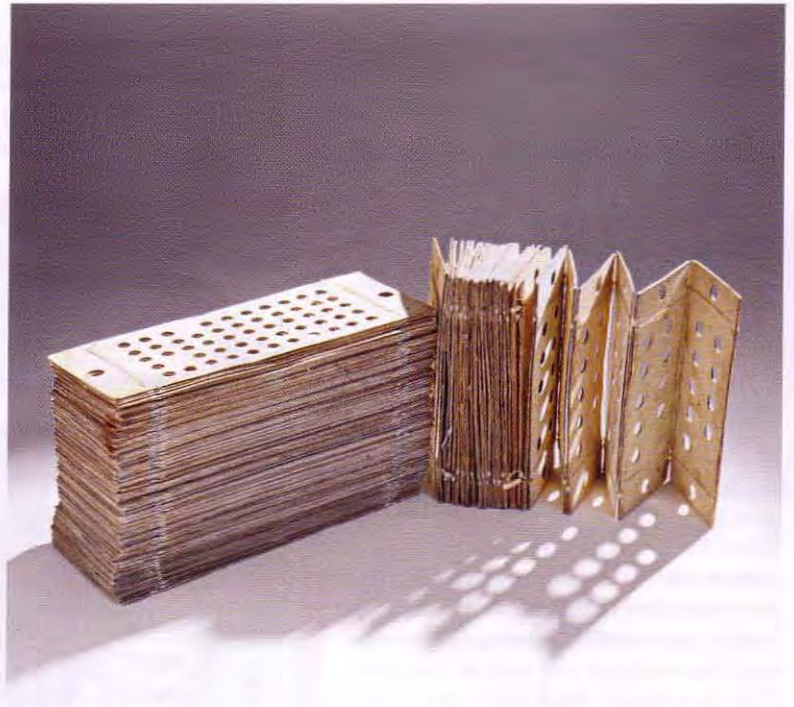
Deshalb entwickelt Sholes eine Buchstabenfolge, die allzu häufige Blockaden vermeidet und nicht zuletzt Verkäufern ein schnelles Tippen des Produktnamens „Type Writer“ ermöglicht.

So entsteht ein Muster, benannt nach den ersten sechs Tasten: QWERTY (in Deutschland QWERTZ). Nach anfangs stockendem Absatz wird die so verbesserte Schreibmaschine schließlich zum Welterfolg.

Und noch heute weist die Tastatur eines →**Computers** die gleiche Buchstabenfolge auf wie einst die Apparatur des Christopher Sholes.



Schon beim »Yost typewriter« von 1915 mit seinem breiten Schlitten sind die Buchstaben wie bei heutigen Tastaturen angeordnet



Informationen können auf Karten in Form von Lochmustern gespeichert werden

1728

Lochkarte

54

Eine Sprache für Mensch und Maschine

Eine ungewöhnliche Idee steht am Anfang der Lochkarte: Zu Beginn des 18. Jahrhunderts tüftelt der Mechaniker Jean-Baptiste Falcon an einer Steuerung von →**Webstühlen**, damit die identische Muster fabrizieren. Seine Schöpfung präsentiert der Franzose 1728: ein Holzbrett mit Löchern.

Das Muster dieser Löcher, über Stifte mechanisch abgetastet, bestimmt die Bewegungen im Webstuhl. Auf diese Art lassen sich beliebig viele, je nach Anordnung der Löcher unterschiedlich gestaltete Stoffmuster automatisch weben. Später ersetzen handlichere Pappkarten die Brettchen.

Die „Lochkarte“ ist so etwas wie die erste Sprache zwischen Mensch und Maschine: Sie gibt einer Apparatur Anweisungen, in welchen Schritten sie wie zu funktionieren hat.

1886 nutzt der US-Ingenieur Hermann Hollerith Lochkarten erstmals als Datenspeicher; unter anderem lässt er die bei der US-Volkszählung von 1890 erhobenen Personendaten auf Lochkarten festhalten. Alle Informationen werden in Lochmuster übersetzt und von eigens zu diesem Zweck gebauten Maschinen ausgewertet – sechsmal schneller als von Menschen und mit weitaus weniger Fehlern.

Die Firma IBM lässt sich 1928 eine 80-Spalten-Karte mit rechteckigen Löchern als Daten- und Programmspeichermedium patentieren. 40 Jahre später werden allein in den USA jährlich rund 260 Milliarden Lochkarten verwendet, 1300 für jeden Amerikaner. Erst in den 1970er Jahren verschwinden sie allmählich aus den Rechenzentren.

Denn nun übernehmen Magnetbänder die Rolle als Speicher, später Disketten und Festplatten. Bei den heutigen Datenmengen wäre die Lochkartentechnik ohnehin hoffnungslos überfordert: Eine Standard-Festplatte mit einem Terabyte Speicher kann den Inhalt von gut zwölf Milliarden Karten archivieren. Das entspräche einem Stapel von etwa 2000 Kilometer Höhe mit einem Gewicht von 30 000 Tonnen.

Zwischen Himmel und Erde

Am 10. Mai 1752 ziehen Gewitterwolken auf über Marly-la-Ville, einem Dorf bei Paris. Unter einer rund zwölf Meter hohen Eisenstange, die mit Weinflaschen gegen die Erde isoliert ist, steht ein Assistent des Naturforschers Thomas-François Dalibard.

Da Dalibard verreist ist, soll sein Gehilfe testen, ob das Gewitter die Stange elektrisch aufgeladen hat. Als er eine Glasphiole mit einem daran befestigten Metalldraht in ihre Nähe hält, springen bläuliche Funken auf den Draht über.

Dalibard beweist damit erstmals die elektrische Natur der Blitze. Zuvor konnten Gelehrte nur vermuten, dass Blitze jenen elektrischen Entladungen ähneln, die etwa beim Aneinanderreiben von Glas und Seide entstehen. Dabei gibt das Glas Elektronen an die Seide ab: Das Glas ist nun positiv, die Seide negativ geladen. Trennt man beide nach dem Rubbeln und hält sie dann wieder nah aneinander, kehren die überschüssigen Elektronen über den kürzesten Weg durch die Luft von der Seide zum Glas zurück; dabei regen sie jene Atome und Moleküle, aus denen die Luft besteht, zum Leuchten an: Es entsteht ein bläulicher Funke.

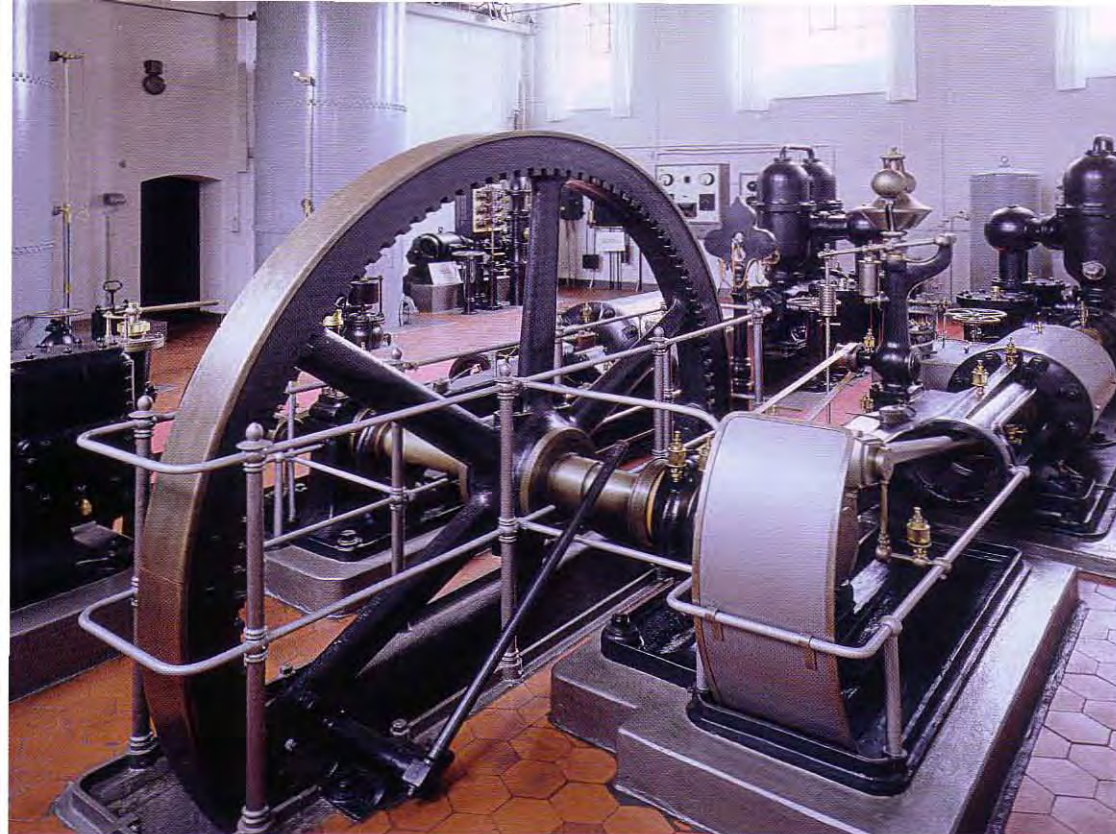
Gleiches geschieht in Gewitterwolken, das erscheint nach diesem Versuch als gesichert. Stoßen wirbelnde Luftmassen zusammen, gehen Elektronen von leichten Graupelkörnchen auf schwere Wassertropfen über: Die Graupelkörnchen – in der Wolke nach oben getrieben – laden sich positiv, die nach unten fallenden Wassertropfen negativ auf. So kommt es zu gewaltigen Spannungen, die sich schließlich in mächtigen Blitzen abbauen.

Die Idee für das Experiment stammt jedoch nicht von Dalibard, sondern von Benjamin Franklin. Der amerikanische Staatsmann und Wissenschaftler hat bereits 1747 in Philadelphia mit Forschungen zur Elektrizität begonnen. Auch wenn ihm Dalibard zuvorkommt, so ist es doch Franklin, der im Herbst 1752 als Erster beschreibt, wie sich Häuser mithilfe eines auf dem Dach angebrachten und geerdeten Metallstabes vor Blitzschlag schützen lassen: Da das Metall direkt mit dem Erdreich verbunden ist, leitet es die Energie in den Untergrund, ohne dass Mensch, Tier oder Haus zu Schaden kommen.

Noch im selben Jahr werden auf zwei öffentlichen Gebäuden in Philadelphia Blitzableiter installiert.

Extreme Spannungen und Ströme von mehr als 200 000 Ampere können jährlich mehr als eine Million Mal bei Blitzen in Deutschland auftreten. Geerdete Stäbe und Drähte aus Metall schützen Häuser vor einem Einschlag





Die dampfgetriebenen Kolben links und rechts des Schwungrads liefern die Energie für dieses Pumpwerk von 1903

1769

Dampfmaschine

56

Die Kunst, Hitze in Arbeit zu verwandeln

Eine Rauchsäule teilt das zurückliegende Jahrtausend in die Zeit vor und nach der Erfindung der Dampfmaschine: Denn diese trägt entscheidend dazu bei, dass sich der Mensch von den Kräften der Natur unabhängig macht – und beschleunigt so die Industrielle Revolution.

Bereits 1712 geht die erste funktionsfähige Dampfmaschine von Thomas Newcomen in Betrieb, die zum Abpumpen von Grubenwasser im Bergbau verwendet wird. Ihre Leistung ist jedoch noch sehr gering, der Brennstoffverbrauch dagegen sehr hoch.

Erst der schottische Mechaniker James Watt lässt sich 1769 mit seiner Niederdruck-Dampfmaschine ein neues Modell patentieren, das schneller und sparsamer arbeitet – es verbraucht 75 Prozent weniger Kohlen als die Apparatur von Newcomen. Zudem erbringt sie eine

die Wohnbedingungen verbessert; Kaufkraft entsteht, industriell gefertigte Produkte sind nun oft besser und günstiger als ihre Vorläufer.

Doch die Industrielle Revolution verändert nicht nur die von ihr erfassten Gesellschaften: Sie macht sie auch mächtiger. Die westlichen Nationen, die ohnehin schon einen großen Teil der Welt dominieren, bekommen ein Instrumentarium an die Hand, dem keine andere Kultur gewachsen ist. Technische Entwicklungen erleichtern die Eroberung riesiger Kolonien – und bis heute die globale Vormachtstellung der industrialisierten Welt.

Knapp 200 Jahre nach den ersten Qualmwolken aus der Watt'schen Dampfmaschine machen die westlichen Gesellschaften eine zweite industrielle Revolution durch: die der Automatisierung, die um 1950 beginnt und dazu führt, dass viele Millionen jener Arbeitsplätze, die einst in den Fabriken entstanden sind, nun wieder verschwinden.

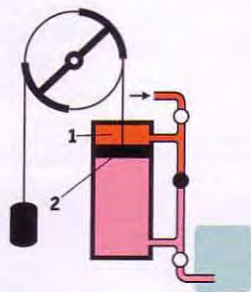
Inzwischen sind wir mitten in der dritten, der digitalen Revolution. Und erleben seit der Erfindung des Mikrochips den nächsten technischen Wandel.

höhere Leistung. Sie ist die Grundlage für die Entwicklung universell einsetzbarer Industriemaschinen (siehe Illustration).

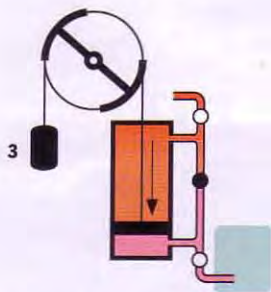
1775 gründet Watt mit einem Partner die erste Dampfmaschinenfabrik, und bald werden seine Apparate in Bergwerken und Textilfabriken eingesetzt, auf Schiffen und Lokomotiven.

Innerhalb weniger Jahrzehnte kommt es zu einem dramatischen sozialen Wandel: Die Mehrheit etwa der englischen Bevölkerung lebt nun in Städten und arbeitet in Fabriken; viele Menschen hausen in überfüllten Slums unter erbärmlichen Bedingungen. Der Rauch der Hüttenwerke verdunkelt den Himmel, Abraumhalden der Bergwerke und Steinbrüche verwüsten das Land.

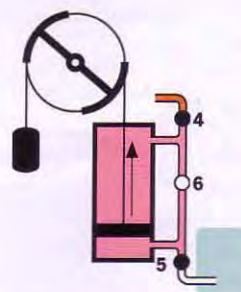
In den Fabriken schufteten auch Frauen und Kinder, und erst mit großer Verzögerung profitiert das Proletariat von dem, was es produziert: Die Arbeitszeiten werden nach und nach beschränkt,



Heißer Dampf (rot) strömt in den Zylinder (1) und presst den Kolben (2) nach unten. Zugleich erzeugt sich abkühlender Dampf im unteren Teil Unterdruck und saugt den Kolben an



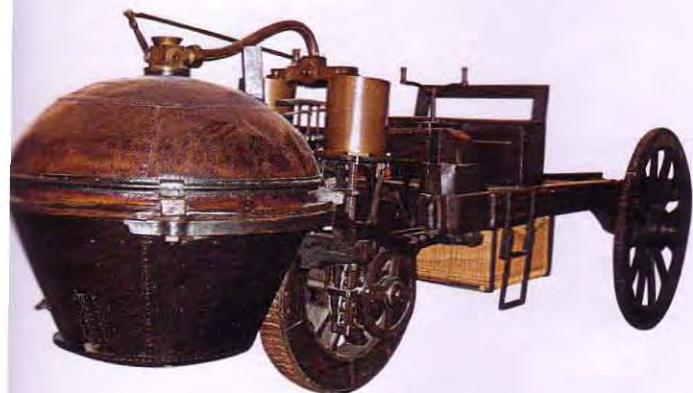
Der sich nach unten bewegende Kolben hebt über Ketten und eine Wippe ein Gewicht (3) an: Er verrichtet also Arbeit. Dabei kühlt der sich ausdehnende Dampf etwas ab



Oberes und unteres Ventil (4, 5) werden geschlossen, das mittlere (6) wird geöffnet. Dadurch gleicht sich der Druck im Zylinder aus – das Gewicht zieht den Kolben hoch



Befindet sich der Kolben wieder in seiner Ausgangsposition, werden die Ventile umgestellt: Heißer Dampf strömt in den Zylinder und der Zyklus beginnt von Neuem (linkes Bild)



Auch diese zweite Version des von Nicolas Cugnot erfundenen Kraftfahrzeugs fährt noch mit Dampf. Der wird im Kessel vorn erzeugt und strömt von dort in die beiden Zylinder, die ein einzelnes Rad antreiben

1769

Automobil

57

Ein Wagen ohne Pferd

Es hat keine richtige Bremse, statt vier Rädern nur drei, und wo bei späteren Kraftfahrzeugen die Motorhaube sitzt, trägt es einen gewaltigen Dampfkessel: Dieses Gefährt entwickelt der Ingenieur Nicolas Joseph Cugnot ab 1769 im Auftrag der französischen Regierung. Gedacht für den Transport schwerer Geschütze, kann sein „Fardier“ („Lastwagen“) mit Wasserdampf, der über Kolben das Vorderrad antreibt, eine Last von mehr als vier Tonnen schleppen. Höchstgeschwindigkeit: vier km/h.

Mit dem dreirädrigen Dampfwagen erfüllt sich der alte Menschheits Traum vom Automobil: einem Gefährt, das sich selbsttätig und ohne Krafteinsatz von Pferd oder Mensch fortbewegt. Vom Wind angetriebene Fahrzeuge sind zwar möglicherweise schon früh in Ägypten und China bekannt. Und in den Niederlanden entwirft um 1600 der Mathematiker Simon Stevin einen Segelwagen – im Prinzip ein Boot mit Rädern, das Berichten zufolge Platz für fast 30 Personen bietet und angeblich Tempo 40 erreicht.

Doch der „Fardier“ ist das erste maschinenbetriebene Straßenfahrzeug der Welt. Cugnot macht allerdings der Antrieb zu schaffen: Alle 15 Minuten muss sein Wagen pausieren, damit sich neuer Dampfdruck aufbauen kann. Und weil er sich schwer lenken lässt, kracht er, so ein Bericht, eines Tages gegen eine Ziegelmauer – vermutlich der erste Autounfall. Als die Fördergelder versiegen, gibt Cugnot das Projekt auf.

In England fährt bereits 1803 ein Dampftaxi, und etwa zwei Jahrzehnte später transportieren Dampfnibusse Passagiere, doch erst der → **Verbrennungsmotor** verhilft dem Automobil zum Durchbruch. Das erste vierrädrige, mit Benzin betriebene Straßenfahrzeug der Welt entsteht 1887: die „Motor-kutsche“ der deutschen Ingenieure Gottlieb Daimler und Wilhelm Maybach.

1799

Batterie

58

Die mobile Stromquelle

Die Geschichte der Batterie beginnt mit einem Irrtum: 1791 berichtet der italienische Arzt Luigi Galvani in einer Veröffentlichung von seinen Experimenten mit aufgeschnittenen Fröschen. Deren Schenkel zucken, wenn er sie mit den Enden eines Drahtes berührt, der aus zwei unterschiedlichen Metallen gefertigt ist. Galvani vermutet, dass im Gewebe „tierische“ Elektrizität gespeichert ist. Sobald diese durch einen Draht abfließt, bewegen sich die Beine.

Erst sein Landsmann Alessandro Volta findet die richtige Interpretation: Nicht die Schenkel sind Quelle der Elektrizität, sondern die Metalle. Werden sie mit dem Schenkel verbunden, fließt Strom von einem Metall in das Frogsgewebe und anschließend in das andere Metall.

Angeregt durch diese Erkenntnis, schichtet Volta Ende des Jahres 1799 abwechselnd dünne Kupferplatten, in Salzwasser getränkte Pappstücke und Zinkplatten übereinander, bis ein Turm entstanden ist – die „Volta'sche Säule“. Sobald der Forscher die Enden der Säule mit seinen angefeuchteten Fingern berührt, durchzucken ihn leichte Stromschläge. Es ist die erste Batterie.

Deren Prinzip aber erkennen Forscher erst im 19. Jahrhundert: Zink- und Kupferatome lösen sich im Salzwasser. Dabei werden elektrische Ladungsträger (Elektronen) in den Metallplättchen frei. Zink löst sich stärker als Kupfer. Daher entsteht in den Zinkplättchen ein größerer Elektronenüberschuss als im Kupfer. Werden das obere und untere Ende von Voltas Säule mit einem Leiter – etwa einem Draht – verbunden, wandern die überzähligen Elektronen vom Zink zum Kupfer: Es fließt Strom.

Die Erfindung der Batterie markiert den Beginn der Elektrotechnik. Erst diese Quelle kontinuierlichen Stroms ermöglicht es Forschern, die Gesetze des Stroms experimentell zu untersuchen. Noch heute kommen Nachfolger der Volta'schen Säule milliardenfach zum Einsatz – etwa in Fernbedienungen oder Autos. Die größte Batterie der Welt steht derzeit in Fairbanks, Alaska; sie speichert genügend Energie, um eine Kleinstadt für rund 30 Minuten komplett mit Strom zu versorgen.



Schichten aus Kupfer- und Zinkplättchen sowie in Salzwasser getränkten Pappscheiben bilden Voltas elektrische Säule

Auf Schienen durch die Welt

Londons Straßen sind eine Katastrophe! Überall Schlaglöcher und Pfützen – und deshalb unbrauchbar für die Erfindung des Ingenieurs Richard Trevithick. Zwar läuft das Volk zusammen, steht staunend und in sicherer Entfernung am Wegesrand, wenn sein Dampfswagen für acht Passagiere schnaubend und rumpelnd heranrollt. Aber es hat keinen Zweck, zu marode sind in diesem Jahr 1803 die Straßen für das Gefährt aus Eisen und Holz. Trevithick muss einsehen, dass seine Erfindung für gewöhnliche Wege nicht geeignet ist. Aber er hat schon eine bessere Idee.

Seit Jahren sucht der Tüftler nach einem Weg, die *»Dampfmaschine«*, die in den Zinnminen und Kohlegruben seiner Heimat Cornwall Pumpen und Förderanlagen antreibt, auch in Fahrzeugen einzusetzen. Er entwickelt einen Kessel, der mit hohem Druck arbeitet, und legt ihn waagrecht auf ein Gestell mit Rädern. Am Kolben befestigt Trevithick ein Gestänge, das die Räder bewegt. Dieser Dampfswagen schafft aber nur kurze Strecken und geht schon bald nach der Demonstrationsfahrt in Flammen auf. Ein zweiter scheitert an Londons Straßen.

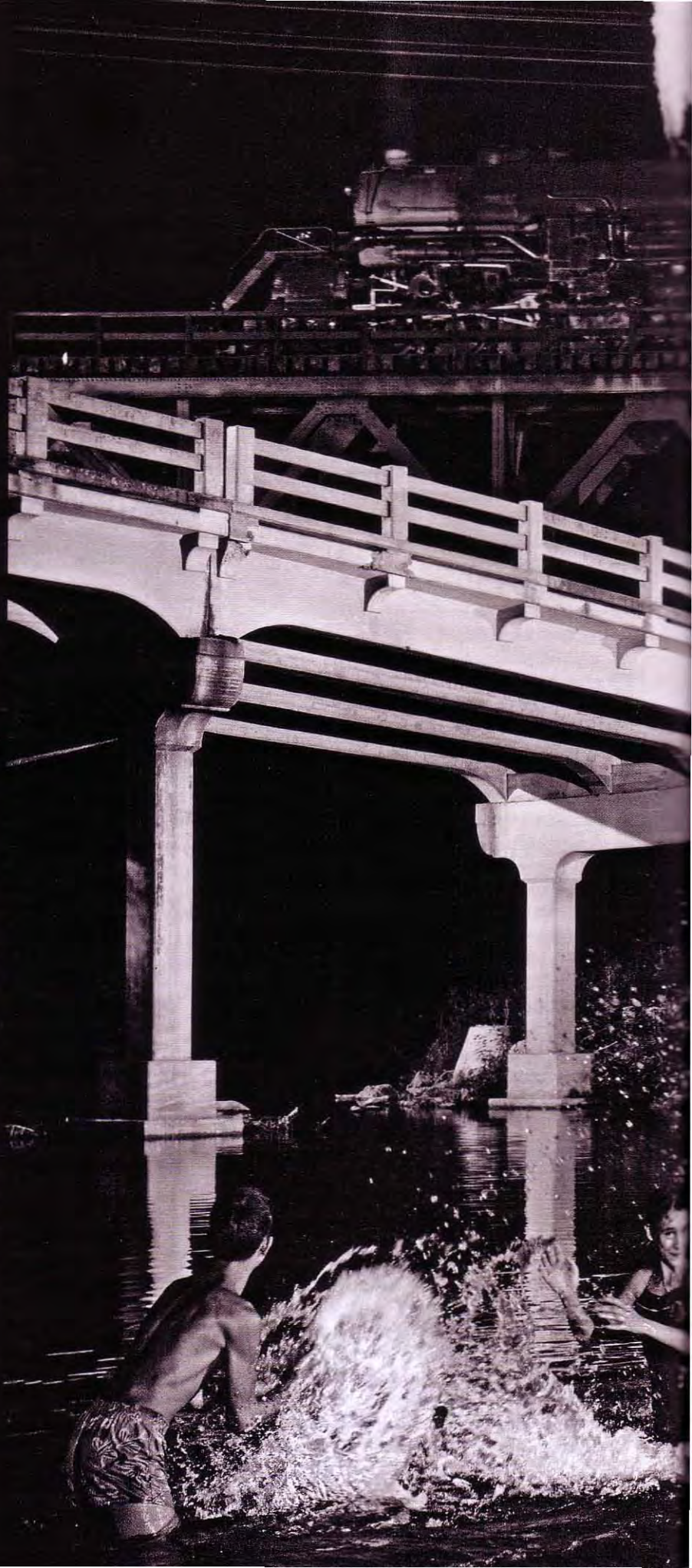
1804 wagt Trevithick einen dritten Versuch. Jetzt lässt er seine Maschine auf den Schienen einer Waliser Eisenhütte fahren, auf denen sonst Pferdewagen mit Erz und Eisen rollen. Mit einem Grubenbesitzer hat Trevithick eine Wette abgeschlossen: dass sein Gefährt imstande ist, zehn Tonnen Ladung auf Gleisen zehn Meilen weit zu transportieren. Er gewinnt: Am 13. Februar 1804 zieht die erste Lokomotive der Welt fünf Güterwagen mit 70 Arbeitern und zehn Tonnen Ladung über die Strecke.

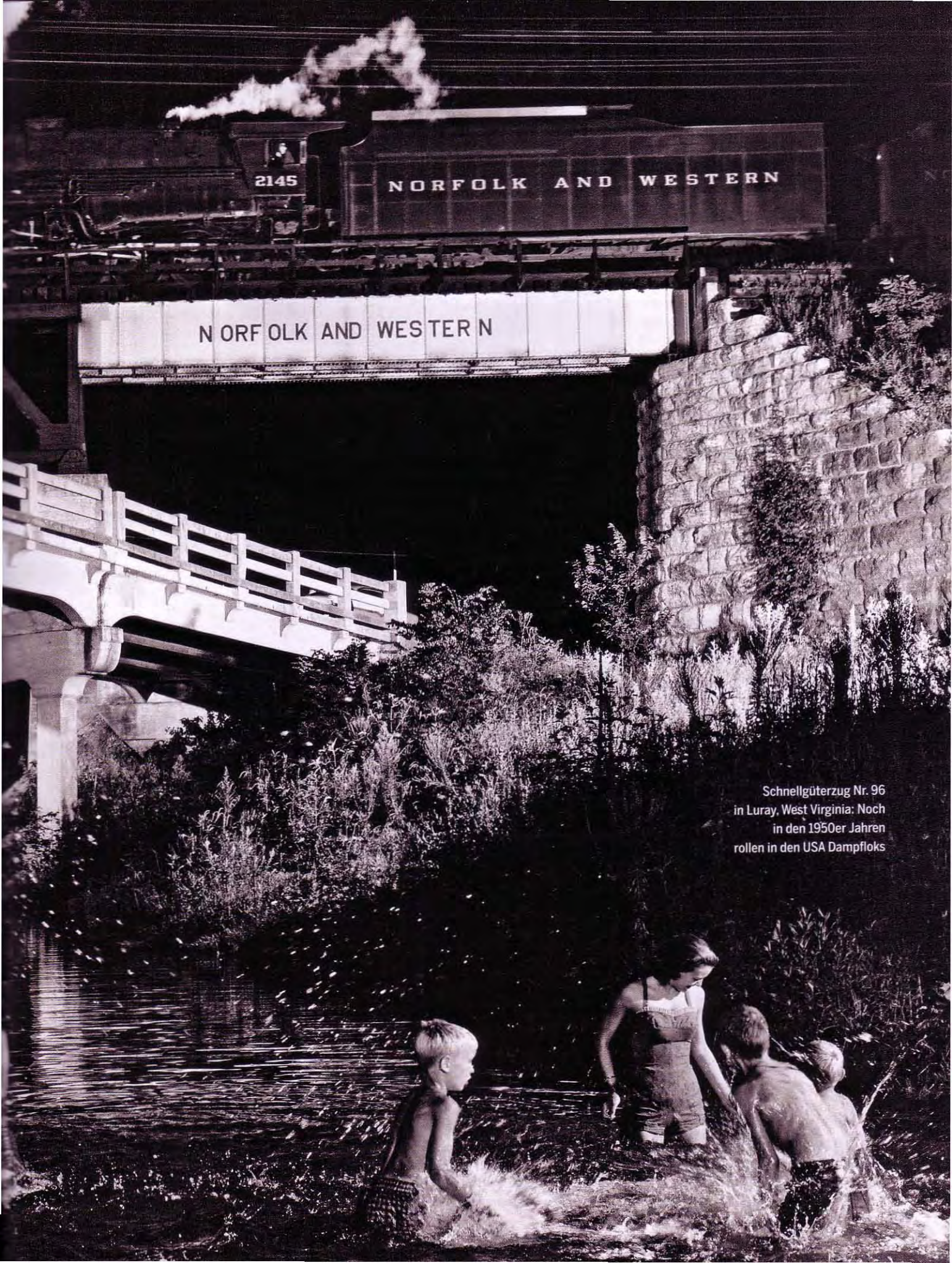
Doch tut sie nur wenige Monate Dienst auf der Hütte: Die gusseisernen Schienen halten dem Gewicht von Lok und Ladung nicht stand, der Besitzer spannt wieder Pferde vor die Waggonen.

Den Durchbruch schafft 1829 der Maschinenbauer George Stephenson. Seine *»Rocket«* gewinnt das Wettrennen um den Zugdienst auf dem neuen, 50 Kilometer langen Schienenstrang vom Baumwollhafen Liverpool zur Textilstadt Manchester. Es ist die erste Fernbahnstrecke für Fahrgäste und Waren.

Stephensons Lokomotiven verrichten ab 1830 so zuverlässig ihren Dienst, dass sich bald Betreiber in den USA und Kontinentaleuropa für sie interessieren, auch deutsche Eisenbahnpioniere.

Sie bestellen bei Stephenson die Dampflokomotive *»Adler«* (ab 1835 zwischen Nürnberg und Fürth unterwegs) – und zwar einschließlich des Lokführers: Denn noch weiß in Deutschland niemand, wie man eine Dampflokomotive bedient.





Schnellgüterzug Nr. 96
in Luray, West Virginia: Noch
in den 1950er Jahren
rollen in den USA Dampfloks



Seit 1962 setzt der Pop-Künstler Andy Warhol der Dose ein Denkmal

1810

Konservendose 60

Vorrat im Blechpanzer

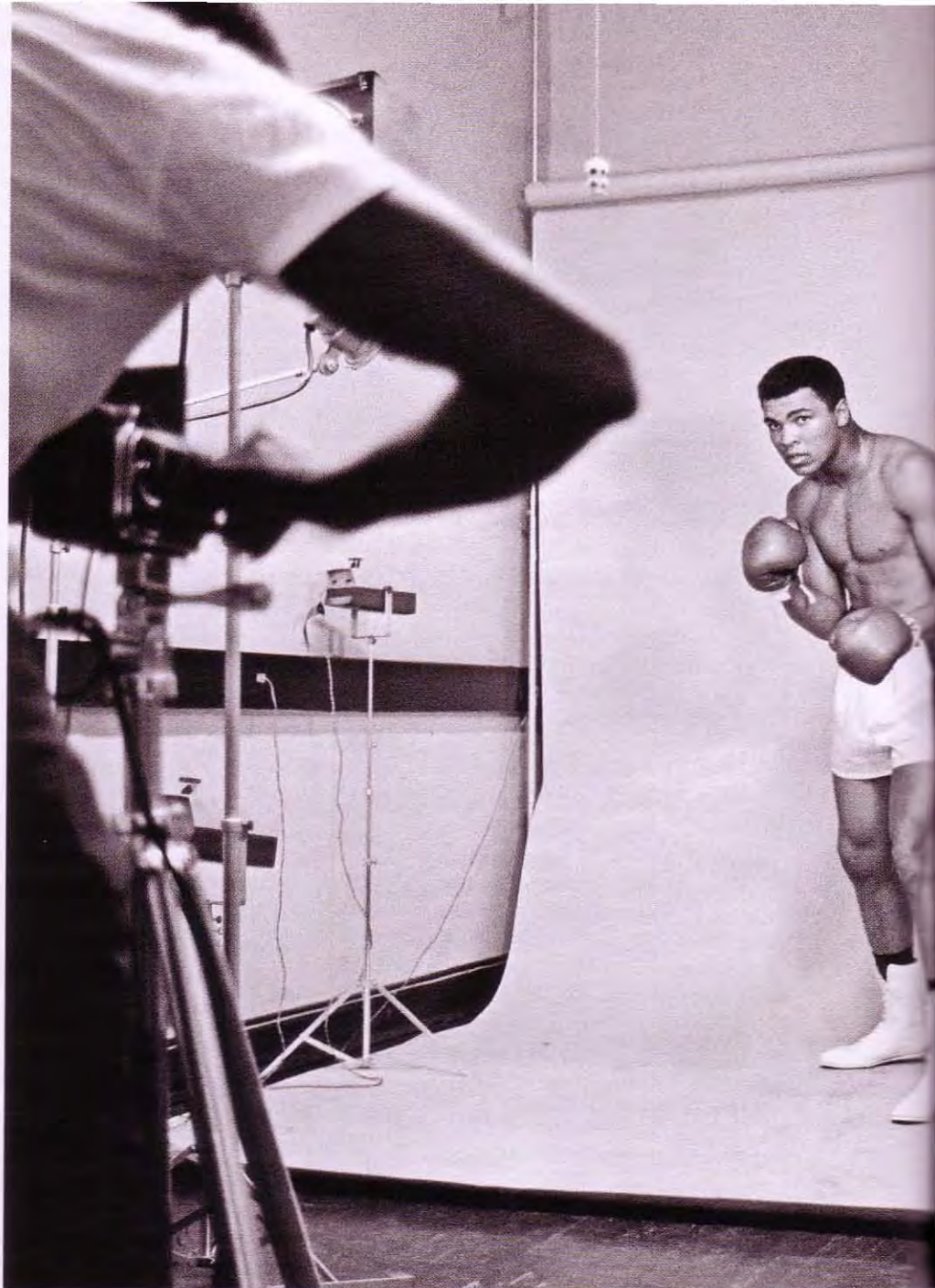
Die ersten Konservendosen kommen 1811 auf den Markt – die ersten brauchbaren Dosenöffner aber erst knapp 50 Jahre später. Auch wenn sich die ersten Dosen also nur mit Gewalt, etwa mit einem Meißel, öffnen lassen, so sind sie doch ein großer Fortschritt: Sie machen den Reichtum des Sommers auch im Winter nutzbar.

Angeblich schreibt Napoleon Bonaparte einen Preis für denjenigen aus, der seine Truppen mit haltbaren Vorräten versorgt. Tatsächlich entwickelt der französische Konditor Nicolas Appert ab 1795 eine Methode der Sterilisation (freilich ohne deren Prinzip zu durchschauen): Er erhitzt Vorräte in luftdichten Gläsern und macht sie dadurch haltbar. Seit 1812 sind die Proto-Konserven seiner Manufaktur bereits in vielen Häfen Frankreichs zu finden.

Der Engländer Peter Durand übernimmt Apperts Sterilisationsmethode, benutzt aber Behältnisse aus Blech – und lässt sich diesen Einfall 1810 patentieren. Seine Landsleute Bryan Donkin und John Jall setzen diese Idee mit ihrer 1811 gegründeten Fabrik in die Tat um.

Für Bonaparte kommt diese Entwicklung zu spät, nicht aber für seine Nachfolger, denn natürlich profitieren nicht nur Zivilisten von Speisen aus der Dose, sondern auch Soldaten.

George Orwell, der britische Schriftsteller, glaubt gar, ohne diese Erfindung hätte der Erste Weltkrieg kaum stattfinden können, denn: Die Konservendose sei „langfristig gesehen eine tödliche Waffe als das Maschinengewehr“.



1826

Fotoapparat

61

Bilder aus Licht

Auf dem Dachboden eines burgundischen Bauernhofes fängt 1826 das paradoxe Spiel der massenhaften Fixierung von Vergänglichem an. Von einem Mansardenfenster aus gelingt Joseph-Nicéphore Niepce die erste aller Fotografien: ein geisterhaft unscharfes Bild von einem Kornspeicher und einem Hof.

Niepce, der ab 1829 mit dem Erfinder Louis Jacques Mandé Daguerre zusammenarbeitet, benutzt eine Camera obscura vor einer mit lichtempfindlichem Bitumen präparierten Zinnplatte, um das Licht- und Schattenbild zu fixieren. Die Belichtungszeit für diesen „Heliograph“ liegt bei rund acht Stunden.

1841 lässt der Engländer William Henry Fox Talbot ein Verfahren patentieren, das er „Calotype“ nennt. Es handelt sich um Aufnahmen mit einem Negativ. Von nun an ist eine Fotografie, anders als bei Niepce und Daguerre, kein Unikat mehr; vom Negativ

Wirbel unter Wasser

Mit Wind und Wellen scheint der Mann, der am 26. November 1826 beim Patentamt die Pläne für einen Schiffsantrieb einreicht, nicht viel zu tun zu haben: Er ist Förster. Und doch revolutioniert die Idee des Österreichers Josef Ressel die Seefahrt.

Seit etwa Mitte des 18. Jahrhunderts experimentieren Ingenieure mit Antrieben für Schiffe. Sie nutzen die Kraft der gerade erst entwickelten → *Dampfmaschine* zur Fortbewegung auf dem Wasser – im Schaufelrad-dampfer. In der Seefahrt aber bewährt sich das Schaufelrad nicht: Der Wellengang beschädigt häufig die Antriebsräder, und auf langen Reisen nimmt die Eintauchtiefe der Schaufeln ab, weil sich durch den Kohleverbrauch der Tiefgang kontinuierlich verringert.

Bereits 1812, während eines naturwissenschaftlichen Studiums in Wien, skizziert Josef Ressel eine „Triebkraft“ für Wassergefährte – einen schraubenförmigen Propeller am Heck. Der Vorteil gegenüber dem Schaufelrad: Der Propeller arbeitet immer unter Wasser.

Ressel fehlt das Geld, um sein Studium fortzusetzen. Er wird Förster, gibt aber die Tüftelei nicht auf. Drei Jahre nach seinem Patentantrag verlässt das Schiff „Civetta“ den Hafen von Triest, angetrieben von Ressels Propeller. Doch schon nach 15 Minuten versagt die Dampfmaschine. Und Ressels Schöpfung gerät zunächst in Vergessenheit.

Andere Erfinder greifen die Idee auf und perfektionieren den Propeller: Ende des 19. Jahrhunderts werden immer mehr Ozeanriesen mit dem neuen Antrieb ausgerüstet und verdrängen die Großsegler.

Josef Ressel aber erfährt nie Anerkennung. 1852 setzt die britische Admiralität einen Preis aus für denjenigen, der nachweisen kann, den Schiffspropeller erfunden zu haben. Ressel meldet sich, erhält aber keine Antwort. Fünf Jahre später stirbt er einsam an Typhus.

„Sein Leben war eine einzige Tragödie“, schreibt ein Journalist in seinem Nachruf.

Den Moment
festhalten: 1966
lässt sich Boxstar
Muhammad Ali
von einem Foto-
grafen verewigen

lassen sich beliebig viele Positive machen – das Licht-Bild wird zum Massenartikel.

Auch die Kamera wandelt sich: Aus sperrigen Prototypen werden handliche Apparate. Zwei Typen setzen sich durch: Während bei der Spiegelreflexkamera das anvisierte Motiv über einen Spiegel umgeleitet und zum Betrachten auf einer Mattscheibe abgebildet wird, besitzt die Sucherkamera dafür einen am Gehäuse angebrachten Schacht, den Sucher.

Beide Typen zeichnen die Bilder heutzutage digital auf – Kameras, die einen Film belichten, werden kaum noch verkauft, und der größte Hersteller von analogen Sofortbildkameras meldet 2008 Insolvenz an.

Freilich hat der digitale Wandel auch den Begriff von „fotografischer Realität“ erweitert. Denn die Digitalisierung macht Veränderungen möglich, die sich am fertigen Bild nicht mehr erkennen lassen: Die dokumentarische Qualität von Fotos droht verloren zu gehen.



Antrieb der »TS Mauretania«: Schiffspropeller aus Bronze von 1906

Kühlschrank 63

Künstliche Kälte

Menschen versuchen schon von jeher, ihre Vorräte kühl zu halten. Um 1000 v. Chr. etwa lassen reiche Chinesen Eis in die Keller ihrer Häuser schaffen. Und im 8. Jahrhundert n. Chr. soll ein Kalif in Bagdad Schnee zwischen die Doppelwände seines Sommerpalastes gestopft haben. Erst 1834 aber gelingt der Versuch, Kälte künstlich herzustellen.

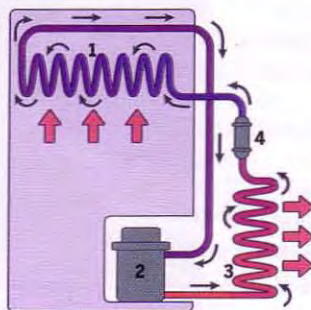
Jacob Perkins, ein Amerikaner in London, entwickelt eine Maschine, die nach dem gleichen Prinzip funktioniert wie die heutigen Kühlschränke: Eine unter Druck stehende Flüssigkeit verdunstet (die dazu nötige Wärme wird dem Inneren des Kühlschranks entzogen, der also abkühlt), wird komprimiert, kondensiert und gibt dadurch die Wärme wieder ab.

Als der Perkins-Apparat tatsächlich mitten im Sommer Eis produziert, packt ein begeisterter Mitarbeiter den Klumpen angeblich in Tücher und transportiert ihn quer durch London, um seinem Chef den Triumph zu präsentieren. Doch Perkins bringt seine Erfindung nie auf den Markt.

Der Erste, der Kältemaschinen kommerziell erfolgreich anbietet, ist um 1875 der deutsche Ingenieur Carl Linde, der Ammoniak als Kühlmittel einsetzt. Moderne Kühlschränke aber kommen erst 1910 in den USA auf den Markt. Es sind kompakte Vorratsbehälter, die die Kühltechnik von Lindes Apparat nutzen, deren Kompressoren aber mit Strom betrieben werden und nicht mit Dampfkraft wie bei dem Deutschen.

Ganze 100 Kühlschränke werden im ersten Jahr in den USA verkauft – weniger, als ein großer Elektromarkt heutzutage in einem Monat losschlägt.

Der Kühlschrank (hier das Plakat für ein Modell aus den 1950er Jahren) globalisiert den Handel mit Lebensmitteln



Der Siedepunkt des Kältemittels, das durch die Kühlschlange (1) fließt, ist sehr niedrig. Es verdampft daher schon bei der geringen Wärme, die von den Lebensmitteln im Kühlschrank ausgeht, und entzieht diesen so einen Teil ihrer Wärme. Das Gas wird von einem Kompressor (2) verdichtet und durch den außenliegenden Kondensator (3) gepumpt. Dort gibt es Wärme an die Umgebung ab und verflüssigt sich. Anschließend wird der Druck durch eine Drossel (4) wieder herabgesetzt. Dabei wird das Mittel stark abgekühlt und gelangt wieder in den Kühlschrank, wo der Kreislauf von Neuem beginnt.

Brennstoffzelle

64

Energie ohne Feuer und Flamme

Jeder Gymnasiast kennt die Knallgas-Reaktion aus dem Chemie-Unterricht: Mischt man Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) im Verhältnis 2:1, genügt ein kleiner Funke, um eine Explosion auszulösen. Denn die beiden Elemente reagieren zu Wasser (H_2O) und setzen dabei Energie frei.

Die gleiche Reaktion spielt sich im Prinzip in einer Brennstoffzelle ab, allerdings reagiert der Wasserstoff mit dem Sauerstoff darin sehr langsam und ohne Flamme. Er verbrennt „kalt“, also kontrolliert. Und statt zu verpuffen, lässt sich die Energie als elektrischer Strom nutzen.

Der Trick dabei: Wasserstoff und Sauerstoff kommen in der Brennstoffzelle nicht direkt miteinander in Kontakt – eine spezielle Membran trennt beide Gase voneinander.

Im Verlauf einer komplexen chemischen Reaktion zerfällt der Wasserstoff in positiv geladene Atomkerne und negativ geladene Elektronen. Während die Kerne die Membran durchdringen können, um sich mit

dem Sauerstoff zu verbinden (wobei schließlich Wasser entsteht), nehmen die Elektronen den Umweg über einen Draht zum Sauerstoff: Es fließt elektrischer Strom.

Das Prinzip dieser Stromquelle entdeckte der deutsche Chemiker Christian Friedrich Schönbein bereits 1838. Ein Jahr später baut der Waliser Physiker und Jurist Sir William Grove nach Schönbeins Idee die erste Brennstoffzelle.

Doch erst im Zeitalter der globalen Erwärmung avanciert die saubere Brennstoffzelle, die kein Kohlendioxid, sondern nur Wasser ausstößt, zur Zukunftstechnik.

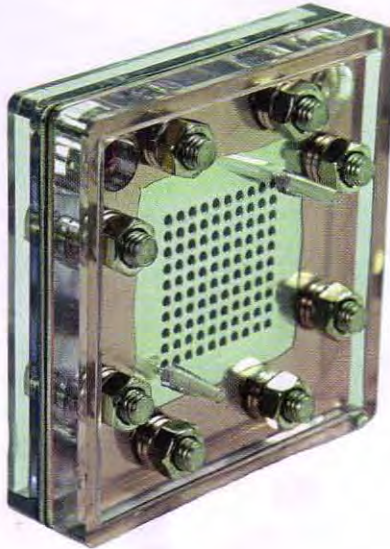
Um genügend Elektrizität zu erzeugen, schaltet man viele flache Einzelzellen hintereinander.

Brennstoffzellen können sowohl Autos antreiben als auch wie ein Kraftwerk Strom erzeugen. Allerdings

Durch eine chemische Reaktion produziert die Brennstoffzelle elektrischen Strom

muss ihr Treibstoff erst einmal durch Aufspaltung von Wasser erzeugt werden, denn Wasserstoff kommt in der Natur nicht in reiner Form vor. Und das erfordert wiederum Energie.

Daher stimmt die Ökobilanz nur, wenn man den Wasserstoff mit erneuerbaren Energien wie Wind- oder Sonnenstrom gewinnt.



Gummi

65

Die Tränen der Bäume

Wer kann es sehen, ohne dabei nicht Gott zu lobpreisen?“, fragt Charles Goodyear und meint damit einen ganz besonderen Werkstoff. Goodyears Begeisterung gilt dem Gummi, das aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken ist: In rund 40 000 Produkten findet es sich, von Kabelummantelungen bis zu Tennisbällen und Autoreifen.

Naturkautschuk, das Ausgangsmaterial, wird vor allem aus dem Saft der südamerikanischen Baumart *Hevea brasiliensis* gewonnen und ist seit Jahrhunderten bekannt – schon Kolumbus hat Indianer mit Kautschukbällen spielen gesehen. Seit dem frühen 19. Jahrhundert erweist sich die Substanz, hauptsächlich bei der Herstellung von Regenmänteln und Rettungswesten, als ungemein nützlich. Doch sie hat Mängel: Im Winter wird sie steinhart, in heißen Sommern kann sie sich in eine zähe, klebrige Masse verwandeln.

Charles Goodyear aus Connecticut ist entschlossen, diesen Rohstoff gewinnbringend zu veredeln – obwohl er nicht gerade für seine Geschäftstüchtigkeit bekannt ist. Niemand weiß, wie der Pleitier, der so arm ist, dass seine Familie von Nachbarn mit Essen versorgt wird, schließlich auf die einzige geniale Idee seines Lebens kommt.

Einer häufig erzählten Legende zufolge soll ein gerade noch verhinderter Ehekrach 1839 den Durchbruch gebracht haben: Der Erfinder habe seiner Frau versprechen müssen, mit seinen Kautschuk-Experimenten aufzuhören – woran er sich natürlich nicht gehalten habe. Als sie eines Tages früher als erwartet nach Hause gekommen

sei, habe er eine neue Mixtur aus Kautschuk und Schwefel im heißen Ofen versteckt und so durch Zufall entdeckt, wie der Stoff haltbar und temperaturunempfindlich gemacht werden könne. Nach dem römischen Gott der Schmiede und des Feuers habe er diese Technik dann „Vulkanisierung“ genannt.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts beginnt die Nachfrage nach vulkanisiertem Kautschuk, dem Gummi, zu boomen, denn inzwischen ist das motorisierte → *Automobil* erfunden worden (ab den 1930er Jahren wird stattdessen synthetisches Gummi verwendet).

Doch Goodyear hat zu spät daran gedacht, sich die Rechte an seiner Erfindung zu sichern: Als er 1899 stirbt, hinterlässt er Dutzende von Vorschlägen zur Nutzung seines Gummis (der Pneu gehört nicht dazu) – und 200 000 Dollar Schulden.



Einzig die Konsistenz erinnert an ihren Namensgeber: Gummibärchen sind elastisch und weich



Waffenerfinder

Die Tüftler des Todes

Text: Sebastian Witte; Fotos: Simon Thorpe

Ingenieure bauen nicht nur Autos, Windräder oder Waschmaschinen: Viele arbeiten



für die Waffenindustrie und perfektionieren mit nüchterner Präzision Kriegsmaschinen wie etwa die Landmine. Deren 150-jährige Entwicklungsgeschichte erzählt von der dunklen Seite des Erfindens



Minenopfer in der nordwestlichen Sahara. Für sein Projekt »Landmine Awareness« hat der Fotograf Simon Thorpe Menschen vom Nomadenvolk der Saharais porträtiert, die seit Jahrzehnten für ihre Unabhängigkeit von Marokko kämpfen

Eine Explosion erschüttert die morgendliche Ruhe bei Yorktown, Virginia. Ein Feind ist nirgendwo zu sehen. Dennoch liegen ein Reiter und sein Pferd verwundet am Boden. Es ist der 4. Mai 1862. Zum ersten Mal hat der Südstaatengeneral Gabriel Rains von ihm entwickelte, im Boden vergrabene Sprengkörper gegen Soldaten der Nordstaaten eingesetzt: Landminen.

Der Krieg wird nie wieder so sein wie zuvor.

×

Seither haben Ingenieure mehr als 700 Minentypen entwickelt. Heute liegen rund 100 Millionen Landminen in über 80 Ländern der Welt vergraben. Weitere 215 Millionen Antipersonenminen sowie 100 Millionen Antifahrzeugminen lagern in Depots.

×

Springminen wie die italienische „Valmara 69“ schleudern sich bis zu einem Meter in die Höhe, um Geschosse auf den mittleren Teil des Körpers zu verschießen.

Größere Antipersonenminen, etwa der russischen „PMN“-Serie, zerfetzen durch die Wucht ihrer Detonation den unteren Teil eines Beins, oft wird auch das Knie abgerissen; die Stoßwellen breiten sich mit einer Geschwindigkeit von knapp 7000 Metern pro Sekunde aus.

Hohlladungsminen schießen ihre Ladung von unten gegen ein Fahrzeug und durchschlagen dessen Boden. Der dabei entstehende Explosionsdruck zerstört die Karosserie und tötet die Insassen.

×

Während des Zweiten Weltkriegs lässt das englische Ministerium für Innere Sicherheit untersuchen, welche Schäden Sprengsätze im menschlichen Körper anrichten, um herauszufinden, wie sich die Wirkung hoch explosiver Waffen noch steigern lässt.

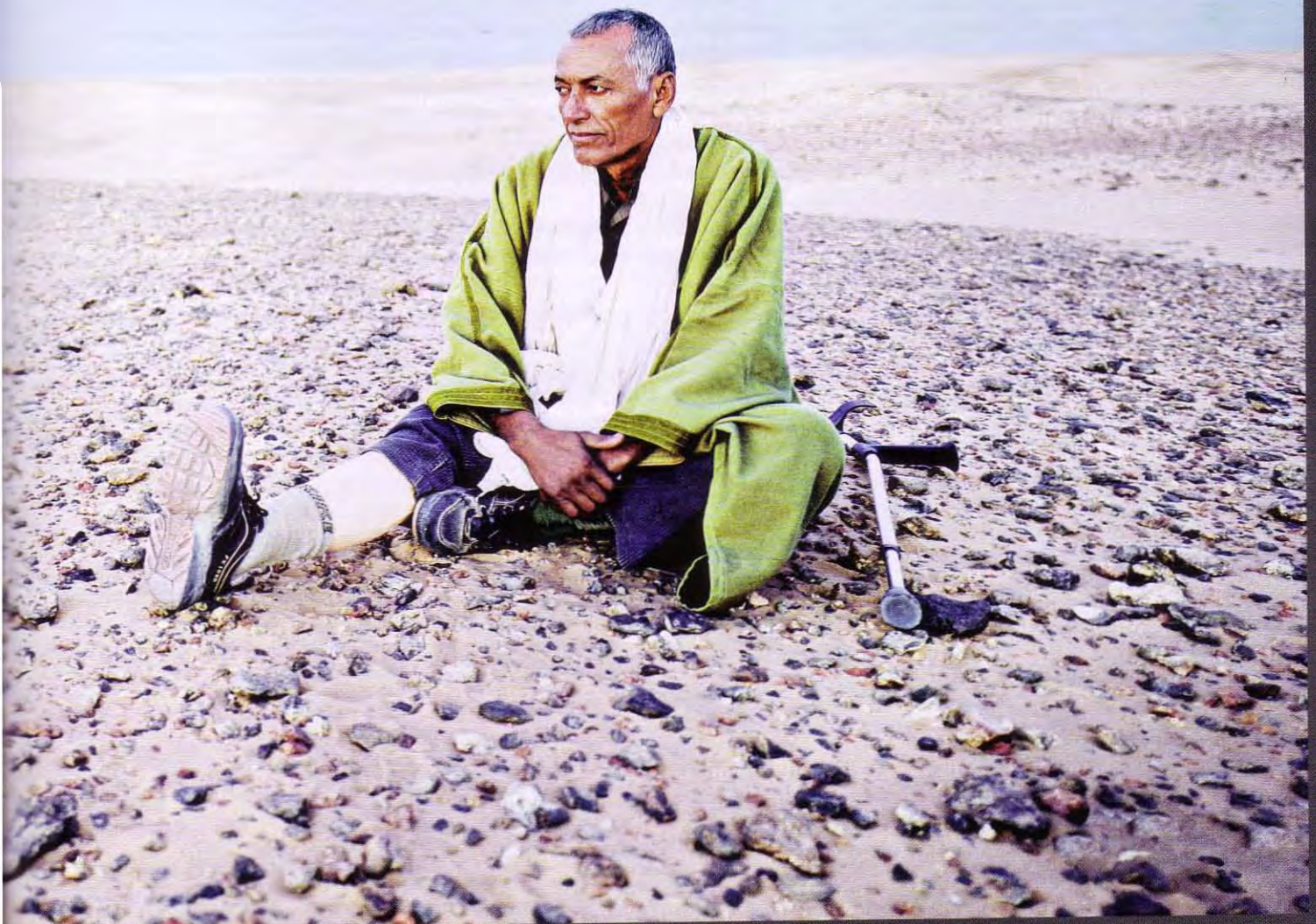
Der Primatenforscher Solly Zuckerman schießt Stahlkugeln in die Hinterbeine narkotisierter Tiere, um ihren Weg durch das Gewebe zu studieren. Spezielle Blitzlichtaufnahmen zeigen: Sobald ein Projektil die Haut- und Muskelschicht durchschlägt, hinterlässt es eine Kluft. Das benachbarte Gewebe dehnt sich anschließend für kurze Zeit ungewöhnlich stark aus. Daher nimmt der Körper noch weit entfernt von jenem Punkt Schaden, an dem die Kugel eingedrungen ist.

×

Mehr als 25 000 Menschen werden jedes Jahr durch Minen und Blindgänger verletzt oder getötet. Jedes dritte Opfer ist ein Kind. Minen verletzen gerade Kinder besonders schwer: Ihre lebenswichtigen Organe befinden sich näher am Boden als bei Erwachsenen. Außerdem können sie Warnschilder oft nicht lesen. Ein Großteil der Opfer stammt aus Afghanistan, Angola und Kambodscha.



Ahmed Salem verlor
sein rechtes Bein, als er
beim Ziegenhüten
auf eine Mine trat. Jedes
Jahr verletzen solche
Sprengkörper sowie
Blindgänger mehr als
25 000 Menschen





Fatima Bela Hada erinnert sich nicht mehr an die Explosion, die ihr den Unterschenkel abbriss. Viele Minen bleiben jahrzehntelang scharf

Die „Drachenzahn“-Mine „BLU 43“ aus US-Produktion hat ebenso wie die russische „PFM-1“ die Form eines Schmetterlings. Nach Abwurf aus der Luft gleitet sie zu Boden. Ihr Sprengsatz detoniert nicht unbedingt bei der ersten Berührung, sondern manchmal erst beim Verbiegen der Flügel. In der Regel reißt die Mine beide Hände am Gelenk ab. Splitter treffen den Oberkörper und das Gesicht.

Wegen ihrer interessanten Gestalt spielen Kinder oft stundenlang mit solchen Minen, ehe sie explodieren.

×

„Rund 50 Prozent aller Naturwissenschaftler und Ingenieure arbeiten für die Rüstung“, so Wolfgang Neef, bis vor Kurzem Leiter der „Zentraleinrichtung Kooperation“ der Technischen Universität Berlin, die sich mit der Entwicklung des Ingenieurberufs befasst.

×

Die amerikanische „XM133“ hat die Form eines Koffers. Per Fernsteuerung verstreut sie eigenständig 17 Antipanzern- und vier Antipersonenminen in einem Radius von 35 Metern. Jede Mine besitzt ihren eigenen Selbstzerstörungsmechanismus, kann aber auch per Funk deaktiviert werden.

×

Anders als etwa Springminen sind Tretminen heute selten tödlich. Denn die meisten verfügen über eine vergleichsweise kleine Menge Sprengstoff. Sie ist gerade ausreichend, um Gliedmaßen abzureißen, jedoch zu gering, um das Opfer zu töten. Das Prinzip „Verstümmeln statt zu töten“ zahlt sich taktisch in vieler Hinsicht aus:

Der verstümmelte Soldat ist ungleich entmutigender als der gefallene – und ein Verletzter eine weit größere Belastung für den Feind als ein getötetes Opfer, weil er geborgen und medizinisch versorgt werden muss.

×

Die Kosten für eine weltweite Minenräumung schätzten die Vereinten Nationen in den 1990er Jahren auf rund 33 Milliarden US-Dollar (manche Experten gehen heute sogar von 50 Milliarden Dollar aus).

Die günstigsten Minen-Modelle gibt es für wenige Dollar. Ihre Bergung kostet oft das Hundertfache.

×

Für die Panzerabwehrmine „PARM DM12“ wirbt der deutsche Hersteller mit den Worten: „Hohe Tötungswahrscheinlichkeit, auch bei schwer gepanzerten Objekten. Reichweite: zwei bis 40 Meter. Schwenkradius: 360 Grad. Durchschlagskraft mit effektiver Zielzerstörung.“

×

Selbst die Hersteller räumen ein, dass bei zehn bis 15 Prozent der modernen Minen die eingebaute Entschärfungsautomatik nicht funktioniert. Die Sprengsätze bleiben dann über Jahre aktiv. Selbst die allerersten Modelle aus den Zeiten des Amerikanischen Bürgerkriegs zeigen eine erstaunliche Langlebigkeit.

So wurden 1960 in der Nähe von Mobile, Alabama, fünf von Rains „Höllenaschinen“ gefunden. Sie waren noch immer scharf. Fast 100 Jahre, nachdem Soldaten sie vergraben hatten. □

Sebastian Witte, 25, ist Journalist in Hamburg.
Der britische Fotograf Simon Thorpe, 38, lebt in London.



Acker aus der Vogelperspektive: Für etwa 48 Prozent der Weltbevölkerung ist eine zusätzliche Stickstoffzufuhr bei der Nahrungsmittelproduktion unentbehrlich

1842

Mineraldünger

66

Nährstoffe aus dem Labor

Warum wachsen Pflanzen auf einigen Böden und auf anderen nicht?“, fragt der Chemiker Justus von Liebig 1840 in einer Schrift über die Chemie des Ackerbaus. Seine Antwort führt die traditionelle Feldarbeit in die moderne Agrarwirtschaft: Es müsse daran liegen, dass Gewächse dem Erdreich bestimmte chemische Elemente entziehen, die mal mehr, mal weniger häufig vorhanden sind. Wer die essenziellen Stoffe und ihre Wirkung genau kenne, so Liebig, könne die Fruchtbarkeit der Scholle gezielt beeinflussen.

Der Gießener Professor formuliert als Erster diesen Gedanken öffentlich – doch einige Monate zuvor hat sich bereits ein britischer Aristokrat daran gemacht, ihn auch in die Tat umzusetzen: Systematisch vergleicht John Bennet Lawes auf dem elterlichen Anwesen in Rothamsted bei London, wie sich verschiedene Substanzen auf das Wachstum von Rüben auswirken.

Besonders gut gedeihen die Ackerfrüchte, wenn der ehemalige Chemiestudent sie mit einem selbst gemachten „Superphosphat“ düngt: einem Gemisch aus Knochenmehl und Schwefelsäure, die aus dem Gebein Phosphor löst und ihn so für Pflanzen nutzbar macht.

Am 23. Mai 1842 erhält Lawes für seine Erfindung des ersten künstlichen Mineraldüngers ein Patent. Bald darauf gründet er die erste Düngemittelfabrik sowie die erste landwirtschaftliche Forschungsstation der Welt. Dort zeigt Lawes in jahrelangen Feldexperimenten, dass das mit Abstand wichtigste Nährelement in Pflanzendüngern Stickstoff ist.

Doch daran herrscht noch jahrzehntelang Mangel: Stickstoffreiche Substanzen wie etwa in verwitterten Seevogelexkrementen (Guano) müssen aus Lateinamerika eingeschifft werden. Bis 1908 der Deutsche Fritz Haber ein chemisches Verfahren erfindet, um das wertvolle Element aus der Luft zu gewinnen. So lässt sich fortan auch Stickstoffdünger in großen Mengen herstellen.

Heute bringen Bauern weltweit jährlich rund 165 Millionen Tonnen Mineraldünger auf Feldern aus.

Der Mensch geht auf Empfang

Keine andere Maschine trägt so viel zur Überwindung von Entfernungen bei wie der elektrische Telegraph, der Nachrichten mit einer Geschwindigkeit von mehr als 27 000 Kilometern pro Sekunde in Kabeln über Land und See jagt. Deshalb ist es wohl auch kein Wunder, dass Samuel F. B. Morse zur Eröffnung der ersten Telegraphenlinie (zwischen Washington D. C. und Baltimore) am 24. Mai 1844 ein Bibelzitat über den Ticker schickt: „Was hat Gott erschaffen!“

Dabei ist die 1837 vorgestellte und zunächst wenig beachtete Erfindung von Morse keineswegs die erste ihrer Art. Schon 1833 konstruieren die Göttinger Wissenschaftler Carl Friedrich Gauß und Wilhelm Weber einen elektromagnetischen Telegraphen. Über zwei 900 Meter lange, über die Dächer der Stadt gespannte Drähte tauschen sie Nachrichten aus. Und vier Jahre später stellen zwei Briten ein Modell vor, das mittels Nadeln Wörter buchstabiert.

Doch das Gerät von Morse ist einfacher zu bedienen: Der Absender braucht nur über eine federnde Taste kurze und lange Impulse einzugeben, die beim Empfänger automatisch auf ein Papier übertragen werden. Der „Morseapparat“ und das dazugehörige Alphabet werden schnell zum internationalen Standard und machen ihren Erfinder reich.

Der Telegraph hilft beim Aufbau großer Konzerne und bei der Koordination landesweiter Eisenbahnnetze, er erschließt Kontinente und verändert das Kriegswesen. Aber mehr als alle anderen profitieren von der sekundenschnellen Übertragung einer Nachricht diejenigen, die Nachrichten veröffentlichen: die Zeitungsmacher. Nur vier Jahre, nachdem Morse mit einem Bibelwort das Telegraphenzeitalter eröffnet hat, schließen sich in den USA sechs Blätter zusammen, um per Ticker untereinander Meldungen auszutauschen: The Associated Press ist gegründet, die erste moderne Nachrichtenagentur der Welt.



Buchstaben in kurze oder lange Stromimpulse verwandeln: ein Londoner Telegraphenamt um 1900



In diesem Inhalator von 1877 befindet sich flüssiger Äther. An das Gewinde schraubt der Arzt einen Sack, in den der Patient ein- und ausatmet

1846

Ätherkugel

68

Sieg über den Schmerz

Das Publikum im Operationssaal des Bostoner Massachusetts General Hospital verstummt, als John C. Warren sein Amputationsmesser hebt. Dann schneidet der Chirurg in das Fleisch eines Patienten. Der schreit auf. Einer der Zuschauer, der Zahnarzt William Thomas Green Morton, ist da schon fest entschlossen, solchen Torturen ein Ende zu setzen.

Zu jener Zeit, Anfang 1845, experimentieren Ärzte bereits mit narkotisierenden Gasen. Doch niemand verfolgt die Sache so ernsthaft wie William Morton. Monatelang betäubt er Goldfische, lässt Würmer und Vögel einschlafen, macht Selbstversuche mit Äther. Die Schwierigkeit bei dem Gas liegt darin, die richtige Dosierung zu finden: Inhaliert der Patient zu viel, stirbt er; atmet er zu wenig ein, wacht er allzu rasch aus der Betäubung auf.

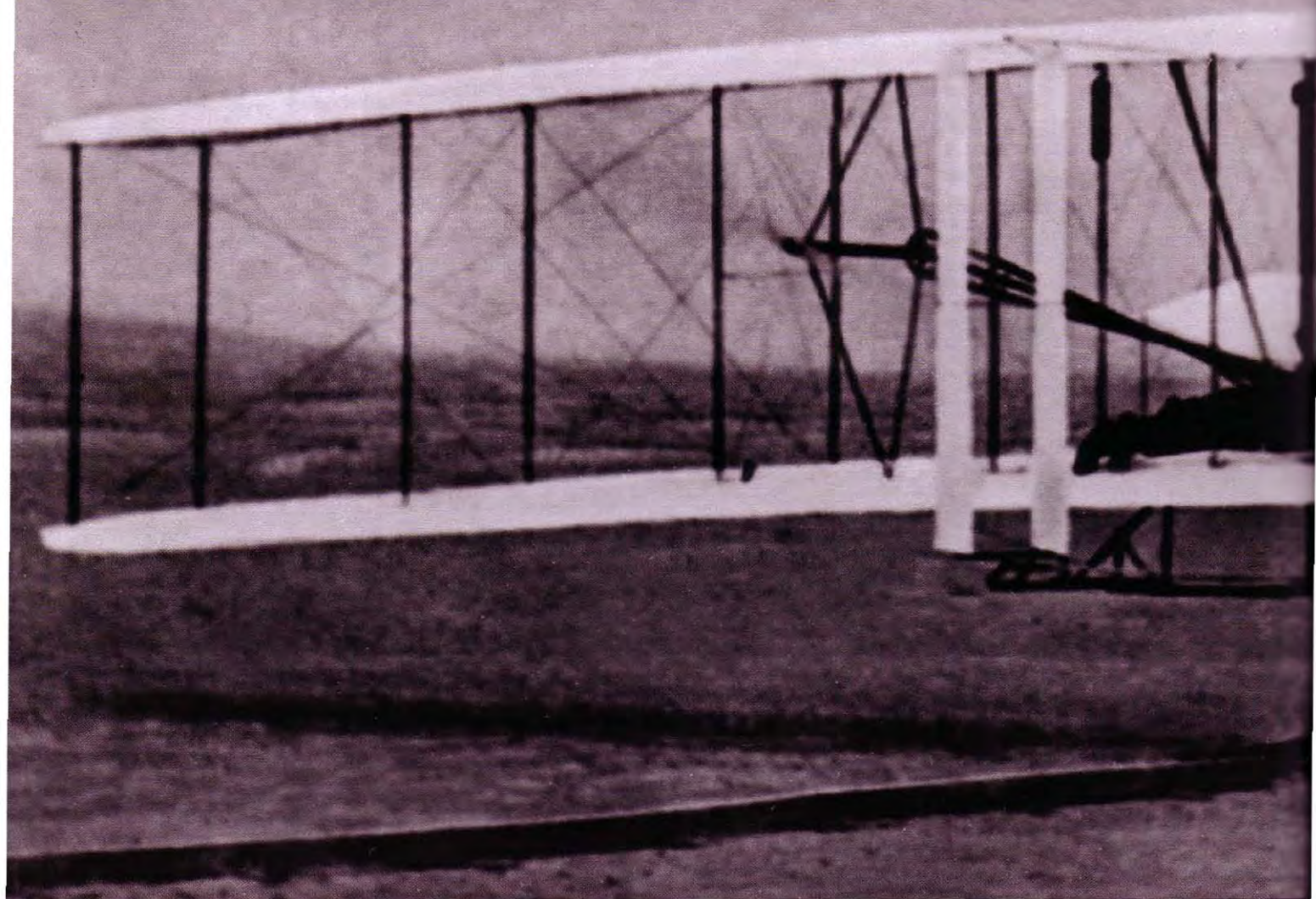
Schließlich entwickelt Morton einen Glaskolben, darin ein mit Äther getränkter Schwamm. Der Kolben hat zwei Öffnungen, eine zum Inhalieren über den Mund, eine zur Belüftung. Hinter einem Mundstück befindet sich ein Messingröhrchen mit zwei Klappenventilen aus Leder. Sie regulieren den Atemstrom des Patienten: Atmet er aus, strömt die verbrauchte Luft seitlich aus; atmet er ein, gelangt das Äther-Luft-Gemisch aus dem Kolben in konstanter Konzentration in den Körper.

Am 16. Oktober 1846 wagt Morton erstmals, seine „Ätherkugel“ öffentlich zu erproben: Gemeinsam mit dem Chirurgen Warren will er das Krebsgeschwür am Nacken eines Mannes entfernen. Zunächst lässt er den Patienten einige Minuten lang durch seinen Inhalator atmen.

Dann beginnt Warren zu schneiden, und es geschieht – nichts: Regungslos lässt der Kranke die Prozedur über sich ergehen.

Später urteilt ein anwesender Arzt: „Ich habe heute etwas gesehen, das um die Welt gehen wird.“ Tatsächlich bricht an diesem Tag eine neue Epoche der Heilkunst an.

Der Traum vom Fliegen:
Am 17. Dezember 1903 erhebt
sich Orville Wright erstmals
mit einem Motorflieger in die Luft
und legt 36,5 Meter zurück



1849

Flugzeug

69

Nach dem Vorbild der Vögel

Am 17. Dezember 1903 machen zwei Fahrradmechaniker an einem leeren Strand in North Carolina einen Menschheits Traum wahr: Sie erheben sich in die Luft – zu einem gesteuerten und kontrollierten Motorflug.

Bei ihrem ersten Versuch können Orville und Wilbur Wright ihr zerbrechliches Gefährt aus Holz, Draht und Stoff zwar nur für zwölf Sekunden in der Luft halten – beim letzten Start an jenem Wintertag aber sind es immerhin schon 59 Sekunden.

Und binnen weniger Jahre wird aus der Verrücktheit der Gebrüder Wright ein Abenteuersport, eine Waffe, ein Verkehrsmittel.

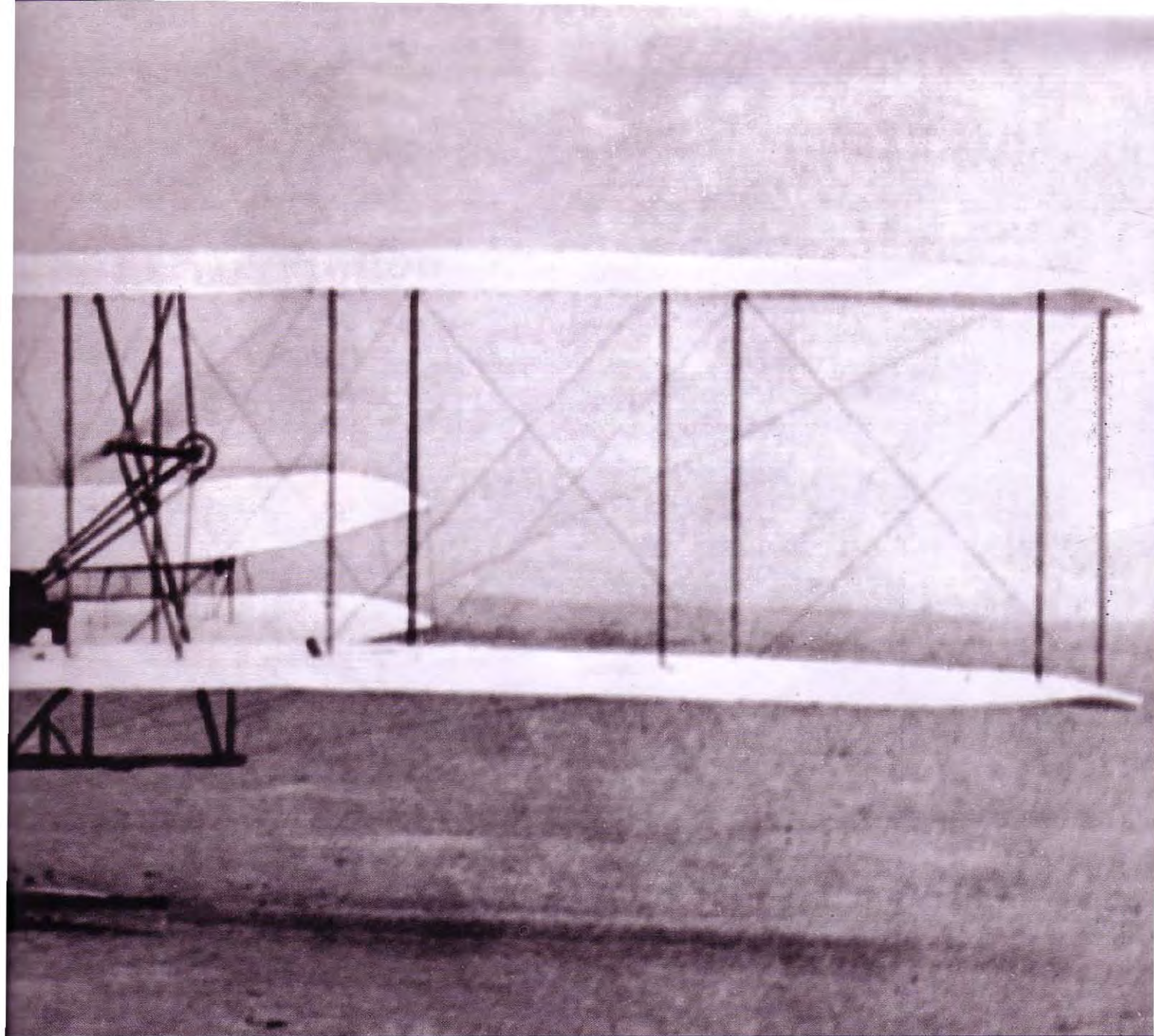
Dabei hat es lange gedauert, bis Menschen sich daran machten, ein taugliches Fluggerät zu konstruieren: Schon im 11. Jahrhundert schnallten sich Wagemutige Flügel an, stürzten sich da-

mit von Türmen – und landeten bei ungezählten Fehlversuchen immer hart.

Erst Sir George Cayley geht die Sache um die Mitte des 19. Jahrhunderts wissenschaftlich an. Der englische Adlige beschäftigt sich zunächst mit den Gesetzen der Aeronautik, fertigt dann kleine Modelle und baut schließlich 1849 einen Gleiter: einen Dreidecker über einer Art Schiffchen mit drei Rädern. In dieses Gefährt setzt er den zehnjährigen Sohn eines seiner Bediensteten und lässt die Konstruktion einen Hang hinabrollen. Und tatsächlich hebt das Gerät ab, fliegt einige Yards und landet dann sicher.

Weder das genaue Datum dieses Versuchs noch die Flugweite sind überliefert. Aber Cayley bringt nachweislich erstmals ein schweres Flugzeug in die Luft und befördert dabei einen Passagier – lange vor dem Deutschen Otto Lilienthal, dem das 1891 gelingt.

Nur Cayleys großes Vorhaben bleibt bis zu seinem Tod im Jahr 1857 unerfüllt: ein Flug mit einer steuerbaren, motorbetriebenen Maschine.



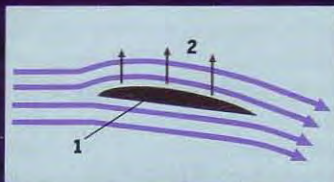
Erst 1903 sind die Tüftler weiter. Als Erster der Hannoveraner Karl Jatho: Er entwirft einen Doppeldecker mit siebeneinhalb Meter Spannweite und einem Zwölf-PS-Motor.

Am 18. August startet er auf einer Heidefläche bei Hannover, das Gefährt hebt ab, erreicht 75 Zentimeter Höhe, fliegt ein paar Sekunden und landet dann 18 Meter vom Startplatz entfernt. Das Ganze ist eher ein Hüpfen als ein Flug (weshalb Jatho heute auch nicht als erster Pilot der Geschichte gilt).

Der erste veritable Motorflug gelingt vier Monate nach Jatho den Gebrüdern Wright: 260 Meter in vier Meter Höhe legt Wilbur Wright bei seinem letzten Versuch zurück. Und von nun an geht es in der Aviatik schnell voran.

Bereits 1907 lässt der Franzose Paul Cornu ein senkrecht startendes Gefährt in die Luft steigen; einen Vorläufer des Hubschraubers. 1909 über-

quert sein Landsmann Louis Blériot in einem Motorflugzeug den Ärmelkanal. Und nur zehn Jahre später, am 5. Februar 1919, nimmt die „Deutsche Luft-Reederei“ (später „Deutsche Luft-hansa“) auf der Strecke Berlin–Weimar den ersten Liniendienst der Welt auf. Im selben Jahr überfliegen zwei Briten erstmals den Atlantik.



Die leicht schräge Tragfläche (1) lenkt die horizontal anströmende Luft nach unten. Dadurch entsteht eine Kraft in Richtung Himmel (2) (Auftrieb), die das Flugzeug in der Luft hält

Am 27. August 1939 schließlich beginnt eine neue Epoche der Luftfahrt: Die „He-178“, ein Fluggerät mit Düsenantrieb, absolviert einen erfolgreichen Test. Erst diese Technik macht aus den Luftgefahren ein Massenverkehrsmittel; denn an Geschwindigkeit sind die Düsen jedem Propeller weit überlegen.

Der erste Passagierjet, die vierstrahlige „De Havilland Comet“, hebt am 2. Mai 1952 in London ab – ihr Jungfernflug ist zugleich der Aufbruch in die globalisierte Mobilität.

Der heilende Stich

Ein Federkiel oder ein Rohr aus Elfenbein, daran befestigt eine Tierblase: Mit solchen Furcht einflößenden Einspritzgeräten beginnen Forscher zu experimentieren, nachdem der Engländer William Harvey 1628 seine Theorie vom Blutkreislauf vorgestellt hat. Hat Harvey recht, so das Kalkül der Gelehrten, dann kann das zirkulierende Blut auch Wirkstoffe wie etwa Brechmittel effektiv und schnell im ganzen Körper verteilen.

Einer der frühen Erforscher dieser Methode ist der Deutsche Johann Daniel Major: Er überlegt sich, ob Arzneien, die sonst über den Mund eingenommen werden, nicht viel wirksamer wären, wenn man sie direkt ins Blut einspritzt. 1664 beschreibt er diese Methode in seiner Schrift „Chirurgia infusoria“.

Um die Infusion zu erleichtern, ersetzt er die Federkiel-Kanülen durch silberne Röhrchen. Dennoch ist das Verfahren riskant und schmerzhaft: Vor Verabreichung der Infusion müssen die Venen chirurgisch freigelegt werden, was oft zu Infektionen führt.

Wirklichen Fortschritt bringen erst jene Spritzen, mit denen der schottische Arzt Alexander Wood ab 1853 in Sherry gelöstes Morphin unter die Haut seiner Patienten injiziert, um deren Schmerzen zu lindern.

Seine Geräte, in Zusammenarbeit mit einem Londoner Instrumentenmacher entwickelt und immer weiter verbessert, bestehen aus einem Glaskolben, aus dem die Arzneilösung durch eine Hohlneedle aus Metall in das Gewebe gepresst wird.

Damit ähneln sie bereits der modernen Spritze – jenem Instrument, das viele lebensrettende Therapien, wie etwa die Insulin-Injektion, überhaupt erst ermöglicht hat.



Unter die Haut: Spritze aus Silber und Glas, 19. Jahrhundert

Die Nähmaschine macht aus dem Schneiderhandwerk eine Industrie (chinesische Textilfabrik)

Nähmaschine

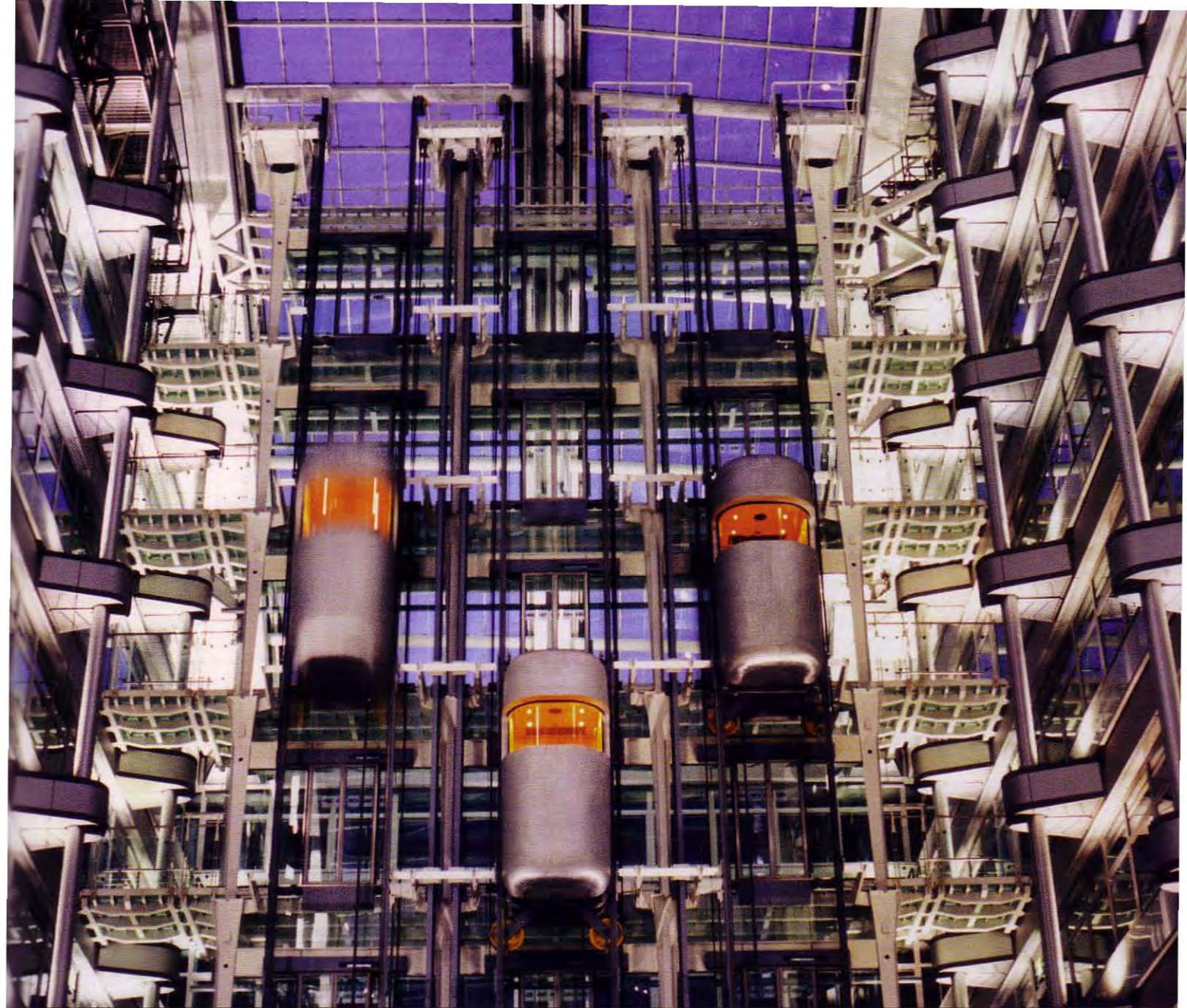
Das Spiel von Nadel und Faden

Der Schlüssel zur Entwicklung der Nähmaschine ist eine →**Nadel** mit dem Ohr an der Spitze, damit sie nicht mehr ganz durch den Stoff gezogen werden muss. Diese Nadel ist die Erfindung des deutschen Strumpfwirkers Balthasar Krems, der 1810 die erste funktionierende Kettenstichnähmaschine baut.

20 Jahre später hat der französische Schneider Barthélemy Thimonnier einen beachtlichen wirtschaftlichen Erfolg mit einer von ihm weiterentwickelten Krems-Nähmaschine – zum Missvergnügen seiner Kollegen, die fürchten, der schnelle Apparat werde ihnen Arbeit wegnehmen. 1831 demolieren Schneider Thimonniers Pariser kleine Fabrik und zerstören seine Maschinen.

Den größten Ruhm erwirbt jedoch ein Amerikaner, dessen Vater aus Deutschland eingewandert ist: Isaac Merritt Singer. Der kombiniert 1851 die besten Elemente anderer Nähmaschinenentwickler und meldet eine von Grund auf neu konzipierte Maschine zum Patent an. Singers Maschine setzt sich schließlich dank guter Vermarktung durch.

Mehr noch: Singers Partner, der Rechtsanwalt Edward Clark, erfindet die Ratenzahlung. Von 1856 an kann jeder den Preis für die 50 Dollar teuren Maschinen abzahlen: mit fünf Dollar in bar und folgenden monatlichen Raten – was den Kaufpreis freilich verdoppelt.



In Sekunden ins oberste Stockwerk: Erst seit der Erfindung des Fahrstuhls werden Gebäude immer höher (hier das Berliner Ludwig-Erhard-Haus)

1854

Aufzug

72

Der schnelle Weg nach oben

Bis Mitte des 19. Jahrhunderts baut fast niemand höher als sechs Stockwerke, obwohl es technisch möglich wäre: Wer wollte schon all die Treppenstufen hinaufsteigen. Erst mit der Erfindung des Personenaufzugs wagen sich die Architekten hoch hinaus – Metropolen wie New York oder Chicago wachsen in den Himmel.

Die Geschichte der vertikalen Beförderung beginnt jedoch nicht über, sondern unter der Erde. Gegen Ende der 1830er Jahre entwickeln Ingenieure Förderkörbe für den Bergbau, die mit Führungsschienen entlang des Schachts verbunden sind. Über eine Seilwinde lassen sich die Körbe auf- und abwärts bewegen.

Doch Personen dürfen in diesen Aufzügen nicht transportiert werden – zu groß ist die Unglücksgefahr: Allein in und um Dortmund reißen 1872 fast 20 Prozent aller Schachtförderseile.

Die Aufzugstechnik etabliert sich erst, als der amerikanische Maschinenbauer Elisha Graves Otis 1854 eine entscheidende Neuerung vorstellt: eine Feder auf dem Dach der Kabine, die den Lift bei einem Seilbruch automatisch in die Führungsschienen einklemmt und so vor dem Absturz bewahrt. Am 23. März 1857 baut seine Firma den ersten Personenaufzug in das Warenhaus eines New Yorker Porzellan- und Glashändlers ein.

Und bereits um 1920 sind alle modernen Merkmale des vertikalen Transportmittels in Verwendung: der geschlossene Schacht, die automatische Druckknopfsteuerung, der elektrische Antrieb.

Die technische Herausforderung der folgenden Jahrzehnte besteht vor allem darin, die Fahrgeschwindigkeit zu steigern: Befördert der erste Fahrstuhl sechs Personen über fünf Etagen noch mit einer Geschwindigkeit von 0,2 Metern pro Sekunde, sind moderne Hochleistungslifte heute 85-mal so schnell, etwa der Aufzug im Finanzzentrum in Taipeh. Der braucht für 89 Stockwerke des für ein paar Jahre weltgrößten Hochhauses ganze 39 Sekunden.

Sauerstoff veredelt Eisen

Stahl charakterisiert womöglich den Erfolg von Zivilisationen: Wer ihn nutzt, der gewinnt die Kriege. Denn Stahl ist wegen seines geringeren Kohlenstoffanteils fester, zäher und beständiger als Eisen oder Bronze.

Seit mehr als 3000 Jahren beherrschen Menschen die Kunst, aus Eisenerz erst Roheisen zu gewinnen und es dann zu Stahl zu veredeln – etwa, indem sie es tagelang in Holzkohle glühen. Im 10. Jahrhundert schmiedeten Araber den Stahl für ihre Damaszener-schwerter nach einem Verfahren, das sie aus Indien übernommen haben. Doch lange Zeit ist es nicht möglich, größere Mengen des harten Metalls herzustellen.

Erst der Engländer Henry Cort entwickelt 1781 ein Verfahren, das die Kohlenstoffreduktion durch ausgiebiges Umrühren des flüssigen Roheisens beschleunigt. Doch der so erzeugte Stahl ist durch Schlacke verunreinigt; die muss vor der Weiterverarbeitung erst ausgeschmiedet werden.

Zwar ist Corts Stahl den damals gebräuchlichen Eisen- und Stahlerzeugnissen überlegen, aber erst eine Erfindung des Engländers Henry Bessemer 1855 ermöglicht die Massenproduktion hochwertigen Stahls. Kernstück des Verfahrens ist ein birnenförmiger Behälter, in den flüssiges Roheisen eingelassen wird. Dann wird vom Boden des Behälters Luft durch die glutflüssige Masse geblasen, sodass der größere Teil des Kohlenstoffs und andere unerwünschte Bestandteile im Schmelzgut verbrennen. Zudem arbeitet die „Bessemer-Birne“ viel schneller – das Zeitalter des Stahls ist angebrochen.

Heute verwenden die Entwickler etwa von *Flugzeugen* zwar immer häufiger leichtere, widerstandsfähige Stoffe wie Aluminium oder Kohlefaser. Doch noch immer ist die Nachfrage nach Rohstahl enorm: 2007 sind weltweit rund 1,34 Milliarden Tonnen produziert worden.



Das große Abschlacken: Gluthitze erfüllt das Stahlwerk in Eisenhüttenstadt, wenn Arbeiter jene nichtmetallischen Stoffe abgießen, die sich im Kessel vom Roheisen trennen



Eine zündende Idee

Von einer kompakten, transportablen Kraftquelle, die „neue Arten von Fahrzeugen für Wasser und Land“ bewegen soll, träumt der niederländische Physiker Christiaan Huygens bereits im 17. Jahrhundert, als er eine mit **Schießpulver** betriebene Arbeitsmaschine erfindet. Doch ist die von ihm 1673 gebaute Pulvermaschine so schwer zu beherrschen, dass Huygens sich alsbald anderen Tüfteleien zuwendet.

Und so dauert es noch fast 200 Jahre, ehe der im heutigen Belgien geborene Étienne Lenoir einen praxistauglichen Verbrennungsmotor erfindet. Sein „stationärer Gasmotor“ von 1860 erinnert aber äußerlich sehr an eine liegende **Dampfmaschine**.



Erfindet den Viertakt-Motor:
Nikolaus August Otto, um 1885

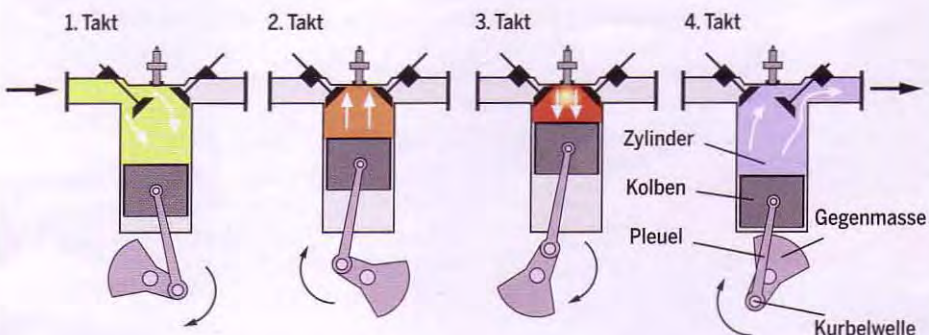
Kern der Konstruktion ist ein Kolben, der sich in einem Zylinder hin- und herbewegt. Über eine Leitung wird ein Gemisch aus brennbarem Leuchtgas und Luft in die Röhre gepumpt; ein elektrisch erzeugter Funke entzündet dann das Gemisch. Die bei dieser Explosion entstehenden heißen Verbrennungsgase treiben den Kolben an, der wiederum eine Pleuelstange bewegt.

Doch Lenoirs Gasmachine verbraucht viel Gas und leistet im Vergleich dazu zu wenig. Wirtschaftlicher arbeitet der Motor, den der Deutsche Nikolaus August Otto 1876

konstruiert, da hier das Luft-Gas-Gemisch vor der Entzündung im Zylinder verdichtet wird. Auch dieser erste „Ottomotor“ verbrennt noch Gas und leistet vor allem als Antrieb etwa für Bohrmaschinen seinen Dienst – für den Einbau in Fahrzeugen ist er noch zu schwer und unzuverlässig.

Erst Mitte der 1880er Jahre bauen die Automobilpioniere Gottlieb Daimler, Wilhelm Maybach und Carl Benz verbesserte Verbrennungsmotoren in Zweiräder und Autos ein – und nehmen als Kraftstoff nun Benzin statt des Luft-Gas-Gemisches. 1897 schließlich stellt Rudolf Diesel einen Motor mit noch höherem Wirkungsgrad vor: Bei ihm entzündet sich der eingespritzte Kraftstoff unter starkem Druck und der dadurch verursachten hohen Temperatur selbst.

2007 sind weltweit mehr als 60 Millionen Pkw mit Verbrennungsmotor produziert worden.



Leichtere und kompaktere Nachfolgemodelle des von Nikolaus Otto 1876 entwickelten Viertakters ermöglichen den Bau alltagstauglicher Automobile. Ein Treibstoff-Luft-Gemisch wird in einen Zylinder gesaugt (1), verdichtet (2) und zur Explosion gebracht. Diese drückt den Kolben nach unten (3). Eine vom Schwung des Pleuels erzeugte Drehbewegung presst ihn wieder nach oben und die Abgase aus dem Zylinder (4). Über die Kurbelwelle treibt der Motor dann das Fahrzeug an

»Dandy-Pferde« nennen die Leute die Zweiräder, auf denen junge Männer um 1819 durch London eilen. Die Vorgänger des modernen Fahrrads kommen noch ohne Pedale aus



1863

Fahrrad

75

Mit der Kraft der Beine

Eine Kutsche konstruieren, die man selbst lenken kann, wohin immer man möchte, ganz ohne Pferde – so lautet die Denkaufgabe, mit der der französische Mathematiker Jacques Ozanam 1694 seine Leser konfrontiert.

Seine populäre „Sammlung mathematischer und physikalischer Zerstreungen“ enthält auch eine Illustration, die zeigt, wie eine solche Maschine aussehen könnte: Während ein vornehmer Herr vorn sitzt und das vordere Räderpaar über Zügel steuert, muss hinten ein Diener den Wagen über Fußwippen antreiben.

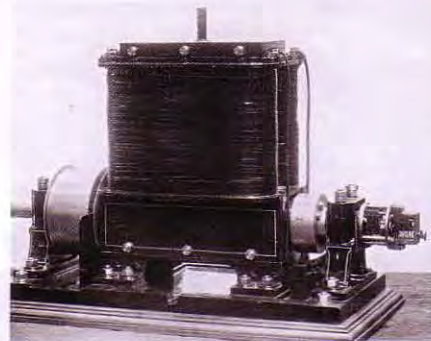
Jahrzehntelang verzichtet kein Erfinder, der sich an Ozanams Problem versucht, auf die Muskelkraft von Lakaien. Doch die frühen Vorschläge entfachen einen Tüftlerwettstreit, der schließlich zum Fahrrad führt.

An dieses erinnert bereits die zweirädrige Konstruktion mit Lenker, Sattel und Bremse, die 1817 der Karlsruher Freiherr Karl Friedrich Drais vorstellt: Auf

seiner „Laufmaschine“ kann sich ein Fahrer rollend fortbewegen – allerdings muss er sich dazu mit den Füßen abstoßen, wie heute bei Modellen für Dreijährige. Und so verebbt die Begeisterung für das Gefährt sehr schnell.

Wer als Erster Fußpedale an eine Draisine baut und damit den Urtyp des modernen Fahrrades schafft, ist umstritten. Wahrscheinlich ist es der Franzose Pierre Lallement, ein Konstrukteur von Kinderwagen, der 1863 mit einem pedalbetriebenen Zweirad durch Paris fährt. Keine fünf Jahre später jedenfalls hat sich das Fahrrad zum „Gaudium der Jugend und Wunschtraum aller Angestellten“ entwickelt, wie eine Zeitung notiert.

Heute ist das Fahrrad ein Massenfortbewegungsmittel: Weltweit sind derzeit wohl rund 1,4 Milliarden Velos in Gebrauch. Und am 18. September 2008 stellte der Kanadier Sam Whittingham einen Geschwindigkeitsweltrekord auf. Mit einem stromlinienförmig ummantelten Liegefahrrad erreichte er 132,4 km/h.



Elektroenergie für alle: Mit Dynamomaschinen wie dieser von 1868 vereinfacht der Industrielle Werner von Siemens die Stromgewinnung

1866

Dynamo

76

Die Welt unter Strom

Das physikalische Prinzip des Dynamos (oder „Generators“) entdeckt der englische Physiker Michael Faraday 1831: Bewegt man einen Magneten in einer Drahtspule, wird in ihr eine elektrische Spannung ausgelöst, es fließt Strom. Die Höhe der Spannung wächst mit der Stärke des Magneten und dessen Geschwindigkeit. Auf diese Weise lässt sich durch Bewegung, also mechanische Energie, elektrische Energie erzeugen.

Ein Jahr später konstruiert der Franzose Hippolyte Pixii dafür eine Maschine: ein feststehendes Spulenpaar mit einem Magneten, per Handbetrieb in Rotation versetzt. Doch das Magnetfeld ist schwach, die Stromausbeute mager. Auch als 1832 Salvatore dal Negro in Padua den Elektromotor präsentiert (der nach dem umgekehrten Prinzip funktioniert, also aus elektrischer Energie mechanische Energie in Form einer Drehbewegung erzeugt), bringt dies für den Generator keinen Fortschritt.

Ein solcher gelingt 1845 zwei Briten, die den Magneten durch den stärkeren Elektromagneten (1825 erfunden) ersetzen. Der besteht aus einer Spule mit einem Kern aus Eisen – fließt ein Strom durch die Spule, wird das Eisen magnetisch, und das stärkere Feld des Elektromagneten erhöht die Stromausbeute des Generators erheblich. Aber ein Problem bleibt: Das Gerät funktioniert nur, wenn ständig Strom für den Magneten zugeführt wird. Der Generator, der ja Elektrizität liefern soll, ist nach wie vor von einer Batterie abhängig.

Dieses Hindernis beseitigt Werner von Siemens. Der Ingenieur nutzt 1866 den Effekt, dass auch nach dem Abschalten eines Elektromagneten stets etwas Magnetismus darin zurückbleibt. Dieser Rest genügt, um einen schwachen Strom zu erzeugen, wenn man den Dynamo in Bewegung setzt. Mit einer geschickten Verdrahtung leitet Siemens diesen zum Teil in die Spule, verstärkt so den Magnetismus und damit auch den Strom – bis zur vollen Leistungskraft des Generators: Der Dynamo holt also den Magnetismus, den er benötigt, aus sich selbst heraus. Die Siemens-Maschine markiert den Beginn des elektrischen Zeitalters.

Tickende Zeitbombe: Alfred Nobels
Dynamit von 1867 sprengt fünfmal stärker
als Schwarzpulver

1867

Dynamit

Der große Knall

Mit der Erfindung des Dynamits verändert Alfred Nobel das Gesicht der Erde. Der schwedische Erfinder und Industrielle mischt 1867 die hochexplosive Flüssigkeit Nitroglycerin mit einem absorptionsfähigen, harmlosen Granulat, das er in Stangen presst – und auf einmal ist es möglich, Sprengstoff einfach und relativ sicher in großen Mengen zu transportieren.

Tunnel, Straßentrassen, Ausschachtungen, Kanäle und Bergwerke können nun selbst durch härteste Felsen gesprengt werden. Arbeiten, für die zuvor Tausende von Menschen jahrelang hätten schaffen müssen, sind jetzt mit einem großen Knall zu erledigen.

Aber natürlich macht der neue Stoff auch Granaten, Torpedos und Bomben mit einer Sprengkraft möglich, die bis dahin unbekannt war. Selbstgebastelte kleine Höllenmaschinen werden zur

77

Lieblingswaffe von Attentätern. Mit Dynamit kann der Mensch seine Umwelt verändern wie nie zuvor – und sein Werk anschließend in Rekordzeit wieder vernichten.

Diese bittere Ironie erfährt Alfred Nobel im eigenen Familienkreis, als sein Bruder bei einer Nitroglycerin-Explosion in einer seiner Fabriken umkommt. Obwohl Nobel auch Waffen produziert, macht er aus seinen pazifistischen Überzeugungen kein Hehl: Er stiftet sein gesamtes Vermögen, um die wahren Wohltäter der Menschheit zu belohnen – mit dem Nobelpreis.

Dank Vaseline oder Wachs lassen sich Sprengstoffe inzwischen sogar kneten und so in jede gewünschte Form bringen. Die Zutaten von Flüssigsprengstoffen (die auch Terroristen verwenden) können getrennt voneinander transportiert und erst vor Ort zu einem Explosivstoff vermischt werden. Einer der wirkungsvollsten, Hexanitro-Isowurtzitan, übertrifft die Detonationsgeschwindigkeit von Dynamit deutlich – seine Stoßwelle breitet sich mit 30-facher Schallgeschwindigkeit aus.

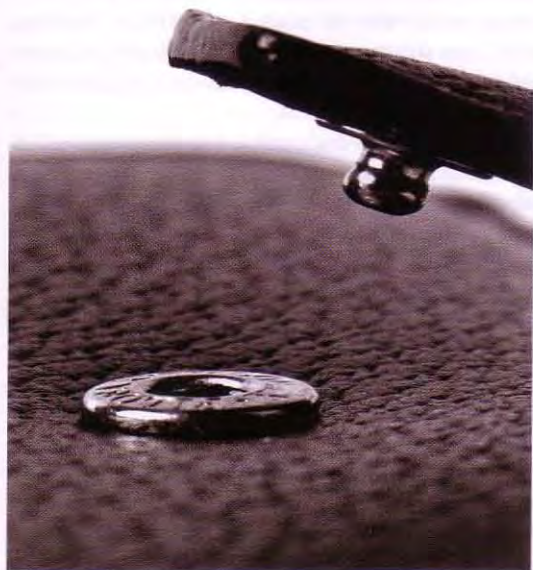
Das unscheinbare Meisterwerk

Als „Verschluss für Portemonnaies und andere Artikel“ bezeichnet der Franzose Paul Sormani sein Patent, das er 1870 in London einreicht. Die metallene Vorrichtung besteht aus zwei Teilen: einem Stift mit leicht verdicktem Kopf und einem Plättchen mit Loch. Der Kopf des Stiftes hat Einschnitte, die sich schließen, wenn man ihn durch das Loch in das Plättchen presst; Zähne rund um die Öffnung halten den Stift in Position: Sormani hat den Druckknopf erfunden.

Im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts liegen den Patentämtern in Europa und den USA Hunderte Anträge zu ähnlichen Erfindungen vor. Doch Sormani beschreibt als Erster den bis heute gebräuchlichen Mechanismus mit Stift und Loch. Viel Geld verdient er damit nicht – denn das französische Unternehmen „Raymond et Guttin“ produziert ab 1886 einen fast identischen Druckknopf.

Das Produkt wird zu einem Welterfolg, da es sich schneller öffnen und schließen lässt als der gewöhnliche Knopf (dessen jahrtausendealte Erfolgsgeschichte im 13. Jahrhundert mit der Erfindung des Knopflochs entscheidende Impulse bekommen hat). 1913 schließlich präsentiert der Schwede Gideon Sundback den industriell herstellbaren „ununterbrochenen Kleidungsverschluss“ – den Reißverschluss. Damit können Soldaten ihre Fliegeranzüge und Schwimmwesten nun besonders rasch auf- und zuziehen.

Und 1951 meldet der Schweizer Ingenieur George de Mestral das Patent für den „Klettverschluss“ an. Dessen zwei Nylonstreifen sind mit winzigen Häkchen und Schlaufen besetzt, die sich ineinander verhaken. Diese Innovation erfüllt ihren Zweck rasanter als alle früheren Mechanismen – und schließt sich fast von selbst.



Simplex, aber nur auf den ersten Blick: Für den Zusammenhalt des modernen Druckknopfs sorgen winzige Federn

Bis zur Automatisierung der Fernsprechanlagen ab 1900 stellen Telefonistinnen Verbindungen an »Klappenschränken« per Hand her



Mit dem Ohr am Äther

Das US-Patentamt vergibt am 7. März 1876 das Patent Nummer 174.465 über „die Methode und den Apparat, um Stimmen oder andere Töne telegraphisch zu übertragen... durch elektrische Wellen, vergleichbar den Schwingungen der Luft, die die besagten Stimmen oder andere Töne begleiten“. Es ist die erste offizielle Definition des Telefons. Patentinhaber ist der Amerikaner Alexander Graham Bell.

Bell, ein Taubstummlehrer und Professor für Stimmphysiologie, hat seit Jahren daran gearbeitet, die Stimme per Kabel zu übertragen. Doch erst mit jenem Patent wird das Telefon Realität: Eine Membran (die der einer Trommel ähnelt) und eine dahinterliegende Spule übersetzen Schallwellen in elektromagnetische Wellen, die sich dann über ein Kabel ausbreiten. Gemeinsam mit seinem Assistenten Thomas Watson gelingt es Bell, diese Wellen in einem Empfänger wieder in Schall zurückzuverwandeln.

Schon 1861 hat der Deutsche Johann Philipp Reis einen Apparat vorgestellt, der auf elektrischem Weg Geräusche übertragen kann. Doch das Aufnahmegerät (die „Sprechmuschel“) ist technisch unzulänglich. Niemand nimmt die Erfindung des 1874 verstorbenen Physikers ernst – bis auf Bell, der sie weiterentwickelt.

Nach verhaltenem Start beginnt in den 1920er Jahren der globale Siegeszug des Telefons. Heute gibt es weltweit mehr als vier Milliarden Anschlüsse, mehr als zwei Drittel davon für Mobiltelefone. Die Bearbeitung und Verschlüsselung der Toninformationen erfolgt mittlerweile digital, allerdings noch immer mithilfe elektromagnetischer Wellen – nach jenem Prinzip also, das Reis und Bell im 19. Jahrhundert beschrieben haben.



Von Edisons rund 1100 US-Patenten zählt der Phonograph, der Schallwellen in mechanische Spuren verwandelt und sie dann wiedergibt, zu den berühmtesten

1877

Phonograph

80

Stimmen aus dem Schalltrichter

Am 6. Dezember 1877 versammelt der Erfinder Thomas Alva Edison einige Mitarbeiter vor einem merkwürdigen Apparat. Selbst der Schweizer Mechaniker John Kruesi, der ihn nach einer Skizze Edisons gebaut hat, kann sich dessen Funktion nicht erklären. Was denn das Gerät machen solle, fragt er.

„Sprechen“, antwortet Edison.

Schallwellen, das weiß der Amerikaner, versetzen eine Membran in Schwingungen. Und er kennt auch jene Maschine, die der Franzose Édouard-Léon Scott de Martinville knapp 20 Jahre zuvor entwickelt hat. Dessen „Phonautograph“ besteht aus einem Schalltrichter, an dessen Ende beim Hereinsprechen eine Membran zu vibrieren beginnt. Eine daran befestigte Nadel macht die Schwingungen als weiße Kratzspuren auf einem sich drehenden, mit rußgeschwärztem Papier bespannten Zylinder sichtbar.

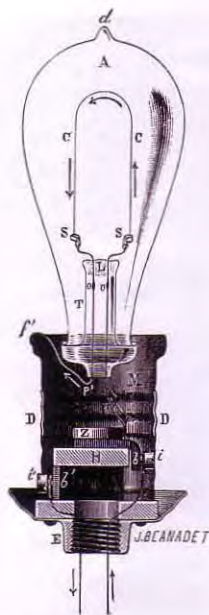
Doch auch wenn sich so Sprache aufzeichnen lässt: Bislang vermag niemand die Nadelspuren zurück in Schallwellen zu verwandeln.

Edisons Maschine ähnelt der des Franzosen; auch sie verfügt über einen Schalltrichter mit Membran und Nadel. Einen daneben ange-

brachten Zylinder bespannt der Amerikaner an diesem Dezemberabend mit Zinnfolie und spricht, während er den Zylinder mit einer Handkurbel dreht, laut die ersten Zeilen des Kinderliedes „Mary has a little lamb“ in den Trichter – sie hinterlassen unterschiedlich tiefe Rillen auf der Folie.

Zusätzlich zu dem *Aufnahme*-Trichter hat Edison einen ähnlich aufgebauten *Wiedergabe*-Trichter installieren lassen: Auch der hat eine Membran mit daran befestigter, allerdings stumpf abgerundeter Nadel. Als der Erfinder diesen „Tonabnehmer“ an die Rille in der Folie schiebt und den Zylinder zu drehen beginnt, versetzt die Nadel die Membran in ähnliche Schwingungen wie jene, die vorher die Spuren in das weiche Metall eingepreßt haben – und reproduziert so die entsprechenden Töne. Zur Überraschung aller Mitarbeiter Edisons schallt undeutlich der Kindervers aus dem Wiedergabe-Trichter: „Gott im Himmel“, ruft der fassungslose Kruesi.

Edisons „Phonograph“ gilt bald als „Wunder des 19. Jahrhunderts“ – und regt den Deutschen Emile Berliner an, ein ähnliches Gerät zu bauen. Sein „Grammophon“ spielt jedoch nicht Zylinder, sondern Scheiben ab: Sie lassen sich durch Pressen vervielfältigen. Solche Schallplatten nimmt 1902 auch der italienische Opernstar Enrico Caruso auf. Damit sind Tonträger endgültig zum Massenprodukt geworden.



Das Prinzip
Glühlampe:
Strom bringt
einen Faden
zum Glühen, der
in der nahezu
sauerstofffreien
Glashülle nicht
verbrennt

1879

Glühlampe

81

Als die Nacht zum Tag wird

Dass ein Kohlenstoff-Faden glüht, aber nicht verbrennt, wenn man im Vakuum Strom hindurchleitet, ist längst bekannt, als Thomas Alva Edison 1878 beschließt, aus dieser Erkenntnis Kapital zu schlagen: Bereits 1845 hat der Amerikaner John Wellington Starr eine Glühlampe zum Patent angemeldet; und der deutsch-amerikanische Mechaniker Heinrich Göbel behauptet, schon 1854 eine Glühlampe gebaut zu haben. Zudem existieren seit Beginn des 19. Jahrhunderts Bogenlichter, deren Prinzip den heutigen Leuchtstoffröhren entspricht.

Doch all diese Konstruktionen taugen nicht für den Hausgebrauch. Das Hauptproblem ist die kurze Lebensdauer der Leuchten. Zudem ist es schwierig, in der Glühlampe ein ausreichendes Vakuum zu schaffen.

Edison, schon berühmt als Erfinder des **Phonographen**, will diese Schwierigkeiten überwinden. Systematisch erprobt er in seiner Firma mehr als 6000 Materialien für Glühfäden und entscheidet sich schließlich für verkohlte Baumwollfasern. Neuartige Pumpen ermöglichen es ihm zudem, die Luft nahezu restlos aus den gläsernen Lampenhüllen abzusaugen.

Im Oktober 1879 brennt eine seiner Glühbirnen 40 Stunden lang. Binnen zwei Wochen reicht er sein Patent ein. Später erfindet er das bis heute übliche Schraubgewinde. Rund um seine Fabrik installiert Edison ein Leitungsnetz und lässt Glühlampen zwischen den Bäumen und über den Straßen aufhängen. Dann bietet er der Stadt New York für deren Zentrum 500 000 Glühbirnen an und produziert nicht nur Lampen, sondern erzeugt mit **Dynamos** auch den Strom.

Heute leuchten allein in der EU 3,7 Milliarden herkömmliche Glühbirnen. Da Edisons Erfindung – inzwischen meist mit einem Draht aus Wolfram – jedoch nur etwa fünf Prozent der elektrischen Energie in Licht umsetzt, droht ihr nun das Aus: Ab 2009 sollen Glühbirnen in der EU schrittweise vom Markt verschwinden.

1883

Dampfturbine

82

Die Rotationsmaschine

Es ist der 26. Juni 1897: Zu Ehren Königin Viktorias hält die britische Marine eine Flottenparade ab. Plötzlich rast ein unangemeldetes Schiff heran und kann auch von Patrouillenbooten nicht gestoppt werden. Denn die „Turbinia“ ist mit 34,5 Knoten das schnellste Wassergefährte der Erde. An Bord arbeitet ein neuartiger Motor: die Dampfturbine des englischen Ingenieurs Charles Algernon Parsons.

Im Gegensatz zur **Dampfmaschine**, die erst Kolben und dann eine Kurbelwelle in Bewegung setzt, verwandelt die Turbine die Energie des Dampfes direkt in eine Rotation. Der Wasserdampf strömt dabei an Schaufelrädern vorbei und treibt sie an.

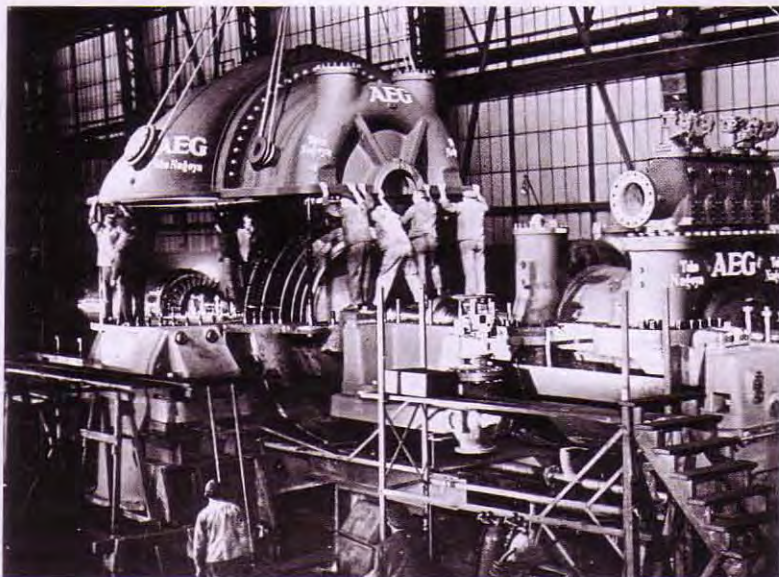
Bereits 1883 baut der schwedische Techniker Carl Gustav de Laval die erste funktionsfähige Dampfturbine – als Antrieb für eine Milchzentrifuge. De Laval's Konstruktion dreht sich mit 30 000 Umdrehungen pro Minute aber so schnell, dass sie sich kaum für andere Zwecke eignet.

1884 erhält Charles A. Parsons ein Patent auf eine Dampfturbine, die mit wesentlich geringerer Umdrehungszahl arbeitet. Parsons erkennt sofort, dass die Turbine auch hervorragend für den Antrieb von **Schiffspropellern** geeignet ist. Innerhalb kurzer Zeit löst sie die Dampfmaschine als bevorzugter Schiffsmotor ab.

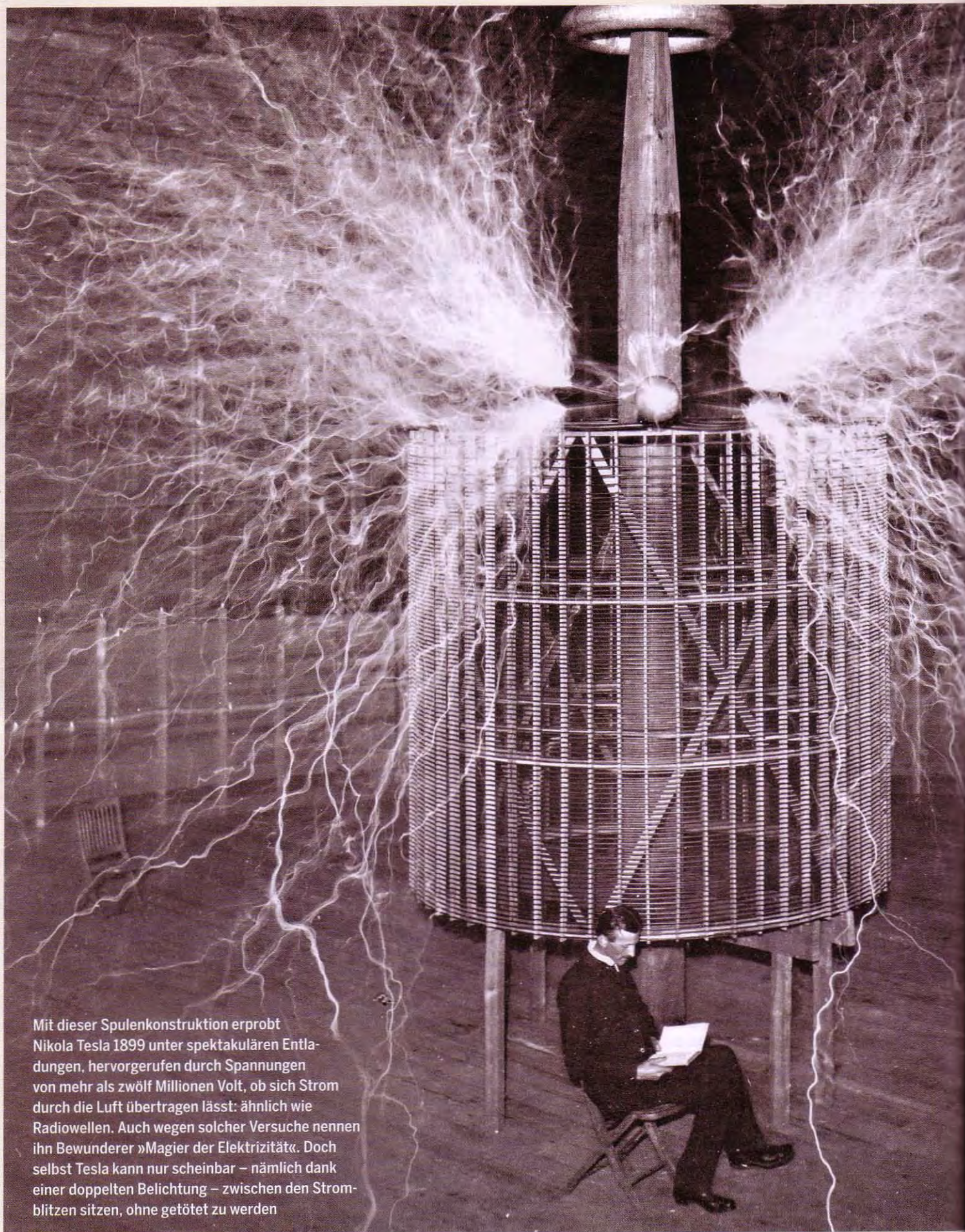
Noch erfolgreicher ist Parsons' Erfindung bei der Stromerzeugung. Der Ingenieur entwickelt einen Generator (**Dynamo**), der die Rotation der Turbine in elektrische Energie wandelt. Bereits um 1890 gehen die ersten Kraftwerke mit Parsons-Turbinen ans Netz. Bis heute erzeugen Kohle- und Atomkraftwerke nach diesem Prinzip Strom.

Etwa zur gleichen Zeit wird auch die Gasturbine entwickelt. In ihr verbrennt ein Treibstoff unter Zugabe von stark verdichteter Luft. Die so entstehenden heißen Gase setzen die Turbinenschaufeln in Bewegung. In modernen Kombikraftwerken werden die Gase zudem genutzt, um Wasser zu Dampf zu erhitzen, der anschließend eine Dampfturbine speist. Durch die Abfolge beider Turbinentypen sind solche Kraftwerke ungemein effizient.

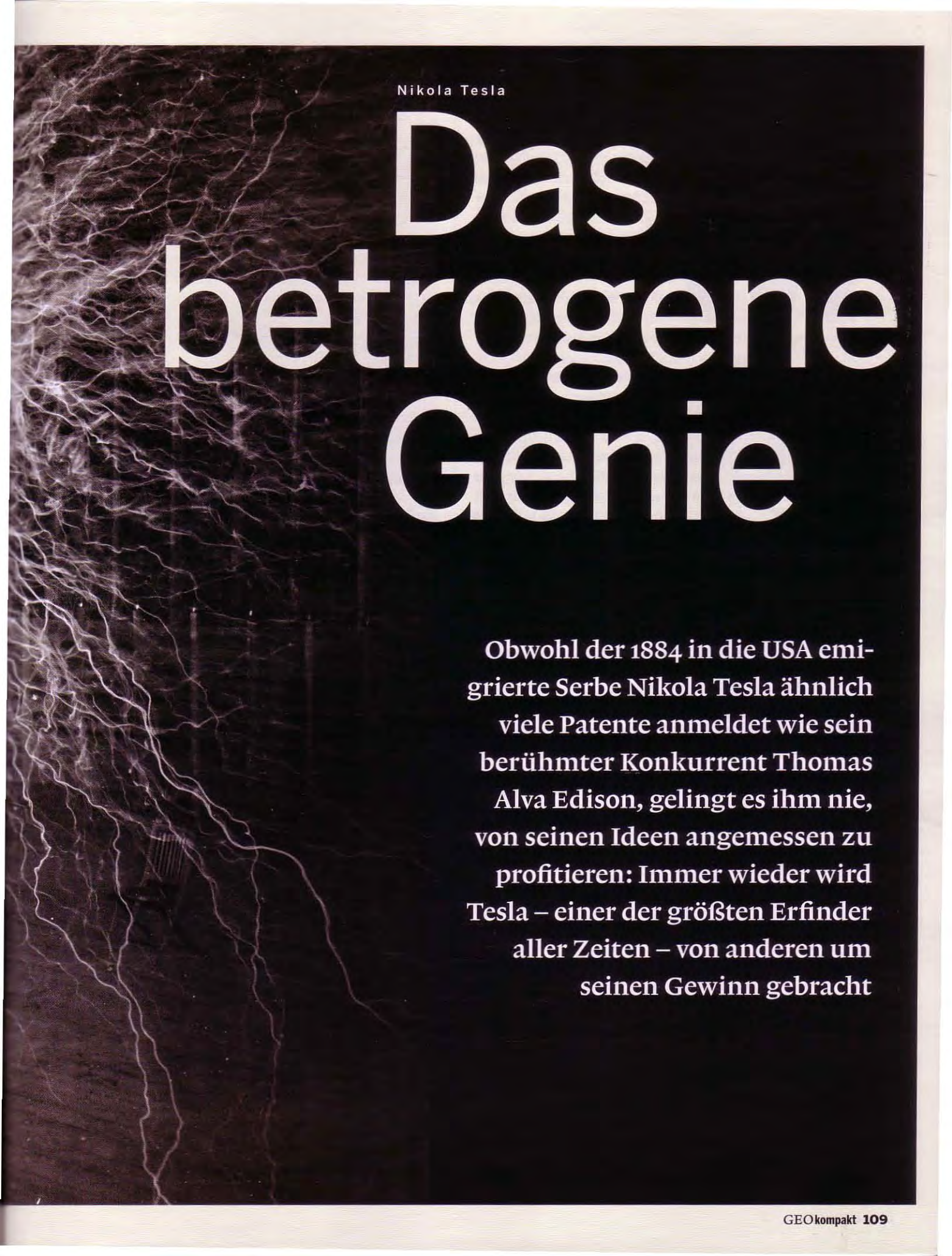
Doch ihre größte Verbreitung findet die Gasturbine auf einem anderen Gebiet: als Strahltriebwerk in Düsenjets.



In Dampfturbinen (hier ein AEG-Modell von 1935) setzt heißer Dampf Schaufelräder in Bewegung, die dann Schiffspropeller oder Generatoren antreiben



Mit dieser Spulenkonstruktion erprobt Nikola Tesla 1899 unter spektakulären Entladungen, hervorgerufen durch Spannungen von mehr als zwölf Millionen Volt, ob sich Strom durch die Luft übertragen lässt: ähnlich wie Radiowellen. Auch wegen solcher Versuche nennen ihn Bewunderer »Magier der Elektrizität«. Doch selbst Tesla kann nur scheinbar – nämlich dank einer doppelten Belichtung – zwischen den Stromblitzen sitzen, ohne getötet zu werden



Nikola Tesla

Das betrogene Genie

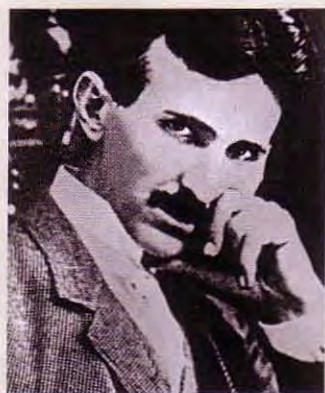
Obwohl der 1884 in die USA emigrierte Serbe Nikola Tesla ähnlich viele Patente anmeldet wie sein berühmter Konkurrent Thomas Alva Edison, gelingt es ihm nie, von seinen Ideen angemessen zu profitieren: Immer wieder wird Tesla – einer der größten Erfinder aller Zeiten – von anderen um seinen Gewinn gebracht

Mit einem Fingerschnippen eröffnet der in die USA emigrierte Serbe Nikola Tesla an einem Abend im Jahr 1891 die Vorstellung: Augenblicklich lodert ein roter Feuerball in seiner Hand auf. Behutsam lässt der hochgewachsene Mann die Flammen auf seinen weißen Frack, dann über sein schwarzes, in der Mitte gescheiteltes Haar gleiten. Schließlich verstaut der Magier – zum Erstaunen des Publikums gänzlich unverseht – das geheimnisvolle Feuer in einer Holzschachtel.

„Jetzt werde ich Ihnen Tageslicht machen“, ruft Tesla. Mit einem Mal erstrahlt der Vorführungsraum, sein Labor in der New Yorker South Fifth Avenue, in wunderschön hellem Licht. Dann springt der Erfinder auf eine Plattform, die mit einem elektrischen Spannungsgeber verbunden ist. Langsam dreht er den Regler hoch, bis sein Körper schließlich einer

Spannung von zwei Millionen Volt ausgesetzt ist. Elektrische Entladungen knistern um seinen Leib. Blitze und Flammen zucken aus seinen Händen. Als Tesla die Spannung ausschaltet, umflirt ihn, so erinnern sich später manche, noch immer ein bläuliches Glimmen.

Der „Magier der Elektrizität“ liebt es, New Yorks High Society mit seinen Inszenierungen zu verzaubern und Reportern die Kraft und Gefährlosigkeit des von ihm entwickelten Stromsystems zu präsentieren. Nicht zuletzt



Als 28-Jähriger wandert Nikola Tesla 1884 in die USA aus und arbeitet zunächst für Thomas Edison

sind seine spektakulären Vorführungen Propaganda im Krieg um die weltweite Elektrifizierung.

Es ist ein Krieg, den Tesla (wenn auch unfreiwillig) gegen einen zweiten, nicht weniger gefeierten Erfinder führt. Einen Mann von so anderem Naturell, dass er wie der Gegenentwurf zu Tesla anmutet: Thomas Alva Edison – hemdsärmelig, gerissen, geschäftstüchtig.

Für den Amerikaner ist Tesla nicht mehr als ein „Wissenschaftspoet“, ein Theoretiker und glückloser Tüftler, dessen Ideen zwar „großartig, aber ausgesprochen unbrauchbar“ sind. Edison bemisst den Wert einer Erfindung daran, wie viele Dollar sie seinem Unternehmen einbringt. Tesla dagegen geht es nicht nur ums Geld: Der Zweck einer Erfindung, sagt er, bestehe vor allem in der Nutzbarmachung der Naturkräfte für die menschlichen Bedürfnisse.

Der Kampf um den Strom: Tesla wird ihn gewinnen. Und doch – wie so oft in seinem Leben – als Verlierer daraus hervorgehen.

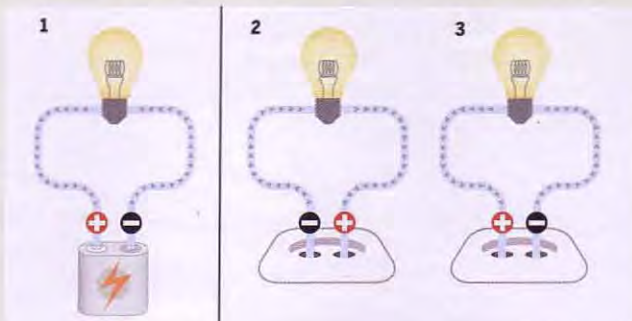
Die geheimnisvolle Wirkkraft der Elektrizität scheint Nikola Tesla schon als Kind erfasst zu haben. Immer wieder sieht der am 10. Juli 1856 im kroatischen Dorf Smiljan geborene Sohn serbischer Eltern grelle Lichtblitze. „In einigen Fällen war die gesamte Luft um mich herum mit lebendigen, flammenden Zungen erfüllt“, erinnert sich Tesla später in seiner Autobiografie.

Oft gehen diese Erscheinungen mit inneren Bildern einher. Dann sieht Tesla Räume oder Gegenstände vor seinem geistigen Auge, so klar, dass er Traum und Wirklichkeit kaum auseinanderzuhalten weiß. Mit der Zeit lernt er, diese visuellen Eingebungen zu kontrollieren. Er reist gedanklich in fremde Städte und Länder, unterhält sich im Geiste mit Menschen, schließt Freundschaften.

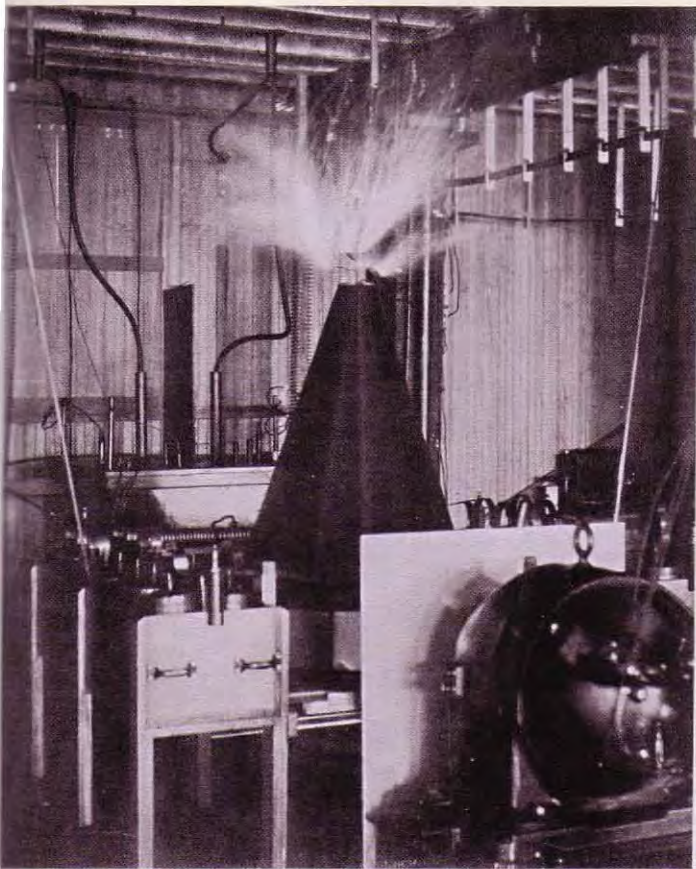
Als Tesla mit 17 Jahren beginnt, sich „ernsthaft mit Erfindungen“ zu befassen, offenbart sich seine Vorstellungskraft: Er braucht keine Modelle, Zeichnungen oder Experimente, um Geräte zu entwickeln – er verfolgt den gesamten Schaffensprozess einer Erfindung im Kopf. Dort baut er die Apparaturen auf, bessert Fehler aus, lässt sie laufen. „Es ist völlig ohne Bedeutung für mich, ob ich eine Turbine in meinem Geist oder in der Werkstatt betreibe“, schreibt er. „Ich kann sogar bemerken, wenn sie aus dem Gleichgewicht gerät.“

1875 erhält der 19-Jährige ein Stipendium an der Technischen Hochschule in Graz. Er lernt wie besessen – manchmal von drei Uhr morgens bis abends um elf – und besteht im ersten Jahr gleich neun Examina mit Bestnote. „Ich besaß eine wahre Manie, alles, was ich einmal begonnen hatte, auch zu Ende zu führen“, erinnert sich Tesla später. Als er Voltaire zu lesen beginnt, stellt er zu seinem Leidwesen fest, dass „dieses Monster“ an die 100 Bücher geschrieben hat – quält sich aber dennoch durch das Mammutwerk.

Ohnehin hängt dem jungen Mann etwas Zwanghaftes an. Er hegt eine starke Abneigung gegen Perlen und Ohringe, ekelt sich vor den Haaren anderer Leute. Ihm wird heiß, wenn er einen Pfirsich sieht. Er wiederholt bestimmte Tätigkeiten genau so oft, dass die Anzahl der Wiederholungen durch drei teilbar ist. Stets zählt er die Schritte beim



Gleich- und Wechselstrom: Beim Gleichstrom speist eine Stromquelle, etwa eine Batterie, einen Stromkreis, an den eine Glühlampe angeschlossen ist (1). Der Strom fließt nur in eine Richtung. Beim Wechselstrom – zum Beispiel aus einer Steckdose (2, 3) – ändert der Strom die Richtung ständig – in europäischen Haushalten 100-mal in der Sekunde. Dennoch wird permanent Energie übertragen, die Lampe leuchtet ohne Unterbrechung



Mit dieser Tesla-Spule erzeugt der Serbe Wechselströme von sehr großer Spannung und verfolgt dabei einen utopisch anmutenden Plan: Er will diese Ströme auch für die drahtlose Telegraphie nutzen und sie dazu über große Entfernungen etwa durch das Erdreich schicken. Doch 1906 bricht er die Versuche ab

Gehen, berechnet den Rauminhalt von Suppentellern, Kaffeetassen, Lebensmitteln. „Wenn ich das nicht tat, schmeckte mir mein Essen nicht“, notiert er.

In Graz stößt Tesla schließlich auf jenes mysteriöse Forschungsgebiet, das ihn Zeit seines Lebens nicht mehr loslassen wird: die Elektrizität. Für die meisten Menschen jener Zeit ist Strom noch ein okkultes Saft, der wie von Geisterhand durch Drähte fließt. Tesla möchte die Gesetze dieses Fluidums begreifen – und ist instinktiv davon überzeugt, dass die Zukunft einem damals noch nicht praxistauglichen System gehört, dem Wechselstrom.

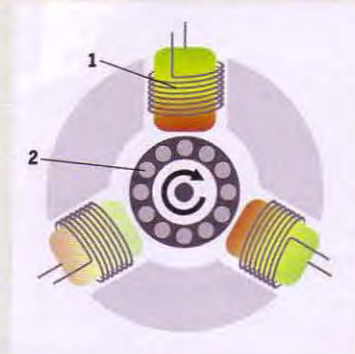
sprühenden Schleifkontakten an einer rotierenden Spule abgenommen werden. Er entsteht stattdessen im äußeren, statischen Teil des Generators.

Doch sämtliche elektrisch betriebenen Geräte jener Zeit beziehen ihre Kraft über den permanent in eine Richtung fließenden Gleichstrom (siehe Illustration Seite 110). Vor allem Elektromotoren, die per Wechselstrom betrieben werden, halten Wissenschaftler für undenkbar.

Tesla aber vertraut seiner Intuition. Im Geiste testet er einen Wechselstrom-Motor nach dem anderen, verfolgt gedanklich, wie der schnell wechselnde Strom durch die Schaltkreise rauscht. Zunächst ohne Erfolg. Es dauert sieben Jahre, bis der nunmehr bei einer Budapester Telefongesellschaft angestellte Ingenieur den Durchbruch schafft. Während eines abendlichen Spaziergangs 1882 durch den Stadtpark schießt ihm die Lösung „wie ein Blitz“ durch den Kopf.

Tesla greift nach einem Stock und zeichnet das Diagramm eines gänzlich neuartigen Motors in den Staub, bei dem außen angebrachte Spulen, die von Wechselströmen durchflossen werden, ein rotierendes Magnetfeld erzeugen. Dadurch wirken auf den Rotor im Inneren Kräfte, die ihn antreiben (siehe Illustration rechts).

Wie im Rausch entwickelt er in den folgenden Wochen weitere Motoren, Dynamos und Transformatoren, die allesamt Wechselstrom benötigen – oder erzeugen. „Es war ein geistiger Zustand von Glück, so vollständig, wie ich es nie zuvor



Motor nach Teslas Prinzip:

Wechselstrom fließt durch Spulen (1) und erzeugt Magnetfelder, deren Stärke und Ausrichtung (Rot: Nordpol, Grün: Südpol) sich ständig ändern. Sie induzieren in dem Rotor aus Metallstäben (2) einen elektrischen Strom, der ein weiteres Magnetfeld hervorruft, das mit den anderen Feldern in Wechselwirkung tritt. Dabei entstehen Kräfte, die den Rotor in Drehung versetzen. Weil dieser keine elektrischen Kontakte besitzt, ist der Motor extrem robust und muss kaum gewartet werden

Der berühmte Edison sagt Tesla eine Prämie von 50 000 Dollar zu – und bricht sein Versprechen

Anders als bei einem Gleichstrom-Generator, der mit einem fest montierten Magneten und einer im Inneren des Geräts rotierenden Spule Strom erzeugt, dreht sich beim Wechselstrom-Generator der Magnet im Zentrum und produziert so in den außen angebrachten Spulen Strom. Der Vorteil: Der Strom muss nicht mehr umständlich mithilfe von Funken

im Leben gekannt habe“, schreibt er. „Die Ideen kamen in einem ununterbrochenen Strom, und die einzige Schwierigkeit, die ich hatte, war die, sie festzuhalten.“

Tesla erkennt auch, dass Wechselstrom einen entscheidenden Vorteil gegenüber Gleichstrom hat: Er kann aufgrund seiner physikalischen Natur nahezu verlustfrei über



Nach seinem Bruch mit Edison arbeitet Tesla – hier in den 1890er Jahren in seinem Labor – für den Industriellen George Westinghouse, der seine Patente kauft und dem Wechselstrom zum Durchbruch verhilft

Hunderte von Kilometern durch die Kabel geschickt werden. Gleichstrom dagegen lässt sich lediglich über kurze Strecken transportieren.

Zwei Jahre später, 1884, kündigt er in seiner Firma und macht sich mit einem Empfehlungsschreiben in der Hand auf den Weg nach New York. Er will sich dort bei dem großen Thomas Alva Edison um eine Anstellung bemühen und ihn für seine bahnbrechende Erfindung begeistern.

Mitten in Manhattan hat der Glühbirnen-Magnat das weltweit erste öffentliche Kraftwerk errichtet. Allerdings

vermag der dort produzierte Gleichstrom nur die elektrischen Straßenlaternen im Umkreis weniger Hundert Meter zum Leuchten zu bringen. Deshalb plant Edison, die Stadt mit einem Netz von Generatoren zu überziehen.

Das Empfehlungsschreiben verschafft Tesla ein Vorstellungsgespräch. Doch schon die erste Begegnung mit Edison verläuft ernüchternd: Als Tesla die Vorzüge seines Stromsystems darlegt, erwidert der Amerikaner verärgert, er solle mit dem Unsinn aufhören. „Die Leute mögen den Gleichstrom, und er ist alles, womit ich mich je abgeben werde.“

Allerdings erkennt Edison das technische Talent des jungen Serben, stellt ihn ein – und verspricht Tesla sogar eine Prämie von 50 000 US-Dollar, falls es ihm gelingen sollte, die Leistung der Gleichstrom-Dynamos zu verbessern.

Tesla nimmt das Angebot an und kann seinem Chef nach fast einem Jahr harter Arbeit den Erfolg melden: Die Umbauten an Edisons Dynamos sind abgeschlossen, die Effizienz ist wesentlich gesteigert.

Doch die zugesagte Belohnung bleibt aus – Edison weigert sich, die Prämie zu zahlen: „Tesla, Sie verstehen den amerikanischen Humor nicht“, erklärt er.

Empört kündigt Tesla. Später wird er über das angebliche Jahrhundertgenie schreiben: „Wenn Edison eine Nadel in einem Heuhaufen finden müsste, würde er sofort mit dem Eifer einer Biene darangehen, Strohhalme für Strohhalme zu untersuchen, bis er das gesuchte Objekt gefunden hätte. Ich war bedauernder Zeuge solcher Handlungen und wusste, dass ein wenig Theorie und Berechnung ihm 90 Prozent der Arbeit erspart hätten.“

Seine herausragende Arbeit bei der „Edison Electric Light Company“ hat Tesla in Fachkreisen bekannt gemacht. Und so nimmt der inzwischen 29-Jährige kurz nach seiner Kündigung das Angebot einer Gruppe von Investoren an und gründet eine eigene Firma, die „Tesla Electric Light and Manufacturing Company“.

Doch wieder erfüllen sich seine Hoffnungen nicht. Statt Wechselstromsysteme zur Marktreife zu bringen, lassen sich die Geldgeber von ihm innovative Straßen- und Fabrikleuchten konstruieren. So tüftelt Tesla unter anderem an der Entwicklung einer Bogenlampe, erwirbt mehrere Patente – und wird nach Erfüllung seiner Aufgabe von den Investoren aus der Firma gedrängt und um seine Entlohnung betrogen.

„Danach folgte eine Periode des Kampfes“, erinnert sich der Erfinder. Ein Jahr lang muss er sich gar als Tagelöhner im Straßenbau durchschlagen.

Bis sein Schicksal im Frühjahr 1887 eine unerwartete Wende nimmt: Der Vorarbeiter seiner Baukolonne erfährt von Teslas angeblichem Wundermotor und vermittelt ihm den Kontakt zu Alfred K. Brown, dem Direktor der Western Union Telegraph Company (Telegraphenfirmen brauchen



Eine Metallkugel krönt den 45 Meter hohen Mast von Teslas Versuchsstation in der Wüste bei Colorado Springs. Mit der Anlage erzeugt der Erfinder gewaltige Blitze und Radiowellen, um die elektrischen Kräfte zu erforschen und nutzbar zu machen

Motoren heraus, hält Vorträge, setzt sich vor begeistertem Publikum in Szene und gewinnt alsbald die Aufmerksamkeit des Industriellen George Westinghouse.

Westinghouse, selbst Ingenieur und Erfinder, ist einige Jahre zuvor in den Strommarkt eingestiegen und hat mehrere Patente gekauft. Anders als Edison glaubt er an die Wirtschaftlichkeit der neuen Technik. Er erwirbt Teslas Patente, vereinbart die Entrichtung einer Lizenzgebühr von zweieinhalb Dollar für jede Pferdestärke verkaufter „Tesla-Elektrizität“ – und zieht in den Kampf für den Wechselstrom.

Teslas Wechselstrom ist effizienter als der von Edison propagierte Gleichstrom – und setzt sich schon bald durch

Strom – also interessiert Brown der Wechselstrom, der sich über weite Strecken ohne Verlust übertragen lässt).

Unweit der Edison Company in Manhattan mieten sie ein geräumiges Labor, in dem Tesla endlich die praktische Umsetzung seines Wechselstromsystems vorantreiben kann.

Der Krieg um den Strom beginnt: Tesla bringt ein Patent nach dem anderen für Komponenten seiner neuartigen

Aufgrund der geringen Energieverluste kann Westinghouse seine Kraftwerke außerhalb der Städte errichten. Zudem genügen dünnere Kupferkabel als bei Gleichstrom, sodass die Kosten für die Leitungen geringer sind als die des Konkurrenten. Deshalb kann Westinghouse den Strom günstiger verkaufen und hat schon bald mehr Kunden als Edison.

Doch der holt zum Gegenschlag aus: Edison lässt Informationen über Unfälle mit Wechselstrom zusammentragen, schreibt Pamphlete und bedrängt Politiker. Er bezahlt Schulungen dafür, dass sie ihm Katzen und Hunde fangen, lässt die Tiere in öffentlichen Vorführungen auf Metallplatten schnallen und jagt ihnen Wechselstrom durch den zu-

Tesla, der in Westinghouse einen Freund sieht, zerreißt seinen Vertrag und tauscht die Tantiemen für seine Patente gegen eine einmalige Pauschale von 216 000 Dollar ein.

Damit verliert er nicht nur den Anspruch auf vermutlich zwölf Millionen Dollar bereits verdienter Honorare, sondern auch auf Milliarden, die in Zukunft angefallen wären.

Als ein wichtiger Investor abspringt, erleidet Tesla einen Nervenzusammenbruch

ckenden Leib. Anschließend fragt er die Zuschauer: „Ist das die Erfindung, mit der Ihre lieben Frauen kochen sollen?“

Im Januar 1889 tritt in New York ein Gesetz in Kraft, nach dem Mörder zum Tode durch Stromschlag verurteilt werden – und prompt plädiert Edison dafür, dafür Wechselstrom zu verwenden. Im August 1890 stirbt erstmals ein Mensch auf dem elektrischen Stuhl: durch Wechselstrom.



Tesla – hier um 1910 im New Yorker Büro – bleibt immer kreativ. Mit über 50 konstruiert er unter anderem Frequenzmesser, Blitzableiter, ein senkrecht startendes Fluggerät und ein geothermisches Kraftwerk

Zweimal muss der Schalter umgelegt werden, bis der Verurteilte aufhört zu zucken. Doch Edisons Schmähkampagnen erzielen nicht die gewünschte Wirkung. Binnen zwei Jahren baut Westinghouse mehr als 30 Kraftwerke und versorgt 130 amerikanische Städte mit Teslas Wechselstrom.

1893 wird der Auftrag für die Beleuchtung der Weltausstellung in Chicago ausgeschrieben: Westinghouse unterbietet Edison um fast eine Million Dollar. Ab November 1896 installieren weltweit Städte fast nur noch Wechselstromanlagen. Nikola Tesla steht kurz davor, einer der reichsten Männer der Welt zu werden: Denn laut Lizenzvertrag soll er für jeden verkauften Elektromotor, ja für alle Anwendungen der Wechselstrompatente Gebühren kassieren.

Doch Geldgeber drängen Westinghouse dazu, den Vertrag zu ändern. Der Unternehmer macht Tesla deutlich, dass dessen Entschluss über das Schicksal der Firma entscheide.

Doch nicht das Geld ist Tesla wichtig, sondern die Verbreitung seiner neuen Technik. Außerdem hat sich der Erfinder bereits in neue Aufgaben vertieft: Er hegt Visionen von einer Welt, in der alle Menschen unbegrenzt und kostenlos mit Energie versorgt werden. Stromnetze begreift Tesla nur als Zwischenstufe auf dem Weg zu einem kabellosen System, das Informationen und Energie über den ganzen Erdball senden soll.

1898 entwickelt er die erste Fernbedienung. Im Jahr darauf gelingt es ihm, aus einem Labor in der Nähe von Colorado Springs Radiowellen über eine Entfernung von 1000 Kilometern zu übertragen. 1900 findet Tesla einen Financier für den Bau eines futuristischen Funkturms auf Long Island: Von dort möchte er unter anderem hochenergetische Wellen in die oberen Atmosphärenschichten schicken und deren Energie rund um den Globus verteilen.

Doch kurz vor der Fertigstellung des ambitionierten Projekts springt der Investor ab: Wenn jedermann weltweit unkontrolliert die Energie aus Long Island anzapfen kann, womit würde sich dann noch Geld verdienen lassen?

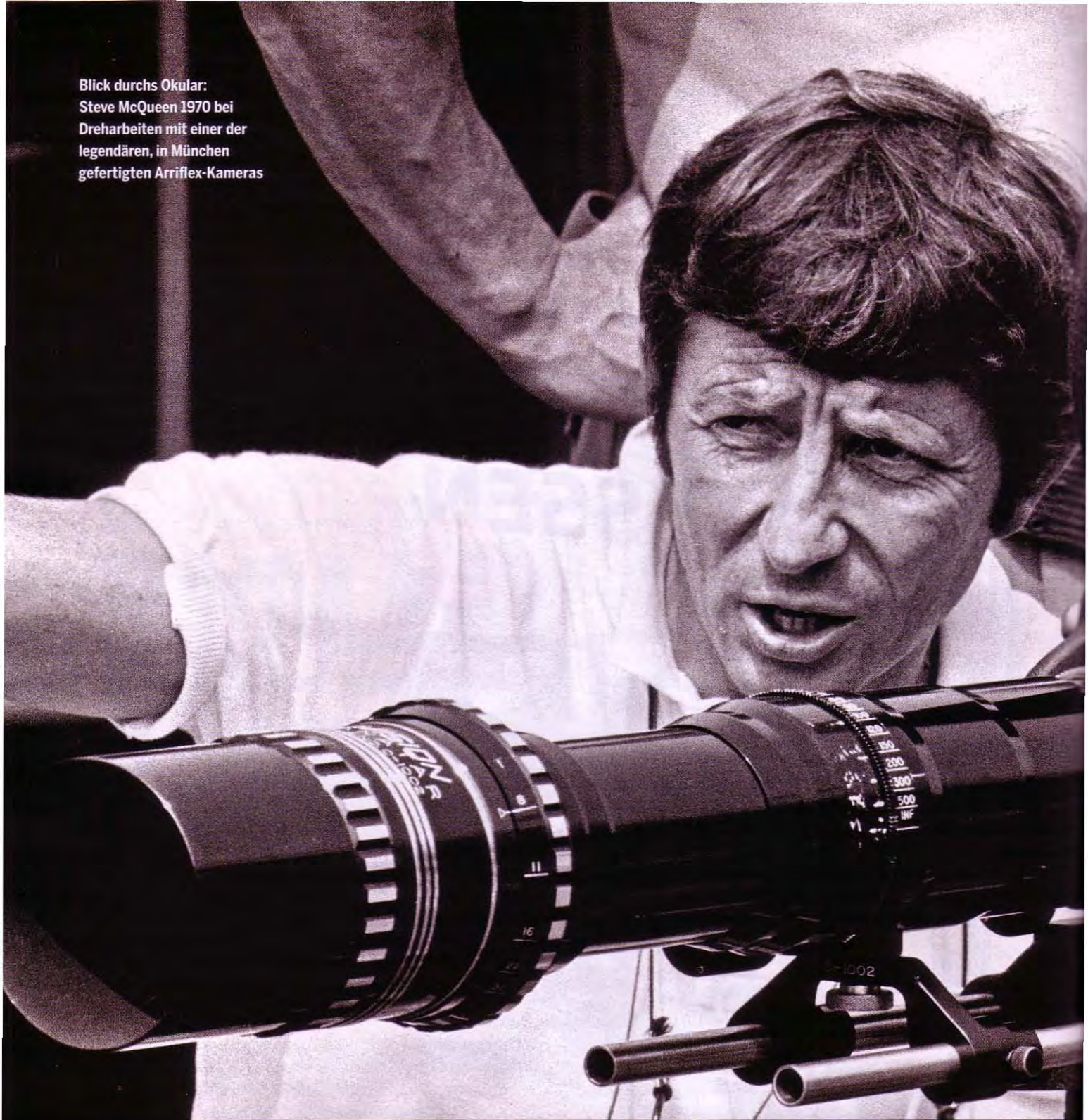
Tesla erleidet daraufhin einen Nervenzusammenbruch, von dem er sich nur langsam erholt. 1917 wird das Stahlgerüst des Turms gesprengt und für 1000 Dollar Schrottwerk verkauft. Im selben Jahr soll dem Erfinder die angesehene Edison-Medaille verliehen werden. Tesla lehnt zunächst ab: Nicht ihn würde die Auszeichnung ehren, sondern Edison.

Bernard Arthur Behrend, der Jury-Präsident, überredet ihn schließlich, die Medaille doch entgegenzunehmen. „Wollten wir all das, was aus Teslas Werk bisher entstanden ist, wieder aus der Industrie entfernen“, sagt Behrend in einer Laudatio, „würden ihre Räder nicht weiterlaufen, unsere elektrischen Wagen und Züge stillstehen, unsere Städte wären dunkel und unsere Mühlen tot und nutzlos. Ja, so weittragend ist sein Werk, dass es zum Fundament unserer Industrie geworden ist.“

Trotz des Ruhmes und seiner rund 700 Patente bleibt der Magier der Elektrizität finanziell erfolglos. Verarmt stirbt Nikola Tesla, der wohl selbstloseste Erfinder der Geschichte, am 7. Januar 1943 mit 86 Jahren in einem New Yorker Hotelzimmer. □

Mitarbeit: Sebastian Witte. **Literatur:** Nikola Tesla, „Meine Erfindungen“, Michaels. Margaret Cheney, „Nikola Tesla – Erfinder, Magier, Prophet“, Omega. John J. O'Neill, „Nikola Tesla – Der Gegenspieler Edisons“, Rohrer (nur antiquarisch erhältlich).

Blick durchs Okular:
Steve McQueen 1970 bei
Dreharbeiten mit einer der
legendären, in München
gefertigten Arriflex-Kameras



1886

Filmkamera

Das Auge Hollywoods

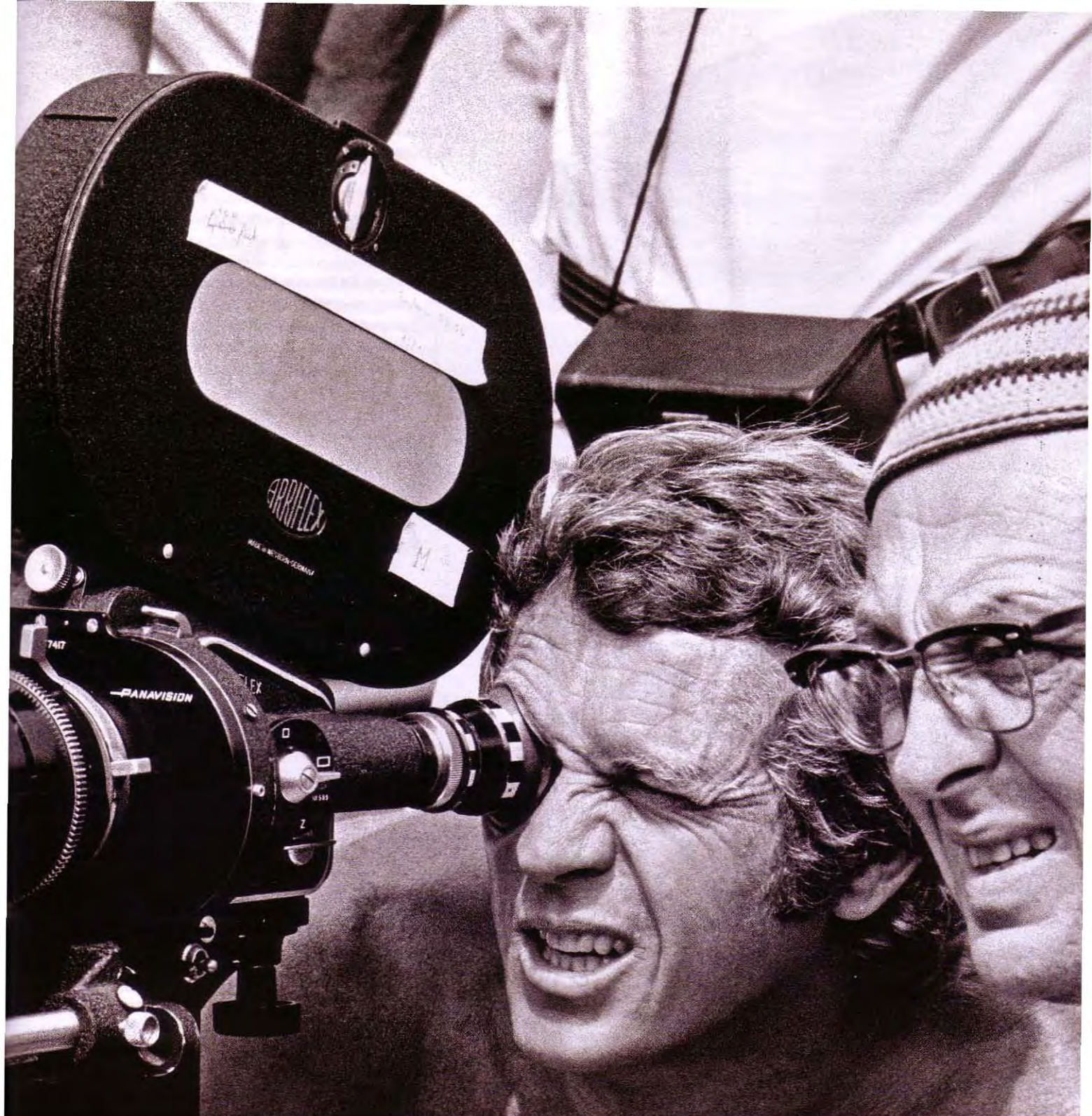
Der erste Film der Geschichte dauert zwei Sekunden: Er zeigt, wie vier Menschen im Oktober 1888 in einem englischen Vorstadtpark eine Art Schreittanz aufführen. Gedreht hat die Szene der französische Erfinder Louis Aimé Augustin Le Prince.

Von klein auf begeistert er sich für das Lichtbild, besucht als Kind das Studio des Fotopioniers Louis Daguerre. Später bewun-

83

dert er die Reihenfotos des in die USA emigrierten Engländers Eadweard Muybridge, der ab 1877 die Bewegungsabläufe von Tieren und Menschen in Serien von Einzelbildern festhält – mit bis zu 40 nebeneinander aufgestellten Fotoapparaten.

1886 konstruiert Le Prince eine ungewöhnliche Filmkamera: Das Gerät hat 16 Linsen, die durch einen Mechanismus in schneller Abfolge nacheinander geöffnet werden – und auf diese Weise ebenso viele Bilder pro Sekunde auf einen (erst seit Kurzem erhältlichen) Papier-Rollfilm belichten. Doch die Konstruktion ist noch sehr kompliziert, und so baut Le Prince anschließend eine einlin-sige Kamera, mit der er die Vorgartenszene aufnimmt.



Der von ihm verwendete Papierfilm besteht aus einer lichtempfindlichen Gelatineschicht, die auf einem Papierstreifen aufgetragen ist. Deshalb muss er die einzelnen Bilder zunächst in einem umständlichen Verfahren etwa auf Glasplatten übertragen, die er in einer Reihe anordnet.

Bei einer Präsentation vor Mitarbeitern bewegt er 1889 einen solchen Bildergürtel an der Bogenlampe eines selbst gebauten Projektors vorbei: Der wirft ein Bild nach dem anderen auf ein weißes Tuch. Weil das menschliche Auge träge ist und die aufeinanderfolgenden Momentaufnahmen nicht zu trennen vermag, sehen die Betrachter zum ersten Mal einen Film vor sich ablaufen.

Später experimentiert Le Prince mit dem gerade erst auf den Markt gekommenen Zelluloidfilm, der durchscheinend ist und sich daher direkt projizieren lässt. Doch als er am 16. September 1890 zu einer Reise nach Paris aufbricht, verschwindet er ohne jede Spur – und wird auch nie gefunden. Fünf Jahre später, am 28. Dezember 1895, gelingt den geschäftstüchtigen französischen Brüdern Louis und Auguste Lumière, woran andere Filmpioniere zuvor gescheitert sind: Ihre öffentliche Vorführung von Kurzfilmen, mit ihrem „Kinematographen“ auf Zelluloid gedreht und in einem abgedunkelten Pariser Salon übertragen, wird zum Publikumserfolg. Mit ihnen beginnt die Geschichte des Kinos.

Mysteriöse X-Strahlen

Es ist Zufall, dass der Physiker Wilhelm Conrad Röntgen die nach ihm benannte Strahlung entdeckt: Am 8. November 1895 experimentiert er in seinem Labor mit einer Kathodenstrahlröhre, die Wissenschaftler lange schon zur Untersuchung der Elektrizität nutzen. In dieser luftleeren Röhre entstehen auf komplexe Weise Röntgenstrahlen, wenn man die Apparatur unter Strom setzt – und die Strahlen passieren sogar das Glas.

Doch all das ist den Gelehrten entgangen. Bis Röntgen an diesem Tag in der Nähe der Röhre unabsichtlich ein Stück Pappe aufstellt, das mit einer fluoreszierenden Substanz bestrichen ist. Als er eine Spannung an die Kontakte der Röhre legt, erglüht plötzlich die Pappe: Die Röntgenstrahlen treffen auf die Substanz und lassen sie aufleuchten.

Mehr noch: Röntgen stellt fest, dass die Strahlen bestimmte Materialien durchdringen, andere dagegen nicht. Haut oder Muskeln etwa sind für das geheimnisvolle Phänomen kein Hindernis – wohl aber Kalksubstanz. Am 22. Dezember 1895 gelingt es Röntgen erstmals, mit den Strahlen einen Menschen zu durchleuchten und das Bild auf einer Fotoplatte festzuhalten: Es zeigt die Hand seiner Frau, alle Knochen erkennbar.

Erst 1912 können Forscher die physikalische Natur der Röntgenstrahlen erklären: als außerordentlich energiereiche elektromagnetische Wellen, die entstehen, wenn Elektronen stark beschleunigt oder abgebremst werden. Und genau dies geschieht in einer Kathodenstrahlröhre.

Ärzte erkennen rasch den unschätzbaren Wert des neuen Diagnoseverfahrens. Doch zunächst müssen die Forscher mit der benötigten

Strahlendosis experimentieren, denn anfangs treten Nebenwirkungen auf wie Haarausfall oder erhöhtes Krebsrisiko. Schließlich gelingt es ihnen, vor allem das dichte knochige Skelett hell und klar darzustellen, während weiche Gewebe nur als Schatten sichtbar sind.

1971 wird ein Mensch erstmals mittels der Computertomographie durchleuchtet. Eine um den Patienten kreisende Röntgenröhre schickt kontinuierlich Strahlen durch den Körper. Ringförmig angebrachte, hochsensible Detektoren messen die jeweilige Abschwächung der Strahlen beim Durchqueren der Gewebe. Ein Rechner setzt die Informationen zu einem Querschnitt zusammen.

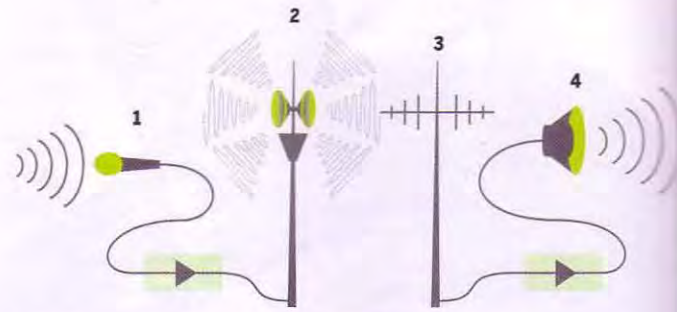
Viele Querschnitte hintereinander ermöglichen sogar einen dreidimensionalen Einblick in den menschlichen Organismus.

Inzwischen kommen manche Verfahren auch ohne die gefährliche Röntgenstrahlung aus: Bei der Sonographie werden Ultraschallimpulse durch den Körper gesendet, deren Echo ein Empfänger in Schwarz-Weiß-Bilder verwandelt. In der Magnetresonanztomographie erzeugt das Gerät starke Magnetfelder und Radiowellen, welche die Atome der Körperzellen beeinflussen: Die geben daraufhin je nach Art des Gewebes unterschiedliche Strahlung ab, deren Signale ein Rechner in ein Bild umformt.

All diese neuen Geräte ergänzen, aber verdrängen die Röntgenstrahlen nicht. Für seine unbeabsichtigte Entdeckung erhält Wilhelm Conrad Röntgen 1901 den Nobelpreis.



Röntgenbild einer Gehirnoperation: Da die Strahlen auch Metall nicht durchdringen, zeichnen sich die Konturen der medizinischen Instrumente ab



Radioübertragung: Ein Mikrofon (1) nimmt Schallwellen auf, die dann in elektromagnetische Wellen umgewandelt und von einem Sender (2) ausgestrahlt werden. Eine Antenne (3) empfängt diese Wellen, die ein Radiogerät schließlich wieder in Audiosignale umsetzt und über einen Lautsprecher (4) wiedergibt

1896

Radio

85

Der Weg der Welle

Hinter der britischen Patentnummer 12 039 verbirgt sich eine technische Revolution: ein System „zur Übertragung elektrischer Impulse und Signale“. Dessen neuartige Gerätschaften machen es erstmals möglich, telegraphische Mitteilungen drahtlos über weite Strecken zu senden und auch zu empfangen – mit dem ersten Radiogerät der Geschichte.

Inhaber des am 2. Juni 1896 erteilten Patents ist Guglielmo Marconi. Der italienische Erfinder verschlüsselt Textnachrichten nach dem Prinzip des Morsealphabets und nutzt elektromagnetische Wellen, um den Code in den Raum zu schicken: Pro Signal übermittelt er jeweils einen Wellenimpuls.

Doch die Technik hat viele Väter. So überträgt Heinrich Hertz bereits 1887 elektromagnetische Wellen. Und der Russe Alexander Popow entwickelt eine Antenne, mit der er 1896 das erste Funktelegramm der Geschichte versendet. Auch der Serbe Nikola Tesla arbeitet nahezu zeitgleich an den Grundlagen der kabellosen → **Telegraphie**.

Erst Marconi aber fügt die einzelnen Komponenten zu einem praxistauglichen System zusammen – und er verbessert es enorm: Da er beispielsweise seine Antennen mit der Erde verbindet und sie auf diese Weise zu einem Teil der Antenne macht, wächst die Reichweite der Signale im Vergleich zur Konkurrenz um ein Vielfaches. Gelingt es Popow, eine Strecke von gerade einmal 250 Metern zu überbrücken, funkt Marconi im Dezember 1901 die drei Morsezeichen des Buchstabens „S“ sogar 3500 Kilometer über den Atlantik.

Schon bald gelingt es, auch Musik und Sprache zu kodieren und zu übertragen: Ab 1916 strahlt der amerikanische Tüftler Lee de Forest nächtliche Konzerte aus. Nur vier Jahre später richtet die Firma Westinghouse in Pittsburgh den ersten Rundfunksender ein.

Und mit den Worten „Achtung, Achtung, hier ist die Sendestelle Berlin im Vox-Haus auf Welle 400 Meter“ beginnt am 29. Oktober 1923 Deutschlands erste Hörfunksendung. Kein anderes Massenmedium erreicht seither so viele Menschen wie das Radio.

Der Trick mit dem Echo

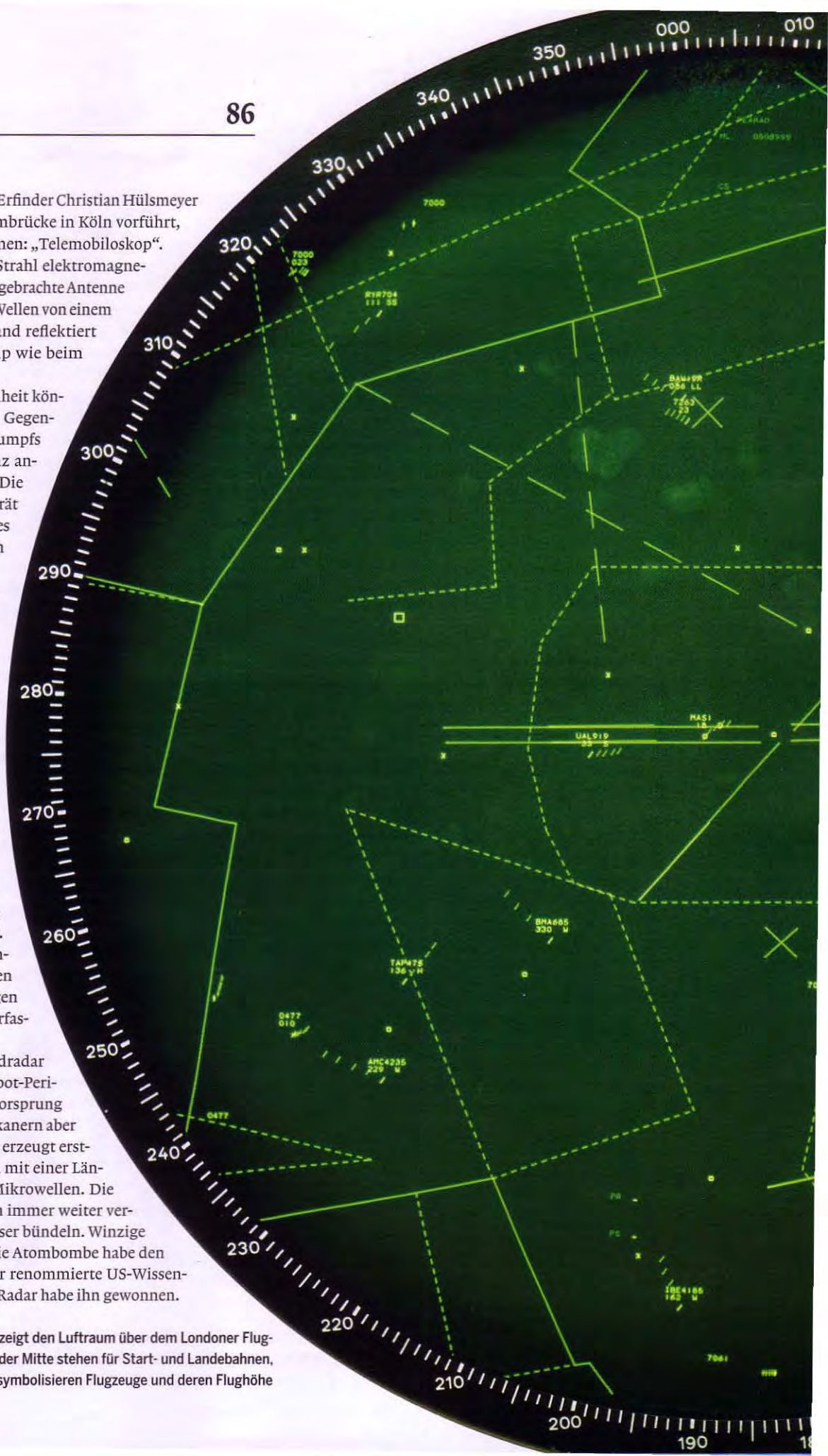
Das Gerät, das der 22-jährige Erfinder Christian Hülsmeyer im Mai 1904 unter der Dombrücke in Köln vorführt, trägt einen merkwürdigen Namen: „Telemobiloskop“. Seine Apparatur sendet einen Strahl elektromagnetischer Wellen aus; eine daran angebrachte Antenne empfängt das Echo, wenn diese Wellen von einem elektrisch leitfähigen Gegenstand reflektiert werden – ein ähnliches Prinzip wie beim →Echolot.

Selbst bei Nebel oder Dunkelheit könne das Telemobiloskop so die Gegenwart eines metallischen Schiffsrumpfs in bis zu drei Kilometer Distanz anzeigen, behauptet Hülsmeyer. Die Vorführung gelingt: Eine im Gerät eingebaute Klingel ertönt jedes Mal, wenn ein Rheindampfer in Reichweite des Strahls gerät.

Hülsmeyer hat das erste Radargerät entwickelt. Doch niemand zeigt Interesse. Erst 30 Jahre später, kurz vor dem Zweiten Weltkrieg, entdecken Tüftler in mehreren Ländern das Prinzip unabhängig voneinander neu. Den Namen „Radar“ erhält die Erfindung Anfang der 1940er Jahre in den USA. Die Abkürzung steht für „Radio Detection and Ranging“, Aufspüren und Orten mittels Radiowellen (denn die ersten klobigen Gerätschaften werden mit Wellen betrieben, die auch der Rundfunk nutzt). Doch die Radiowellen liefern ungenaue Daten, weil sie in Bögen von mehreren Metern schwingen und damit kleine Dinge kaum erfassen können.

Bereits 1943 spürt das Bordradar alliierter Bomber deutsche U-Boot-Periskope auf. Den entscheidenden Vorsprung verschafft den Briten und Amerikanern aber das „Magnetron“. Dieses Bauteil erzeugt erstmals elektromagnetische Wellen mit einer Länge von wenigen Zentimetern: Mikrowellen. Die Radardetektoren lassen sich nun immer weiter verkleinern, die Strahlen immer besser bündeln. Winzige Gegenstände werden sichtbar. Die Atombombe habe den Krieg vielleicht beendet, sagt der renommierte US-Wissenschaftler Lee DuBridge, aber das Radar habe ihn gewonnen.

Der Bildschirm dieses Radargeräts zeigt den Luftraum über dem Londoner Flughafen Heathrow. Die parallelen Linien in der Mitte stehen für Start- und Landebahnen, die Buchstaben- und Zahlenkürzel symbolisieren Flugzeuge und deren Flughöhe





»Kunst-Stoff«: Mit der begehbaren »Dreamspace«-Welt hat der Brite Maurice Agis bunte Räume aus elastischem Plastik erschaffen

1907

Kunststoff

87

Über die Natur hinaus

Im Jahr 1979 übertrifft die Herstellung von Kunststoff weltweit erstmals die des **→Stahls**. Damit geht der Mensch in eine neue Ära über – in das Zeitalter des Plastiks. Kein anderer Werkstoff hat sich derart erfolgreich in so vielen Bereichen des Lebens etabliert: als Duschvorhang, als Computertastatur, als Herzklappe im Körper.

Den ersten vollständig synthetischen Kunststoff mischt 1907 der aus Belgien in die USA eingewanderte Erfinder Leo Hendrik Baekeland unter hohem Druck und hoher Temperatur aus sogenannten aromatischen Verbindungen (Phenolen) und Formaldehyd (einem dehydrierten Alkohol) zusammen, als er auf der Suche nach einem Ersatz für Schellack ist.

„Bakelit“, wie er das neue Material nennt, lässt sich in jede beliebige Form gießen, ist zugleich sehr hart und unempfindlich gegen Hitze und Säuren. Vor allem aber kommt es gerade rechtzeitig für die neuen Techniken in der aufblühenden Auto- und Elektroindustrie – insbesondere wegen seiner enormen Isolationsfähigkeit. In den 1950er und 1960er Jahren erobern zahlreiche Kunststoffe den Markt, die vielseitiger und bald schon populärer sind als Bakelit.

Diesen Erfolg verdanken die neuen Materialien ihren besonderen Eigenschaften: Denn die Formbarkeit, Härte und Elastizität von Kunststoffen lassen sich durch die Wahl des Ausgangsmaterials (zum Beispiel Kohlenstoff, Sauerstoff, Chlor) und die Beimischung von Zusatzstoffen (etwa Weichmachern) verändern; auch die Art des Herstellungsverfahrens spielt eine große Rolle. Stets aber fügen sich dabei viele einzelne kleine Moleküle zu Riesenmolekülen zusammen: zu einem in der Natur nicht vorkommenden „Kunst-Stoff“.

Die Kehrseite der Produktion: der häufig hohe Rohstoff- und Energieverbrauch, mögliche Gesundheitsgefährdungen und ein Abfallproblem – das Material will meist einfach nicht verrotten.

Was mit dem synthetischen Ersatzstoff für Schellack begonnen hat, ist inzwischen zu einem riesigen Industriezweig herangewachsen, der immer neue Varianten hervorbringt. So haben Forscher unter anderem künstliche Haut entwickelt, die eine Wunde bis zur vollständigen Heilung hygienisch abdeckt.

Das Zeitalter des Kunststoffs hat gerade erst begonnen.

1911

Dübel

88

Der Anker in der Wand

Um 1910 erhält der Ingenieur John Joseph Rawlings einen schwierigen Auftrag: Er soll im British Museum Elektroinstallationen anbringen – und zwar möglichst dezent. Wer damals etwas an einer Wand befestigt, stemmt meist ein Loch in die Mauer und passt einen Holzblock ein, in den **→Schrauben** oder Nägel gesenkt werden. Möglichst klein muss also die Befestigung sein, aber dennoch stabil. Bloß wie?

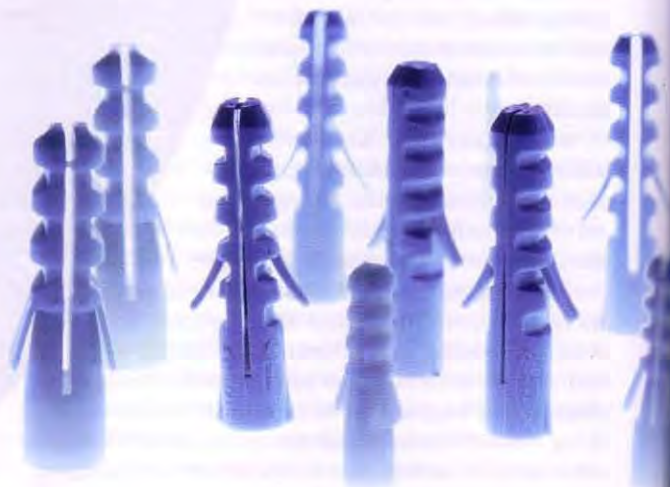
Im Jahr darauf reicht der Brite sein Patent ein – über die „Verbesserte Fassung für Schrauben und andere Montagevorrichtungen“.

Die neue Halterung besteht aus Pflanzenmaterial, etwa Hanf, das mit Klebstoff oder Schweineblut zu Schnüren verfestigt und um einen feinen Dorn herum zu einem Röhrchen zusammengepresst wird.

Den so entstandenen Zapfen schiebt man in das Bohrloch und dreht eine Schraube hinein; der Zapfen bricht auf und dehnt sich aus. So pressen sich seine Fasern in die Risse der umgebenden Wand.

In den 1920er Jahren exportiert Rawlings den in Deutschland „Dübel“ genannten Zapfen bereits in die ganze Welt. Doch der ganz große Erfolg ist einem Produkt aus dem Schwabenland beschieden. Zu Beginn der 1950er Jahre entwickelt der Kunstschlosser Artur Fischer einen Zapfen aus äußerst zähem, langlebigem Nylon. Seitlich fügt er „Sperrzungen“ an. Sie verhindern, dass sich die Vorrichtung beim Anziehen der Schraube dreht, und fixieren sie in der Wand. Dieser „S-Dübel“ avanciert zum erfolgreichsten weltweit. Bisher sind davon 37 Milliarden Stück verkauft worden.

Die Firma Rawlings hält dennoch stand: Bis heute fabriziert sie erfolgreich Befestigungen aller Art. Der Traditionsdübel aus Hanf und Schweineblut ist erst 2008 aus der Produktion verschwunden.



Ein fester Halt für jede Schraube: Langlebiger Kunststoff und seitliche »Sperrzungen« verankern moderne Dübel in Bohrlöchern

Die Tiefe hören



Der Mensch kann den Grund der Tiefsee niemals erblicken – er kann ihn nur berühren, und dies allein mit dem Tiefenlot“, schreibt der Ozeanograph Matthew Maury 1858.

Maury irrt: Schon gut 50 Jahre später wird der Ozean gewissermaßen durchsichtig. Zwar breiten sich Licht und andere elektromagnetische Wellen im Wasser nur schlecht aus – doch Schallwellen eignen sich hervorragend, um den Meeresboden abzutasten. Und da ihre Geschwindigkeit bekannt ist, lässt sich aus der Zeit, die bis zur Ankunft eines Echos vergeht, die Entfernung zwischen Sender und Ozeangrund errechnen.

1912 nimmt der deutsche Physiker Alexander Behm in einem Aquarium erstmals Echos von Schallwellen im Wasser auf. Ein Jahr später hält er bereits ein Patent zur akustischen Tiefenmessung in den Händen.

Als Schallquelle dient ihm ein „Knallsender“: eine Patrone, die per Knopfdruck kurz unter der Wasseroberfläche gezündet wird. Um das Echo aufzuzeichnen, entwickelt Behm ein spezielles Verfahren, mit dem er die Schallwellen im Wasser fotografieren kann. Aus dem Bild bestimmt er die Tiefe. Ab 1919 nutzt er ein Mikrofon als Detektor sowie ein Messgerät, das die Zeitdifferenz zwischen Detonation und Echo ermittelt.

Zu dieser Zeit hat Reginald Fessenden bereits ein alternatives Echolot-Verfahren getestet: Der kanadische Erfinder setzt elektronische Schallwandler ein – Metallplatten, die elektrische in mechanische Schwingungen umwandeln. Sie können im Wasser permanent Schallsignale aussenden und empfangen. Das deutsche Forschungsschiff „Meteor“ hat auf einer Atlantik-Expedition von 1925 bis 1927 gleich zwei dieser akustischen „Dauer-Lot-Geräte“ an Bord und nimmt insgesamt 67000 Tiefenmessungen vor. Dabei gewinnt nicht nur der Ozeanboden allmählich an Gestalt – das kontinuierlich arbeitende Echolot erleichtert seither auch die Navigation an unbekannten Küsten.

Wie Delfine fangen Sonargeräte das Echo eigener Töne ein. Aus den Signalen lässt sich ein genaues Bild der Umgebung unter Wasser ermitteln



Mit diesem Gerät gewinnt Nathan Myhrvold, Chef von »Intellectual Ventures«, Aromastoffe aus einem Blütensirup – vielleicht die Grundlage für ein Patent

Auf der Suche nach neuen Produkten spielen die Denker der US-Firma »Intellectual Ventures« mit ihren Einfällen wie improvisierende Jazz-Musiker mit ihren Riffs. Es sind Tüftler, die nur wenig gemein haben mit den Eigenbrötlern früherer Zeiten

Erfinder heute

Die Fabrik der Ideen



Alles, was ein Erfinder brauche, so der berühmte Tüftler Thomas Alva Edison, sei „eine lebhaft Fantasia und ein Haufen Gerümpel“. Wer bei der Firma „Intellectual Ventures“ in Bellevue nahe Seattle arbeiten will, muss noch eine weitere Voraussetzung erfüllen: Er sollte furchtlos sein.

„Wir suchen Leute, die keine Angst davor haben, sich zu täuschen“, sagt Geoff Deane, der Vizepräsident der Entwicklungsabteilung von Intellectual Ventures. In dieser „Erfindungsagentur“ stehen Tausende Geräte neben- und übereinander, zusammengeschoben zu Inseln, dazwischen enge Pfade. Wozu die Apparate dienen, ist für Laien schwer zu erkennen. Aber die Photonik-Experten und Nanotechnologie-Spezialisten, die Ozeanologen und Hacker wissen es.

Deane deutet auf einige der Maschinen. „Dies ist ein Ultraschallgerät, das hier ein Computertomograph für Tiere. Und dies ein Rotationsverdampfer, ziemlich cool“, sagt er. „Wir haben ein paar schöne Sachen zum Spielen.“

Viele der Apparate sind defekt, und einige von ihnen liegen in ihren Einzelteilen auf dem Boden, als habe ein Kind sie zerlegt und sei dann am Zusammenbau gescheitert. Doch Deane scheint das technologische Schlachtfeld nicht im Mindesten nervös zu machen. „Wir kaufen häufig defekte Geräte und sparen so eine Menge Geld. Außerdem macht es einen Riesenspaß, sie zu reparieren.“

Hier und dort sind ein paar der Ingenieure bei der Arbeit zu sehen. Einer füttert Mücken, die in Glasterrarien gezüchtet werden. Ein anderer zerschneidet mit einem Wasserstrahl Metall. Ein **3-D-Drucker** formt gerade das 1:1-Modell eines Gehirn-Aneurysmas, einer Missbildung im Kopf.

Und am *texture analyzer* hat sich eine kleine Gruppe von Forschern versammelt, die beobachtet, wie ein Sensor langsam auf ein Stück Wackelpudding drückt. „Wir messen die Zartheit des Puddings“, erläutert einer der Forscher und weist auf die grüne Kurve auf einem Monitor.

In dieser Halle ist so ziemlich alles möglich. Nur für den Atomreaktor, den Nathan Myhrvold gerade entwickelt – der Gründer und Chef von Intellectual Ventures – wird man sich einen anderen Ort suchen müssen. „Da wären unsere Nachbarn nicht so begeistert“, meint Deane.

Hat man den Gerätepark gesehen, stellt man sich Nathan Myhrvold als verrückten Wissenschaftler vor: Genie und Wahnsinn, wirre Haare, Nobelpreis – aber nicht wissen, wie man ein Ei kocht. Tatsächlich jedoch erweist er sich als äußerst vernünftig. Er könnte als freundlicher norwegischer Physiklehrer durchgehen. Wenn er spricht, erinnert er zuweilen an eine Comicfigur, was an seiner Begeisterung



Ob Schneckenhäuser, Rechenschieber oder Meteoriten: Nathan Myhrvold sammelt vieles – nicht nur gute Ideen

liegen mag, an seinem Bemühen, gegenüber denen, die nicht so schnell denken können wie er, nicht überheblich zu wirken – oder auch an seinem vollen Mund: Gerade langt er wieder in eine Glasschüssel mit Salzmandeln.

Myhrvold kann es sich leisten, harmlos zu erscheinen: Mit 14 begann er zu studieren, mit 23 machte er den Doktor, dann ging er zu Stephen Hawking nach Cambridge. Die Softwarefirma, die er danach gründete, wurde von Microsoft geschluckt, wo Myhrvold anschließend die Forschungstochter Microsoft Research leitete. Nach 13 Jahren verließ er den Giganten 1999 mit mehreren Hundert Millionen Dollar in der Tasche, dem Startkapital von Intellectual Ventures.

Heute hat die Firma, die mit ihren eigenen Patenten handelt, aber auch in Ideen anderer Firmen investiert, mehr als 350 Angestellte. Und Myhrvolds früherer Chef Bill Gates kommt alle paar Monate vorbei, um beim Erfinden zu helfen.

Die goldene Ära der Erfinder war das 19. Jahrhundert. Ob Glühlampe, Telefon oder Dampfturbine: Ein brillanter Kopf konnte die Welt mit einer bahnbrechenden Idee verändern. Bis 1940 erschien der Beruf „Erfinder“ sogar auf den Fragebögen des US-Zensus. Doch seither geht es mit der Profession bergab. Es ist kein Zufall, dass nicht die Erfinder der Musiktechnologie MP3 zu Stars geworden sind, sondern der Apple-Chef Steve Jobs mit seinem iPod – ein Marketinggenie.

„Die Forscher in den Universitäten wollen eher verstehen, wie die Welt funktioniert, als deren Probleme zu lösen“, sagt Myhrvold, „und die großen Firmen wollen nur neue Produkte. Außerdem ist jede Firma auf einen kleinen Bereich spezialisiert, und auch dort braucht sie nicht sehr viele neue Ideen, solange die alten noch Geld abwerfen.“

Doch was, wenn es ein Unternehmen gäbe, das sich auf die Produktion von Ideen spezialisierte – und unabhängig wäre von Produktpaletten, Vermarktbarkeit und kurzfristigen Gewinnkalkulationen? Genau das will Intellectual Ventures sein: ein wissenschaftlicher Thinktank, der manchmal funktioniert wie ein improvisierendes Jazz-Ensemble.

Was bei den Musikern die Jamsessions, sind hier die „Invention Sessions“. Myhrvold lädt zu diesen Erfindungssitzungen wechselnde Gruppen kluger Menschen ein und lässt sie auf ein bestimmtes Problem los. Es können Biologen sein oder Laser-Spezialisten, Geologen oder Chemiker.

„Je stärker jemand in einem Gebiet spezialisiert ist, desto stärker ist er auch von allen anderen isoliert“, sagt Myhrvold: „Diejenigen, die ein Problem haben, wissen nicht, dass es lösbar ist. Und die, die eine Lösung hätten, wissen nichts von dem Problem.“

Im Idealfall treffen bei seinen Erfindersitzungen beide Gruppen aufeinander. Wie an jenem Tag, als Chirurgen den Physikern erzählten, wie leicht sie beim Aufschneiden der Haut ein Blutgefäß verletzen. Die Physiker hatten die Lösung: ein Röntgengerät, dessen schwache Strahlen nur den obersten Zentimeter des Gewebes darstellen und die dank ihrer Empfindlichkeit für das Eisen im Blut Adern deutlich erkennbar machen.

Manchmal beginnen die Forscher um Myhrvold mit einer simplen Beobachtung: „Laser können malarainfizierte Mücken erkennen. Ist das nicht etwas für uns?“

Oder sie formulieren eine Analogie: Da sich per Ultraschall ein Fötus im Mutterleib beobachten lässt, könnte

Und Geoff Deane sekundiert: Ob eine Idee sinnvoll und realisierbar sei, wie weit die Forschung sei und ob jemand anderes schon ein Patent besitze, das werde später geprüft. „Es ist wichtig, dass erst mal viele Ideen zusammenkommen. Die meisten überleben nicht, aber je mehr Ideen, desto größer die Chance, dass ein paar gute dabei sind.“

Manche Erfinder haben große Firmen auf eine Idee gegründet, auch noch im 20. Jahrhundert: Ray Dolby zum Beispiel, der die Rauschunterdrückung für die Audiokassette entwickelte. Oder Edwin Land, der Erfinder der Polaroid-Kamera. Doch die meisten haben es schwer. Viele gute Ideen gehen verloren. Es ist zu aufwendig, sie zu prüfen, ganz zu schweigen von der Arbeit, die eine Patentanmeldung macht.

Bei Intellectual Ventures werden die Erfindungen im Kollektiv entwickelt, um den Papierkram kümmert sich anschließend ein großer Personalapparat. 1650 Erfindungen sind derzeit zum Patent eingereicht.

Nathan Myhrvold besitzt selbst 18 Patente, doch er versteht sich eher als Moderator, der das Sprudeln der Ideen sanft lenkt: „Erfinder haben ständig Einfälle, sie können nicht aufhören. Sie sehen ein Atomkraftwerk und erfinden es neu; sie sehen ein Datenzentrum und wissen, wie man es verbessern könnte. Einmal wollten wir über Immunologie diskutieren, doch weil die Eismaschine defekt war, ließen sich die Leute kaum davon abhalten, gleich eine viel bessere zu erfinden.“

Zum Beispiel der Spiegel: „Ein völlig vernachlässigtes Möbelstück“, so Edward Jung, Myhrvolds Partner bei Intellectual Ventures. „Könnte der nicht als Interface für das Gesundheitsmanagement dienen? Also zugleich auch ein Monitor für die Körperfunktionen sein – und zudem an die Medikamenteneinnahme erinnern?“

Von der **Hurrikan-Bremse** bis zum **Einweg-Atomkraftwerk**: Einfälle gibt es genug

man mit ähnlichen Methoden nicht auch Ölvorkommen in der Erde finden? Oder findet sich umgekehrt an Ölbohrern etwas, was den Gynäkologen helfen könnte?

Und manchmal verirrt sich die Diskussion in eine Sackgasse, aus der sie nicht mehr herauskommt. Ist Bill Gates bei einer Session anwesend, versuchen viele, vor allem ihn zu beeindrucken. Doch am Ende eines Tages haben die Protokollanten fast immer etwa 100 Ideen notiert.

Patente sind das Endprodukt von Intellectual Ventures, Ideen ihr Rohmaterial. Beim kollektiven Brainstorming der Invention Sessions sollen so viele Einfälle wie möglich geboren werden. „Natürlich kann nicht jeder mit dem größten Stuss kommen. Aber es muss ein Klima herrschen, in dem die Gedanken frei zirkulieren dürfen“, sagt Myhrvold.

Oder Hurrikans. Sie töten oft Hunderte von Menschen, richten gigantische Schäden an. Und wegen des Klimawandels werden sich ihre Häufigkeit und ihre Intensität noch weiter erhöhen. Ihre Energie beziehen die Wirbelstürme aus dem warmen Meerwasser. Also dort ansetzen?

Genau das haben die Denker um Myhrvold getan, als sie ein (noch geheimes) Verfahren entwickelten, die Meerestemperatur an wenigen Stellen des Ozeans zu senken, um die Energiezufuhr zu drosseln.

Ein anderes Projekt gilt der Energieversorgung in den ärmeren Ländern der Welt: Einweg-Atomkraftwerke.

„Auch wir sind natürlich große Fans der Solar- und Windenergie, und wir haben etliche Konzepte für deren Weiterentwicklung“, sagt Jung. Doch da gebe es ein Problem:

Selbst in den reichen westlichen Ländern seien diese Formen der Energieerzeugung oft zu teuer – und die Entwicklungsländer könnten sich die Einführung erst recht nicht leisten. Was also sollte man ihnen als Alternative vorschlagen?

Konventionelle Atomkraftwerke, so Jung, seien zu riskant: Sie müssten gewartet werden, es gebe unzählige Möglichkeiten des Missbrauchs. Vor allem aber müssten die Brennstäbe ausgetauscht werden, eine weitere Gefahrenquelle.

„Unsere Lösung: Wir haben eine Art Einmal-Reaktor erfunden. Ein hermetisch geschlossenes System, das den gering strahlenden Brennstoff schon enthält und nur aus-, aber nicht angeschaltet werden kann.“

Alle großen Nuklearunfälle gingen auf menschliches Versagen zurück, so Jung. Deshalb seien in dem Kernkraftwerk von Intellectual Ventures menschliche Eingriffe nicht vorgesehen. Es komme ganz ohne anfällige bewegliche Teile aus, und Atomwaffen ließen sich damit auch nicht produzieren.

„Die Kiste“, wie das Kraftwerk bei Intellectual Ventures genannt wird, soll eines Tages genug Strom für eine mittelgroße Stadt erzeugen. Und betrieben wird es mit dem Abfall konventioneller Atomkraftwerke – was das Projekt hoffentlich, so Jung, für Kernkraft-Skeptiker akzeptabler mache: „Zehn Jahre lang erzeugt es Energie, danach stellt es keine nennenswerte Gefahr mehr dar.“ Intellectual Ventures suche derzeit nach Partnern, die helfen könnten, das System zur Serienreife zu entwickeln.

Und was, haben sich Myhrvold und Jung vor einiger Zeit gefragt, lässt sich gegen Malaria unternehmen? Ihre Forscher haben daraufhin im Test mit Labormücken herausgefunden, dass sich relativ simple Laser entwickeln lassen, die Mücken im Flug erkennen und abschießen.

Erfinder *haben* diese brennende Neugier. Sie decken einen enorm breiten Bereich ab, aber dann steigen sie in manche Themen unglaublich tief ein, ohne wirklich Experten zu sein. Nehmen Sie Nathan Myhrvold. Er ist Amateurrkoch, aber er hat sich mit der Wissenschaft des Kochens beschäftigt wie niemand sonst auf der Welt.“

„Amateurrkoch“ ist untertrieben. Noch während er bei Microsoft arbeitete, ging Myhrvold einmal pro Woche in Seattles bestem französischem Restaurant in die Lehre. Anschließend besuchte er eine Kochschule in Paris. Dann wurde er auf die „molekulare“ Küche aufmerksam, die sich mit biochemischen und physikalisch-chemischen Prozessen bei der Zubereitung und beim Genuss von Speisen befasst – und die etwa der Spanier Ferran Adrià praktiziert.

Nun will er das Standardwerk der Molekularküche schreiben – ein Buch, das sich zugleich auch der Grundlagenforschung des Kochens widmet: „Wir versuchen, die Küche auf eine wissenschaftliche Basis zu stellen. Was genau geschieht, wenn wir ein Steak braten? Und was genau ist zu tun, damit es zart wird? Wer das Kochen weiterentwickeln will, muss erst einmal verstehen, wie die alten Methoden funktionieren.“

Doch Myhrvolds eigentliche Leidenschaft gilt den neuen Techniken der Molekularküche, die er in diesem Buch wissenschaftlich erläutern will. Daher der Wackelpudding-Test.

Daher auch die riesige Küche am Rand des Labors – selbst wenn man sie nicht gleich als solche erkennt: Statt eines Mixers steht dort eine Zentrifuge, statt der Mikrowelle ein Gefriertrockner.

Im Konferenzraum, in dem sich für dieses Projekt gerade ein Team von Molekularbiologen, Chemikern und Köchen

Bei einer »Invention Session« entstehen etwa **100 neue Ideen**. Für 1650 Erfindungen sind bereits **Patente** beantragt

Aus solchen batteriebetriebenen Billiglasern will Intellectual Ventures nun einen „Zaun“ entwickeln, der ganze Dörfer umspannen und schützen könnte.

Dass niemand vor ihnen an die Malaria-Umfriedung, die Hurrikan-Bremse oder das Einweg-Kraftwerk gedacht habe, liege zum einen daran, so Jung, dass mit diesen Erfindungen nicht viel Geld zu verdienen sei. Zum anderen würde sich in all diesen Fällen keine wissenschaftliche Disziplin wirklich zuständig fühlen.

Zeugt der Erfolg von Intellectual Ventures also von einer Krise des Expertenwesens? Und wenn es nicht die Spezialisierung ist, was macht dann den guten Erfinder aus? „Breite und Tiefe sind wichtig“, sagt Jung. „Einerseits hat der Mensch über die Jahrtausende eine Angst vor dem Unbekannten entwickelt. Das erhöhte seine Überlebenschancen. Andererseits ist Neugier nötig, um auf Interessantes zu kommen.

trifft, erscheinen Fotos von Lachsfilets und Enten-Confit auf den Bildschirmen: ultraclean, in Folie verschweißt, in Laborglas kochend. Die gerade untersuchten und gebratenen Schweinebäuche werden später fotografiert.

Myhrvold lässt sich ein geplantes Buchkapitel vorführen, diskutiert Einschweißtechniken und Knochenpunktierung, explodierende Flüssigkeiten und seine Lieblingsmethode: *sous-vide*, das Vakuumkochen.

Kochen oder Atomkraftwerke: Myhrvold ist bei beiden Themen mit dem gleichen spielerischen Ernst dabei, dem gleichen weit offenen Geist. Doch während so viele glücklose Erfinder vor ihm an den Umständen gescheitert sind, hat sich Myhrvold einen Apparat geschaffen, in dem diese Ideen reifen, gedeihen und Profit abwerfen können.

Das wohl ist seine größte Erfindung. □

Jörg Häntzschel, 40, ist Kulturkorrespondent der „Süddeutschen Zeitung“ in New York.

Montage im Akkord

Schon in den 1860er Jahren beginnen die großen Schlachthöfe von Chicago und Cincinnati damit, getötete Rinder an Haken zu hängen und sie an einer Kette an den Arbeitern vorbeizuführen, damit sie das Fleisch zerlegen. Denn komplizierte Fertigungsabläufe in viele kleine Handgriffe aufzuteilen spart Zeit – und Kosten.

1913 wendet der Automobilfabrikbesitzer Henry Ford dieses Verfahren als Erster industriell an: Die einzelnen Werkstücke werden auf Endlosbändern an den Arbeitern vorbeitransportiert, die Produktionsprozesse in kleinste Schritte zerlegt.

Ford revolutioniert damit die Industrie. Während die Montage eines Fahrgestells des legendären „Model T“ vor der Fließband-Zeit zwölf Stunden gedauert hat, brauchen Fords Arbeiter jetzt nur noch anderthalb. Haben im ersten Produktionsjahr 1908 noch 18 000 von Hand gefertigte Wagen das Werk verlassen, so sind es 1923 schon 1,8 Millionen.

Und obwohl Ford höhere Löhne zahlt als die Konkurrenz, sinkt der Preis eines Autos von 850 auf 260 Dollar.

Mit der Fließbandproduktion werden Autos und viele andere Produkte zu Allerwärtsartikeln. Tausende neuer Jobs entstehen – auch für jene ungelernten Arbeiter, die sonst kaum eine Chance hätten, in der Industriegesellschaft ein akzeptables Auskommen zu finden.

Der Preis dafür ist jedoch eine monotone und oft menschen-schindende Arbeit – eine inakzeptable Form der Fertigung, von der sich in den 1980er Jahren manche Hersteller in den westlichen Industriestaaten abwenden.

Inzwischen ist dieses Problem zum Teil technisch gelöst worden: Denn in den vielen Produktionsprozessen haben längst immer perfekter arbeitende Roboter den Menschen am Fließband abgelöst.



Auch die ersten Fließbänder standen in Schlachtereien: moderne Geflügelfabrik in China





Der Kern des »Illustra« von 1953 ist eine Bildröhre, die mit Elektronenstrahlen Lichtpunkte erzeugt

1925

Fernsehgerät

91

Die Welt im Wohnzimmer

Live from General Electric's radio laboratories in Schenectady, New York ...“, tönt es, man sieht einen Mann, der seine Brille absetzt, wieder aufsetzt, einen Rauchring bläst. An diesem Nachmittag im Januar 1928 startet die Firma General Electric das TV-Zeitalter mit einer 100-prozentigen Zuschauerquote: Alle drei TV-Besitzer, die das Programm empfangen können, haben eingeschaltet. Bald darauf sendet GE dreimal pro Woche.

→**Radio** und Kino boomen seit Beginn der 1920er Jahre. Firmen und Erfinder liefern sich einen Wettlauf um die beste Technik zur drahtlosen Sendung von Ton und Bild. 1925 präsentieren mehrere Erfinder unabhängig voneinander ihre ersten „Fernsehbilder“, so der Deutsche August Karolus und der Schotte John Logie Baird. Doch die von ihnen verwendeten mechanischen Bildabtaster senden nur flimmernde Bilder von Zeichen oder einer Bauchrednerpuppe: Baird etwa muss sein Objekt so stark anleuchten, dass kein Mensch diese Bestrahlung aushalten würde. Das System von General Electric arbeitet ebenfalls mit mechanischer Bildabtastung, ist aber von besserer Qualität.

Doch erst die Möglichkeit, Bilder elektronisch wiederzugeben, verhilft dem neuen Medium zum Durchbruch. Die Grundlage dafür legt der Deutsche Karl Ferdinand Braun schon 1897. Der Physiker beschleunigt Elektronen in einer Röhre, an deren Ende ein fluoreszierender Bildschirm angebracht ist. Trifft der Elektronenstrahl dort auf, leuchtet ein winziger Punkt auf.

In den Jahrzehnten darauf wird die „Braunsche Röhre“ weiterentwickelt. Bald lässt sich der Teilchenstrom rasend schnell auf jeden Bereich des Schirms richten. Und da das Auge nicht sensibel genug ist, um dies exakt wahrzunehmen, lassen sich beliebige Muster aus Lichtpunkten erzeugen: Bilder.

Das erste „vollelektronische“ TV-Gerät, das auf dem Prinzip der „Braunschen Röhre“ basiert, präsentiert der deutsche Physiker Manfred von Ardenne 1931 in Berlin. Nach 1945 beginnt die Erfolgsgeschichte des Fernsehens. Das neue Medium bestimmt fortan mehr und mehr den Alltag der Menschen. Heute sieht jeder Deutsche täglich etwa dreieinhalb Stunden fern.

1930

Glasfaser

92

Datenströme aus Licht

Auf dem Foto, das Heinrich Lamm 1930 aufnimmt, ist undeutlich ein heller Umriss zu erkennen. Was wie ein misslungener Schnappschuss aussieht, ist das Bild eines leuchtenden Glühfadens – fotografiert durch ein Bündel biegsamer Fasern aus →**Glas**. Der Münchner Medizinstudent will ein flexibles Endoskop entwickeln: einen Schlauch, durch den ein Arzt schonender in den Magen eines Patienten blicken kann als mit den damals üblichen, wenig biegsamen Geräten. Mit seinem Versuch beginnt die Ära der optischen Datenübertragung.

Aus geschmolzener Glasmasse gezogene Fasern werden schon um 1600 v. Chr. in Ägypten hergestellt. Und dass sie das Licht auf eine Kurvenbahn lenken können, erkennen vermutlich bereits Glasbläser der Antike – doch das physikalische Prinzip dahinter entdeckt erst der Schweizer Daniel Colladon 1841: Er leitet Licht in einen gebogenen Wasserstrahl und bemerkt, dass es diesen nicht durchbricht, sondern der Bahn der Flüssigkeit folgt, weil es an den Rändern reflektiert wird, als sei es im Wasser gefangen. Der gleiche Effekt tritt in Glaskörpern auf.

Bald folgen erste Anwendungen: Mit gebogenen Glasstäben leuchten Zahnärzte nun die Mundhöhle ihrer Patienten aus. Auch Bilder lassen sich übermitteln. Sie werden dabei in einzelne Lichtpunkte zerlegt, von denen jeder für sich durch eine feine Glasfaser übertragen werden kann; am Ende eines ganzen Bündels solcher Fasern entsteht dann wieder das ursprüngliche Bild. Diese Möglichkeit erkennen in den 1920er Jahren der US-Ingenieur Clarence Hansell und der britische TV-Pionier John Logie Baird, doch sie verfolgen die Idee nicht weiter.

Heinrich Lamm ist der Erste, der tatsächlich Bildinformationen durch Glasfasern überträgt. Noch sind die von ihm benutzten Stränge recht trüb. Erst ab 1956 werden umhüllte Glasfasern hergestellt, die das Licht besser leiten. Als 1960 mit dem →**Laser** eine Lichtquelle entdeckt wird, deren Licht im Gleichtakt mit genau einer Wellenlänge schwingt und deren Strahl sich über große Entfernungen schicken lässt, beginnen sich auch Telekommunikationsforscher für die Glasfaser zu interessieren.

Denn wie Radiowellen können auch Lichtwellen Informationen übertragen; zu diesem Zweck wird etwa Sprache in diese elektromagnetischen Wellen übersetzt und dann in einem Empfänger wieder in Ton verwandelt. Weil Lichtwellen aber millionenfach mehr Schwingungen pro Sekunde aufweisen als Radiowellen, können sie in Glasfaserkabeln auch mehr Informationen transportieren.

Nach jahrelangen Experimenten kommt es 1977 zum ersten Telefongespräch durch eine zehn Kilometer lange optische Leitung im kalifornischen Long Beach. 1988 überträgt das erste auf dem Atlantikgrund

verlegte Glasfaserkabel bereits 40 000 Gespräche gleichzeitig, 2002 erreichen andere optische Kabel auf der gleichen Route sogar die 5000-fache Kapazität. Diese Glasfaserkabel übermitteln längst nicht mehr nur Telefonate, sondern auch jene gewaltigen Datenmengen, die Computer auf der ganzen Welt ständig untereinander austauschen.

Das Internet, das heute Millionen von Menschen weltweit verbindet, wäre ohne Glasfasern fast undenkbar.



Lichtleiter aus Quarz: In Glasfasern lassen sich optische Signale schnell über weite Strecken senden (hier im Genfer Forschungszentrum CERN)



Mehr als eine Milliarde PCs sind derzeit weltweit in Gebrauch – etwa im Handelsraum einer großen Bank in Frankfurt am Main

1941

Computer

Ein Kosmos aus Einsen und Nullen

Die ersten Computer bestehen noch aus Fleisch und Blut. Denn Mitte des 18. Jahrhunderts ist in England „Computer“ eine Berufsbezeichnung für menschliche Rechenknechte, die in Teams komplexe mathematische Probleme lösen, etwa die exakte Bestimmung von Geschossflugbahnen. Sie zerlegen die Aufgaben in Einzelschritte, die sie dann jeweils separat kalkulieren.

Erst im 20. Jahrhundert löst der maschinelle Computer diese Rechenkünstler allmählich ab: 1936 beginnt der Berliner Bauingenieur Konrad Zuse, den ersten vollmechanischen Rechner zu konstruieren. Im „Z1“ schieben Tausende bewegliche Bleche kleine Metallstifte zwischen je zwei Positionen hin und her; programmiert wird das Gerät mit gelochten Kinofilmstreifen. Doch der Z1 arbeitet unzuverlässig.

Zuse beschließt daher, die Nachfolger aus Relais zusammenzusetzen: elektromagnetischen Spulen zum Ein- und Ausschalten elektrischer Kontakte. 1941 führt er den „Z3“ vor, den ersten funktionsfähigen Rechner mit Programmsteuerung. Ein verlässlich arbeitendes Gerät, das alle Informationen als Abfolge von zwei Zuständen ausdrückt und verarbeitet: 1 und 0, Strom an und Strom aus. Bis heute beruhen sämtliche Rechengänge in Computern auf diesem Prinzip.

In Nazi-Deutschland bleibt Zuse ein Außenseiter – anders als seine Kollegen in den USA, die unabhängig von Zuse und mit enor-

93

mer finanzieller Unterstützung immer leistungsfähigere Computer bauen. Anfangs sind es noch garagengroße Apparate aus Tausenden von Elektronenröhren. Die Röhren dienen als Schaltelemente und sind wesentlich schneller als Zuses elektromagnetische Relais.

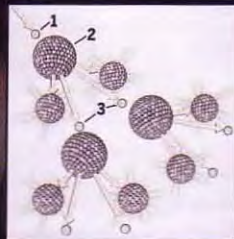
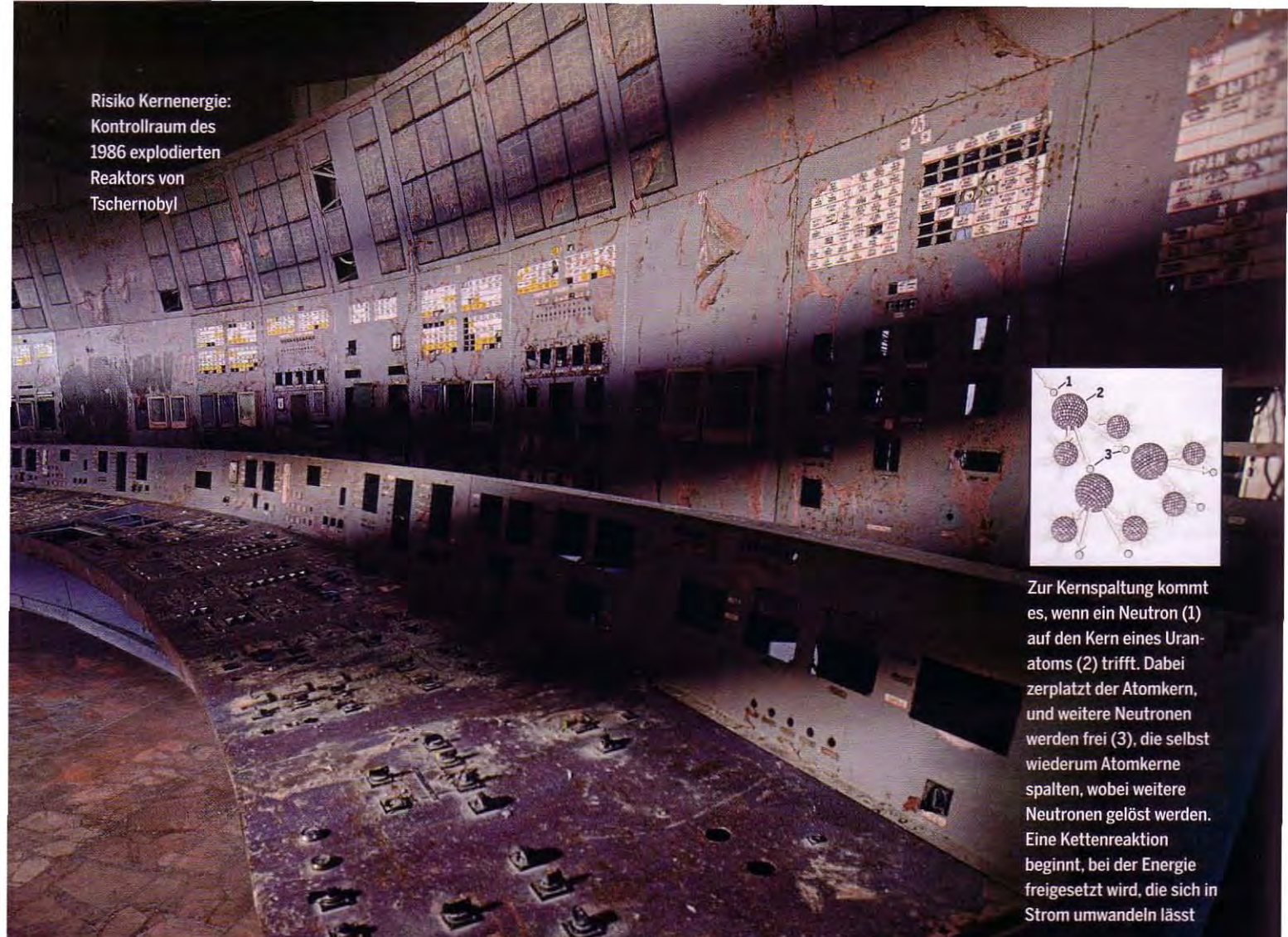
1955 werden die Röhrensysteme von Transistoren abgelöst: winzigen Schaltern aus Kristallen, die sich mit schwachen Stromimpulsen ein- und ausschalten lassen. Sie verbrauchen weniger Energie, entwickeln weniger Wärme und sind kompakter. Schon 1962 kommen Transistoren von der Größe eines Salzkorns auf den Markt.

Schaltkreise aus einer Vielzahl solcher Transistoren und anderer Computerbauteile werden in den folgenden Jahren auf Scheibchen aus Silizium geätzt: die ersten Mikrochips. 1965 prognostiziert der Chemiker und Physiker Gordon Moore, die Anzahl der Transistoren auf einem Chip werde sich von nun an alle 18 bis 24 Monate verdoppeln. Er behält recht. Das „Moore'sche Gesetz“ gilt noch heute.

1968 gründen Moore und sein Kollege Robert Noyce die Firma Intel. 1971 präsentieren sie den ersten Mikroprozessor: einen fast vollständigen Computer auf einem einzigen Chip. Bald darauf beginnt der Siegeszug der Schreibtischrechner.

Heute gibt es längst mehr Prozessoren als Menschen auf der Welt. Sie steuern → **Waschmaschinen**, überwachen die Herzfrequenz bei Operationen, sagen das Klima voraus. Und ein schlichter PC kann inzwischen rund fünf Milliarden Rechenschritte pro Sekunde ausführen, der schnellste Computer der Welt schafft sekundlich gar mehr als eine Billion Operationen.

Risiko Kernenergie:
Kontrollraum des
1986 explodierten
Reaktors von
Tschernobyl



Zur Kernspaltung kommt es, wenn ein Neutron (1) auf den Kern eines Uranatoms (2) trifft. Dabei zerplatzt der Atomkern, und weitere Neutronen werden frei (3), die selbst wiederum Atomkerne spalten, wobei weitere Neutronen gelöst werden. Eine Kettenreaktion beginnt, bei der Energie freigesetzt wird, die sich in Strom umwandeln lässt

1942

Atomreaktor

94

Nukleare Urgewalt

Ein Glas Wasser versammelt in seinen Atomen ungefähr so viel Energie, wie ein Ozeandampfer für 500 Überquerungen des Atlantiks benötigt: Das berechnen Physiker dank der berühmten Formel $E = mc^2$, die Albert Einstein 1905 aufstellt. Niemand aber kann diese gewaltige Atomkraft nutzbar machen. Bis 1934 dem Italiener Enrico Fermi ein aufsehenerregendes Experiment glückt: Er beschießt Uran mit Neutronen – winzigen atomaren Teilchen, die keine elektrische Ladung tragen.

Sein Geschütz ist eine Substanz, die Neutronen aussendet. Unter dem Teilchenbeschuss geben die Uranatome Energie in Form radioaktiver Strahlung ab.

Erst gut vier Jahre später erkennen die Deutschen Otto Hahn, Lise Meitner und Fritz Straßmann, was bei Fermis Versuch geschehen ist: Die Kerne der Uranatome sind in mehrere Teile zerplatzt. Und dabei verwandelte sich ein wenig Materie in Energie.

Gelänge es nun, diesen Prozess zu vervielfältigen, indem sich die Kernspaltung von Atomkern zu Atomkern fortsetzte, so hätte man eine fast unerschöpfliche Energiequelle aufgetan. Unter Fermis Leitung fahren Wissenschaftler am 2. Dezember 1942 den ersten „Atomreaktor“ hoch, mitten in Chicago. Die Anwesenden wissen um das Risiko: Gerät der Versuch außer Kontrolle, werden sie sterben und ein ganzes Stadtviertel verstrahlen.

Doch das viereinhalb Minuten dauernde Experiment gelingt; der Reaktor setzt ein halbes Watt Energie frei – theoretisch genug, um eine *→Glühbirne* schwach zum Leuchten zu bringen. Nun lässt sich die Kraft der nuklearen Energie nutzen.

Zunächst aber soll sie nicht etwa friedlichen Zielen dienen, sondern den Alliierten helfen, Nazi-Deutschland und dessen Verbündete zu besiegen. Denn auch in einer Bombe kann die gigantische Urgewalt des Atoms entfesselt werden.

So kommt es: Im August 1945 zerstören zwei atomare Sprengkörper die japanischen Städte Hiroshima und Nagasaki. In den Stolz vieler Wissenschaftler, den Zweiten Weltkrieg so verkürzt zu haben, mischen sich Schuldgefühle.

Viele Forscher beginnen nun, die gewonnenen Erkenntnisse für den Alltag anzuwenden. 1951 liefert der Forschungsreaktor „EBR 1“ in Idaho erstmals elektrischen Strom aus einer Kernspaltung. 1954 geht bei Moskau das erste Atomkraftwerk zur öffentlichen Stromversorgung ans Netz.

Heute sind weltweit 439 Meiler in Betrieb; sie produzieren etwa 14 Prozent der erzeugten Elektrizität. Zwar fällt während des direkten Betriebs kein Kohlendioxid, also klimaschädliches Gas, an, doch bleiben hochgiftige Abfälle zurück, für die noch kein Endlager gefunden worden ist. Bis 2040 werden allein in Deutschland voraussichtlich gut 290 000 Kubikmeter radioaktive Rückstände aus Atomkraftwerken und Forschungseinrichtungen anfallen.

Und jederzeit kann es zu einem Unfall mit katastrophalen Folgen kommen – wie beim Unglück von Tschernobyl im April 1986.

Im Rhythmus des Lebens

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts ist bekannt, dass der Herzmuskel elektrisch stimuliert wird: Etwa 70-mal pro Minute senden bestimmte Zellen Impulse aus, die das Herz regelmäßig schlagen lassen. 1887 gelingt es Ärzten erstmals, diese Impulse zu messen und die Herzsignale aufzuzeichnen: als „Elektrokardiogramm“ (ähnlich dem „Elektroenzephalogramm“ der elektrischen Ströme im Gehirn).

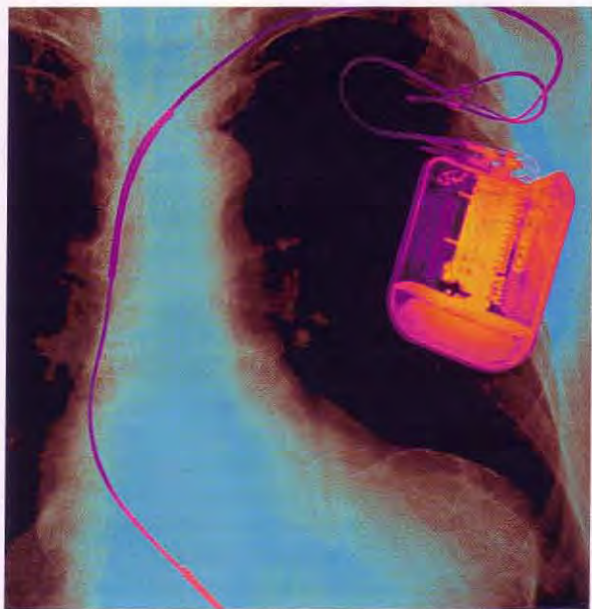
1952 konstruiert der Bostoner Arzt Paul Zoll ein Gerät, das bei Herzpatienten fortwährend die natürlichen Impulse des Herzens misst und über zwei auf der Brust befestigte Metallplättchen Stromimpulse zum Herzen schickt, sobald es einen Stillstand registriert.

Doch dieser erste Herzschrittmacher ist eine wichtige Maschine und muss auf einem kleinen Wagen neben den Patienten gerollt werden. Zudem klagen Betroffene über Schmerzen, leiden unter Hautverbrennungen und verkrampfter Brustmuskulatur.

Doch schon bald sind die Geräte nur noch so groß wie eine Streichholzschatel, und am 8. Oktober 1958 implantieren zwei schwedische Ärzte als Erste einem Patienten einen dieser kleinen Herzschrittmacher.

1982 gelingt es dem Amerikaner William DeVries sogar, einem Menschen ein ganzes Kunstherz einzupflanzen. Das Herz mit einem Antriebssystem von der Größe eines Kühlschranks hält den Patienten, einen 61-jährigen Mann, 112 Tage am Leben.

Inzwischen sind Kunstherzen sehr viel kleiner, doch nach wie vor können sie das echte Organ nicht vollständig ersetzen und nur eine kurze Zeit überbrücken, bis ein geeignetes Spenderherz für den Patienten zur Verfügung steht.



Taktgeber im Röntgenbild: Der künstliche Schrittmacher regt mit elektrischen Impulsen den Herzmuskel an



Arbeiterinnen in einer chinesischen Fabrik testen Solarzellen. Das asiatische Land plant den Bau des größten Photovoltaik-Kraftwerks der Welt mit einer Leistung von einem Gigawatt

1954

Solarzelle

96

Die Sonne als Kraftwerk

Nach dem ersten Start eines sowjetischen →*Satelliten* 1957 arbeiten US-Raumfahrtgenieure unermüdlich an eigenen Trabanten. Eines der technischen Probleme ist deren Energieversorgung. Nach Versuchen mit Batterien, die schwer sind und nicht lange funktionieren, greifen sie auf eine Erfindung zurück, die Gerald Pearson, Daryl Chapin und Calvin Fuller, drei Forscher der US-Telefongesellschaft Bell, 1954 zum Patent angemeldet haben: einen „Apparat zur Umwandlung von Solarenergie“.

Dieser Erfindung liegt eine viel ältere Entdeckung zugrunde: Schon 1839 beobachtet der Franzose Alexandre Edmond Becquerel, dass die elektrische Spannung einer Batterie zunimmt, sobald er eine ihrer beiden Metallelektroden mit Licht bestrahlt.

Dieser „photovoltaische Effekt“ kommt zustande, wenn die Energie des Lichts negativ geladene Elektronen aus dem Verband der Metallatome löst und sie gleichsam im Metall fließen lässt. Dieses Fließen von Elektronen ist nichts anderes als: elektrischer Strom.

Doch erst mehr als 100 Jahre später gelingt es Pearson, Chapin und Fuller, dank der großen Fortschritte in der Halbleitertechnik seit Ende der 1940er Jahre, den photovoltaischen Effekt zur Stromerzeugung zu nutzen. Denn nur die besonderen Eigenschaften von Halbleiterkristallen (etwa Silizium) ermöglichen die effektive Umwandlung der Sonnenenergie in Strom.

Die Solarzelle auf Siliziumbasis ist zwar sehr teuer, aber leicht, kaum störungsanfällig und daher ideal für den Einsatz im Weltraum geeignet. Schon der zweite US-Satellit, der 1958 gestartete „Vanguard 1“, hat Solarzellen an Bord – und sie übertreffen alle Erwartungen: Sechs Jahre lang speisen sie die Akkus eines kleinen Funksenders.

In den folgenden Jahren trägt die Weltraumforschung dazu bei, die Effizienz der Siliziumzellen zu verbessern, sodass sie bei gleicher Fläche immer mehr Strom erzeugen. Allmählich wird die Photovoltaik (die direkte Verwandlung von Licht in elektrischen Strom) auch für Kraftwerke auf dem Erdboden interessant.

Heute liefert eine 40 Quadratmeter große Anlage selbst im vergleichsweise sonnenarmen Mitteleuropa genug Strom, um eine vierköpfige Familie zu versorgen. Allein in Deutschland sind bis Anfang 2007 Solarzellen mit insgesamt 2700 Megawatt Leistung installiert worden – das entspricht der Leistung von zwei Atomkraftwerken.

Künstliche Trabanten

Aus Radiogeräten dringt am 4. Oktober 1957 überall auf der Welt ein merkwürdiges Piepen: Es stammt vom ersten Objekt, das Menschen in die Erdumlaufbahn geschossen haben. Mit den Signalen des sowjetischen Satelliten „Sputnik 1“ bricht ein neues Zeitalter an.

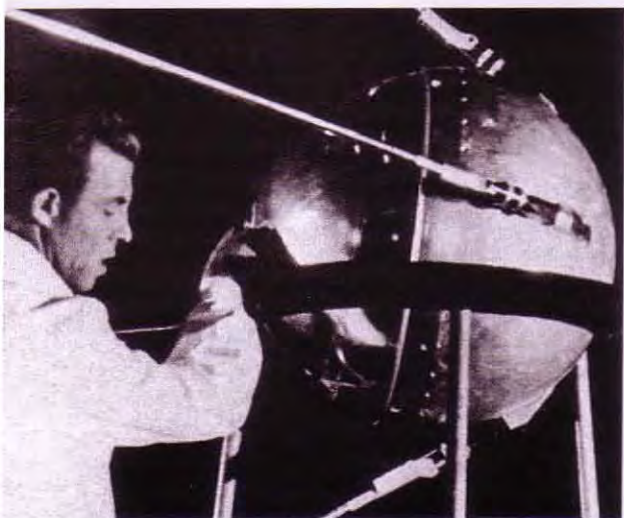
Dass ein solcher Flug technisch machbar ist, hat der russische Raketenforscher Michail Tichonrawow bereits 1948 berechnet. Gefördert wird sein Vorschlag aber erst, als die USA 1955 den Start eines Satelliten innerhalb der nächsten Jahre ankündigen. Unter Zeitdruck arbeiten die Sowjetforscher daraufhin zunächst an einem „Objekt D“, das bis zu 300 Kilo an wissenschaftlichen Instrumenten in den Erdborbit befördern soll.

Aus Angst, die USA könnten ihnen zuvorkommen, entscheiden sie sich aber bald für eine einfachere Lösung: eine knapp 60 Zentimeter große Aluminiumkugel, die Batterien, Messgeräte zur Temperatur- und Druckbestimmung sowie zwei Funksender enthält.

Der nur 84 Kilo schwere „Sputnik“ („Weggefährte“) wird von einer einst für den Transport von Atomsprengeköpfen konstruierten → **Rakete** auf seine Umlaufbahn gebracht. Dort kreist der Satellit in einer Höhe von maximal 947 Kilometern um den Planeten, da sich Erdanziehung und Fliehkraft gegenseitig aufheben.

Der menschengemachte Trabant eröffnet den Wettlauf der beiden Supermächte um die Vorherrschaft im All und wird zum Vorläufer jener rund 3000 Satelliten, die heute die Erde umrunden.

Zu ihnen gehören Wettersatelliten, die atmosphärische Daten messen, Kommunikationssatelliten, mit deren Hilfe Fernsehbilder und andere Informationen um die Erde geschickt werden, sowie die gut 30 Trabanten des „Global Positioning System“, die unter anderem Seeleuten und Autofahrern ermöglichen, ihre Position auf etwa 15 Meter genau zu bestimmen.



»Sputnik 1« vor dem Start 1957: Ein sowjetischer Techniker überprüft den ersten menschengemachten Satelliten der Erde

Der erste praxistaugliche Laser aus den 1960er Jahren, der sein Licht mithilfe von Gas erzeugt



1960

Laser

98

Das gebündelte Licht

Ob Medizin, Unterhaltungselektronik oder Vermessungstechnik: Der Laser revolutioniert innerhalb weniger Jahrzehnte fast alle technisch dominierten Disziplinen; denn die Eigenschaften seines Lichts machen ihn zu einem Werkzeug von bis dahin ungekannter Präzision.

Die Grundlagen der „light amplification by stimulated emission of radiation“ – der „Lichtverstärkung durch angeregte Emission von Strahlung“ – beschreibt Einstein bereits 1917. Er erkennt als Erster, dass Atome und Moleküle durch Lichteinstrahlung dazu gebracht werden können, selbst Licht auszusenden und das eingestrahelte Licht so zu verstärken.

Es dauert jedoch noch knapp 40 Jahre, ehe der erste Vorläufer heutiger Laser realisiert wird: 1954 entwickelt der US-Physiker Charles H. Townes einen „Maser“ – einen Verstärker für Mikrowellenstrahlung. Vier Jahre später schlägt er gemeinsam mit Arthur Schawlow vor, das Prinzip des Masers auf Lichtwellen zu übertragen. Ihr Landsmann Theodore Maiman greift die Idee auf und erzeugt 1960 erstmals Laserlicht: einen stark fokussierten und energiereichen Lichtstrahl mit der besonderen Eigenschaft, dass die Wellen dieses Lichts alle mit gleicher Frequenz schwingen.

Mit Lasern können hohe Energiemengen für eine genau bestimmbare Zeit auf einen nahezu beliebig kleinen Punkt konzentriert werden. Für vielerlei Anwendungen: So erlaubt das gebündelte Licht unter anderem akkurate Entfernungsmessungen, Laser kommen in Schneid- und Schweißgeräten sowie bei Operationen zum Einsatz. Besonders populär aber sind Laser geworden, weil mit ihnen Audiodaten auf Plastikscheiben gebrannt und davon auch wieder abgelesen werden können.

Optimisten hoffen, dass gebündeltes Licht irgendwann die Kernfusion steuern wird. Und eines Tages vielleicht sogar Raumschiffe antreibt.

3-D-Drucker

99

Sprung in die dritte Dimension

Ein Hund wird im Juli 2005 in der Veterinärklinik der Universität von Tokyo operiert: Tierärzte müssen einen Teil seiner Schädeldecke ersetzen. Anhand von Röntgenaufnahmen haben Experten zuvor ein dreidimensionales Computermodell des entsprechenden Knochenstücks erstellt. Dann haben sie den Ersatzknochen mit einem Gerät angefertigt, das ähnlich arbeitet wie ein Tintenstrahldrucker – doch statt des Papiers bearbeitet das Gerät dünne Schichten aus pulverförmigem Knochenersatz. Und anstelle der Tinte verstrahlen die Düsen eine Lösung, die das Pulver bindet.

Dem Querschnitt des Computermodells folgend, entsteht so Schicht für Schicht ein exakt geformter Knochenersatz, den die Mediziner anschließend in den Hundeschädel implantieren – mit Erfolg, wie sich herausstellt.

Die Herstellung künstlicher Knochen ist nur eine Anwendungsmöglichkeit für derartige 3-D-Drucker: Sie können räumliche Objekte in nahezu jeder beliebigen Form ausdrucken, zum Teil sogar in Farbe.

1986 erhält der US-Erfinder Charles Hull das Patent für den ersten funktionstüchtigen „Apparat zur Produktion dreidimensionaler Objekte“. Bei dem Verfahren wird Flüssigharz in einem Behälter mithilfe eines computergesteuerten → **Lasers** schichtweise ausgehärtet.

1989 entwickelt der US-Forscher Carl Deckard ein anderes Verfahren, bei dem der Laser pulverförmiges Baumaterial verschmilzt; ähnlich arbeiten moderne, günstigere 3-D-Drucker, die innerhalb weniger Stunden unter anderem dreidimensionale Designstudien oder Architekturmodelle erstellen.

Was diese Technik in Zukunft zu leisten verspricht, demonstriert ein Projekt des britischen Ingenieurs Adrian Bowyer: Er hat einen 3-D-Drucker entwickelt, der seine eigenen Bauteile ausdrucken kann – und sich so quasi selbst zu vervielfältigen vermag.



Modell aus dem 3-D-Drucker: Schicht für Schicht trägt das Gerät unterschiedlich gefärbte Pulver auf, die verfestigt und dann mit einem Kleber konserviert werden

2000

Nanomotor

100

Maschinen, so klein wie Moleküle

Seine Kommilitonen glauben schon nicht mehr daran. Doch im Juni 2000 gelingt dem Studenten Ricky Soong von der Cornell University nach monatelanger Arbeit, was sein Professor Carlo Montemagno geplant hat: eine funktionstüchtige Maschine von der Größe eines Virus zu produzieren.

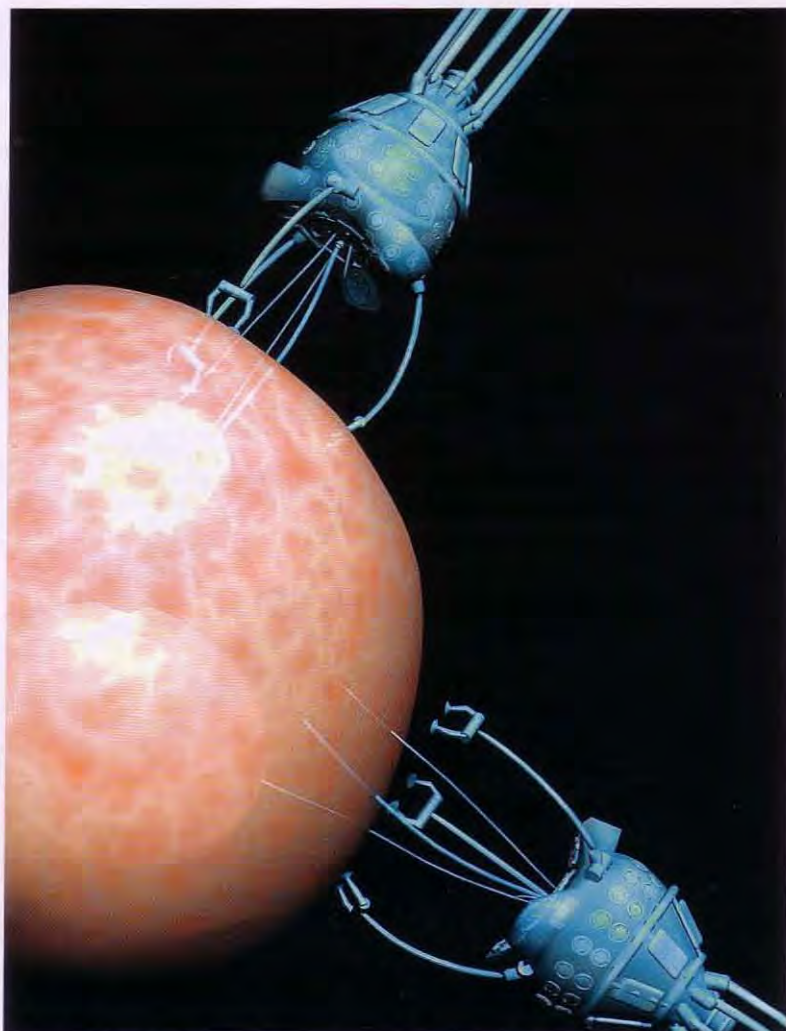
„Nanokopter“ nennt Montemagno das Miniaturgerät. Seine Größe verhält sich zu einem Meter wie ein Handball zur Erde. Denn es misst nur etwa 14 Nanometer (1 Nanometer = 1 Milliardstel Meter).

Montemagnos Apparatur besteht aus einem Eiweißmolekül sowie einem Nickel-Propeller und befindet sich in einer Lösung mit energiereichem Adenosintriphosphat (ATP), dem universellen Kraftstoff in jeder Körperzelle. Wie ein Motor nutzt das Eiweißmolekül die Energie des ATP, um sich mit dem Propeller um die eigene Achse zu drehen – bis zu achtmal pro Sekunde.

Solche Winzlinge könnten eines Tages heilende Wirkstoffe zu kranken Zellen befördern oder winzige Mengen Elektrizität erzeugen. Montemagnos Nanomotor liefert den ersten Beweis dafür, dass sich Atome und Moleküle als Bausteine verwenden lassen, um Miniaturgebilde mit neuen Eigenschaften zu erschaffen.

Doch der Nanokosmos wirft besondere Probleme auf: So tüfteln Forscher an der Frage, wie sie die Winzmaschinen vor dem Bombardement anderer Moleküle etwa im wirbelnden Blutkreislauf schützen können.

Sollten sie erfolgreich sein, wird die Nanotechnologie nach Ansicht vieler Wissenschaftler das Leben der Menschheit in ähnlichem Ausmaß verändern wie im 20. Jahrhundert die Elektrotechnik. □



Medizinische Vision: Winzige Nanomotoren könnten eines Tages Medikamente in den Körper transportieren (Simulation)

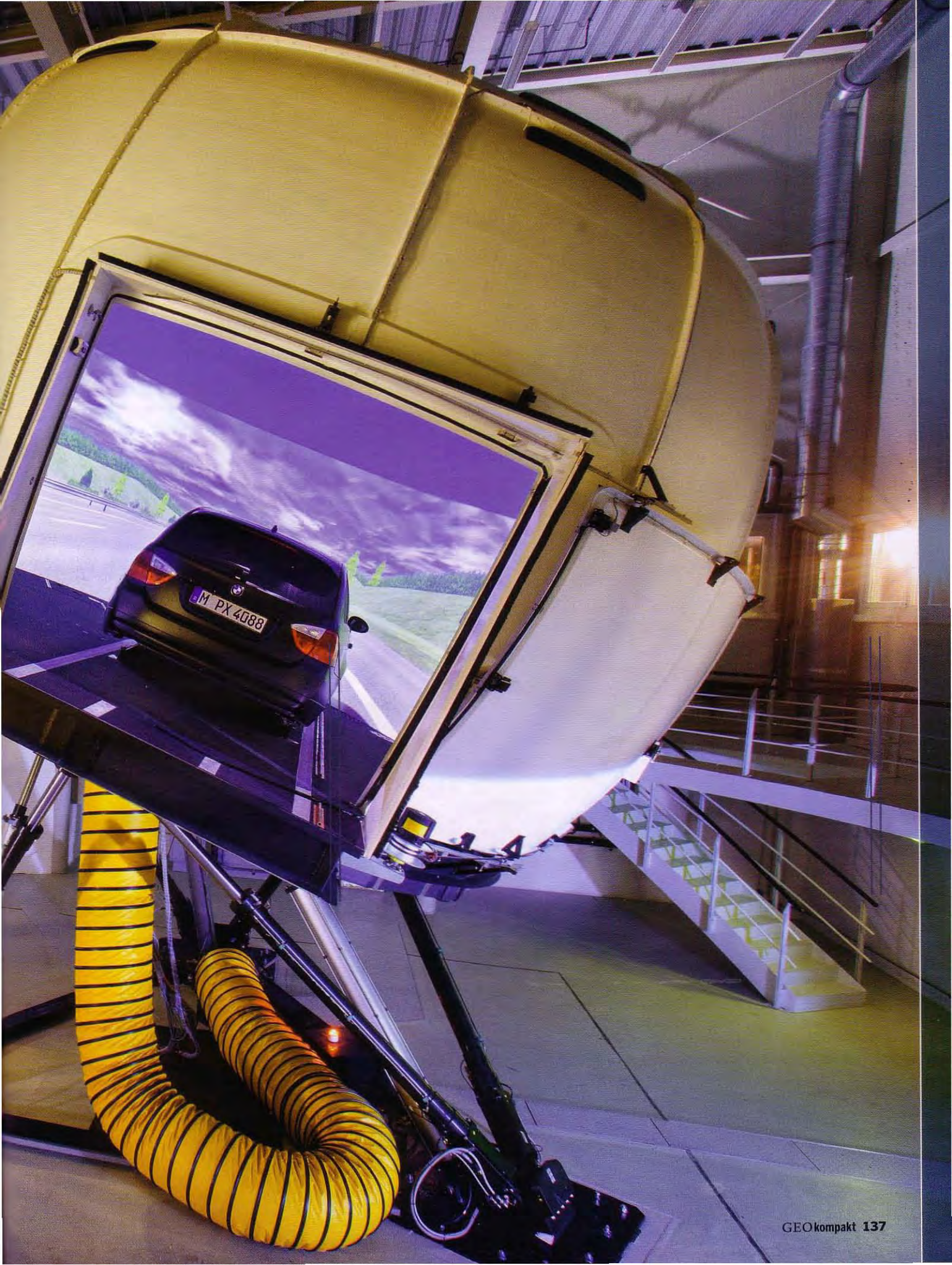
Von der Idee zum Massenprodukt

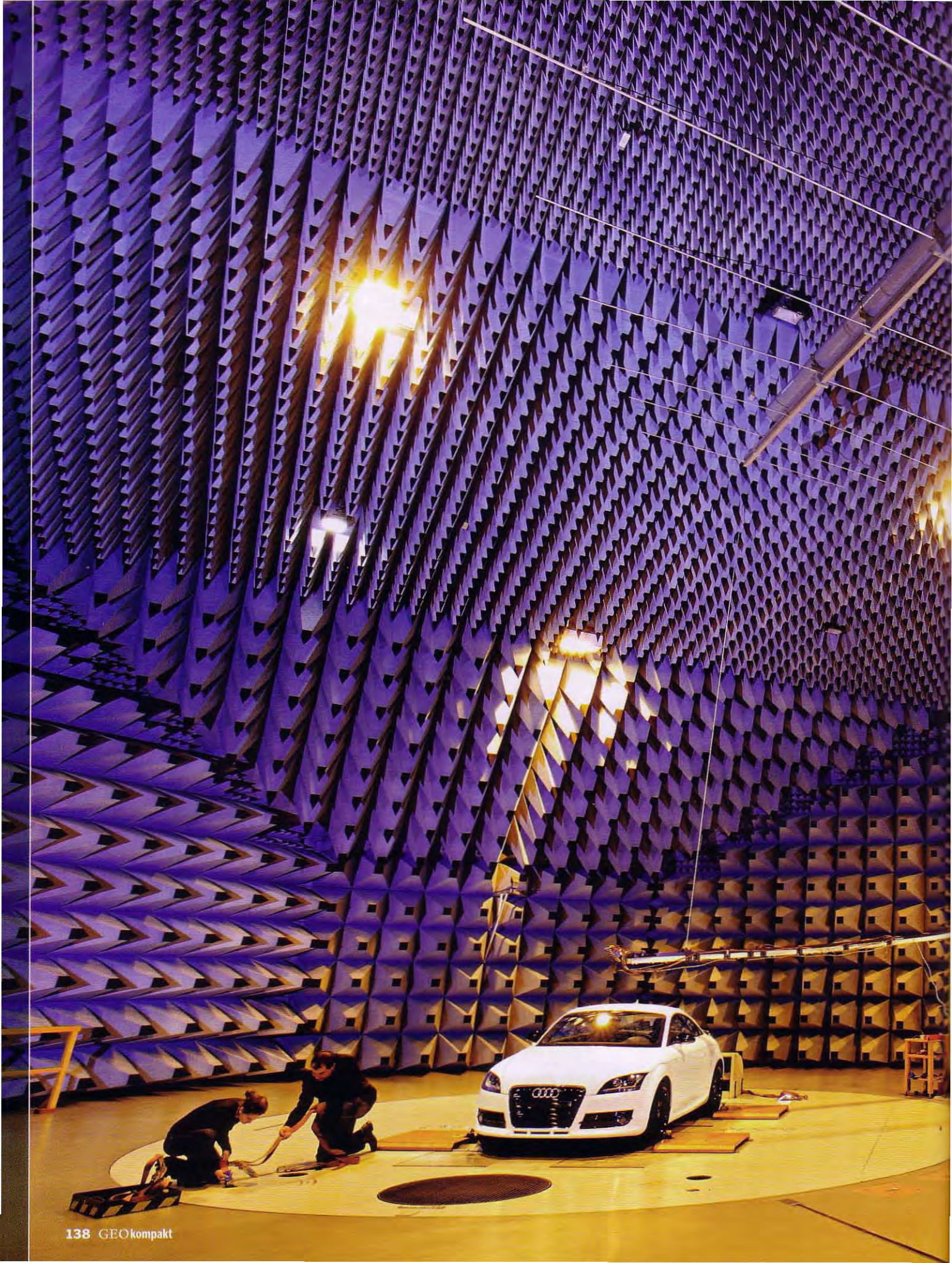
Patent DE10 2004 0064 68

800 Milliarden Euro investieren die Autohersteller von 2005 bis 2015 weltweit in Innovationen und deren Erprobung. Und manchmal dauert es 20 Jahre von der ersten Skizze bis zum fertigen Produkt. Die Geschichte des automatischen Einparksystems von VW



In diesem Fahrsimulator bei BMW in München können Ingenieure eine virtuelle Welt erzeugen, die ein Testfahrer wie eine realistische Verkehrssituation wahrnimmt – inklusive Beschleunigung oder unebener Straße







Die Elektronik eines Autos testen Ingenieure – hier bei Audi in Ingolstadt – auf Zuverlässigkeit, indem sie etwa per Antenne (im Bild rechts) elektromagnetische Störwellen aussenden. Damit die Ergebnisse nicht durch deren Reflexionen und äußere Einflüsse verfälscht werden, ist das Labor mit speziellen Wänden abgedämmt

Text: Malte Henk

Fotos: Thomas Ernting; Marc Steinmetz



Einparken gehört zu den Dingen, die Autofahrer eher widerwillig erledigen. Einparken bedeutet Alltagsstress, vergeudete Lebensenergie. Jeder dritte Schadensanspruch an eine Autoversicherung stammt von Einpark-Opfern. Einparken nervt.

Einparken ist eine Herausforderung.

Vor gut 20 Jahren dachten einige Ingenieure bei Volkswagen in Wolfsburg über das „Auto von morgen“ nach – eine Spielerei, ein Spektakel der Machbarkeit, befreit von allen Kosten-Nutzen-Rechnungen.

In der Abteilung für Forschung und Entwicklung schrieben sie Listen: Was wollen wir? Direkteinspritzenden Benzinmotor. Flügeltüren. Gut. Was noch? LCD-Displays. Lenkbare Hinterräder. Elektromechanische Lenkung.

Wie nennen wir unser Auto? Futura.

Und Dr. Bernd Richter, Abteilungsleiter Fahrzeugtechnik-Theorie, dachte weiter nach. Elektromechanische Lenkung: Wir bauen also einen Motor an die Lenksäule; wir wollen ja die Hydraulik abschaffen, diese schwerfällige Lenkhilfe. Und warum lassen wir unser Auto dann nicht auch gleich automatisch in Parklücken fahren? Ganz von selbst, ohne Fahrer. Das wäre ein Hingucker! Wir müssten dafür nur einen Lenkmotor mit den richtigen Informationen füttern.

Kümmern Sie sich darum, sagte Richter zu Eckhard Babbel, einem Tüftler von damals Anfang 30, der über die nötige Besessenheit verfügte.

In Wolfsburg arbeiten heute 8000 Menschen daran, neue Volkswagen zu erdenken. Die gesamte Autobranche pumpt zwischen 2005 und 2015 schätzungsweise 800 Milliarden Euro in ihre Abteilungen für Forschung und Ent-

wicklung; mit solchen Summen lassen sich Irak-Kriege führen.

F & E-Abteilungen kosten so viel, weil ihr Daseinszweck nicht nur darin besteht, Einfälle zu erzeugen. Einfälle hat jeder. Aber die Einfälle in Bestandteile zu zerlegen, sie von allen Seiten zu begutachten und möglichst billig in den Produktionsprozess einzuspeisen – das lässt sich nur im Kollektiv erledigen.

Verschwunden also der alte Glamour des Erfindens, das einsame Versinken in der Fragestellung, diese Spannung zwischen Verzweiflung und dem Heureka-Erlebnis, das nur dem Genie gehört.

Viel zu groß sind heute die Bibliotheken des technischen Wissens, viel zu umfangreich die Folgen alles Neuen. Erfinden ähnelt längst einer Diskussionsveranstaltung; einer gruppendynamischen Erfahrung mit offenem Ausgang.

Deswegen dreht sich der Alltag dieser Denk- und Testfabriken selten um Ideen.

Gebäude E111.

Hier arbeiten die
Tüftler und Grübler

Sondern um Ideensplitter. Wie bei Physikern, die Atome analysieren, weil sie das Universum interessiert.

Manchmal fügt sich dabei tatsächlich nach Jahren oder Jahrzehnten aus einer chaotischen Ursuppe des Planens und Werkelns, des Streitens und Verhandelns ein Stück Auto zusammen. Eine Audi-Karosserie aus leichtem Aluminium. Ein endlich brauchbarer Rußpartikelfilter wie der von Peugeot. Ein Sicherheitssystem, das von selbst bremst, wenn ein Mercedes auf ein Hindernis zurast.

Oder eben die automatische Einparkhilfe, die VW seit 2007 verkauft.

Hier ist, in sechs Akten, die ganz normale Geschichte einer Erfindung im Zeitalter der Massenmotorisierung.

FORSCHUNG I: SPIELEREIEN

„Als kleiner Junge“, sagt Eckhard Babbel, „konnte ich alle Automarken am Klang des Auspuffs erkennen.“ Da sitzt er nun in seinem Büro: ein 53-jähriger GTI-Fahrer mit Brille und Lederjacke, erfüllt von

schüchternem Stolz. An seiner Jeans baumelt der Hausausweis, vor dem Fenster erstreckt sich der Mitarbeiterparkplatz. Babbel ist da, wo er immer sein wollte.

Gebäude E 111, Konzernforschung. Ein kleiner Punkt nur auf dem verzweigten Plan des Werksgeländes, aber mit eigenem Sicherheitstor. In diesem Büroklotz aus rotem Backstein sind 555 Grübler und Tüftler daheim. Hier darf gesponnen werden; um den Realitäts-Check kümmern sich später andere.

Das Abenteuer Forschung: Es macht sich fast unsichtbar. Block E 111 wirkt wie der Verwaltungstrakt eines Elektronik-Marktes, mit billiger Teppichware und Männern in bunten Hemden, die am Computer arbeiten.

Nebenan in der Werkstatt, einer aufgeräumten Halle mit Hebebühnen und Schreibtischen, bauen langhaarige Mechaniker die Technik von morgen in die Golfs und Passats von heute ein, Popmusik dröhnt. Hier ist alles sehr cool, sehr gelassen. In dieser Halle entstand zum Teil auch der Futura. Das Auto von morgen, Eckhard Babbels Bewährungsprobe.

Damals ersann Babbel die Grundzüge des automatischen Einparkens.

Das Auto würde an einer Parklücke vorbeifahren. Dabei würden Sensoren die Lücke vermessen, in diesem Fall per Laser; sie würden die Informationen an einen Computer senden; der würde einen Motor an der Lenksäule steuern. Während des Rangierens ließe sich die Position des Autos über Sensoren an den Rädern bestimmen. Die messen jede Umdrehung der Räder und gehören zum Antiblockiersystem.

So weit die Pflicht. Dann die Kür: ein weiteres Steuergerät für die Hinterachse, dazu ein Motor – beim Futura sollten ja alle vier Räder gelenkt werden. Er würde sich im Zickzack in die Parklücke schieben, vor – zurück, vor – zurück. „Wegen des Showeffekts“, erklärt Babbel.

Er hatte über ein Jahr lang geschuftet, als Frank Elstner im Oktober 1989 die Öffentlichkeit in der Sendung „Nase vorn“ mit dem Auto von morgen bekannt machte. Großer Erfolg. Babbel reiste um die Welt. São Paulo. Buenos Aires. Tokyo. In New York sperrten sie eine Straße, damit er einparken lassen konnte.

Heute steht der Futura im Museum, drüben in der Autostadt. Und Eckhard

Babbel kümmert sich längst um anderes. Fahrbahnreibwert-Erkennung: Lässt sich anhand der Raddrehzahlen sowie der Antriebs- oder Bremskräfte berechnen, wie vereist eine Straße ist? So könnten Fahrer rechtzeitig gewarnt werden – und eine automatische Abstandsregelung würde die Distanz zum Vordermann erhöhen.

„Reine Grundlagenforschung“, betont Babbel. Aber man kann ja nie wissen.

FORSCHUNG II: NEUSTART

Forscher sind selten nervös. Auch in Industriekonzerne gilt das „Trial and error“-Prinzip: Was klappt, ist gut; was nicht funktioniert, liefert zumindest neue Erkenntnisse.

Diese Freiheit beruhigt; sie macht immun gegen Hektik. In E 111 ist von einer Krise des Fortbewegungsmittels Automobil nichts zu spüren. Die Forscher erledigen ihren Job, und sie wissen, sie erledigen ihn gründlich.

Heute gilt die VW-Forschung neben der von Mercedes-Benz als die beste im Land, aber das war nicht immer so.

Denn der Mythos Volkswagen gründete auf einem Auto, dessen Bauplan gegen Gesetze der Vernunft verstieß: Der Käfer, sagen Historiker, habe es mit seinem Heckmotor geschafft, dass die Massenkundschaft Jahrzehnte zu spät sichere Kleinwagen bekam. Hauptsache, er lief und lief und lief. „Da weiß man, was man hat“, lautete damals die Werbebotschaft aus Wolfsburg.

Öde, konservative Zeit. In der Konzernforschung erinnern sie sich daran wie an einen langweiligen Uralt-Film. All die schönen Dinge aus dem Futura: gut als PR-Gag, aber dann – verschlafen.

Die Konkurrenten brachten sie zuerst auf den Markt: den direkt einspritzenden Benzinmotor, den es schon im Futura gab, die elektromechanische Lenkung. Auch das Elektronische Stabilitätsprogramm, das so viele Leben rettet, hätte VW früher als Mercedes verkaufen können. „Wir waren so weit“, sagt einer der Forscher.

Und: „Wir haben schon 1981 mit Navigationssystemen experimentiert. Das war revolutionär!“

Wenn sich die Manager mit ihren Zukunftsideen auf den Markt trauten, dann schüchtern, als schämten sie sich. Der Drei-Liter-VW Lupo. Der Audi Duo,



Eine neue Generation des Einparksystems wird seit 2007 getestet. Sie soll ein Auto per Kamera und Ultraschall rückwärts in enge Querlücken manövrieren, etwa in Parkhäusern (Montage)

bis heute das einzige Hybridauto eines deutschen Herstellers. Die Ecomatic-Reihe. Nichts davon hielt durch.

Diese konservative Epoche endete Anfang dieses Jahrtausends, als klar wurde, dass die Welt nicht jedes neue Auto bejubeln würde, nur weil es von VW kam.

Inzwischen stellen die Forscher ihre Arbeit auf internen Messen vor, und die Manager haben einen Slogan ausgerufen: „Demokratisierung von Innovationen“ – wir machen Neuheiten, eigene und fremde, als Erste der Massenkundschaft zugänglich, soll das bedeuten.

Wir haben uns nicht zu verstecken! Unsere elegante, Sprit sparende Dieselelektronik: vorzeigbar. Und beim Elektroantrieb beginnen in Deutschland sowie so alle das Rennen von vorn, weil alle die erste Runde verpasst haben.

Natürlich, bei VW werden auch künftig manche Wege im Nichts enden. Wie vor sechs Jahren bei der „Steer by Wire“-Technik – weshalb sollte man die Lenksäule abschaffen und nur noch über Kabel steuern? Klassischer Fall von *over-engineering*, einer Überzüchtung durch

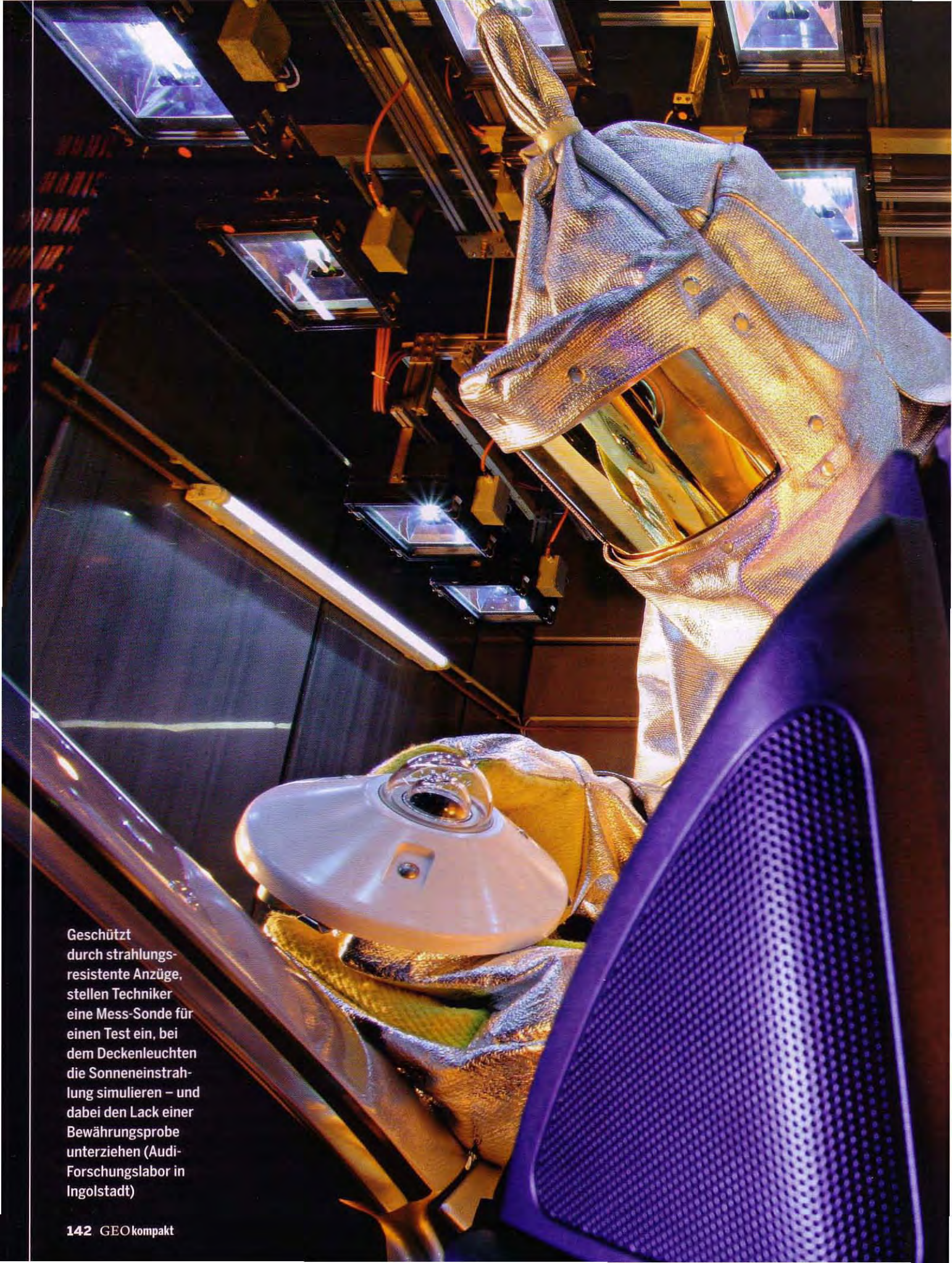
Ingenieure, deren Realitätssinn vom Rausch des Machbaren getrübt wurde.

Macht nichts, sagen sie. Hat zwar viel Geld gekostet, gehört aber zum Spiel und ist zu verkraften, solange an den Computern von E 111 immer wieder Wunder entstehen wie das Direktschaltgetriebe, bei dem zwei Kupplungen, intelligent miteinander verbunden, zusammenwirken.

Ein Kulturbruch: VW schritt voraus, BMW und Mercedes mussten nachziehen. Kulturbruch Nummer zwei: das automatische Einparken.

„Wenn sich deutsche Ingenieure unterhalten, werden sie gefährlich“, soll ein Toyota-Manager einmal gesagt haben. Im Winter 2002 saßen sie zusammen in Schweden, nahe Arjeplog, es war dunkel und kalt am Polarkreis. Tagsüber fuhren sie Autos über ihre Teststrecke, einen Eissee. Abends redeten sie über Vergangenes und Zukünftiges, die großen Dinge.

Die elektromechanische Lenkung werde sich schon bald durchsetzen: Mit ihr ließe sich Treibstoff sparen, etwa 0,2 Liter pro 100 Kilometer. Auch VW würde sie auf den Markt bringen. Was ließe sich daraus machen?

A photograph showing a technician wearing a silver, heat-resistant protective suit and a white face mask. The technician is positioned in a laboratory setting, working on a car. The car's body panels are visible, and the technician is using a tool to work on a specific part. The background features several bright, rectangular light fixtures mounted on a metal frame, which are used to simulate solar radiation. The overall scene is dimly lit, with the primary light source being the overhead fixtures. The technician's suit has a large, clear rectangular opening for the face, and the mask is a simple, white, dome-shaped device. The car's body is dark, and the technician's suit is highly reflective, showing the bright light from the fixtures. The perspective is from a low angle, looking up at the technician and the car's body.

Geschützt durch strahlungsresistente Anzüge, stellen Techniker eine Mess-Sonde für einen Test ein, bei dem Deckenleuchten die Sonneneinstrahlung simulieren – und dabei den Lack einer Bewährungsprobe unterziehen (Audi-Forschungslabor in Ingolstadt)



Konnte nicht damals, fragte jemand, der Futura so spektakulär parken?

Guter Gedanke. Telefonkonferenz mit Wolfsburg, noch aus Schweden: Forschungsleiter, Fahrwerk-Manager, jemand aus der Elektronik.

Bald hatte Michael Rohlfs seine erste Aufgabe. Rohlfs, ein ruhiger, überlegte Sätze formulierender 33-Jähriger, war gerade zu VW gekommen; er hatte zuvor an Flugsimulationen für Hubschrauber und Flugzeuge gearbeitet. Jetzt musste er zum Einpark-Experten werden.

Er traf sich mit Eckhard Babel, begriff aber schnell, dass er vom Futura, bei dem ja alle vier Räder lenkten, allenfalls die Grundidee übernehmen konnte.

Also testete Rohlfs Sensoren, indem er in der Forschungshalle immer wieder mit einem Wägelchen an ihnen vorbeizog, er sammelte Daten und schrieb Programme – so lange, bis eine Software und die Sensoren so gut zusammenspielten, dass die neue Technik im Vorbeifahren eine Parklücke vermessen und die Position zu dieser Lücke bestimmen konnte.

Damit hatte Rohlfs das erste von drei Problemen gelöst: die Orientierung.

Dann Problem Nummer zwei, die Bahnplanung.

Die strategische Grundfrage lautete: Wie fährt man am besten rückwärts in eine lange, schmale Lücke an der Straße? Dass es um Parken entlang des Bordsteins gehen würde, stand von Anfang an fest – weil dieses „Längsparken“ den Theoretiker vor weniger Probleme stellt als Lücken quer zur Fahrbahn, wie man sie aus Parkhäusern kennt.

„Beim Quereinparken muss ich das Auto in einen engen Zielraum exakt

mittig zwischen zwei Autos dirigieren“, sagt Rohlfs. „Da sind die Toleranzen viel enger, das ist wahnsinnig schwierig für das Einparksystem.“

Also erst einmal Längseinparken. Eigentlich simpel: scharfer Einschlag nach rechts, Gegenlenken nach links – Einparken in einem Zug.

Ständiges Konfrieren. Wie bei den Vereinten Nationen

Für diese Aufgabe existiert eine „Einparkformel“; die Medien berichten manchmal darüber. „Doch diese Formel“, kritisiert Rohlfs, „ist nur bedingt praxistauglich.“ Denn sie setze voraus, dass der Wagen exakt parallel und in einem bestimmten Abstand zu den parkenden Autos steht. Dass also das Manöver in perfekter Ausgangsposition beginnt.

Eine Utopie, ein Idealzustand.

Die Realität ist komplizierter, wusste Rohlfs. Und führte Variablen ein: Er unterteilte Schritt eins – Rückwärtsfahrt nach rechts – in drei Teilschritte. So würden auch Autos die ideale Ausgangsposition für den Umschlagpunkt erreichen, die zunächst schräg zur Lücke stünden (siehe Illustration unten).

Seine Formel, festgehalten im Patent DE102004006468, „Verfahren und Vorrichtung zum Einparken für ein Kraftfahrzeug“, dem ersten von 14 Patenten aus der Wolfsburger Einpark schmiede, erfüllt jene Anforderung, die Einstein

einst an eine gute Theorie stellte: „So einfach wie möglich. Aber nicht einfacher.“

Blieb noch das dritte Hauptproblem, die Steuerung der Lenkung. Rohlfs' Computer würde seine Fahrbefehle einem anderen Computer zwischen den Vorderrädern mitteilen, der wiederum mit einem Motor verbunden ist, welcher dann die Räder bewegt. So könnten die Einparkformeln des Ingenieurs das elektronische Lenksystem dirigieren.

Im Lauf des Jahres 2003 baute Rohlfs diese Vorrichtung in zwei Autos ein. Zuerst in einen Audi, in dem er die Software noch selbst starten musste. Dann in einen Touran, die Großraumlimousine, die gerade auf den Markt gekommen war. Diesmal schon mit einem Startknopf in der Mittelkonsole – aber die Automatik benötigte weiterhin einen großen Computer und viele Kabel im Kofferraum, um zu funktionieren.

Rohlfs hatte seine Autos bereits auf zwei internen Messen vorgeführt, als sich an einem Tag im Herbst 2003 eine kleine Gruppe auf dem Parkplatz vor E 111 versammelte. Bernd Pischetsrieder, der damalige Vorstandsvorsitzende, kam vorgefahren. „Na, dann zeigen Sie mal.“

Kurz darauf stand fest: „Wir gehen in die Vorentwicklung.“

Sie sollten prüfen, hieß das, ob sich die Automatik für das Längseinparken wirklich produzieren lässt.

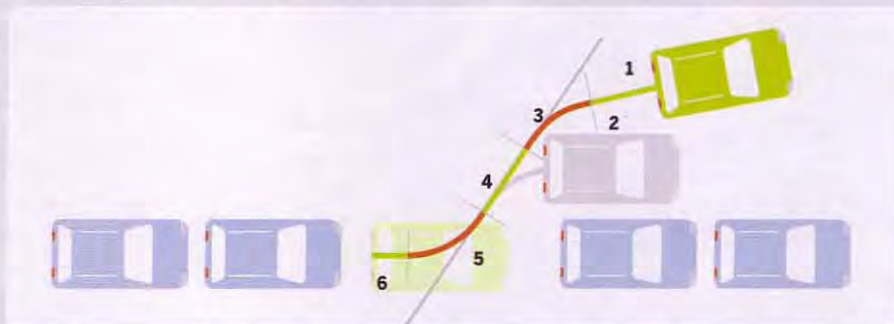
Ein Leben in der F&E ist ein Leben in „Projekten“. Eines dauert drei Jahre, vielleicht fünf; dann beginnt das nächste. Dieses war noch lange nicht beendet. Deshalb freute sich Michael Rohlfs, als seine Chefs entschieden, dass nicht nur die Einparkhilfe, sondern auch er selbst aufs nächste Level wechseln sollte.

Es schien, als sei bislang alles glatt gelaufen, wie nach einer Formel von Rohlfs. Klar war aber auch: Jetzt erst beginnt der wahre Zirkus.

ENTWICKLUNG I: ES WIRD ERNST

Eine Halle, erfüllt von stetigem Brummen und so riesig, als würden darin Jumbos gebaut. Straßenspuren sind in den Boden gezeichnet, damit sich die vielen Ingenieure nicht in die Quere kommen. Monteure radeln durch die Halle auf ihrem Weg zur Arbeit.

Neben den Straßen beugen sich Entwickler über Autos, Hunderte müssen



Das VW-System lenkt Pkw auch dann in eine Lücke, wenn sie nicht exakt parallel zum nächsten parkenden Fahrzeug positioniert sind. Der Parkassistent bringt das Auto auf eine Gerade (1), bis es die Höhe für einen Schwenk erreicht hat (2). Nach einer Kurve (3) leitet das System den Wagen erneut auf eine Gerade (4), dann in eine zweite Kurve (5), schließlich auf eine letzte Gerade (6). Wann das Auto dabei zum Stillstand kommt, bestimmt allein der Fahrer

hier stehen. Ein Scirocco in dunklem Rot, einer Farbe, die draußen noch niemand kennt. Prototypen, unsichtbar unter Planen. Ein Golf GTI mit offener Motorhaube, daneben ein Wagen der Konkurrenz – Wettbewerbsanalyse.

Michael Rohlfs läuft in Richtung Ausgang von Halle 71, vorbei an der Kältekammer, und verliert sich in den breiten Gängen des Treppenhauses. Fünf Minuten später: immer noch Treppenhaus. Rohlfs kniet nieder. Schaut aus dem Fensterschlitz. „Wie komme ich von hier zurück in Sektor 106, in mein Büro?“

Manchmal verirrt er sich noch in der Technischen Entwicklung, diesem gigantischen Bau gleich neben E 111, der Konzernforschung.

Die TE: Das ist ein Hunderte Meter langer Büroriegel, zusammengesetzt aus sechs Quadern, als hätten die Architekten eine Metapher gesucht für das Ziel, auf das hier alle hinarbeiten – die serielle Fertigung.

An den Büroriegel schließen wie Bahnsteige die Montagehallen an; Nr. 71 ist nur eine davon. Und nördlich dieser Konstruktionsstadt mit eigenem Autobahnanschluss erstreckt sich eine Testbahn.

Ein Autokonzern wie VW besteht aus zwei Welten. Da ist die Sphäre der Freien, die Man-könnte-doch-mal-Welt der Forscher. Dann die So-und-nicht-

anders-Welt der Produktion, die durchregulierte Sphäre der Fließbänder. (F & E stehe für „Freizeit und Erholung“, lästern die Arbeiter dort.)

Die TE verbindet diese beiden Welten. Sie verwandelt Ideen in Massenprodukte; hier entsteht die Zukunft von Volkswagen. In der Forschung können sie es sich leisten, 15 Jahre nach vorn zu blicken, eher vage allerdings. Die Entwickler schauen drei, maximal fünf Jahre nach vorn, dafür aber konkret.

Man braucht die Richtigen dafür, Männer mit Klarsicht und Durchsetzungskraft. Michael Rohlfs, der Neuling, kannte noch nicht alle Regeln dieses Spiels. Als Anfang 2004 die Entwicklung der Einparkhilfe begann, war er zwar weiter beteiligt. Aber die Hauptrolle spielten nun andere.

Volkmar Schöning ist 37 Jahre alt und Anzugträger, ein Ingenieur für Kraftfahrzeugtechnik, der präzise weiß, was er will. „Nicht das Beste der Welt. Sondern das Bestmögliche bezahlbar.“

Vorentwicklung. Ziel: eine Beschlussvorlage zu erstellen – „das System lässt sich für dieses Auto zum Preis x, in der Ausführung y ab dem Zeitpunkt z produzieren“.

Dazu ein „Lastenheft“, eine exakte Beschreibung der Sensoren sowie des elektronischen Steuergeräts, des Herrn über das Parkmanöver.

Schöning organisierte sich als „Versuchsträger“ zwei Touran. Er las das „PEP-Handbuch“ – jene Online-Schrift, halb Dschungelführer, halb Bibel, die Autoentwickler mit heiligem Ernst studieren: Es verzeichnet alle Schritte im „Produktentstehungsprozess“ eines kompletten Autos.

Dann legte Schöning los.

Wie viele Menschen letztlich daran beteiligt waren, die Einparkhilfe zu entwickeln, kann niemand sagen, auch Volkmar Schöning nicht. Er begann mit zwei Mitarbeitern, einer von ihnen war Michael Rohlfs. Aber jetzt begann das Projekt „Parklenkassistent“ (PLA) Kreise zu ziehen wie ein ins Wasser geworfener Stein. Denn Schöning betrat nun die „Schnittstellen“-Hölle.

Schnittstellen sind Punkte, an denen ein System wie der PLA mit anderen Systemen wechselwirkt: Wo können wir den Auslöseknopf anbringen? Welche Signale senden die Bremsen?

Warum wehrt sich die Lenkung immer noch mit Geräuschen gegen unsere Automatik? Wie bauen wir das Steuergerät ein, wo die Sensoren? Welche Kanäle belegen wir auf dem BUS-System, dem Daten-Highway des Autos?

Für alle diese Systeme existieren, irgendwo in der TE, eigene Zuständige, eigene Abteilungen. Mit ihnen muss



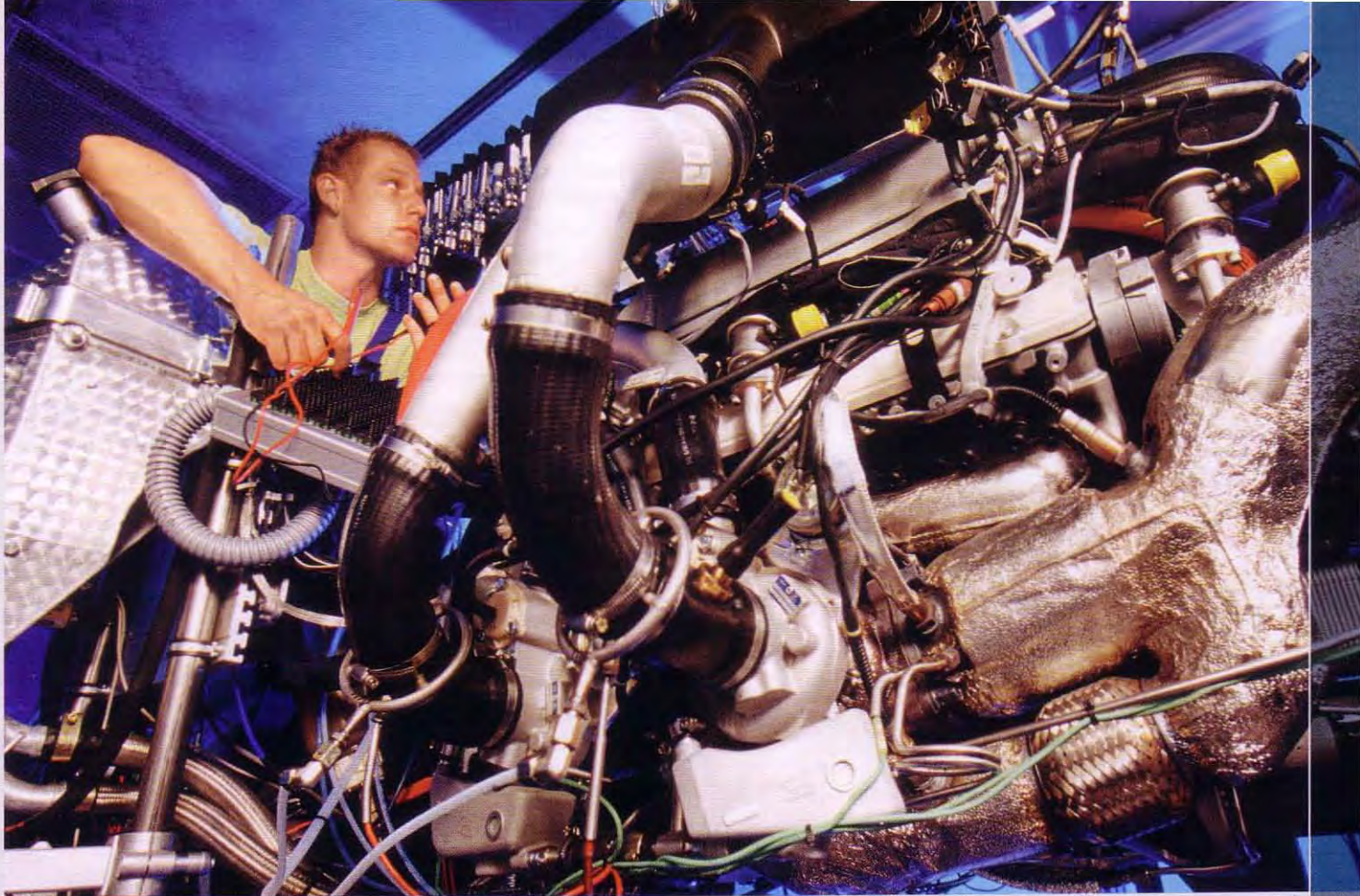
Mithilfe von Modellautos testen die Wolfsburger Ingenieure, wie Sensoren (etwa ein Radargerät) und die borgelegenen Steuersysteme miteinander harmonisieren, wenn sie ihnen Hindernisse (oben rechts, aus rotem Schaumstoff) in den Weg stellen



▲ Designer gestalten die Instrumentenanzeigen des Bugatti Veyron 16.4 aus dem VW-Konzern (Montage). Allein in Wolfsburg arbeiten 8000 Menschen an der Entwicklung neuer Fahrzeuge

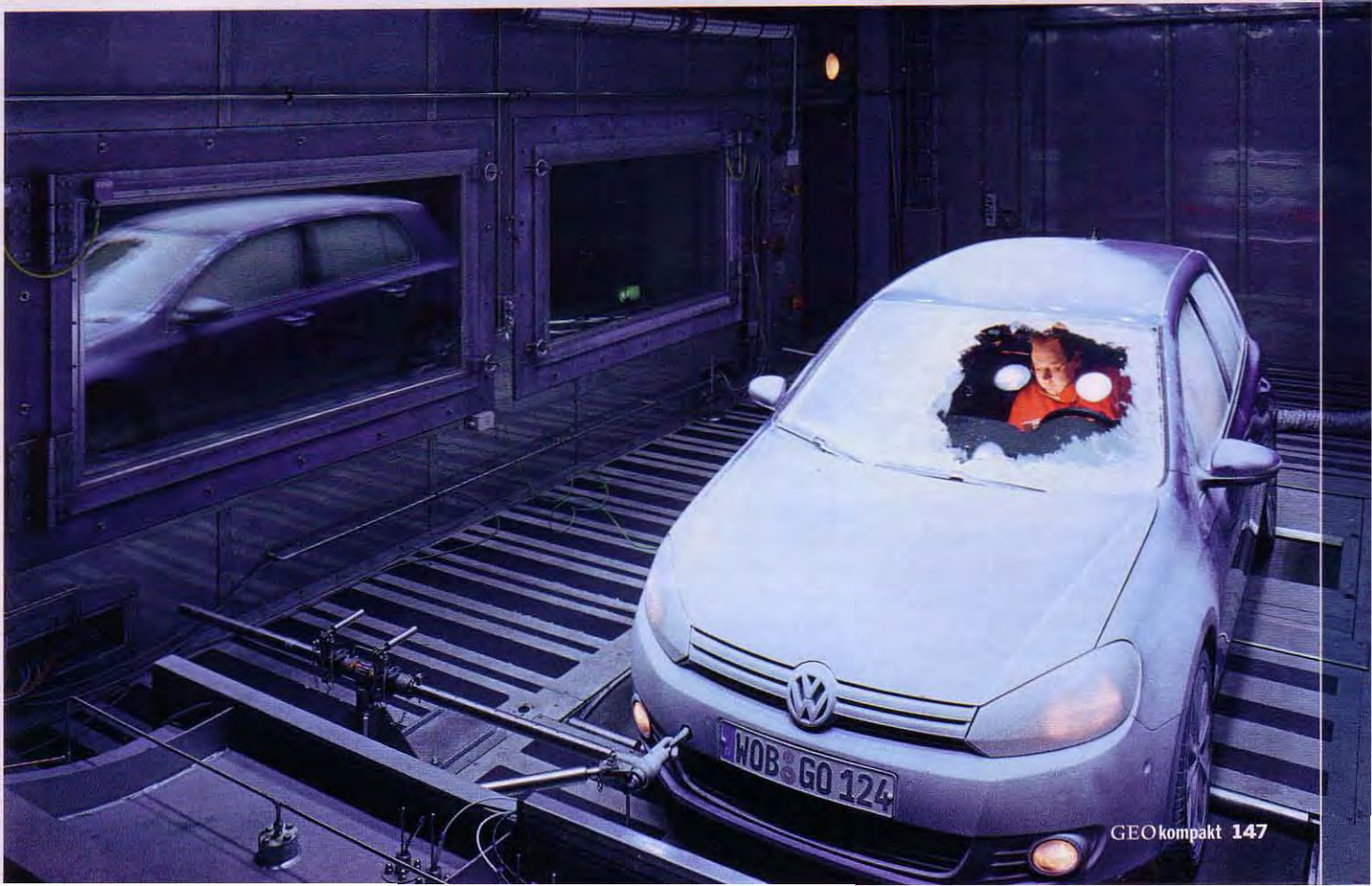
▼ Die Bedienung eines neuen Cockpits erproben BMW-Techniker heutzutage zuerst in einer Verkehrssimulation, bei der eine virtuelle Computerwelt an einem Testfahrer vorbeizieht

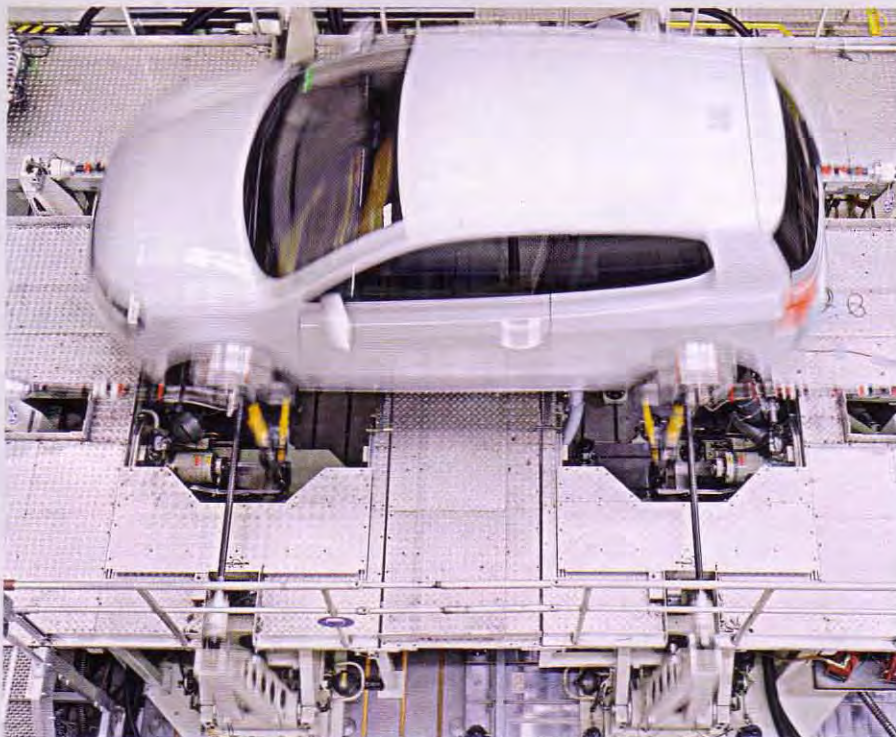




▲ Der 1001 PS starke Motor des Bugatti Veyron 16.4 wird auf einem Prüfstand unter Dauerbetrieb getestet. Sechs Jahre dauerte die Entwicklung von Triebwerk und Karosserie des Sportwagens

▼ Ein VW Golf im Stresstest: Die Klimakammer kann Temperaturen von 40 Grad Celsius unter null sowie Winde von 180 km/h erzeugen und eine Höhe von 3000 Metern simulieren





Auf diesem Prüfstand erproben Techniker in Wolfsburg, wie Karosserie, Anbauteile und Achsen dem Gerüttel einer Langzeitbelastung standhalten – unter nahezu realistischen Bedingungen einer Testfahrt auf unterschiedlich guten Straßen

man sprechen. Muss ihre Expertise einholen, muss sie bauen und probieren lassen für das eigene Projekt. Und zu verstehen geben, dass es Priorität genießt.

Aber so viele Projekte genießen Priorität. Es ist wie bei den Vereinten Nationen: ein ständiges Verhandeln und Konferieren, aber am Ende müssen alle Beschlüsse umgesetzt werden.

Das Jahr 2004 war fast vorüber, als Volkmar Schöning eines Tages, schwitzend vor Aufregung, das Designzentrum betrat, einen hässlichen Plattenbau zwischen E 111 und TE.

Zwei Kontrollen, Schöning musste sein Mobiltelefon abgeben, dann stand er in einem Saal, groß, hell, klimatisiert. An einem Konferenztisch saßen die obersten Häuptlinge dieses Monstrums, das sechs Millionen Autos im Jahr ausspeit.

Die Produktstrategiekommission. Mit am Tisch: der gesamte Vorstand von VW.

Zehn Minuten redeten die Vorstände über Schönings Beschlussvorlage. Er selbst kam gar nicht zu Wort.

Bis wann könnte die Entwicklung fertig sein? Für welche Baureihen taugt sie? Ist das nicht eher etwas für Frauen?

Gelächter. Dann unterbrach der Vorstandsvorsitzende das Palaver: „Meine

Herren! Wir wollen das doch machen, oder?“

Die Runde beschloss, den PLA für die nächste Generation des Touran anzubieten. SOP, *Start of Production*: elfte Kalenderwoche 2007.

Einige Zeit später bekam Schöning die Chance, noch einmal mit dem Konzernchef zu sprechen: „Herr Pischetsrieder. Diese Einparkwitze treffen nicht zu. Wir haben dazu eine Studie gemacht. Es stimmt, Männer parken besser ein als Frauen, aber die Differenz ist marginal. Viel größer sind die Unterschiede zwischen Stadt und Land.“

ENTWICKLUNG II: DER WEG AUF DIE STRASSE

Man könnte das soziale Prinzip, nach dem bei Volkswagen Neues in Autos gebracht wird, als „Wochenmarkt-Prinzip“ bezeichnen.

Da sind, auf der einen Seite, die Spezialisten; sie bieten Äpfel, Birnen oder Tomaten an. Und da sind Leute wie Volkmar Schöning, eilige Spitzenköche, die von Stand zu Stand hasten, auf der Suche nach den vielen Zutaten, die sie brauchen, um rechtzeitig ihr genau abgestimmtes Gericht zuzubereiten.

Mit anderen Worten: Männer wie Schöning müssen sich die einzelnen Komponenten von den verschiedenen Abteilungen oder Zulieferern ausführen, einbauen, umbauen und testen lassen. Und sind am Ende dafür verantwortlich, dass alles gut zusammenpasst.

Der Politologe Ulrich Jürgens vom Wissenschaftszentrum Berlin hat weltweit F & E-Abläufe erforscht. „In Japan, etwa bei Toyota oder Nissan, setzen die Entwickler stark auf Kooperation und Harmonie“, sagt Jürgens. „In den USA haben sie Prozesse verschlankt, indem sie die Hierarchien stark abgeflacht haben: Bei Chrysler arbeiten alle Entwickler eines Autos gemeinsam auf einem Stockwerk in gläsernen Büros.“

In Deutschland, sagt Jürgens, stehe wie nirgendwo sonst das Fachliche im Vordergrund. „Bei VW oder Mercedes betreten sie mit jedem Entwicklungsschritt eine neue Welt, mit lauter Spezialisten, die ihre eigenen Regeln und Überzeugungen haben. Das kann gut sein: Es produziert Qualität – aber eben auch Reibereien, Stress, Zeitverlust.“

So hat die große Tradition des deutschen Ingenieurwesens ihre eigene Organisationsform hervorgebracht: die Behörde der Innovation, mit absurd vielen Sektionen und verschlungenen Hierarchien.

In der F & E von Wolfsburg wissen sie oft selbst nicht, wem sie angehören. Der Unterabteilung Fahrdynamik? Der

Wie erkennt der Computer, wohin das Auto fährt?

Hauptabteilung Forschung, Elektronik und Fahrzeuge?

„Ändert sich ja ständig“, sagt einer.

Und wenn nun jemand wie Volkmar Schöning Probleme hat mit einem Kollegen vom Fahrgestell, der sich weigert, ein bestimmtes Teil, ohne das die Einparkhilfe nicht funktioniert, einzubauen und zu testen? „Dann lasse ich das Problem eskalieren“, sagt Schöning.

Zum Beispiel das Zulieferer-Problem beim PLA: Denn natürlich stand fest,

dass die Wolfsburger ihre Sensoren und Steuergeräte nicht selbst konstruieren würden. Dafür brauchten sie Spezialisten. Sie verhandelten lange mit Bosch. Guter Partner, erfahren und zuverlässig, nicht ganz billig allerdings.

Aber man kann ja eine zweite Front aufbauen. Kann mit Valeo reden, einem dieser unsichtbaren Riesen der Automobilindustrie, 58 400 Mitarbeiter, 9,7 Milliarden Euro Jahresumsatz.

Valeo machte ein besseres Angebot – sollte man also Bosch düpieren? Als Ende 2004 der Streit darüber längere Zeit andauerte, setzte Volkmar Schöning

die Vorgaben aus Wolfsburg in einen leichten, schwarzen Kasten, mit 40 Pin-Anschlüssen und einem 16-Bit-Mikrocomputer – das Steuergerät.

Dazu die Sensoren, je einer für jede Fahrzeugseite, anzubringen in den Stoßfängern. Sie würden mit Ultraschall arbeiten. Einer billigeren Technik, weniger elegant zwar als Radar oder Laser, aber brauchbar und, vor allem, kompatibel mit einem bereits bestehenden System: der bloßen akustischen Parkhilfe – sie funktioniert ebenfalls mit Ultraschall.

Nicht, dass es keine Schwierigkeiten mehr gegeben hätte. Diese zum Beispiel:



Die Einpark-Tüftler (v. l. n. r.): Formelfinder Michael Rohlf, Projektleiter Ulrich Wuttke, Prototypen-Konstrukteur Eckhard Babel, PAUL-Entwickler Daniel Mossau und Richard Auer

bei dem Projekt alle „Ampeln auf Rot“. Eskalation! Schöning informierte den Vorstand – und plötzlich ging alles ganz schnell: Die Wahl fiel auf Valeo.

Das Jahr 2005 brach an. Mehr als 24 Monate war es jetzt her, dass Michael Rohlf begonnen hatte, über das Einparken nachzudenken.

Volkmar Schöning rutschte eine Karrierestufe nach oben: Unterabteilungsleiter, mit Personalverantwortung und der Aufsicht über neue, andere Projekte. Sein Kollege Ulrich Wuttke sollte die Entwicklung nun bis ans Ende treiben.

Und dann, ein technisches Schöpfungswunder, materialisierte sich langsam, was so lange nur in Form von Computerprogrammen und behelfsmäßigen Bauteilen existiert hatte: Bei Valeo in Bietigheim verwandelten 30 Ingenieure

Woher weiß der Computer, ob das Auto gerade vorwärts oder rückwärts fährt? Ratlosigkeit. Die Raddrehzahl- und Beschleunigungssensoren liefern dafür nicht immer genügend Anhaltspunkte.

Aber es gibt ja noch den Sensor für die Gierrate, er misst die Bewegung des Fahrzeugs um die eigene, vertikale Achse. Aus diesen drei Informationsquellen kann eine Software dann die Fahrtrichtung zusammenrechnen.

Verantwortlich für das PLA-Projekt war nun Ulrich Wuttke, ein Ingenieur für Automatisierungstechnik, der gut zuhören und Dinge auf den Punkt bringen kann – eher ein Manager des Wissens als ein Tüftler.

Wuttke arbeitete sich in die technischen Details ein, saß oft in Meetings. Redete mit Leuten vom Controlling, aus

der Beschaffung, der Produktion: über Preise, Liefertermine, Einbauraten.

Er arrangierte Testfahrten für den Vertrieb, damit der begriff, dass hier Besonderes entstand, das sich besonders bewerben ließ. Und organisierte eine „Kundenklinik“, bei der 150 Probanden zu ihren Einparkwünschen befragt wurden.

Wären sie verärgert, wenn ihnen die Automatik eine Parklücke anböte, obwohl es sich dabei um eine Ausfahrt handelt? Wie viel würden sie für das System ausgeben wollen?

Und vor allem: Welchen Abstand zum Bordstein würden sie tolerieren? Der Test am Kunden ergab: Auch einige Zentimeter mehr Abstand galten als unproblematisch.

Es kam der klirrend kalte Wintermorgen, an dem Ulrich Wuttke und Volkmar Schöning zum VW-Testgelände nördlich von Wolfsburg fuhren.

Sie nahmen die Plane ab, die den ersten Prototyp bedeckte, sie liefen um diesen orangefarben lackierten Touran herum. Tasteten, schauten. Hatten ein Geschenk bekommen.

Sie fuhren an einer Lücke vorbei, die sie aufgebaut hatten, und drückten den Knopf. Die Anzeige blinkte wie eine Versprechung: „Lenkeingriff aktiv! Umfeld beachten!“

Das Lenkrad drehte sich nach verborgenen Gesetzen, der Touran fuhr rückwärts, dann war die Lücke keine Lücke mehr.

Ein Jahr noch bis zum Produktionsstart. Wuttke und Schöning wussten, nun würde die Abenteuerzeit der Erprobung folgen. Sie selbst, heimlich nachts in fremden Städten, auf Kopfsteinpflaster oder im Pulverschnee. Später zehn Versuchswagen, darin jeweils zwei Profitestfahrer – wochenlanges Einparken, wieder und immer wieder.

Sie hatten es geschafft, das wussten Wuttke und Schöning jetzt auch.

MARKETING:

DIE INNOVATION ALS METAPHER

Heute können etwa 45 000 VW automatisch einparken. Der PLA kostet – je nach Fahrzeugtyp und Ausstattung – zwischen 100 und 750 Euro extra.

Gut 60 Prozent aller Neuheiten im Autobau, schätzen Experten, basieren

inzwischen auf elektronischen Systemen – in einem durchschnittlichen Golf stecken mehr als 30 intelligente Steuergeräte, etwa für den Airbag, die Klimaanlage, das Navigationssystem, die Fensterheber, das Bordnetz, das Bremsen und Lenken und die Fahrsicherheit.

Und das ist ein Problem: Wie soll man der Welt noch zeigen und erklären, was diese hochkomplexen kleinen Biester alles leisten können?

Es liegt an der Verkomplizierung des Technischen, dass das automatische Einparken so wichtig ist.

Und deshalb spielte der PLA in den folgenden Werbespots die Hauptrolle: Auto fährt von selbst in Lücke – spektakulär! So scheinbar einfach, so leicht! Eine Innovation als Metapher für alle

Für die Ingenieure
ist die Welt ein
einziger Parkplatz

anderen Innovationen. Genau wie 1989 beim „Auto von morgen“, dem Futura.

Die Kritiken in den Autozeitschriften waren enthusiastisch. Lediglich einige Tester monierten, dass der benötigte Freiraum von jeweils 70 Zentimetern nach vorn und hinten recht breit bemessen sei. In so eine große Lücke, hieß es, könne ein geübter Autofahrer letztlich auch allein einparken.

Aber nicht jede neue Erfindung verbessert gleich das Bestehende. Die ersten Automobile fuhren langsamer als Kutschen. Hauptsache, die Evolution schreitet voran.

FORSCHUNG III: BLICK NACH VORN

Richard Auer und Daniel Mossau steigen in ihr Auto, einen schwarzen Passat, den sie PAUL nennen: Parkt Allein Und Lenkt.

Sie fahren durch Wolfsburg, diese Stadt, die wie kaum eine andere von und mit dem Automobil lebt; vorbei an den Fertigungshallen des VW-Werks, an der riesigen Aral-Tankstelle, der „Blauen Lagune“, wo sich die Schichtarbeiter treffen. Hinein ins Parkhaus der Shoppingmall.

„Ich schalte das System an“, sagt Mossau.

Sie sind jetzt die Einparkhelden der Konzernforschung: Der Elektrotechnikingenieur Daniel Mossau, 32 Jahre alt, und Richard Auer, der 37-jährige Astrophysiker, der über die Entwicklung von Galaxien promoviert hat.

Ihre Abteilung heißt „Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit“. Es geht darum, in ungemütlichen Situationen für den Fahrer das Fahren zu übernehmen, beim Überqueren einer Kreuzung etwa, bei langen Reisen auf der Autobahn. Oder eben beim Einparken.

Sollten in etwa 40 Jahren tatsächlich weite Teile des Individualverkehrs automatisiert sein, dann auch dank der Erkenntnisse aus der Einparkforschung.

Sie arbeiten mit Videokameras. Die sehen genauer und weiter, produzieren aber unfassbar große Datenmengen. In Wolfsburg, im Parkhaus, sitzt Daniel Mossau mit seinem Laptop auf dem Rücksitz, Richard Auer fährt, und die Kameras, angebracht in den Seitenspiegeln, filmen die Parklücken. Neues Analysematerial für den Computer.

Später steht der Passat auf einer Anhöhe, auf einem dieser Wolfsburger Parkplätze mit vielen Volkswagen. Hier lassen Auer und Mossau PAUL manchmal üben, wenn sie keine Lust haben, extra ins VW-Werk zu fahren.

Sie steigen aus. Auer hält den Schlüssel gedrückt. PAUL ruckelt und zuckelt ein wenig, nach vorn und nach hinten, als wisse er nicht, was er tun soll. Aber dann rollt er schräg nach hinten in eine enge Lücke, wie man sie in Parkhäusern oft findet.

Quereinparken: das nächste große Ding.

In der Ferne schimmert die Fassade der Technischen Entwicklung, am Fuß der Anhöhe fließt der Verkehr über die Schnellstraße, und mit den Augen Richard Auers oder Daniel Mossaus betrachtet, scheint die ganze Autowelt dort unten ein einziger großer Parkplatz zu sein. □

GEO-Reporter **Malte Henk**, 32, hat für GEOkompakt zuletzt ein für Laien ähnlich hermetisches Thema bearbeitet: die Welt der CERN-Forscher. Die Fotografen **Thomas Ernsting**, 49, aus Bonn und der Hamburger **Marc Steinmetz**, 44, sind mehrfach preisgekrönt und zählen zu den besten Wissenschaftsfotografen.

DIE AUTOREN DER KURZPORTRÄTS

Ernst Artur Albaum
Jörn Auf dem Kampe
Ralf Berhorst
Jürgen Bischoff
Dr. Henning Engeln

Gesa Gottschalk
Rainer Harf
Dr. Christian Heinrich
Ute Kehse
Katharina Kramer

Johannes Kückens
Dr. Arno Nehlsen
Martin Paetsch
Cay Rademacher
Alexandra Rigos

Christina Schneider
Jens Schröder
Jens Uehlecke
Bertram Weiß
Sebastian Witte

Bildnachweis/Copyright-Vermerke

Anordnung im Layout: l. = links, r. = rechts, o. = oben, m. = Mitte, u. = unten

Titel: Jonas Hamers/laif

Editorial: Werner Bartsch für GEOkompakt: 3 o.; Jorgen Kube: 3 u.
Inhalt: Hermann Historica/Interfoto: 4 o. r.; Science Museum/SSPL/Interfoto: 4 m.; TV-Yesterday/Interfoto: 4 u. l.; Hulton Archive/Getty: 4 u. r.; O. Winston Link Trust: 5 o.; mit freundl. Genehmigung d. Musée des Arts et Métiers, Paris: 5 m. Werner Unfug/Ag: 5 u.; The Gallery Collection/Corbis: 6 o.; Thomas Ernsting/Bilderberg: 6 m. l. + 7 o.; Simon Thorpe: 6 m. r.; 2009 Intellectual Ventures: 6 u. r.; MP Leemage/dpa

Der Mensch wächst über sich hinaus: Thomas Ernsting/Bilderberg: 8/9, 12, 17 u.; Max Aguilera Hellweg: 10; Thomas Ebert/laif: 11; Mark Power/Magnum/Ag. Focus: 13 u.; O. Wolberger/Brans NY: 13 u.; ESA: 14 o.; Jean Claude Moschetti/REA/laif: 14 u.; Stuart Franklin/Magnum/Ag. Focus: 15; Peter Ginter/Bilderberg: 16 + 17 o.; Marc Steinmetz/Visum: 18; Norbert Enker/laif: 19

Erfindungen 1-20: Kempinaire/Dppl/Sipa: 20/21; Hermann Historica/Interfoto: 21 r. + 27 u.; Max Galli/laif: 22; Science Museum/SSPL/Interfoto: 21 r. + 27 u.; Francis Wolff/Mosaic Images/Corbis: 24 l.; Norbert Försterling/dpa: 24 r.; Glenn Hunt/Oculi/Agence VU/laif: 25; Weltbild/Interfoto: 26 o.; Schmitz/JFA: 26 u.; Erich Lessing/Ag: 27 o.; Bridgeman Art Library/Getty: 28 o.; Bill Curtsinger/NG/Getty: 28 u.; Mary Evans/Interfoto: 29 o.; H.-D. Beyer/Museum für Vor- u. Frühgeschichte: 29 u.; agk-images: 30 u.; Schlegelmilch Photography: 31 o.; Time&Life/Getty: 31 u.

Der Mann, der sich selbst voraus war: Sammlung Rauch/Interfoto: 32/33; agk: 33 u.; Alinari/Corbis: 34; Biblioteca Ambrosiana, Mailand: 36; SSPL/Interfoto: 37 + 38; The Gallery Collection/Corbis: 39

Erfindungen 21-33: Volvo Ocean Race/epa Tomlinson/dpa: 40; Camille Moinere/hemis/laif: 41 o.; Science Museum/SSPL/Interfoto: 41 u. + 45 o.; Germin/bpk: 42 o.; bpk: 42 u.; John Warburton-Lee/Mauritius: 43; actionpress/AMP Photo: 44; Alexander Stein/Joker: 45 u.; TV-Yesterday/Interfoto: 46/47; CP/Interfoto: 47 u.; Edward Burtynsky, courtesy Charles Cowles Gallery, New York/Nicholas Metivier Gallery, Toronto: 48/49

Erfindungen 34-48: Paul Jackson: 54/55; Hervé Champollion/Ag: 56 o.; Gunnar Knechtel/laif: 56 u.; Science Museum/SSPL/Interfoto: 57 o.; Hermann Historica/Interfoto: 57 u.; Zed Nelson/Getty: 58/59; Rupak de Chowdhuri/Reuters/Corbis: 60 u.; Meinrad Riedo/Imagebroker/Interfoto: 61; Science Museum/SSPL/Interfoto: 62 u. + 65 l.; TV-Yesterday/Interfoto: 62 u.; Thomas Ernsting/Bilderberg: 63 o.; Torsten Laaker: 64; Superstock/Mauritius: 65 r.

Vorbild Evolution: Robert Clark/National Geographic Stock: 66, 70, 71, 73 r. + 74 o.; Chris Newbert/Minden Pictures/Picture Press: 67; Michael Ebert/laif: 68 o.; Ingo Arndt/Foto Natura/Minden Pictures/Picture Press: 68/69; Volker Steeger/SPL/Ag. Focus: 72/73; Flip Nicklin/Minden Pictures/Picture Press: 74/75

Erfindungen 49-65: agk: 76 o.; US Navy/Action Press: 76 u.; TV-Yesterday/Interfoto: 77 o.; Museo de Bellas Artes, Bilbao/Bridgeman Art Library: Science + Society/Interfoto: 78 o.; Mary Evans/Interfoto: 78 u.; Gande Vasan/Getty: 79; Ulrich Mattner/Ag: 80 o.; Science Museum/SSPL/Interfoto: 81 o. + 85 u.; mit freundl. Genehmigung d. Musée des Arts et Métiers, Paris: 81 u.; O. Winston Link Trust: 82/83; Superstock/Interfoto: 84 o.; Thomas Hoepker/Magnum/Ag. Focus: 84/85; Puffer/Interfoto: 86; Friedrich Sauer/Imagebroker/Mauritius: 87 o.; Tobias Gerber/laif: 87 u.

Die Tüftler des Todes: Simon Thorpe/Corbis: 88/89, 90/91, 92; Marcus Dlouhy/Das Fotoarchiv: 88 u.

Erfindungen 66-82: Heinz-Ingo Wesch/Picture Press: 94; Science Museum/SSPL/Interfoto: 95 o.; Mary Evans/Interfoto: 95 u. + 105 o.; Friedrich Rauch/Interfoto: 96/97; Ulrich Meyer/ddp: 98 o.; Science Museum/SSPL/Interfoto: 98 u., 102/103; Maurice Weiss/Ostkreuz: 99; Werner Unfug/Ag: 100/101; Ullstein-Bild-Imago: 102 o.; agk: 103 + 107 u.; Nonstock/Jupiter: 104; Matthias Hauser/Alimdi.net: 105 u.; Hulton Archive/Getty: 106; Sammlung Rauch/Interfoto: 107 o.

Das betrogene Genie: MP/Leemage/dpa: 108/109; SPL/Ag. Focus: 110; Mary Evans/Interfoto: 111; Granger Collection/Ullstein: 112; www.teslasociety.ch: 113; Bettmann/Corbis: 114

Erfindungen 83-89: Raymond Depardon/Magnum/Ag. Focus: 116/117; Wolfgang Kunz/Bilderberg: 118 l.; Science Museum/SSPL/Interfoto: 119; Photolibrary/Mauritius: 120 l.; Jochen Tack/Imagebroker/Mauritius: 120 r.; Jonathan Bird/Peter Arnold Inc./Okapia: 121; Malcom S. Kirk/Peter Arnold Inc./Okapia: 121 u.

Die Fabrik der Ideen: 2009 Intellectual Ventures: 122/123; Gregg Segal/Corbis: 124

Erfindungen 90-100: Edward Burtynsky, courtesy Charles Cowles Gallery, New York/Nicholas Metivier Gallery, Toronto: 128/129; TV-Yesterday/Interfoto: 130 o.; Peter Ginter/Bilderberg: 130 u.; Miguel Gonzalez/laif: 131; Gerd Ludwig/Corbis: 132; Wang Xiaochuan/WPN/Ag. Focus: 133 o.; Stockimage/Mauritius: 133 u.; Mary Evans/Interfoto: 134 o.; Nasa/Ag: 134 u.; Zcorporation: 135 o.; Phanie/Superbild: 135 u.

Patent DE102004006468: Thomas Ernsting/Bilderberg: 136-139, 142/143, 146, 147 o.; Marc Steinmetz für GEOkompakt: 141, 145, 147 u. 149

Die dritte Hand: Fabrice Coffrini/AFP/Getty: 153

Vorschau: Carsten Peter/National Geographic Stock: 154; www.extremestability.com: 155 o.; Philippe Bourseiller/Ag. Focus: 155 m.o.; Philippe Huguier/Getty: 155 m. u.; Iwasa/SIPA: 155 u.

Illustrationen und Info-Grafik:

Rainer Harf für GEOkompakt: 46, 86, 96, 102

Karsten Laaker für GEOkompakt: 40, 80, 110, 111, 118, 144

Tim Wehrmann für GEOkompakt: 4 l.o., 6 u. l., 20, 50-53 (Der Reiz des Unmöglichen)

Für unverlangt eingesandte Manuskripte und Fotos übernehmen Verlag und Redaktion keine Haftung.

© GEO 2009, Verlag Gruner + Jahr, Hamburg, für sämtliche Beiträge

Einem Teil dieser Auflage liegen folgende Beilagen bei:

Gruner + Jahr AG & Co KG, Hamburg

GEOkompakt

Gruner + Jahr AG & Co KG, Druck- und Verlagshaus,
Am Baumwall 11, 20459 Hamburg, Postanschrift
für Verlag und Redaktion: 20444 Hamburg,
Telefon 040 / 37 03-0, Telefax 040 / 37 03 56 47, Telex 21 95 20,
Internet: www.GEOkompakt.de

HERAUSGEBER

Peter-Matthias Gaede

CHEFREDAKTEUR

Michael Schaper

GESCHÄFTSFÜHRENDE REDAKTEURE

Martin Meister, Claus Peter Simon

TEXTREDAKTION

Jörn Auf dem Kampe (Heftkonzept),
Dr. Henning Engeln, Rainer Harf

ART DIRECTOR

Torsten Laaker

BILDERDAKTION

Lars Lindemann;

Freie Mitarbeit: Katrin Kaldenberger, Tatjana Stapelfeldt

VERIFIKATION

Susanne Gilges, Bettina Süsemilch,

Freie Mitarbeit: Dr. Eva Danulat, Alice Gayler, Johannes Kückens

WISSENSCHAFTLICHE BERATUNG

Prof. Dr. Stefan Kirschner, Prof. Dr. Gudrun Wolfschmidt

TEXT-MITARBEIT

Malte Henk, Dr. Arno Nehlsen;
Freie Mitarbeit: Ernst Artur Albaum, Jürgen Bischoff,
Dr. Christian Heinrich, Jörg Hüntzel, Ute Kehse,
Katharina Kramer, Johannes Kückens, Harald Martenstein,
Martin Paetsch, Alexandra Rigos, Bertram Weiß,
Livia Wirsperger, Sebastian Witte

ILLUSTRATION

Freie Mitarbeit: Karsten Laaker, Tim Wehrmann

CHEFS VOM DIENST

Dirk Krömer

Rainer Droste (Technik)

SCHLUSSREDAKTION

Ralf Schulte

REDAKTIONSASSISTENZ: Ursula Arens

HONORARE: Angelika Györfy

BILDADMINISTRATION UND -TECHNIK: Stefan Bruhn

REDAKTIONSBURO NEW YORK: Nadja Masri (Leitung),
Tina Ahrens, Markus Seewald, Christof Kalt (Redaktionsassistenten);
535 Fifth Avenue, 29th floor, New York, NY 10017, Tel. 001-646-884-7120,
Fax 001-646-884-7111, E-Mail: geo@geo-ny.com

Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt:

Michael Schaper

VERLAGSLEITUNG: Dr. Gerd Brüne, Thomas Lindner

ANZEIGENLEITUNG: Lars Niemann

VERTRIEBSLEITUNG: Ulrike Klemmer, DPV Deutscher Pressevertrieb

MARKETING: Julia Duden (l.g.), Patricia Korrell

HERSTELLUNG: Oliver Fehling

ANZEIGENABTEILUNG: Anzeigenverkauf: Sabine Plath,

Tel. 040 / 37 03 38 89, Fax: 040 / 37 03 56 04; Anzeigendisposition:

Carola Kirschmann, Tel. 040 / 37 03 23 93, Fax: 040 / 37 03 56 04

Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 5/2009

Der Export der Zeitschrift GEOkompakt und deren Vertrieb im Ausland

sind nur mit Genehmigung des Verlages statthaft. GEOkompakt darf nur

mit Genehmigung des Verlages in Leserkreisen geführt werden.

Bankverbindung: Deutsche Bank AG Hamburg,

Konto 0322800, BLZ 200 700 00

Hef-Preis: 8,00 Euro • ISBN 978-3-570-19884-1

© 2009 Gruner + Jahr Hamburg

ISSN 1614-6913

Litho: 4mat Media, Hamburg

Druck: Mohn Media Mohndruck GmbH, Gütersloh

Printed in Germany

GEO-LESERSERVICE

FRAGEN AN DIE REDAKTION

Telefon: 040 / 37 03 20 73, Telefax: 040 / 37 03 56 48

E-Mail: briefe@geo.de

ABONNEMENT- UND EINZELHEFTBESTELLUNG

ABONNEMENT DEUTSCHLAND Jahres-Abonnement: 29 €

BESTELLUNGEN: DPV Deutscher Pressevertrieb

GEO-Kundenservice

20080 Hamburg

Telefon: 01805 / 861 80 03*

E-Mail: geo-service@guj.de

24-Std.-Online-Kundenservice: www.MeinAbo.de/service

ABONNEMENT ÖSTERREICH

GEO-Kundenservice

Postfach 5, 6960 Wolfurt

Telefon: 0820 / 00 10 85

Telefax: 0820 / 00 10 86

E-Mail: geo@abo-service.at

ABONNEMENT SCHWEIZ

GEO-Kundenservice

Postfach, 6002 Luzern

Telefon: 041 / 329 22 20

Telefax: 041 / 329 22 04

E-Mail: geo@leserservice.ch

ABONNEMENT ÜBRIGES AUSLAND

GEO-Kundenservice, Postfach, CH-6002 Luzern;

Telefon: 0041-41 / 329 22 20, Telefax: 0041-41 / 329 22 04

E-Mail: geo@leserservice.ch

BESTELLDRESS FÜR GEO-BÜCHER, GEO-KALENDER, SCHUBER ETC.

DEUTSCHLAND

GEO-Versand-Service

Werner-Haas-Straße 5

74172 Neckarsulm

Telefon: 01805 / 06 20 00*

Telefax: 01805 / 08 20 00*

E-Mail: service@guj.com

SCHWEIZ

GEO-Versand-Service 50/001

Postfach 1002

CH-1240 Genf 42

ÖSTERREICH

GEO-Versand-Service 50/001

Postfach 5000

A-1150 Wien

BESTELLUNGEN PER TELEFON UND FAX FÜR ALLE LÄNDER

Telefon: 0049-1805 / 06 20 00, Telefax: 0049-1805 / 08 20 00

E-Mail: service@guj.com

*14 Cent / Min. aus dem deutschen Festnetz. Mobilfunkpreise können abweichen

Woran wird gerade geforscht? Was sind die neuesten Entdeckungen? Fragen wie diese will das Wissenschaftsjahr 2009 beantworten. Unter dem Motto „Forschungsexpedition Deutschland“ sind Kinder eingeladen, mit dem diesem Heft beigelegten Expeditionspass auf Entdeckungsreise zu gehen: Institute aus Wissenschaft, Bildung und Kultur öffnen ihre Türen und gewähren Einblicke in

Wissenschaftsjahr 2009

Forschungs-
expedition
Deutschland

ihre Forschung. GEOkompakt unterstützt das Wissenschaftsjahr 2009. Mehr unter www.forschungsexpedition.de



DIE DRITTE HAND

Dieses Heft handelt von den 100 wichtigsten Erfindungen der Geschichte. Aber was ist mit all den noch unerfindenen Erfindungen? Mit der Zeitmaschine zum Beispiel. Oder dem nicht spritzenden Plastik-Milchtöpfchen

Wann und von wem der Regenschirm erfunden wurde, ist nicht bekannt. Offenbar stammt die Idee zu dieser Erfindung aber aus Kirchenkreisen, wo man sich für alles, was vom Himmel Richtung Erde herabkommt, seit jeher interessiert. Erstmals soll der Regenschirm im Jahre 802 erwähnt worden sein, in einem Brief des Abtes Alcuin von Tours an seinen Bischof.

Vor einigen Jahren war ich in der amerikanischen Stadt Salem. Dort befindet sich der Firmensitz eines der weltgrößten Zigarettenkonzerne. Die Leute dort waren der Ansicht, dass sie eine revolutionäre, dem Regenschirm nahezu ebenbürtige Erfindung gemacht hätten: die unschädliche Zigarette. Na gut: fast unschädlich. Ich durfte die Erfindung testen.

Die meisten Zigaretten werden wegen ihres Nikotins geraucht, so viel weiß jeder. Nikotin regt an und macht süchtig. Aber Nikotin ist, das können Sie mir auch als engagierter Zigarettenfeind ruhig glauben, nicht sonderlich gesundheitsgefährdend – zumindest wenn man es in so niedrigen Dosen zu sich nimmt wie ein normaler Raucher.

Was Zigaretten gefährlich macht, ist weniger das Nikotin, sondern das andere giftige Zeug, das im Rauch steckt. Zusammenfassend nennen wir dieses giftige Zeug „Teer“. Wer eine Zigarette erfindet, die Nikotin ohne Teer liefert, hat aus Sicht der Raucher und aus Sicht der Zigarettenindustrie den Jackpot geknackt.

Die Erfindung sah aus wie eine Zigarette. Vorn glimmte es. Aber es war keine Zigarette, es war halt... ein Ding. Das Ding brannte nicht herunter. Wenn man an dem Ding kräftig sog,

konnte man irgendwas inhalieren, das unsichtbar blieb: das Nikotin. Nach einer Weile war es verbraucht, und man warf das Ding weg. Die Erfindung war, sagen wir mal, nicht gerade der Bringer. Mit diesem Nikotin-Stängel-Ding in der Hand kam ich mir lächerlich vor. Das Ding war total unsinnlich.

Das Ding hat sich nicht durchgesetzt. Aber ich bin sicher, in der Zigarettenindustrie arbeiten sie immer noch, heute mehr denn je, an dieser Idee. Die fast nicht ungesunde Zigarette – keine so weltbewegende Erfindung wie die Fotografie, der Satellit oder das Kondom. Aber auch keine kleine Sache. Also: eine Art Regenschirm.

Es gibt immer noch viele Erfindungen, die fehlen. Erfindungen, die man gut brauchen könnte. Einige von ihnen werden garantiert kommen, früher oder später. Wir haben zu wenig Fantasie, darin liegt ein gewisses Problem.

Bevor es den Speer gab, konnten die meisten Menschen sich nicht vorstellen, was das ist, ein Speer. Deshalb sind die meisten noch unerfindenen Erfindungen, die uns einfallen, Weiterentwicklungen oder Verbesserungen von bereits Vorhandenem oder Lösungen

zu bekannten Problemen. Ein Wundermittel gegen Krebs oder Aids! Ein Mittel gegen Falten, das wirklich dauerhaft funktioniert!

Die wichtigste Erfindung, die fehlt, ist eine zur Lösung des Energieproblems. Eine Energiequelle ohne verschmutzende Nebenwirkungen, ohne Endlagerdebatte – das wäre wie eine Zigarette ohne Nebenwirkungen.

Oder drei Erfindungen, die in Märchen, Literatur und Film zur Grundausstattung gehören: Beamer, Zeitmaschine, Tarnkappe. Zeitmaschinen sind, das wissen wir seit Einstein, in der Theorie nicht unmöglich, aber

die praktische Arbeit kommt nicht recht voran, und die Tatsache, dass bei uns keine Touristen aus der Zukunft auftauchen, spricht nicht dafür, dass künftige Generationen hier erfolgreicher sein werden als wir.

Besser sieht es bei der Tarnkappe aus. Die Zeitschrift „Science“ berichtete über Forschungen an der Duke University in den USA, wo mit

einem Ding, das wie eine Badematte aussieht, Gegenstände unsichtbar gemacht wurden. Es funktioniert mithilfe von Metamaterialien, die eine negative Brechzahl besitzen und elektromagnetische Wellen streuen, statt sie zu reflektieren – oder so ähnlich. Bitte fragen Sie mich nicht nach Details.

Bleibt das Beamen. Unter „beamen“ versteht man den Transport von Gegen-

»Die Tarnkappe funktioniert wegen der negativen Brechzahl ihrer Metamaterialien. Aber fragen Sie mich nicht nach Details«

ständen oder Personen von einem Ort zum anderen, ohne dass diese den zwischen beiden Orten liegenden Raum durchqueren müssen. Klingt komplizierter, als es aussieht, und würde der Tourismusindustrie einen gewaltigen Kick geben.

Dank „Raumschiff Enterprise“ ist Beamen ein populärer deutscher Begriff geworden. Die Erfindung sollte seinerzeit bei den Dreharbeiten zu

und Computer. Im Jahr 2006 haben Biochemiker zum ersten Mal lebendes Hirngewebe von Ratten mit Halbleiterchips gekoppelt. Das heißt also, vermute ich, der Sprachchip, der ins Hirn gepflanzt wird und uns sofort Chinesisch reden lässt, befindet sich sozusagen bereits in Sichtweite.



Der Traum vom Fliegen ist längst erfüllt. Was fehlt, ist die Lösung des Energieproblems

dieser Serie vor allem Kosten sparen und Tempo in die Inszenierung bringen. Die Raumfahrer mussten keine langatmigen Start- und Landemanöver absolvieren, sondern beamten sich einfach im Universum umher.

Seit Ende der 1990er Jahre gibt es in der Physik Experimente mit Quantenteleportation – aber das, sagen Experten, sei etwas völlig anderes und der Weg zum echten Enterprise-Beamten noch weit.

Also, zuerst, würde ich tippen, kommt die Erfindung der Tarnkappe, dann kommt das Beamen. Und dann, falls überhaupt, die Zeitmaschine.

Ein Ding, das von Neurotechnikern oder Biochemikern dagegen mit hoher Wahrscheinlichkeit relativ bald erfunden wird, ist das Verbindungsstück zwischen menschlichem Gehirn

Die Zeit, das Gehirn, die Materie, das sind natürlich alles große, weltbewegende Erfinderthemen. Im Alltag vermisste ich ganz andere Erfindungen.

Erstens den Schnürsenkel, der mit einer einzigen Schleife wirklich hält. Schnürsenkel verrutschen fast immer. Sie lockern sich. Es ist eine deprimierende, entwürdigende Arbeit, sich am Fuß ständig neu zu verknoten.

Zweitens das Milchtöpfchen aus Plastik, das leicht und spritzfrei zu öffnen wäre. Die Töpfchen, die man in den Cafés bekommt, kleckern immer, wenn man den Deckel abreißt – außer man geht mit einer Konzentration zur Sache, die einem so unbedeutenden Gegenstand einfach nicht zukommt.

Die dritte notwendige Kleinerfindung betrifft das Bad. Wäre es nicht schön, wenn endlich jemand selbstklebende Haken erfinden würde, sodass man nicht mit der Bohrmaschine ein Loch bohren muss?

Seit Jahrzehnten behauptet die Industrie, dieser Gegenstand sei bereits erfunden. Zum Beweis zeigt sie auf Hunderte von Bau- und Drogeriemärkten, in denen sogenannte „Badklebehaken“ verkauft werden. Der Gegenstand, der diesen Namen trägt, haftet für eine gewisse, knapp bemessene Zeit an der Kachel, in meinem Bad sind es meist vier bis sechs Wochen. Dann fällt er herab. Es handelt sich um einen Kurzzeit-Badehaken. Das Ding, das kleben bleibt, ist noch zu erfinden.

Nun muss ich noch einmal auf den Regenschirm zu sprechen kommen. Das Hauptproblem des Regenschirms besteht darin, dass man ihn in der Hand halten muss, bei Regen ist folglich immer eine Hand besetzt.

Das gleiche Problem kennen wir von Empfangen und Partys, bei denen man häufig ein Glas in der Hand hält und gleichzeitig etwas essen möchte. Der Mensch hat im Laufe der Evolution ein Sozialverhalten entwickelt, zu dem er drei Hände benötigt. Er besitzt aber nur zwei.

An der Lösung des Problems „dritte Hand“ wird seit vielen Jahren gearbeitet: als Schirmersatz gibt es alberne Schirmhüte, für Partys gibt es Partytellerhalter, die man sich irgendwie am Körper umschnallt, aber das alles konnte sich aus ästhetischen und praktischen Gründen nicht durchsetzen.

Wie eine dritte Hand aussehen müsste, damit die Menschen sie akzeptieren und wirklich benutzen, weiß ich auch nicht. Man weiß das bei Erfindungen immer erst, wenn man sie sieht. □

Harald Martenstein, 55, ist Schriftsteller und Kolumnist in Berlin.

GEOkompakt Nr. 19 erscheint am 10. Juni 2009

Naturgewalten

Die Kräfte, die unseren Planeten formen – und den Menschen bedrohen

Der philippinische Vulkan Pinatubo wirft im Juni 1991 zehn Milliarden Tonnen Staub, Asche und Gase sowie rund 20 Millionen Tonnen Schwefeldioxid aus. Die Folge: In weiten Gebieten der Nordhalbkugel wird es im Winter darauf um durchschnittlich drei Grad Celsius wärmer, im Sommer dagegen kühler. Erdbeben setzen Energien von mehreren Tausend Atombomben frei, Hurrikans

und Taifune erreichen Windgeschwindigkeiten von bis zu 300 km/h und türmen zehn Meter hohe Wellen auf. Mit ungeheurer Gewalt wirken solche Urkräfte – und bedrohen dabei immer

wieder den Menschen: Wohl mehr als 300 000 Opfer fordert der Tsunami vom Dezember 2004 in den Anrainerstaaten des Indischen Ozeans, mehr als 65 000 ein Erdbeben in China und

Zigtausende eine Sturmflut in Myanmar im Jahr 2008.

Gegen diese Naturgewalten wirkt der Mensch unbedeutend und hilflos – und ist vielleicht gerade deshalb von ihnen ebenso fasziniert wie geängstigt. Doch letztlich

WEITERE THEMEN

- FORSCHUNG:** Wie Geologen ins Innere der Erde blicken
- SUPERVULKAN:** Gefahr für die USA
- BLITZE:** Das Geheimnis des Himmelsfeuers
- HISTORIE:** Der verheerende Ausbruch des Krakatau
- LUFT:** Die Kraft der Atmosphäre

Italien: Mindestens 190-mal ist der Ätna in den vergangenen 3500 Jahren ausgebrochen. Das hält Menschen nicht davon ab, die fruchtbaren Böden an seinen Hängen zu besiedeln

USA: Ein Unwetter tobt über Nebraska, mit Winden von über 100 km/h, die Bäume ausreißen und Äste durch die Luft wirbeln. In Tornadoes erreichen Winde Geschwindigkeiten von bis zu 500 km/h



Philippinen: Die Aschewolken des Pinatubo machen den Tag zur Nacht. Nach dem Ausbruch finden die Dorfbewohner eine gespenstische, graue Landschaft vor

Frankreich: Vom Sturm aufgepeitscht, kracht eine Welle gegen den Hafen von Boulogne-sur-mer. »Freak Waves« auf dem Meer werden 30 Meter hoch



verdanken wir den Urgewalten der Erde sogar unsere Existenz. Denn sie ließen Kontinente wandern, Berge entstehen, schufen Gesteine und Landschaften. Und sie brachten das Leben hervor.

Die neue Ausgabe von GEOkompakt erzählt die Geschichte unseres Planeten und erklärt, wie sich Erdbeben vorhersagen lassen, wie Riesenwellen entstehen und welche Zerstörungskraft Stürme entfalten. Kurz: wie die Natur unsere Erde prägt. □



Japan: Durch die Schockwellen eines Erdbebens in der Stadt Kobe lockert sich der Untergrund derart auf, dass die auf Stelzen ruhende Autobahn einstürzt

