

Kein altes Eisen Vor viertausend Jahren begannen die Hethiter, Schwerter und Werkzeuge aus Eisen zu schmieden

Die Pulverdrucker Der 3-D-Metalldruck revolutioniert die Stahlverarbeitung: Aus Pulver werden Metallteile

Ein Hauch von Orient Ein exotischer Gewürzladen ergänzte bis 1944 die Chemieabteilung des Deutschen Museums

KULTUR & TECHNIK

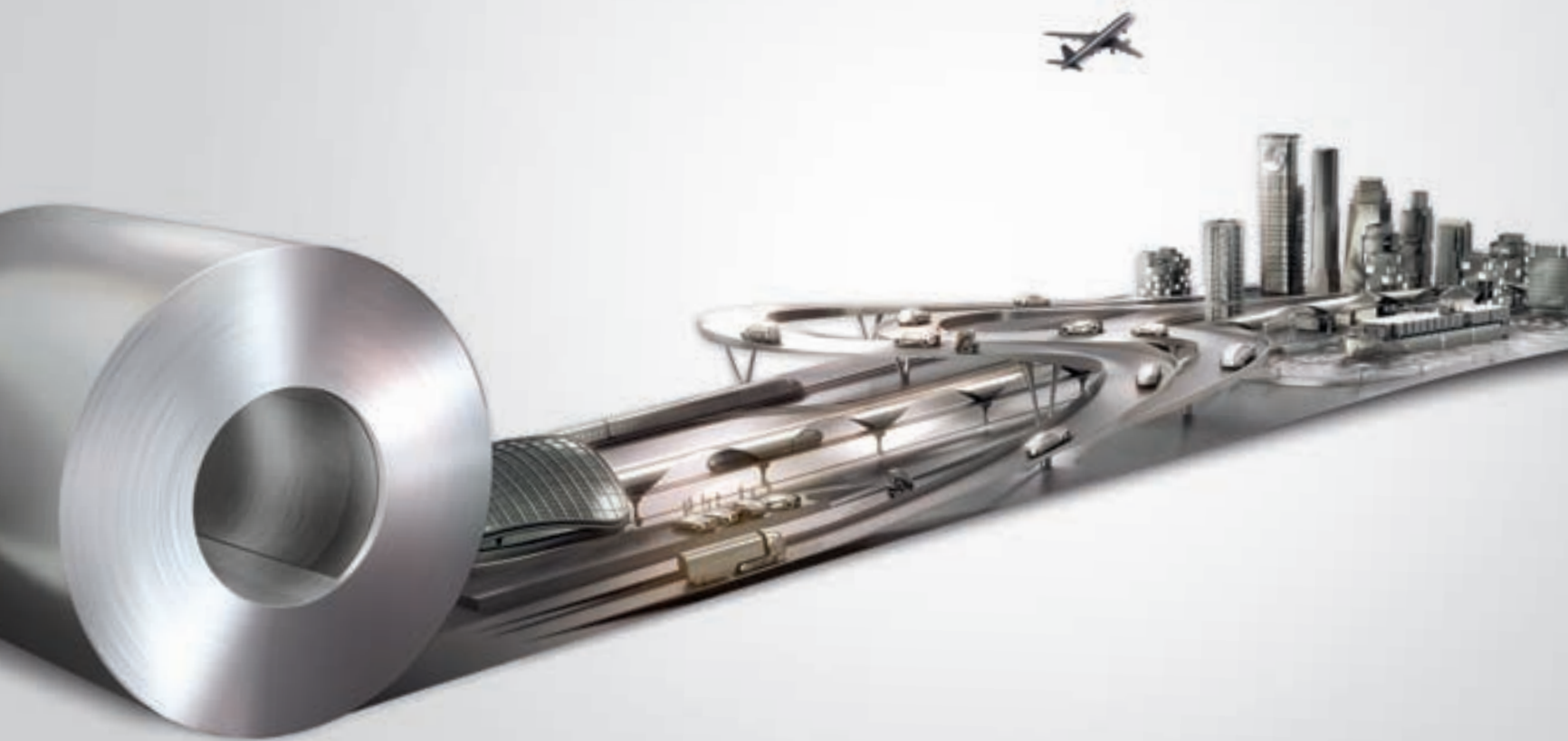


Multitalent Stahl

Stahl begegnet uns überall. Eine Welt ohne das vielseitige Material erscheint undenkbar.

INNOVATION BEGINNT MIT STAHL

www.stahl-online.de



Innovativer Stahl ist das Material, aus dem die Zukunft gebaut wird: Von leichten Automobilkarosserien und -antrieben, auch für Elektrofahrzeuge, über hocheffiziente Turbinen für die Energieerzeugung bis hin zu völlig neuen Lösungen für Verkehrstechnik und Infrastruktur kommt kaum eine Innovation ohne diesen Werkstoff aus. Die Stahlindustrie in Deutschland stellt rund 2.500 unterschiedliche Stähle her, wovon ca. die Hälfte im Laufe von 10 Jahren verbessert oder neu entwickelt wird. Seine ständige Weiterentwicklung macht Stahl zur Basis für Spitzentechnologie in nahezu allen Bereichen der Wirtschaft.



Eine Initiative von ArcelorMittal • Benteler • BGH Edelstahlwerke • Buderus Edelstahl • Deutsche Edelstahlwerke • Dillinger Hütte • Dörrenberg Edelstahl • Feralpi Stahl • GMH Gruppe Georgsmarienhütte • Hüttenwerke Krupp Mannesmann • Max Aicher Unternehmensgruppe • Outokumpu • Saarstahl • Salzgitter • Stahlwerk Thüringen • ThyssenKrupp



**Liebe Leserin,
lieber Leser,**

die Oberpfalz galt einst als Deutschlands Eisen- und Stahlzentrum, als das »Ruhrgebiet des Mittelalters«. Seit Jahrhunderten wurde hier das Erz abgebaut und später sogar vor Ort zu Stahl weiterverarbeitet. Vierzig Kilometer Luftlinie sind es von Parsberg bis Sulzbach-Rosenberg. In Parsberg bin ich aufgewachsen – die Maxhütte in Sulzbach-Rosenberg war in meinen Kindertagen noch ein florierendes Stahlwerk. Seit 2002 stehen alle Maschinen still, aus den Hochöfen steigt schon lange kein Rauch mehr auf. Übrig geblieben ist ein monumentales Industriedenkmal, das im zweiten Leben als Eventlocation und Foto- und Filmkulisse dient. Stahl hat eben eine ganz eigene Magie: gewonnen aus den Tiefen der Erde, mit Hilfe von Feuer aus den erzhaltigen Steinklumpen herausgelöst und am Ende zu glänzendem Stahl gegossen.

Der Schwerpunkt dieser Ausgabe erinnert mich an die Zeiten, als Eisen und Stahl den Oberpfälzern noch Wohlstand und Arbeit sicherten. Heute kommt der Rohstoff vor allem aus China, Australien oder Brasilien. Und auch bei der Produktion von Roheisen und Stahl liegt die Volksrepublik mit weitem Abstand vorne. Dafür punkten die Europäer bei der Produktion hochwertiger Stähle ebenso wie im Forschungsbereich: Neben selbstheilenden Stählen gibt es die ersten stählernen Produkte mittlerweile sogar aus dem 3-D-Drucker. Wissenschaftler vom Max-Planck-Institut erklären in dieser Ausgabe, wie das funktioniert.

Für Sie als Mitglied des Deutschen Museums haben wir ab Seite 60 Informationen zu den anstehenden Renovierungsarbeiten zusammengestellt. In den kommenden Monaten müssen große Ausstellungsbereiche geschlossen werden. Damit sich die Mitgliedschaft für Sie trotz dieser Maßnahmen lohnt, wird es Sonderausstellungen zu aktuellen Themen und besondere Exklusivangebote für unsere Mitglieder geben. Ich bitte Sie herzlich um Ihr Verständnis und um Ihre Treue. Denn eines kann ich Ihnen heute schon versprechen: Wenn wir mit den Sanierungen fertig sind, wird das Deutsche Museum das modernste Technikmuseum der Welt sein.

Und nun wünsche ich Ihnen viel Freude beim Lesen!

Ihr

Professor Dr. Wolfgang M. Heckl
Generaldirektor



6
Thema Stahl – grau in grau? Stahl kann mehr! Geschichten erzählen aus 4000 Jahren: von Eisenerz, Bergarbeitermühsal und Schmiedekunst, von Wachstum, Triumphen, von Aufstieg und Niedergang. Eine Einstimmung.



10
Im Deutschen Museum kann man die Geschichte unseres Werkstoffs auf eigene Faust erkunden. Der Kurator der Abteilung »Metalle« erläutert die wichtigsten Stationen.



20
Wohin mit dem Schrott? Am besten recyceln. 28 Milliarden Tonnen Stahl werden jährlich in Deutschland zu Rohstahl verarbeitet.



24
Stahlbrücken gehören zu den eindrucksvollsten Konstruktionen, die uns das 19. Jahrhundert hinterlassen hat.



30
Heute sind sie aus den meisten Autos nicht mehr wegzudenken. Aber Stahlkarosserien waren nicht immer so beliebt wie heute.



40
Ein orientalischer Basarladen zierte von 1925 bis 1944 die Chemieabteilung des Deutschen Museums.



48
Der Geigenbau ist eine Wissenschaft für sich – in der inzwischen auch physikalische Messungen eine Rolle spielen.



52
Nach der Katastrophe beginnt die Arbeit der Flugunfalluntersuchung.

STAHL

- 6** **Aus Feuer geboren**
Ein faszinierender Werkstoff mit vielen Gesichtern | **Von Laura Pöhler**
- 10** **Kein altes Eisen**
Stahl im Wandel der Zeit | **Von Ralf Spicker**
- 16** **Die Pulverdrucker**
3-D-Druck revolutioniert die Stahlverarbeitung | **Von Laura Pöhler**
- 20** **Eine unendliche Geschichte**
Stahl ist Recyclingweltmeister | **Von Klaus Jopp**
- 24** **Aufbruch zu neuen Ufern**
Stahlbrücken sind die Ikonen vergangener Tage | **Von Dirk Bühler**
- 30** **Die Evolution des Automobils**
Stahlkarosserien sorgen für Sicherheit im Auto | **Von Erik Eckermann**
-

MAGAZIN

- 40** **Ein Hauch von Orient**
Ein Basarladen im Museum | **Von Elisabeth Vaupel und Isolde Lehnert**
- 48** **Ein Meister ist zu wenig**
Wie baut man die perfekte Geige? | **Von Klaus Wagner**
- 52** **Protokolle für die Sicherheit**
Flugunfalluntersuchungen klären Ursachen | **Von Barbara Grilz**
-

STANDARD

- 3** **Editorial**
- 36** **MikroMakro**
Die Seiten für junge Leser
- 57** **Deutsches Museum intern**
- 64** **Schlusspunkt**
- 66** **Vorschau, Impressum**

Aus Feuer geboren

Vor viertausend Jahren begannen die Hethiter, Schwerter und Werkzeuge aus Eisen zu schmieden, das sie aus erzhaltigem Gestein gewonnen hatten. Heute können wir uns ein Leben ohne Stahl gar nicht mehr vorstellen. Von Laura Pöhler

Stahl verbindet entfernte Ufer in Form von Brücken und den Menschen mit dem Mond in Form von Raketen. Auch im Kleinen ist Stahl allgegenwärtig: Er biegt als Zahnsperre krumme Kinderzähne gerade und hält als Büroklammer unser Chaos in Schach. Selbst unser digitales Zeitalter wäre ohne diesen Werkstoff nicht vorstellbar, denn ohne Stahl kein Computer. Der kostengünstige, formbare und vor allem stabile Werkstoff hat längst jeden Winkel unserer Gesellschaft erobert.

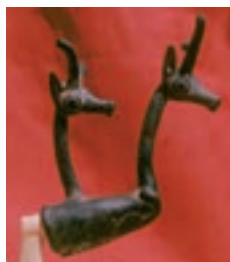
Dabei ist Stahl nicht gleich Stahl: Im Register europäischer Stähle, der sogenannten Stahl-Eisen-Liste, sind derzeit über 2500 verschiedene Stahlsorten gelistet. Nach DIN EN-Standard ist Stahl ein »Werkstoff, dessen Massenanteil an Eisen größer ist als der jedes anderen Elements, dessen Kohlenstoffgehalt im Allgemeinen kleiner als 2,06 Pro-

zent ist und der andere Elemente enthält«. Der Beschaffenheit und Anzahl beigemischter Elemente sind dabei kaum Grenzen gesetzt. Das führt zu einer schier unendlichen Anzahl an möglichen Legierungen – von einfachem Baustahl über Edelstahl bis hin zu Speziallegierungen mit seltenen Erden. Und ständig werden neue Legierungen gemischt. Der vermeintlich ewiggleichgraue Stahl hat in Wirklichkeit viele Gesichter

Ein so komplexer Werkstoff kann Geschichten erzählen: von Ingenieurstriumphen und einstürzenden Neubauten, von Arbeiterelend und Wirtschaftswachstum, von Kunst und Krieg, von Feuer, Wasser, Luft und Erde. Vor allem aber erzählt die Geschichte des Stahls von den komplexen Wechselwirkungen zwischen Wissenschaft und Gesellschaft. Denn wie kaum ein anderer Werkstoff und in



Bruchstücke von Eisenmeteoriten verarbeiteten die Ägypter zu Schmuckperlen. Gefunden wurden die himmlischen Schmuckstücke in einem Grab bei Gerzeh.



Die Eisenzeit in Europa bricht an. Erste Eisenerzvorkommen werden entdeckt und daraus Waffen, Werkzeuge und andere Gebrauchsgegenstände hergestellt.



Hephaistos/Vulcanus, Gott des Feuers und der Schmiede, zuständig für die Bewaffnung der griechischen/römischen Götterwelt, galt als begabter Handwerker und genialer Erfinder.

um 3000 v. Chr.

um 1800 v. Chr.

um 800 v. Chr.

um 500 v. Chr.

Antike



Keilschriftaufzeichnungen der Hethiter belegen die früheste bekannte Verhüttung von Eisenerz mit Hilfe einfacher Rennöfen. Spätestens 1400 v. Chr. schmiedeten die Hethiter die ersten Waffen und Werkzeuge aus Stahl.



Mit Holzkohle vermischt wird Eisenerz in Rennöfen zu schmiedbarem Eisen reduziert. Übrig bleiben Schlacke und die schwammförmige »Luppe«. Per Hand müssen Kohlenstoff und andere Einschlüsse herausgeschmiedet werden.

rasantem Tempo hat sich der Stahl seit jeher wissenschaftliche Erkenntnisse und technische Neuerungen zu eigen gemacht. Gleichzeitig stehen der gesellschaftliche Wandel und wissenschaftliche Fortschritt Europas spätestens seit dem Mittelalter auf stählernen Pfeilern.

Die Geschichte des Stahls beginnt aber schon sehr viel früher. Die älteste Stahlgewinnung schreibt man den Hethitern in Kleinasien vor etwa 4000 Jahren zu – lange vor dem Anbruch der sogenannten Eisenzeit. Die ersten großen Eisenerzvorkommen in Europa wurden vermutlich etwa 800 v. Chr. von den Kelten entdeckt. Das gefundene Erz wurde damals mit Hilfe von Holzkohle und Blasebalg in niedrigen Grubenöfen aus Lehm oder Stein verhüttet. Die in den »Rennöfen« erzeugten Temperaturen vermochten jedoch lediglich ein inhomogenes Eisen mit vielen Einschlüssen und stark variierendem Kohlenstoffgehalt zu produzieren, »Luppe« genannt. Bis ins Mittelalter war deshalb das mechanische Herausschmieden ungewollter Begleitstoffe wie Kohlenstoff und Schlacke der einzige Weg, aus Eisen Stahl zu erzeugen. Entsprechend hoch angesehen war die Zunft der Schmiede.

BERGMANNSSPRACHE

Stahlproduktion war immer vom Grundprodukt Eisenerz abhängig, das in mühseliger und oft gefährlicher Arbeit von Bergmännern im Erdinneren abgebaut werden musste. Im Laufe der Zeit hat sich eine eigene Bergmannskultur gebildet, die über eine eigene Sprache, eigene Bräuche und eigene Kleidung verfügt. Die Fachsprache der Bergleute gehört zu den ältesten der Welt. Manche heute noch verwendeten Ausdrücke sind bereits im 13. Jahrhundert entstanden. Alexander von Humboldt war so überzeugt von der wissenschaftlichen Tauglichkeit dieser Sprache, dass er seine geologischen Aufzeichnungen unter Verwendung von Bergmannssprache in deutscher Sprache aufzeichnete. Kostprobe gefällig?

- Arschleder** Dreieckiges Kleidungsstück des Bergmanns, das zum Schutz seines Gesäßes dient
- Ausbiss** Der an der Gebirgsoberfläche endende Teil einer Lagerstätte von Rohstoffen wie Eisenerz
- Böse Wetter** Giftige Gasgemische unter der Erde, die den Bergmännern zum Verhängnis werden können
- Sargdeckel** Ein lose verankerter Gesteinsbrocken, der sich ohne Vorwarnung löst
- Priemchen** Ein Stückchen Kautaback – sehr beliebt bei Bergleuten
- Mutterklötzchen** Die Reste des zum Stollenausbau verwendeten »Stempels«, die halblegal für die Mutter zum Heizen mit nach Hause genommen wurden



Wasserradbetriebene Blasebälge lösen das Problem der Luftzufuhr in den Öfen. Der Stückofen entsteht. Die bis zu 100 Kilogramm schweren »Luppen« werden mit wasserradbetriebenen Schmiedehämmern verarbeitet. In »Pochwerken« wird mit der Kraft des Wassers das Erz für die Öfen mechanisch zerkleinert.



Dank leistungsfähigerer Hochöfen entsteht das Handwerk der Eisengießerei. Gusseiserne Ofenplatten sind reich verziert mit biblischen Szenen, Familienwappen oder alltäglichen Darstellungen. Auch Kugeln, Glocken und Gewichte werden gegossen.



1811 gründet Friedrich Krupp die erste deutsche Gussstahlfabrik in Essen.



Das Puddelverfahren wird erfunden. Das effektive Verfahren zur Umwandlung von Eisen in Stahl durch das Umrühren der Schmelze findet rasch Verbreitung.

www.open.ac.uk; Roland and Sabrina Michaud/akg; ak-g-images (4); Markus Matzel/imagetrust; ak-g/Science Photo Library; wikimedia.org; Stahlinstitut VDEH

Abbildungen: Museum Manchester/

900

1300

1600

1765

1784

1811

Der Holzkohlehochofen erreicht die Schmelztemperatur der Eisenerze und produziert zum ersten Mal Roheisen. Das ist zwar frei von Schlacke, aber aufgrund seines hohen Kohlenstoffgehalts nicht schmiedbar, was ihm den Namen »Dreckeisen« verleiht. Mit Hilfe des »Frischens« wird der Kohlenstoffgehalt gesenkt.



James Watt erfindet die erste direkt wirkende Niederdruck-Dampfmaschine. Als leistungsstarke Arbeitskraft wird die Dampfmaschine die Eisenindustrie revolutionieren.

Welche Magie die Kunst der Stahlerzeugung umgab, lässt heute noch die germanische Heldensage über Wieland und das Schwert Mimung errahnen: Dreimal schmiedet Wieland sein Schwert neu, zerfeilt es schließlich und verfüttert es an die Vögel. Den Vogelkot schmilzt er anschließend ein und schmiedet daraus Mimung, ein Schwert, das seinesgleichen sucht. Dank wissenschaftlicher Versuche wissen wir, dass Wieland kein Zauberer war: Der im Vogelkot enthaltene Stickstoff härtet den Stahl – ein Verfahren, das heutzutage als »Nitrieren« bezeichnet wird.

Erst die Nutzbarmachung der Wasserkraft in Form von wasserradgetriebenen Blasebälgen machte es ab dem 10. Jahrhundert möglich, immer größere Öfen zu bauen. Mit der Entwicklung des Holzkohle-Hochofens im 14. Jahrhundert konnte man schließlich die Temperatur so weit steigern, dass sich das Eisenerz zu Roheisen verflüssigte. Der enthaltene Kohlenstoff machte das Material jedoch brüchig. Erst durch das aufwendige Verfahren des »Frischens«, bei welchem das Roheisen bei abermaligem Erhitzen mit Sauerstoff in Kontakt gebracht wurde, konnte es zu Stahl verwandelt werden. Im 18. Jahrhundert sollten zwei weitere Erfindungen den Hochofen revolutionieren: Koks ersetzte die knapp gewordene Ressource Holz und mit der Dampfkraft war eine flexibel einsetzbare und belastbare Arbeitskraft gewonnen. Die daraus resultierende

Steigerung der Produktivität machte auch eine effektivere Methode des Frischens notwendig. 1784 erfand der Brite Henry Cort das Puddelverfahren (von eng. puddle, Pfütze), bei welchem die Schmelze per Hand mit langen Eisenstangen gerührt wurde (siehe Beitrag Spicker, Seite 10 ff.). Die Strapazen der Puddler stehen stellvertretend für die unmenschliche Arbeit in den Eisenhütten des 19. Jahrhunderts. »Im Schweiß ihres Angesichts rühren die Puddler den Eisensterz im Ofen, das Gesicht von der strahlenden Ofenhitze hoch geröthet, und dabei umstreicht sie von der Seite her die kalte Dezemberluft, die bei den Thoren ungehindert ein und ausströmen kann«, schreibt Max Winter, Schöpfer der deutschsprachigen Sozialreportage, im Jahr 1900. »Heute ist der Bärenmensch ein Opfer der Tuberkulose. Puddlerschicksal!«

Auch von den Anstrengungen des Erzabbaus erzählt der Stahl. Bis zur Erfindung des Hochofens bauten die Eisenerzeuger das Erz meist selbst und in unmittelbarer Nähe zur Hütte an. Für den Hochofen war die Nähe zum Wasser und Kapital nötig, was spätestens ab dem 16. Jahrhundert zu einer Arbeitstrennung führte. Im Laufe einiger Jahrhunderte entstand ein stolzer Berufsstand, der sogar über eine eigene Sprache verfügte (siehe Kasten).

Eine neue Erfindung sollte das anstrengende und gefährliche Puddelverfahren bald ablösen: Die 1856 entwi-



Henry Bessemer erfindet 1856 ein feuerfestes Gefäß, in dem aus Roheisen Stahl erzeugt werden kann. In der »Bessemerbirne« wird Luft von unten durch das flüssige Eisen gepresst.



Die Stahlindustrie ist im 19. Jahrhundert auch ein nationales Prestigeobjekt: Der Eiffelturm in Paris wird – der Stabilität wegen – aus Puddeleisen gebaut.



Der Stahlhelm kommt erstmals an der Front zum Einsatz.



1856

1865

1887 – 1889

1912

1915

1951



Der Siemens-Martin-Ofen macht es 1865 erstmals möglich, Schrott zu Stahl umzuwandeln.



Max Mauermann, Mitarbeiter der Firma Krupp, entwickelt 1912 den ersten rostbeständigen Stahl.

1951 wird die Europäische Gesellschaft für Kohle und Stahl, auch Montanunion genannt, gegründet. Sie soll allen Mitgliedstaaten zollfreien Zugang zu Kohle und Stahl gewähren. Als erste supranationale Organisation Europas gilt die Montanunion heute als Vorgänger der Europäischen Union.

ckelte Bessemerbirne drückte Pressluft von unten in das Roheisen und mechanisierte somit den Frischvorgang. Flüssiges Eisen konnte so erstmals direkt in flüssigen Stahl umgewandelt werden. Mit dem Zeitalter der Industrialisierung war auch das Zeitalter der Massenstahlerzeugung angebrochen. Neue Absatzmärkte und technische Neuerungen greifen dabei ineinander: So lässt die Expansion des Eisenbahnwesens den Bedarf an Stahl sprunghaft ansteigen, sorgt gleichzeitig auch für eine Möglichkeit, die immer größeren Mengen an Eisen, Stahl und Kohle – Ergebnis der rasanten Mechanisierung des Steinkohlebergbaus im 19. Jahrhundert – zu transportieren.

Stahl war aufgrund seiner enormen politischen Bedeutung auch immer Projektionsfläche. In seinem silbernen Antlitz spiegeln sich die Ideen und Ideologien von Generationen. Nationale Prestigebauten, wie der französische Eiffelturm, und architektonische Triumphe, wie das mit Kruppstahl gekrönte Chrysler-Building in New York, gehören ebenso zu der Geschichte des Stahls wie seine unverkennbare Verstrickung in das Elend der Weltkriege. Mit Stahl als kriegswichtigem Werkstoff lieferte die Industrie nicht nur Panzer und Granaten, sondern war in beiden Kriegen an den Eroberungen großer Eisenerzvorkommen in Europa interessiert. Und so richtete sich am Ende auch die Aufmerksamkeit der alliierten Streitkräfte auf Produktionsorte kriegs-

wichtiger Güter, die in gezielten Bombardierungen zerstört wurden. In den Nachkriegsjahren – insbesondere nach der Gründung der Montanunion im Jahr 1951 – erholte sich die Stahlindustrie in Deutschland. Aber internationale Konkurrenz und Wirtschaftskrisen bremsen das Wachstum der Branche seit den 1970er Jahren immer wieder.

Und heute? Ist Deutschland mit einer jährlichen Produktion von 43 Millionen Tonnen Rohstahl (2014) der größte Hersteller Europas und siebtgrößte Stahlhersteller der Welt. Größter Stahlproduzent weltweit ist China mit fast fünfzig Prozent der globalen Rohstahlproduktion, die sich auf insgesamt 1665 Millionen Tonnen beläuft. China fördert heutzutage auch am meisten Eisenerz, gemeinsam mit Australien und Brasilien waren es 76 Prozent der weltweiten Förderung im Jahr 2013.

Eine immer wichtigere Rolle bei der Stahlproduktion spielt Schrott. Der Schrottanteil bei der Gesamterzeugung von Stahl in Deutschland liegt heutzutage bei fast fünfzig Prozent (siehe Beitrag Jopp, Seite 20 ff.). Auch die Technologien zur Stahlerzeugung entwickeln sich weiter. Am Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf versucht man derzeit, Legierungen direkt in 3-D-Stahldruckern herzustellen (siehe Interview Seite 16 ff.). Aber bis der letzte Hochofen in den Ruhestand versetzt ist, wird es wohl noch einige Generationen dauern. ■■



DIE AUTORIN

Laura Pöhler M.A. Die Religionswissenschaftlerin ist als Dozentin und freie Journalistin tätig.

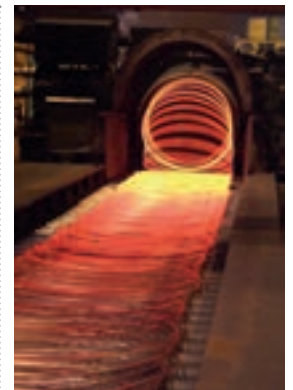


Das Sauerstoff-Aufblasverfahren im Konverter ersetzt frühere Stahlerzeugungsverfahren. Während früher verschiedene Stahlsorten im Ofen hergestellt wurden, wird jetzt im Konverter ein Einheitsstahl erzeugt, der durch Zugabe verschiedener Legierungselemente zu Spezialstahl weiterverarbeitet wird.



Die Allianz Arena wird ein Jahr vor der Fußball-Weltmeisterschaft eröffnet: 22 000 Tonnen verbauter Stahl.

2014 werden weltweit 1665 Millionen Tonnen Rohstahl produziert.



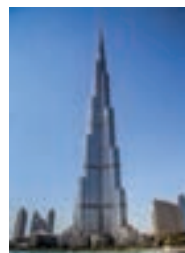
um 1960



1974 – 1991

Die Stahlkrise, ausgelöst durch die Wirtschaftskrise und die wachsende internationale Konkurrenz, fordert 212 000 Arbeitsplätze.

2005



2010

Das bis dato höchste Gebäude der Welt, der Burj Khalifa, wird eröffnet. Einige Tausend Tonnen Stahl in den oberen Geschossen sind Recycling-Stahl aus dem abgerissenen Palast der Republik in Berlin.

2014



Kein altes Eisen

Stahl ist seit der Industrialisierung der wichtigste metallische Werkstoff und einer der bedeutendsten Werkstoffe der Menschheit. Die Ausstellung »Metalle« im Deutschen Museum zeigt die Entwicklungsschritte der Stahlerzeugung, -verarbeitung und -nutzung durch die Jahrhunderte. Von Ralf Spicker

Was ist Stahl? Was hat ihn zum universellen Werkstoff der Menschheit werden lassen? Darüber, was Stahl ist, gab und gibt es unterschiedliche Definitionen und Vorstellungen. Nach dem modernen, seit dem frühen 20. Jahrhundert geltenden Verständnis der Metallurgie, der Wissenschaft von den Metallen, ist er eine metallische Legierung, deren größter Bestandteil aus dem Element Eisen besteht und deren Kohlenstoffanteil zwischen null und

2,06 Prozent liegt. Zur Beeinflussung seiner spezifischen Eigenschaften kann er auch andere Elemente enthalten.

Diese metallischen und nichtmetallischen Elemente, aber vor allem der Kohlenstoff, machen den Stahl zu einem universellen Werkstoff und geben ihm charakteristische Eigenschaften. Im Gegensatz zu anderen eisenhaltigen Werkstoffen wie Gusseisen kann Stahl sowohl »warm« (bis zu 1200°C!) wie auch kalt (Raumtemperatur) etwa



Die Ausstellung Metalle beginnt mit einem Rundgang durch die Geschichte dieser vielfältigen Werkstoffe. Dioramen zeigen, wie Metalle in früheren Zeiten gewonnen und verarbeitet wurden.

keine vollständige Schmelze, sondern ein inhomogener Werkstoff mit unterschiedlich hohem Kohlenstoffgehalt. Im 14. Jahrhundert entwickelte man in Europa die ersten Holzkohle-Hochöfen, die eine höhere Temperatur von rund 1500°C erreichten und damit das Gemisch im Inneren zum Schmelzen brachten. Das Produkt war ein sprödes Roheisen mit einem meist hohen Kohlenstoffgehalt. Erst durch wiederholtes Erhitzen im Feuer und mühsames Ausschmieden des Kohlenstoffs und unerwünschter Beimengungen anderer Elemente entstand Stahl.

Stahl wird Massenware

Erst im Laufe des 18. und 19. Jahrhunderts ermöglichten neue Produktionsmethoden eine enorme Steigerung der Stahlherstellung. Stahl wurde zum Symbol für die industrielle Revolution und löste Holz als wichtigsten Werkstoff ab. Die wesentlichen Innovationen dazu gingen zunächst von England aus. Hier wurden die bis heute gültige Hochofentechnik und die Produktion von Stahl in zwei Schritten entwickelt. Zunächst wurde das Roheisen, wie seit Jahrhunderten überliefert, im Hochofen gewonnen. 1784 erfand der Engländer Henry Cort (1740–1800) das »Puddeln« zur Herstellung von Schmiedeeisen und später Schmiedestahl. Cort nutzte dabei seine Beobachtung, dass der Kohlenstoff im Roheisen sich mit Luftsauerstoff verbindet, wenn Luft über die Schmelze streicht. Cort nutzte Steinkohle statt Holzkohle, die in England aufgrund steigender Nachfrage der wachsenden Bevölkerung und Industrie immer teurer wurde. Und sein Ofen brauchte aufgrund seiner spezifischen Konstruktion weder Gebläse noch Blasebalg, um den Prozess der Entkohlung am Laufen zu halten. Die Steinkohle verbrannte in einem gesonderten Raum und die Abgase strichen über ein feuerfest gemauertes Becken, in dem die Roheisenschmelze wie in einer Pfütze (engl. puddle) schwamm. Sie war gerade so groß, dass ein Arbeiter, »Puddler« genannt, mit einer langen Stange die gesamte Fläche erreichen konnte. Die Verbrennungsgase der Kohle strichen über das Roheisen und durch den Oxidationsprozess wurde der Gehalt an Kohlenstoff und unerwünschten Eisenbegleitern wie Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel reduziert. Der Puddler wälzte die Schmelze um und sorgte dafür, dass ein homo-

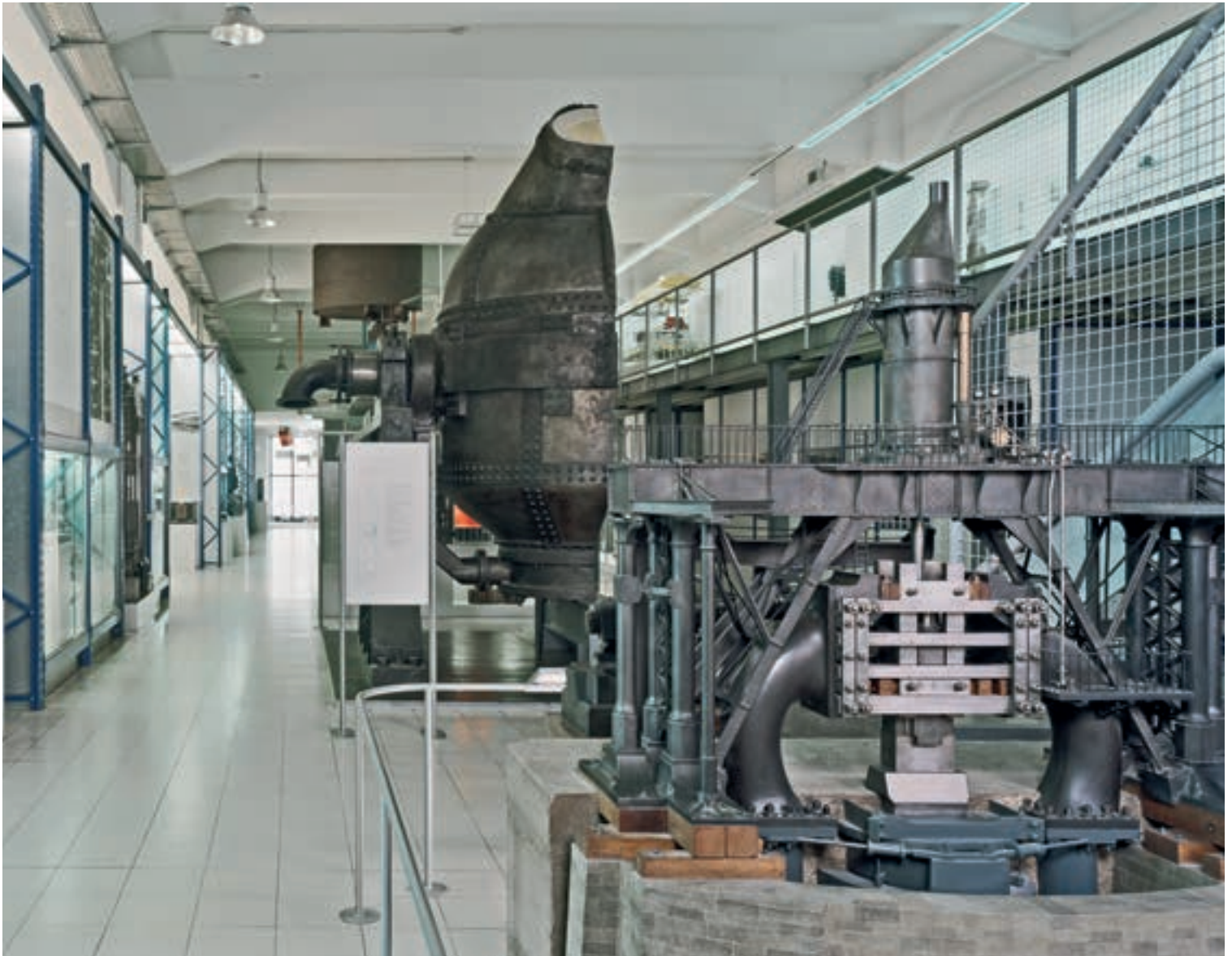
durch Schmieden umgeformt werden und lässt sich auch härten. Um Stahl aus Roheisen zu gewinnen, müssen neben dem Kohlenstoff unerwünschte »Eisenbegleiter« wie Mangan, Silizium, Phosphor und andere entfernt werden. Dies erfolgt im sogenannten »Frischen«.

Das Einsatzspektrum des Stahls reicht von den Schwertern der Hethiter im 2. Jahrtausend v. Chr., die härter und weniger brüchig waren als Waffen aus Bronze, über die mittelalterliche Armbrust, die, wo immer möglich, mit einem flexiblen stählernen Bogen ausgestattet war, der die Bolzen weitaus schneller beschleunigte als hölzerne, bis hin zu mannsdicken Stahlseilen, die weitspannende Brücken tragen. Stähle sind der heute am weitesten verbreitete Werkstoff auf Eisenbasis.

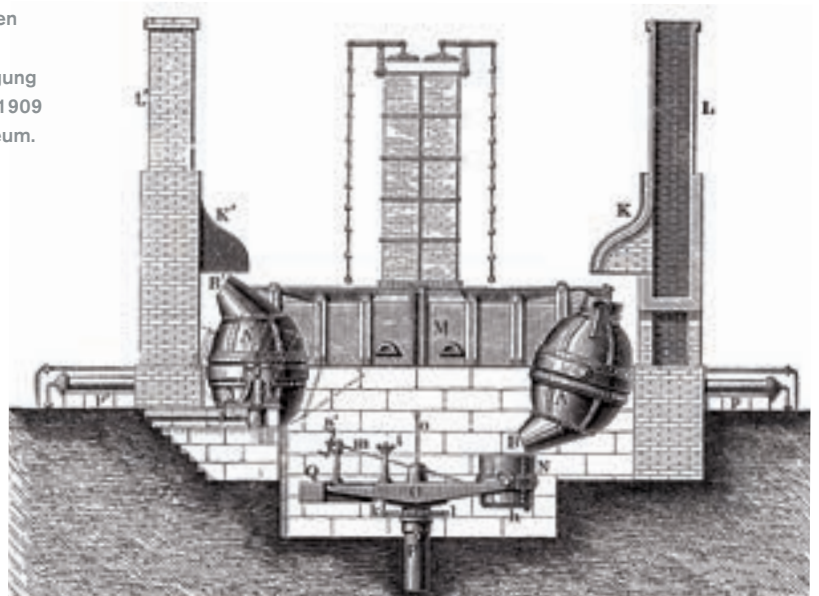
Die Verarbeitung von Eisenerzen zu Stahl erfolgte seit dem 2. Jahrtausend v. Chr. bis ins Mittelalter hinein in kleinen Schachtöfen. Diese Rennöfen genannten Vorläufer der Hochöfen beheizte man mit Holzkohle, womit eine Temperatur von etwa 1250°C erreicht werden konnte. Aufgrund der niedrigen Temperaturen entstand



Die Inszenierung eines Siegerländer Hochofens um 1800 zeigt den Abstich des Roheisens. In solchen Hochofen wurde das Eisen aus dem erzhaltigen Gestein geschmolzen. Der Abstich in der Gießhalle gehörte dabei zu den gefährlichsten Arbeiten. Gegen die sengende Hitze waren die Arbeiter damals nur notdürftig geschützt.



Der Halbschnitt einer Bessemerbirne, ein Geschenk der Firma Krupp, befindet sich seit den ersten provisorischen Ausstellungen zum Thema Eisenerzeugung und Stahl im Jahre 1909 im Deutschen Museum.



gener Werkstoff entstand. Infolge der Entkohlung stieg die Schmelztemperatur des Eisens an, da die Temperatur im Ofen aber nicht weiter anstieg, wurde der Stahl zähflüssiger und schließlich fest und konnte weiterverarbeitet werden.

Ab 1820 verbreitete sich das Verfahren auch auf dem europäischen Kontinent. Bereits 1811 stellte die von Friedrich Krupp gegründete Gussstahlfabrik auf das Puddelverfahren um. Bis in die 1890er Jahre hinein wurde es angewendet, wenn auch seine Bedeutung mit der Verbreitung des Bessemer- und später des Thomasverfahrens kontinuierlich abnahm. Für die Herstellung der ersten Schienen der europäischen Eisenbahnnetze war es aber von großer Bedeutung, und der Eiffelturm als Symbol des Fortschritts entstand 1889 noch aus Puddeleisen.

Henry Bessemer (1813–1898) führte um 1855 sein Verfahren zur Stahlherstellung ein, welches die Massenproduktion von Stahl noch einmal billiger machte und steigerte. In einem prägend geformten Kippbehälter, der Bessemerbirne, befanden sich Öffnungen im Boden, durch die Luft in die Roheisenschmelze eingeblasen wurde. Im stetigen Luftstrom oxidierte der Kohlenstoff mit dem Luftsauerstoff und wurde so reduziert. Damit das Bessemerverfahren funktioniert, muss das Roheisen schwefel- und phosphorarm sein, denn der Behälter aus Eisenblech war innen mit feuerfesten Ziegeln ausgekleidet, die empfindlich auf Schwefel und Phosphor reagierten.

Im sogenannten Thomasverfahren oder vollständig Thomas-Gilchrist-Verfahren, benannt nach den britischen Metallurgen Sidney Thomas (1850–1885) und Percy Carlyle Gilchrist (1851–1935), wandelten die Erfinder das Bessemerverfahren ab, indem sie den Konverter mit Dolomit auskleideten und dem Roheisen Kalk zugeben. Damit konnten auch phosphorreiche Eisenerze zu Stahl verarbeitet werden.

Für viele Stahlhersteller Europas und in Nordamerika war aber über eine lange Phase noch ein weiteres Verfahren sehr wichtig: das Siemens-Martin-Verfahren. Der Begriff geht auf die Brüder Friedrich (1826–1904) und Wilhelm Siemens (1816–1892) aus Deutschland sowie Vater und Sohn Emile und Pierre-Emile Martin aus Frankreich zurück. Verkürzt beschrieben, wird dem Roheisen noch



Henry Bessemer hatte das Handwerk des Schriftgießers erlernt. Schon als junger Mann beginnt er, mit Legierungen und Schmelzpunkten zu experimentieren. Als Zwanzigjähriger erfindet Bessemer die geheizten Samtpresswalzen. Eine von ihm entwickelte Goldfarbe zum Malen macht ihn zum finanziell unabhängigen Erfinder. 1855 meldet er – nach etlichen anderen Erfindungen – sein Patent zur Verhüttung von Eisen an.

Schrott, Roheisenerz und/oder Kalk zugegeben, die den Sauerstoff für die Oxidation der Eisenbegleiter einbringen. Mit Hilfe einer speziellen Luftführung durch eine Art Wärmetauscher wurde die Frischluft durch die Luft, die bereits durch den Ofen geströmt war, erhitzt und in den Ofen zum Frischen geführt. Dadurch erreichte der Ofen bis zu 1600°C und war damit energetisch noch weit effektiver als die Verfahren von Bessemer und Thomas. Ab den 1870er Jahren bis Mitte der 1960er Jahre war dieses Verfahren eines der wichtigsten in Deutschland.

Im Zeitalter der Hochindustrialisierung lieferten all diese genannten Verfahren den Stahl für den Ausbau der Eisenbahnnetze, für den Bau von Hochhäusern, für Dampf-, Textil- und Werkzeugmaschinenbau. Über ihre technische und ökonomische Bedeutung hinaus erlangte die Eisen- und Stahlindustrie eine enorme politische Wertschätzung. Als »Schwerindustrie« galt sie als Indikator für die Leistungsfähigkeit einer Volkswirtschaft.

Durch Chrom rostfrei

Durch die Zugabe unterschiedlicher Stoffe hat der Mensch gelernt, die Eigenschaften von Stählen in gewissen Bandbreiten bewusst zu steuern. Eines der folgenreichsten Beispiele dafür ist der rostfreie Stahl oder »Edelstahl rostfrei«, im alltäglichen Sprachgebrauch oft nur Edelstahl genannt. Dabei bezeichnet Edelstahl in der Fachsprache der Metallurgen jeden legierten oder unlegierten Stahl mit einem besonderen Reinheitsgrad, beispielsweise geringem Phosphor- und Schwefelgehalt.

Neben den vielen technisch erwünschten Eigenschaften haben Stähle den Nachteil, abhängig von Umwelteinflüssen, mehr oder weniger stark zu rosten. Die Oberfläche musste und muss daher vor allem vor feuchter Umgebungsluft geschützt werden, beispielsweise durch Auftragen einer dünnen Schicht Öl oder eines Lacks. Ein dauerhafter Schutz vor den nachteiligen Einflüssen, der quasi im Stahl selbst liegt, war ein langgehegter Wunsch an die Metallurgie.

Der Österreicher Max Mauermaier (1868–1929), die beiden Deutschen Benno Strauß (1873–1944) und Eduard Maurer (beide im Entwicklungslabor des Krupp-Konzerns) sowie der Brite Harry Brearley (1871–1948)

erforschten die Wirkung von Chrom auf schützende Eigenschaften für Stahl in den Jahren 1912/1913. Ab einem Anteil von 10,5 Prozent Chrom in der Stahllegierung bildet sich eine schützende und dichte Passivschicht aus Chromoxid an der Werkstoffoberfläche aus und verhindert so die Korrosion. Vor allem Nickel und weitere Legierungselemente verstärken noch die Resistenz.

Ungeachtet eines jahrelangen Patentstreits über die Erfindung des rostfreien Stahls führte diese zu einem weiteren Boom in der Verwendung von Stahl. Geschirr und Bestecke aus dem neuen unempfindlicheren Material kamen vor allem nach dem Ersten Weltkrieg auf den Markt und lösten beispielsweise die verbreitete Emaillierung als Schutz ab. Für die Hygiene im gesamten lebensmittelverarbeitenden Gewerbe wie Molkereien waren die neuen Legierungen ein großer Schritt. Und in der chemischen und pharmazeutischen Industrie waren die neuen Stahlwerkstoffe für die Produktion im großtechnischen Format unverzichtbar. Gleichfalls reaktionsträge gegenüber dem Einfluss von Säuren wie Laugen und geeignet für Behälter, die hohen Drücken standhalten, hat der rostfreie Stahl auch hier den Anlagenbau revolutioniert.

In der Architektur ermöglichte Edelstahl eine neue Ästhetik. Das Chrysler Building in New York, zwischen 1928 und 1930 erbaut, ist nicht nur 319 Meter hoch, sondern mit seiner Kuppelspitze einer der ersten »Höhepunkte« im Einsatz von rostfreiem Stahl im Hochhausbau. Auch das derzeit höchste Bauwerk der Welt, der Burj Khalifa in Dubai, besitzt eine Hülle aus rostfreiem Stahlblech, die eigens für dieses Gebäude entworfen wurde und ihren Glanz über Jahrzehnte hinweg behalten soll.

Konkurrenzlos nachhaltig

Seit der Industrialisierung hat Stahl immer wieder Konkurrenz durch verschiedene andere Werkstoffe bekommen, die sich letztlich jedoch nur in einigen Teilbereichen der Produktion durchsetzen konnten oder aktuell durchsetzen: Metallische Werkstoffe wie Aluminium und Magnesium, Kunststoffe oder Faserverbundwerkstoffe traten und treten an die Stelle von Stahl im Luftfahrzeug-, Bahn- und Automobilbau. Andere metallische Werkstoffe sind zwar leichter als Stahl, ihre Festigkeit ist aber noch



Im hinteren Teil der Ausstellung befindet sich der Bereich modernes Gießen, der 2007 eröffnet wurde.

immer deutlich geringer. Faserverbundwerkstoffe wie Carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) haben in Faserrichtung noch eine weitaus größere Festigkeit als Stahl. Ihre Herstellung und Verarbeitung zu Bauteilen für Fahr- und Flugzeuge ist jedoch derzeit noch teuer und die Produktion technisch aufwendig. Die Vorteile von CFK können daher nur in den Bereichen genutzt werden, wo sich die Investitionen in die Produktionsanlagen lohnen. Derzeit ist dies fast ausschließlich in der Luftfahrt und in geringem Umfang im Fahrzeugbau der Fall.

Die großen Container- und Kreuzfahrtschiffe werden nach wie vor aus vielen Tausend Tonnen Stahl gefertigt. Im Maschinen- und Anlagenbau sowie im Baugewerbe (Stahlbeton) und (Stahl-)Brückenbau ist ebenfalls kein anderer Werkstoff zu erwarten, der in wenigen Jahren die Bedeutung von Stahl erreichen könnte.

Das Herstellungsverfahren hat sich seit dem Zweiten Weltkrieg noch einmal grundlegend gewandelt. Zwar wird Roheisen auch weiterhin im Hochofen gewonnen. Die Stahlerzeugung erfolgt heute aber meistens nach dem seit 1949 eingeführten Linz-Donawitz-Verfahren (abgekürzt LD-Verfahren). Das Roheisen wird in einen Konverter eingefüllt. Eine wassergekühlte Lanze wird in die Schmelze eingeführt und bläst unter einem Druck von rund zehn bar reinen Sauerstoff ein.

Bei der nun folgenden Schmelzreaktion, durch die der Kohlenstoff in Gasform entzogen wird, steigt die Temperatur von 1200 °C bis auf 1600 °C an. Durch das Zufügen von Stahlschrott wird die Temperatur wieder gesenkt. Kalksteine, die ebenfalls in die Schmelze hinzugegeben werden, binden unerwünschte Begleitelemente in der Schlacke. Nach etwa einer halben Stunde Einblasen des Sauerstoffs werden Stahl und Schlacke getrennt abgegossen und der Stahl kann durch Zugabe weiterer Elemente in eine der heute über 2500 nach Euronorm definierten Stahlsorten oder Stähle legiert werden.

Das zweite heute wichtige Stahlherstellungsverfahren ist die Herstellung im Elektrolichtbogenofen. Mittels einer Grafitelektrode wird auf der Oberfläche des Rohstahls ein Lichtbogen erzeugt. Dem Roheisen setzt man zuvor wieder Schrott zu, dessen rostiger Anteil als Sauerstofflieferant für die Bindung der Begleitelemente dient. Danach erfolgt die gewünschte Legierung durch die Zugabe von weiteren Elementen. Da sich auf diesem Wege insbesondere hochwertige Stähle erzeugen lassen, wird das Elektrostahlverfahren vor allem für Edelstähle wie rostfreie Stähle genutzt.

Stahl hat aus heutiger Sicht neben seinen flexiblen Einsatzmöglichkeiten aufgrund der unterschiedlichen Sorten noch einen weiteren Vorteil: Neben der Primärerzeugung durch Hochofen und Frischen kann Stahl als Schrott ohne nennenswerten Qualitätsverlust wiederverwertet werden (siehe Beitrag Jopp, Seite 20 ff.). Nach Erhebungen des Umweltprogramms der Vereinten Nationen UNEP liegt die Stahlrecyclingquote bei einigen Sorten bei bis zu neunzig Prozent.

Auch auf dem Gebiet der Primärerzeugung wächst die Stahlindustrie weltweit weiter. Trotz wirtschaftlicher Krisen werden nach wie vor Stahlwerke und die ihnen angeschlossenen Industrien zur Herstellung beispielsweise von Stahlblechen, Profilen oder Schienen gebaut. Der »Stahlhunger« moderner Volkswirtschaften scheint trotz der Vielzahl neuer Werkstoffe ungebrochen. ■■

Von der Inszenierung einer Schmiede aus dem 18. Jahrhundert zum modernen Gießen: Die Ausstellung »Metalle« im Deutschen Museum zeichnet die Entwicklung der Metallurgie und wichtiger Formgebungsverfahren in einer historischen Linie von der Steinzeit bis in die Moderne auf. Schauen Sie doch einmal vorbei!



DER AUTOR

Ralf Spicker M.A.
ist Kurator für Metalle,
Maschinenbau und Kinder-
reich im Deutschen Museum.

RADSPIELER


Seit 1841



*Ausgesuchte Möbel,
Stoffe, Glas,
Geschirr und alles,
was Wohnen
schön macht.*



*F. Radspieler & Comp. Nachf.
Hackenstraße 7 · 80331 München
Telefon 089/23 50 98-0
Fax 089/26 42 17
mail@radspieler-muenchen.de
www.radspieler.com*



Stahl der Zukunft:
3-D-Metalldruck macht nicht
nur die Herstellung völlig neuer
Bauteile möglich. Pulverdüse-
verfahren, wie hier abgebildet,
schaffen Legierungen, die mit
herkömmlichen Schmelzver-
fahren nicht machbar wären.

Die Pulverdrucker

Es klingt wie Zauberei und ist doch ganz real. Dinge aller Art können längst im Drucker hergestellt werden. Auch Metallteile sind kein Problem – wenn die Zusammensetzung des Metallpulvers stimmt. An dessen Optimierung arbeitet Dr. Eric Jägle, Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf. Das Interview führte Laura Pöhler.



Seit April 2015 leitet Dr. Eric Jäggle die Forschungsgruppe »Legierungen für additive Fertigung« am Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf. Im Bild ist er mit einer Spezialität des Hauses zu sehen: dem Atomsondenmikroskop.

Alle sprechen über die Möglichkeiten des 3-D-Drucks – was versteht man eigentlich darunter?

3-D-Druck bedeutet, dass ein Bauteil Schicht für Schicht aufgebaut wird. Im technischen Bereich spricht man auch von »additiver Fertigung«. Im Prinzip ist das eine Abfolge von 2-D-Druckvorgängen. Woraus die jeweiligen Schichten bestehen und wie diese aufgetragen werden, das kann sehr unterschiedlich sein. Das aufzubauende Bauteil wird zunächst dreidimensional am Computer erstellt. Diese Computerdatei wird dann mit Hilfe eines speziellen Computerprogramms in Scheiben geschnitten, eben in die einzelnen 2-D-Scheiben, und anschließend im 3-D-Druckprozess in physikalische Realität übersetzt.

Wie funktioniert der 3-D-Metalldruck?

Es gibt verschiedene Methoden – die populärste nennt man »Selective Laser Melting«. Bei dieser Methode werden die einzelnen Schichten zunächst aus Metallpulver hergestellt. Man trägt eine dünne Schicht Metallpulver auf einer Grundplatte auf und benutzt dann entweder einen Laser oder einen Elektronenstrahl, um in die Pulverschicht hineinzuschreiben. Überall dort, wo der Laserstrahl auftrifft, wird das Pulver so heiß, dass es aufschmilzt. Sobald der Laserstrahl weiterbewegt wird, erstarrt das Metall sofort wieder. Dabei verbinden sich die einzelnen Pulverteilchen zu solidem Material. Der Laserstrahl hinterlässt also eine Linie aus festem Metall. Wenn man das in Schlangenlinien macht, entsteht eine feste Schicht. Werden viele dieser festen Schichten übereinandergelegt, dann bekommt man ein solides metallisches Bauteil. »Selektives« Laserschmelzen heißt das Verfahren deshalb, weil es für den Laser sehr einfach ist, bestimmte Stellen aufzuschmelzen und an bestimmten Stellen das Pulver einfach unangetastet zu lassen. Das heißt, nur dort, wo der Laser auch tatsächlich entlangfährt und in die Pulverschicht hineinschreibt, entsteht das solide Bauteil.

Wie muss man sich einen 3-D-Metalldrucker vorstellen?

Da oft größere Metallteile produziert werden, ist der Metalldrucker meistens deutlich größer als der Papierdrucker zu Hause. Um das Metall aufschmelzen zu können, brauchen wir zunächst einen leistungsfähigen Laser. Im Pulverbettverfahren haben diese ungefähr 200 Watt. Bei Stahl müssen circa 1600 Grad Celsius herrschen. Dann brauchen wir ein System, das die Pulverschicht aufträgt und die Grundplatte absenkt, nämlich nach jedem Schichtauftrag genau um diese Pulverschichtdicke. Wir brauchen auch ein System, das den Laserstrahl bewegt – bewegte Spiegel, die den Laserstrahl ablenken. Wir brauchen Gassysteme, denn das Ganze findet häufig unter Schutzgas statt, also zum Beispiel Stickstoff oder Argon. All diese Systeme sind schließlich von einem Gehäuse umgeben. Das benötigt natürlich ein bisschen Platz. Es gibt aber tatsächlich schon relativ kompakte Systeme, die könnten Sie sich auf den Schreibtisch stellen.

Basis dieses Prozesses ist das Metallpulver. Was hat es damit auf sich?

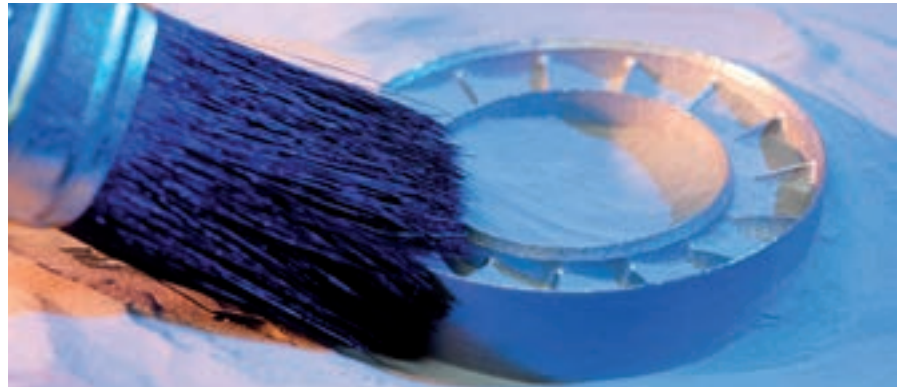
Tatsächlich muss man zunächst seinen Ausgangsstoff – der Stahl liegt ja meistens als solides Material, zum Beispiel als Stange, vor – in Pulverform bringen. Man nennt das »Verdüsen«. Das funktioniert, indem man das Metall aufschmilzt und dann einen feinen Strahl durch einen starken Gasstrom in viele feine Tröpfchen aufbricht. Man kann es sich in etwa so vorstellen, wie wenn man mit einer Spritzpistole Wasser zerstäubt. Die erstarrten Tropfen sind in dem Fall die einzelnen Pulverpartikelchen. Beim Metall sind uns da keine Grenzen gesetzt. Die jeweilige Anwendung bestimmt, welche Legierung wir verwenden.

Mit welchem Aspekt des 3-D-Metalldrucks beschäftigt sich Ihre Forschungsgruppe »Legierungen für additive Fertigung«?

Dieses Verfahren – obwohl es in der Öffentlichkeit jetzt erst so richtig ins Bewusstsein tritt – ist eigentlich gar nicht so neu. Das Pulverbettverfahren für Kunststoffe wurde bereits in den 80er Jahren patentiert und speziell für Metalle in den 90er Jahren weiterentwickelt. Jetzt ist dieses Verfahren in der Serienreife. Bisher verwendete man für diesen Prozess Metallpulver »von der Stange«: bestehende Legierungen, die bei Stahlherstellern zu



Aus Pulver geboren: Im Bild links wird eine Schicht Metallpulver mit einem Laser selektiv aufgeschmolzen. Passiert dies in mehreren Schichten, entsteht ein dreidimensionales Metallbauteil (Bild rechts).



kaufen sind. Unser Job ist die Entwicklung der Legierungen. Wir wollen verstehen, was dieser Prozess mit der Mikrostruktur eines Materials macht und wie sich diese Mikrostruktur auf die Eigenschaften des Metalls auswirkt. Legierungen wurden für eine bestimmte Anwendung und einen bestimmten Herstellungsprozess entwickelt. Der klassische Herstellungsprozess ist ganz anders als das, was wir mit dem Material im Prozess des 3-D-Drucks tun. Wir prüfen, ob sich die derzeit verwendeten Legierungen für den 3-D-Prozess eignen. Oder in einem vorausgehenden Schritt: Wenn die Legierungen, die ursprünglich für ganz andere Zwecke entwickelt wurden, jetzt im 3-D-Prozess verwendet werden, bringen sie dann überhaupt noch die Eigenschaften, die wir brauchen? Denn unser Ziel ist es letztendlich, ein Werkstück mit bestimmten Eigenschaften zu drucken.

Warum kann man für einen 3-D-Drucker nicht einfach ganz normalen Stahl verwenden?

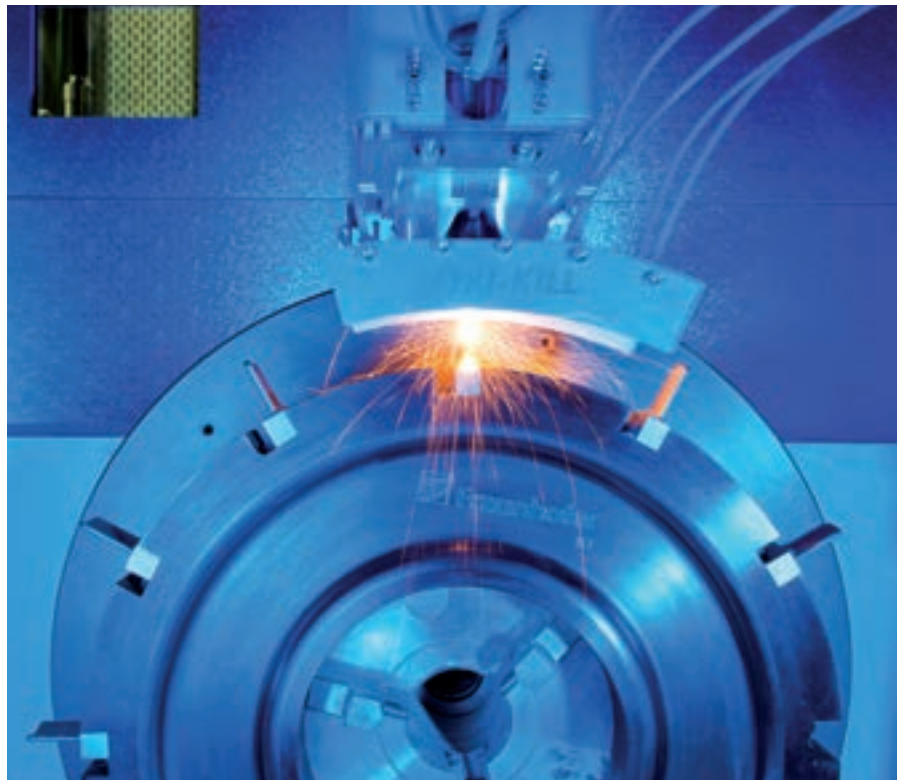
Man kann einen »normalen« Stahl verwenden, aber was ist schon ein »normaler« Stahl? [lacht] Wir haben heutzutage sehr viele Stahlsorten, die viel mehr können als der »primitive« Eisenkohlenstoff. Die Anwendungen, für die der 3-D-Druck relevant ist, sind in der Regel High-End-Anwendungen, für die auch High-End-Werkstoffe benötigt werden. Das sind komplexe Legierungen mit sehr vielen Legierungselementen, wie Mangan, Nickel, Titan, Cobalt, Aluminium.

Wie läuft die Suche nach der idealen Legierung für den 3-D-Druck ab? Stehen Sie in Ihrem Labor und rühren eine Legierung?

Natürlich ist es kein Kochtopf, in dem gerührt wird, aber im Prinzip kann man tatsächlich im Topf ein paar Bröckchen Eisen und zum Beispiel ein paar Bröckchen Mangan zusammenschmelzen. Das Ganze wird dann in eine Form abgegossen, in eine sogenannte Kokille. Die gewünschte Zusammensetzung erstarrt darin dann zu einem Block.

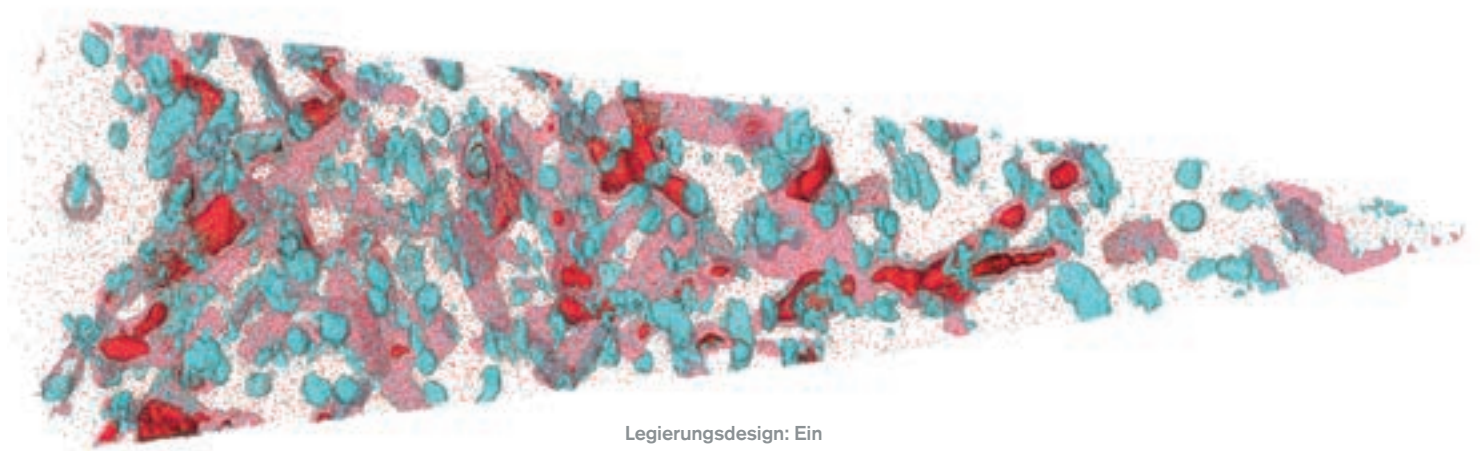
Und wie finden Sie den optimalen 3-D-Stahl?

Dafür ist es wichtig zu wissen, dass Stähle im Prinzip



Nanotechnologie sind. Viele Stähle bekommen ihre sehr guten Eigenschaften über eine bestimmte Nanostrukturierung. Diese können wir zwar vielleicht nicht »bottom-up« aufbauen – wir bauen also nicht Atom für Atom eine Nanostruktur nach –, aber indem wir den Werkstoff auf eine bestimmte Art nachbehandeln, können wir eine Nanostrukturierung erreichen. Wenn wir die modernen Stähle verstehen wollen, müssen wir hochauflösende Mikroskopie betreiben. Eine Spezialität des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung ist die 3-D-Atomsonde. Da wird das Material nicht wie bei anderen Mikroskopen in Form eines Scheibchens präpariert, sondern in Form einer ganz feinen Nadel. Und diese Nadel wird dann unter bestimmten experimentellen Bedingungen – sehr niedrige Temperatur, sehr hohes Vakuum, sehr hohe angelegte elektrische Spannung zwischen Nadel und Detektorsystem – Atom für Atom abgetragen. Wir detektieren, wo das Atom auf den Detektor auftrifft, und messen, wie lange die Flugzeit von

Auch auf bereits bestehende Bauteile kann gedruckt werden: Hier sieht man, wie auf einer vorgefertigten Scheibe Turbinenschaufeln mittels 3-D-Metalldruck aufgebracht werden. Als hellen Fleck erkennt man den Punkt, an dem der Laser auf das Material trifft und ein Schmelzbad erzeugt.



Legierungsdesign: Ein sogenannter Maraging-Stahl (Eisen-Nickel-Cobalt-Molybdän-Titan-Legierung) in 700 000-facher Vergrößerung durch das Atomsondenmikroskop betrachtet.

der Abtragung bis zum Auftreffen ist. Über die Flugzeit finden wir heraus, wie schwer das Atom war. Das Gewicht verrät uns dann, um welches Atom es sich handelt: Eisen? Wolfram? Kohlenstoff? Schließlich können wir über einen mathematischen Algorithmus aus den Daten im Computer eine 3-D-Darstellung der einzelnen Atome in dem Stahl herstellen. Das heißt, wir können uns die Nanostrukturierung in 3-D ansehen. Wir charakterisieren die Eigenschaften des Stahls, zum Beispiel indem wir eine Probe mit einer Prüfmaschine zerreißen, um herauszufinden: Wie viel Kraft brauche ich, um diesen Stahl auseinanderzuziehen?

Kommen dabei auch ganz neue Legierungen zustande?

Wir wollen versuchen, den 3-D-Druck mit ganz neuen Legierungen zu verwenden, die für herkömmliche Verfahren nicht in Betracht gezogen werden konnten. Neben dem beschriebenen Pulverbettverfahren gibt es noch ein Pulverdüseverfahren. Dazu hat man eine Grundplatte, einen Laserstrahl, der auf diese Platte auftrifft – aber hier wird von außen mit Hilfe eines Trägergases Metallpulver hinzugepustet. Wenn wir jetzt kein Stahlpulver hineinpusten, sondern zum Beispiel reines Eisen von der einen Seite und Nickel von der anderen Seite des Lasers, dann können wir die Legierung direkt im Drucker, in einem winzig kleinen Schmelzbad am Ende des Lasers herstellen. Es gibt also durchaus auch das Potenzial, das 3-D-Druckverfahren für die Legierungsherstellung zu nutzen und aus einzelnen Elementpulvern eine Legierung unmittelbar vor Ort herzustellen.

Was wird mit 3-D-Metalldruck alles schon hergestellt?

Heute werden zum Beispiel medizinische Produkte wie Implantate aus Titan mit diesem Verfahren hergestellt, also zum Beispiel Zahnprothesen oder auch Hüftprothesen. Der große Vorteil ist: Mit diesem Verfahren kann ich für jeden Patienten maßgeschneidert eine Prothese herstellen, denn dem 3-D-Drucker ist es ganz egal, ob er zehnmal dasselbe herstellt oder zehnmal völlig unterschiedliche Bauteile.

Ein klassisches Anwendungsgebiet für 3-D-Stahldruck in der Industrie ist der Formenbau für Kunststoffspritz-

guss. Viele Kunststoffbauteile, zum Beispiel das Gehäuse Ihres Aufnahmegeräts, werden hergestellt, indem flüssiger Kunststoff in eine Form eingespritzt wird. Die Hersteller von diesen Geräten möchten das möglichst schnell haben: Einspritzen – Erstarren – Werkzeug geht auf – Plastikbauteil wird ausgestoßen – Nächstes. Für diese Hersteller ist Zeit Geld. Diese Zeit wird dadurch bestimmt, wie lange es dauert, bis das Bauteil in seiner Form erstarrt ist. Wie bekomme ich nun eine effiziente Kühlung hin? Indem ich das Werkzeug durch Wasser kühle. Für diese Wasserkühlung muss ich irgendwie Kanäle in dieses Werkzeug hineinbekommen. Aber wie? Man kann ja schlecht Schlangenlinien bohren – das geht nicht. Hier ist die Anwendung des 3-D-Drucks gefragt. Man kann damit Werkzeuge aus Stahl herstellen, die Kühlkanäle schon so integriert haben, dass sie genau die Form des zu produzierenden Bauteils umspielen und deswegen eine sehr effiziente Kühlung ermöglichen.

Es gibt bereits 3-D-Plastikdrucker für den Hausgebrauch. Wird man irgendwann auch einen 3-D-Metalldrucker zu Hause stehen haben?

Das glaube ich nicht. Was wir aber tatsächlich erleben werden, ist möglicherweise, dass die Produktionsweise revolutioniert wird. Vielleicht brauchen wir für bestimmte Bauteile keine zentralen Fabriken mehr. Stattdessen stehen irgendwann in den Zentren Europas 3-D-Drucker, mit denen dezentral produziert werden kann. Ein großes Thema sind Ersatzteile: Möglicherweise werden große Firmen überhaupt keine Ersatzteile mehr auf Lager haben. Wird ein Ersatzteil benötigt, dann bekommt der 3-D-Drucker nur eine E-Mail: »Ich brauche das Ersatzteil. Druck« – und fünf Stunden später ist das Ersatzteil fertig und kann verschickt werden.

Und aus dem Drucker kommt dann wirklich ein vollständiges Ersatzteil?

Ja. Das ist das Schöne am 3-D-Druck: Man startet mit Pulver und heraus kommt ein Flugzeugteil oder ein Hüftgelenk – oder eben ein Werkzeug aus Stahl. ■■

Zwanzig Millionen Tonnen
Stahlschrott werden von der
deutschen Stahlindustrie
jährlich wiederverwertet.

Eine unendliche Geschichte



Stahl ist ein uralter Werkstoff und hochmodern zugleich: Über 2500 Stahlsorten erfüllen heute fast jeden Anwendungswunsch. Und: Stahl ist Weltmeister beim Schließen von Stoffkreisläufen, weil er verlustfrei immer wieder recycelt werden kann. Von Klaus Jopp

Die Menge ist eigentlich unvorstellbar: 570 Millionen Tonnen Stahl – das entspricht 78 000 Eiffeltürmen – werden jedes Jahr weltweit recycelt. Das gewaltige Bauwerk, das Gustave Eiffel zur Weltausstellung 1889 erbaute, besteht in seiner filigranen Konstruktion aus 7300 Tonnen Schmiedeeisen und war bis 1930 das höchste Bauwerk der Welt. Das berühmte Wahrzeichen von Paris ist nicht nur ein Meilenstein für kühne Ingenieurleistungen, die mit Stahl verbunden sind, sondern auch ein Beleg für die Langlebigkeit dieses Werkstoffes.

Langlebigkeit im besonderen Sinne erlangt das Material durch sein Vermögen zur vielfachen, verlustfreien Wiederverwertung. Multirecycling nennen Fachleute dieses einzigartige Verhalten: So entstehen zum Beispiel aus einer Tonne Stahl nach sechsmaligem Recycling in der Summe vier Tonnen neue Stahlprodukte. Unter dem Strich ist Stahl mit großem Abstand der am häufigsten wiederverwertete Werkstoff.

Das liegt nicht zuletzt an einer Seite von Stahl, die ihn von vielen anderen Werkstoffen unterscheidet: Das metallische Material, das heute in über 2500 verschiedenen Sorten hergestellt wird, behält auch nach dem Recycling seine Qualitätsmerkmale. Es gibt also kein sogenanntes Downcycling, bei dem ein Werkstoff mit jedem Recycling-Durchgang gegenüber seiner ursprünglichen Funktionalität Einbußen hinnehmen muss.

Stahl gilt dagegen als »permanent material« mit unverwüsthlichen Eigenschaften – zudem kann jeder wiederverwertete Stahl durch Legieren und weitere Behandlungen an beliebig neue Anforderungen angepasst werden. Deshalb ist er auch ein begehrter Sekundärrohstoff. Der ursprünglich eher abwertend gemeinte Begriff Schrott bekommt vor diesem Hintergrund eine ganz andere Bedeutung, ist er doch heute der Rohstoff für die Hightech-Produkte von morgen.



Allein die deutsche Stahlindustrie setzt jährlich deutlich mehr als zwanzig Millionen Tonnen Stahl- und Eisenschrott ein, um daraus neue Produkte herzustellen. In fast allen Ländern rund um den Globus gibt es Werke, die ausrangierte Stahlteile – vom Auto über das Fahrrad bis zur Getränkedose – in den Kreislauf zurückführen. Eine Vielzahl von Betrieben der Stahlrecyclingwirtschaft sorgt für die gezielte Sammlung und Aufbereitung und verfügt dafür über die erforderlichen Anlagen wie Schrottpressen, -scheren und Shredder.

In Deutschland hat dieser wichtige Wirtschaftszweig ein Rücklaufsystem etabliert, das im Jahr 2013 rund 28 Millionen Tonnen Schrott erfasst und damit Stahlwerke und Gießereien versorgt hat. So sind nach Angaben des Statistischen Bundesamtes beispielsweise über 1300 zertifizierte Demontagebetriebe und rund vierzig Shredderanlagen in

Letzte Ruhestätte Autofriedhof. Die stillgelegten Wagen bergen zahlreiche Wertstoffe. 504 000 Tonnen Stahl wurden 2014 aus Altautos gewonnen.



23 Millionen Tonnen
Stahlschrott liefert die
Bauindustrie jährlich.
Hinzu kommen unter
anderem 500 000 Tonnen
Weißblechverpackungen.

der Bundesrepublik allein damit beschäftigt, Altfahrzeuge zu behandeln und den hohen Stahlanteil aus Automobilen zurückzugewinnen. »In den letzten Jahren waren es immer rund 500 000 Altfahrzeuge, der Input für die Demontagebetriebe betrug 2013 nach vorläufigen Zahlen 504 500 Tonnen«, erklärt Regina Kohlmeyer, die zuständige Expertin vom Umweltbundesamt in Dessau.

Neben der Fahrzeugindustrie ist auch die Bauwirtschaft eine wichtige Abnehmergruppe von Stahl. 2014 wurden in Deutschland rund 43 Millionen Tonnen Rohstahl produziert, knapp dreißig Prozent davon für Bauaufgaben. Im Vergleich mit anderen metallischen Baustoffen hat Stahl hier mit einem Anteil von über 84 Prozent eine überragende Bedeutung. Ähnlich beeindruckend sind auch die Werte beim Rückbau: Am Lebensende von Gebäuden steht eine einfache Demontage. Dabei werden elf Prozent der Stahlbauteile direkt wiederverwendet, 88 Prozent davon werden recycelt. Leicht lösbare Verbindungen machen das möglich.

Von den rund 23 Millionen Tonnen Stahlschrott stammen knapp dreißig Prozent (6,7 Millionen Tonnen) aus der Baubranche. In speziellen Fällen kommt es bei Baustahl zu einem direkten Upcycling wie beim Burj Khalifa in Dubai.

»Das höchste Gebäude der Welt besteht in den oberen der 163 Geschosse hauptsächlich aus Stahl, der aus dem ehemaligen Palast der Republik in Berlin stammt«, berichtet Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus im *Sachstandsbericht* zum Stahlrecycling im Bauwesen. Helmus ist an der Bergischen Universität Wuppertal für das Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft verantwortlich. Nach Abriss des Gebäudes 2006 im Zentrum der deutschen Hauptstadt wurden die Stahlträger eingeschmolzen und in Form neuer Bauteile nach Dubai geliefert.

Andere Fraktionen im Bereich Altschrott sind Weißblechverpackungen mit knapp 500 000 Tonnen, die 2013 im Übrigen zu 93,7 Prozent wiederverwertet wurden, und Feinblechverpackungen mit 250 000 Tonnen aus industrieller Verwendung, unter anderem für Fässer. Aus der Müllverbrennung kommen ohne Verpackungen weitere 365 000 Tonnen Schrott zusammen. Viele Quellen wie Anlagen und Maschinen, Schienenfahrzeuge, Container oder Baumaschinen, aber auch sogenannte weiße Ware, also Kühlschränke und Herde, Geschirrspül- und Waschmaschinen, sowie die Sammlungen der Recyclinghöfe, in die viele alte Stahlteile vom Kochtopf über das Fahrrad bis zum Rasenmäher gelangen, werden aber nicht mengenmäßig separat erfasst. »Bei der Schrotterfassung wird zunehmend auch das urbane Umfeld als Rohstoffquelle betrachtet – unter dem Begriff ›Urban Mining‹ werden verstärkt nachhaltige Konzepte zur Wiederverwertung umgesetzt«, erläutert Dr. Reinhard Winkelgrund, Leiter Kommunikation und Marketing bei der Wirtschaftsvereinigung Stahl.

Zudem ist Schrott nicht gleich Schrott – sogenannte Eigen- und Neuschrotte sind Produktionsreste, die bei der Stahlerzeugung selbst oder in der industriellen Fertigung zum Beispiel als Späne oder Stanzreste anfallen und direkt in den Stahlkreislauf zurückgeführt werden.

Da die Schrottqualität auch über die Qualität des Endprodukts mitentscheidet, wird der gesamte Recyclingprozess durch ein engmaschiges Sortier- und Prüfsystem überwacht. Für eine besonders effiziente Wiederverwertung in den Stahlwerken muss der Schrott möglichst sauber und homogen sein. Deshalb finden schon bei der Erfassung zunächst Sicht- und Vorprüfungen statt. Dabei kommen unter anderem Magnete und geeignete Analyseverfahren



Ein Arbeiter in Schutzkleidung inspiziert Schrottpakete, die in die Gießerei geliefert wurden.

zum Einsatz. Für bestimmte Qualitäten werden auch Proben genommen, eingeschmolzen und begutachtet. Anschließend wird der Schrott mit verschiedenen Verfahren aufbereitet bzw. zerkleinert. Ausgediente Waggonen oder Industrieanlagen werden mit Schrottscheren oder Brennern zerlegt, Shredderanlagen übernehmen Werkstoffgemische, um sie zu zerteilen und automatisch zu trennen. Wenn notwendig, wird die Stahlfraction durch Mahlprozesse weiter zerkleinert. Nach Trennung und Sortierung erfolgen zusätzliche Prüfungen. Mit Hilfe digitaler Spektrometer lässt sich die jeweilige chemische Zusammensetzung der Werkstoffe mit hoher Genauigkeit bestimmen – eine wichtige Voraussetzung für hochwertige Qualitätsstähle.

Elektrostahl gewinnt an Bedeutung

Die deutsche Stahlindustrie ist mit rund 43 Millionen Tonnen Rohstahlerzeugung größter Stahlhersteller innerhalb der EU und steht weltweit an siebter Stelle der Rangliste der wichtigsten Stahlproduzenten. Bei der Herstellung von Stahl werden hauptsächlich zwei Wege verfolgt: »Eisenerz zu Stahl« sowie »Schrott zu Stahl«. Bei der eisenerzbasiereten Hochofenroute wird aus dem Erz, Zuschlägen und Reduktionsmitteln wie Koks, Kohle, Öl oder Gas Roheisen gewonnen, das im nachgeschalteten Sauerstoff-Konverterstahlwerk zu Rohstahl umgewandelt wird. Hierbei werden durch Einblasen von Sauerstoff – das »Frischen« – störende Begleitelemente wie Kohlenstoff, Silizium, Schwefel und Phosphor entfernt. Dieser Blasprozess verläuft unter starker Wärmeentwicklung. Zur Kühlung werden dem Konverter daher bis zu 25 Prozent Schrott zugesetzt, der so material- und energieeffizient wiederverwertet wird. Bei der alternativen Elektroofen-Route wird bevorzugt vorsortierter Stahlschrott direkt im Lichtbogen bei Temperaturen bis 3500 °C eingeschmolzen. Jedoch können dabei auch Primärrohstoffe zum Einsatz kommen (beispielsweise Eisenschwamm). Dieses Elektrostahlverfahren setzt also noch stärker auf die Schließung von Kreisläufen. Beide Verfahren werden an den Standorten in Deutschland gleichermaßen umweltverträglich betrieben. Aufgrund des hohen Stahlbedarfs, der nicht alleine über die Schrottschmelzung gedeckt werden kann, werden Hochofen- und Elektroofen-Route noch auf Jahrzehnte nebeneinander



Per Bahn werden Stahlreste an die Hüttenwerke Krupp-Mannesmann in Duisburg geliefert.

DER AUTOR

Klaus Jopp

ist studierter Diplom-Chemiker. Er arbeitet als Redakteur für Naturwissenschaft und Technik und ist freier Journalist mit eigenem Pressebüro. Klaus Jopp ist Robert-Mayer-Preisträger der VDI-Gesellschaft für Energietechnik 1993 und Verfasser des Buches *Nanotechnologie – Aufbruch ins Reich der Zwerge*.

bestehen. Allerdings gewinnt das zweite Verfahren immer stärker an Bedeutung und macht inzwischen rund ein Drittel der Rohstahlerzeugung in Deutschland aus.

In den zurückliegenden Jahren ist der Schrotteinsatz im Verhältnis zur Rohstahlerzeugung in Deutschland immer weiter gestiegen. Nach unter 32 Prozent Anfang der 90er Jahre lag er zuletzt bei 45,6 Prozent. Aber auch insgesamt fällt die Umweltbilanz bei Stahl immer besser aus: Die deutschen Hersteller konnten die spezifischen Kohlendioxid-Emissionen pro Tonne Rohstahl seit 1990 um 15 Prozent senken. Durch das Stahlrecycling werden mehr als zwanzig Millionen Tonnen des Klimagases Jahr für Jahr vermieden, das entspricht der Menge, die ganz Berlin jährlich freisetzt. Dank der besonderen Eigenschaften ihres »unendlichen« Materials darf sich die Stahlindustrie Recycling-Weltmeister nennen.

Der Eiffelturm in Paris sollte seinerzeit nach Auffassung vieler Kritiker gar nicht erst gebaut bzw. sofort nach der Weltausstellung wieder abgerissen werden – zum Glück verstummte der Protest schnell und der Turm durfte stehen bleiben. Anderenfalls wäre er sicher auch damals schon recycelt worden. ■■■



Aufbruch zu neuen Ufern

Sie gehören zu den Ikonen des 19. Jahrhunderts: Brücken aus Stahl. Symbole des Selbstbewusstseins und der Aufbruchstimmung von Erfindern, Ingenieuren und Unternehmern. Von Dirk Bühler

Mächtige Brückenbauwerke aus Eisen und Stahl erinnern noch heute an die Anfänge der Industrialisierung. Geniale Erfinder und visionäre Unternehmer sorgten Ende des 18. Jahrhunderts ausgehend von England für einen enormen Innovationsschub, der sich rasch über den europäischen und amerikanischen Kontinent ausbreitete. Höhere Fördermengen von Eisen und verbesserte Verfahren bei der Stahlherstellung erlaubten die Konstruktion äußerst stabiler Brücken, die auch für die Eisenbahn geeignet waren. Mit dem Ausbau der Eisenbahnnetze erreichte der Eisen- und Stahlbau schließlich einen Höhepunkt. Erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts begann sich der Stahlbeton als bevorzugtes Brückenbaumaterial durchzusetzen.

Hängebrücken mit Eisenketten gab es bereits ab dem zweiten vorchristlichen Jahrhundert in China. Das erste gedruckte Dokument einer Brücke mit Eisenteilen finden wir

in den 1616 erschienenen *Machinae Novae* des Universalgelehrten und Erfinders Faustus Verantius, der als Venezianer von Chinareisenden wie Marco Polo von dieser Bauweise gehört haben könnte.

Die erste Brücke aus Gusseisen in Europa wurde denn auch schon 1779 im Zentrum der britischen Hüttenindustrie im Severntal bei Coalbrookdale erbaut. Die Idee dazu hatte 1774 der Architekt Thomas Pritchard, der neben einer steinernen und einer hölzernen eine gusseiserne Bogenbrücke mit 31 Metern Spannweite vorschlug. Er sollte den Bau nicht mehr erleben, doch der Unternehmer Abraham Darby III griff seinen Entwurf auf und ließ die Brücke mit wenigen Änderungen am ursprünglichen Entwurf von 1777 bis 1779 erbauen. Das Bauwerk war eine Sensation, die von sich reden machte und viele Reisende anzog, die die Brücke gegen Gebühr begehen konnten. Die Brücke von



1890 wurde die Firth-of-Forth-Brücke bei Queensferry in Schottland fertiggestellt.

Coalbrookdale ist seit 1934 britisches Nationaldenkmal und zählt als eines der wenigen Ingenieurbauwerke seit 1986 zum Weltkulturerbe der UNESCO.

In Deutschland wurde erstmals 1796 eine ähnliche Brücke über das Striegauer Wasser in Laasan (Niederschlesien) erbaut. Die Eleganz dieser ersten Gusseisenbrücken zeigt die 1801 bis 1803 erbaute Pont des Arts in Paris mit ihren fast zierlichen genieteten Bogenträgern. Die Brücke wurde erst 1979 durch einen Schiffsanprall zerstört und von 1981 bis 1984 mit einem Bogen weniger wiederaufgebaut.

Obwohl es in den Vereinigten Staaten für den Ausbau des Eisenbahnnetzes bereits viele vorbildliche und innovative Brücken gab, kamen die ersten gusseisernen Brücken erst 1862 bis 1864 als Fertigteile dorthin. Frederick Law Olmsted ließ sie von Calvert Vaux und Jacob Wrey Mould für den Central Park in New York bauen. Sie halfen in Olmsteds innovativem Parkkonzept, Fußgänger- und Reitwege voneinander zu trennen.

Bei der Formfindung für ihre Brücken griffen die Ingenieure des 19. Jahrhunderts noch gerne auf die traditionelle Formensprache der Stein-(bögen) oder (Holzfachwerk-) Balken zurück, mit denen man hinsichtlich der Halt- und Belastbarkeit Erfahrung gesammelt hatte. Doch je vertrauter die Ingenieure mit dem neuen Baustoff wurden, umso mehr führte sie das Bedürfnis nach Verbesserung und Op-

timierung zu neuen Techniken, Verfahren und schließlich auch Formen.

Eine frühe, spektakuläre und doch seltene Form von Eisenbrücken sind die Röhrenbrücken, die in der Zeit zwischen 1840 und 1850 gebaut wurden. Robert Stephenson und William Fairbairn bauten zwischen 1845 und 1850 die berühmte Britannia-Röhrenbrücke aus zusammengenieteten Blechen mit Schmiedeeisenverstrebungen. Röhrenträger gelten als Vorläufer des Kastenträgers, weil sie die statischen Eigenschaften eines Balkens optimal nutzen, indem die Druckkräfte vom Ober- und die Zugkräfte vom Untergurt aufgenommen werden und der Kern des Balkens gewichtsparend entfällt. Fairbairn führte für seine Berechnungen an Modellröhren im Maßstab 1:6 Belastungsversuche mit 43,5 Megapascal durch, die die Belastbarkeit bis zum Zerreißen des Untergurts aufzeigten. Die Versuchsergebnisse legten die Einführung von Versteifungen mit Zellen an Wandungen und Untergurt nahe.

Einfacher als Röhrenbrücken, aber mit ähnlichem Tragverhalten, sind die Gitterbrücken zu bauen. Die Seitenteile der Wandungen sind nicht mehr flächenfüllende Bleche, die mit Streben ausgesteift werden müssen, sondern offene Gitter aus – meist – schmiedeeisernen Stäben oder Bändern. Das System geht auf die Lattenbrücken aus Holz zurück, für die Ithiel Town in den USA ein Patent erwor-



Eine der Gitterbrücken, die Johann Carl Wilhelm Lentze ab 1845 als Querung über Weichsel und Nogat bei Dirschau erbaute.

ben hatte und die seit den 1840er Jahren nicht nur jenseits des Atlantik, sondern auch in Europa häufig gebaut wurden. Thomas Telford kam auf die Idee, dieses System mit schmiedeeisernen Bändern nachzubauen. 1845 wurde die erste Gitterbrücke mit 43 Metern Spannweite über den Royal Channel in Dublin errichtet. Der deutsche Baumeister Johann Carl Wilhelm Lentze hat diese Brücke bei seiner Englandreise 1844 bis 1845 im Bau gesehen und nahm das System als Anregung für seinen Entwurf der ab 1845 erbauten Weichsel- und Nogatbrücken bei Dirschau (Polen), die, von einem Baustopp unterbrochen, erst 1858 fertig wurde. Die Weichselquerung hat sechs Öffnungen mit 121,14 Metern Spannweite und für die Nogat wurden zwei Öffnungen mit 92,92 Metern Spannweite gebaut. Obwohl der Bau von Gitterbrücken umstritten war, wurden bei Offenburg in Baden ab 1845 zwei von vier nacheinander erbauten Brücken über die Kinzig ebenfalls als Gitterbrücken gebaut. Kritiker wie der Bauingenieur und Statiker Karl Culmann bemängelten den hohen Materialaufwand, die mangelhafte Berechenbarkeit des Trägers und dessen Schwächen im Auflagerbereich, die zu Knicken führen konnten. Ab den 1860er Jahren wurden Gitterbrücken durch zeitgemäßere Tragsysteme ersetzt.

Der Bau von Fachwerkträgern aus Holz ist einer der historisch bedeutendsten, wie die Aufzeichnungen des

Villard de Honnecourt zu Beginn des 13. Jahrhunderts bereits zeigen. Auch Leonardo da Vinci oder Andrea Palladio beschäftigten sich damit. Die erste Eisenbrücke mit Fachwerkträger ist der 1853 vollendete Crumlin-Viadukt in Großbritannien. Das System wurde von James Warren patentiert und nach ihm benannt. Später wurden auch andere Fachwerksysteme für meist einfache Brücken verwendet, wie die der 1921 erbauten Bahnstrecke Salta–Antofagasta zwischen Argentinien und Chile oder der 1942 bis 1943 während der japanischen Besetzung von Zwangsarbeitern erbauten Brücke am Kwai zwischen Thailand und Burma, die durch den Roman von Pierre Boulle (1952) und den Film von David Lean (1957) berühmt wurde. Die ursprüngliche Brücke wurde zwar schon 1945 zerstört, aber 1946 wiederaufgebaut.

Trägervariationen

Zur gleichen Zeit entstanden auch sogenannte Vollwandträger, die William Fairbairn in seinem Buch *Die eisernen Träger und ihre Verwendung beim Hochbau und im Brückenbau* (englisch 1854, deutsch 1859) beschreibt. Bei diesen Trägern werden Kesselbleche, wie sie auch beim Bau von Dampfkesseln verwendet werden, zu Trägern zusammengenietet und mit Dreiecksprofilen ausgesteift, die entsprechend ihrer Länge und Tragfähigkeit verschieden hoch sein können.



Eine Besonderheit sind Tragwerke wie das der von János Feketeházy von 1894 bis 1896 entworfenen Freiheitsbrücke, ehemals Franz-Josef-Brücke genannt, in Budapest. Sie ist statisch gesehen ein sogenannter Gerberträger, auch wenn ihre Form eher der einer Hängebrücke ähnelt.



Am 28. Dezember 1879 stürzte die Tay-Brücke in Schottland ein und riss einen Zug mit 75 Menschen in den Tod. Nur zwei Jahre vorher war das Bauwerk fertiggestellt worden: mit einem Träger aus Schmiedeisenfachwerk und Stützen aus Gusseisen, die mit Schmiedeisenstäben ausgesteift waren. Die eingesetzte Untersuchungskommission fand heraus, dass bei der Berechnung die Windlasten nicht ausreichend berücksichtigt worden waren. Auch Fehlstellen im Gusseisen und mangelhafte Wartung waren für den Unfall mitverantwortlich, der den Glauben in die Technik erschütterte. »Tand, Tand ist das Gebilde von Menschenhand«, dichtete Theodor Fontane unter dem Eindruck der Katastrophe.

Eher ungewöhnliche Formen haben die sogenannten Linsenträger, die auch schon 1616 in den *Machinae novae* des Faustus Verantius als Holzträger vorkommen. Lange Zeit wurden sie noch aus Holz gebaut, wie etwa 1835 die Stadtgrabenbrücke in Hannover. Ihr Erbauer, der Hofarchitekt Georg Ludwig Friedrich Laves, hatte bei einer Englandreise 1834 einen der Meister des Ingenieurbaus, Isambard Kingdom Brunel, getroffen, der ihn zu dieser Bauweise ermuntert hatte. Doch erst beim Bau der Eisenbahnbrücke Großhesselohe 1857 war der Linsenträger aus Eisen wirklich ausgereift (siehe auch: »Von München nach Innsbruck – Die Eisenbahnbrücke Großhesselohe.« in: *Kultur & Technik*, Nr. 2/2008, S. 52–57). Der Bau dieser Brücke geht auf den Bauingenieur Friedrich August von Pauli zurück, der als Schöpfer der Bayerischen Staatseisenbahnen gilt. Das Fachwerkssystem des Linsenträgers verbesserte Pauli in Zusammenarbeit mit seinem Schüler Heinrich Gerber und Carl von Bauernfeind. Bald sollte sein Name zum Synonym des Trägers werden, obwohl er ihn selbst nie berechnet oder etwas dazu geschrieben hatte.

Es war sein dreißig Jahre jüngerer Schüler Heinrich Gerber, der 1865 erstmals einen Aufsatz über den Pauliträger veröffentlichte. Gerber arbeitete beim Bau der Eisenbrücke für die Großhesseloher Brücke eng mit der Firma Cramer-Klett zusammen und trat 1858 selbst in das Unternehmen

ein. Er entwickelte den Fachwerkträger zu einem Gelenkträger weiter und erhielt 1866 das Patent auf den jetzt so genannten äußerst erfolgreichen Gerberträger.

Die Mainbrücke bei Hassfurt wurde von Gerber in den Jahren 1866 bis 1867 als Gelenkträger aus Schweißeseisen mit 36,3 Metern Mittelöffnung und zwei Seitenöffnungen mit 23,1 Metern Spannweite gebaut. Berühmt wurde diese Brücke durch die Weltausstellung 1873 in Wien. 1882 bis 1890 entstand mit der Firth-of-Forth-Brücke bei Queensferry in Schottland nach dem Entwurf von Sir Benjamin Baker und John Fowler mit 521 Metern Spannweite eine der größten Brücken mit diesem System, nur übertroffen von der nach mehreren Unglücken 1917 fertiggestellten St.-Lawrence-Brücke in Quebec mit 549 Metern Spannweite.

Eine ganz besondere Art der Eisenbrücken sind die Schwebefähren, die immer dort zum Einsatz kamen, wo eine Brücke sehr hoch gebaut und daher mit einer Fähre kombiniert werden musste: Diese wurde einfach unter das Tragwerk gehängt und so konnten die Segelschiffe mit ihren riesigen Masten unter der Brücke hindurchfahren, während der kreuzende Fuß- und Fahrverkehr im Fahrkorb das Gewässer überqueren konnte. Das System, das als Alternative zu komplizierteren Dreh-, Hub- und Klappbrücken entstand, wurde von Ferdinand Arnodin 1887 in Frankreich und parallel dazu von Alberto de Palacio 1888 in Spanien entwickelt. Weltweit wurden nur 19 Schwebefähren gebaut, von denen heute noch acht in Betrieb und drei umgebaut sind. Der Puente de Vizcaya ist die älteste dieser Schwebefähren und wurde 1893 mit 45 Metern Höhe und 160 Metern Spannweite in Bilbao gebaut. Seit 2006 zählt auch sie als eines der wenigen Ingenieurbauwerke zum Weltkulturerbe der UNESCO. Die 1902 bis 1903 erbaute Schwebefähre im Hafen von Nantes war sogar 50 Meter hoch und hatte 141 Meter Spannweite. Sie wurde 1955 trotz Protesten aus der Bevölkerung gesperrt und 1958 verschrottet. Nur ein Modell der Brücke ist im Deutschen Museum erhalten. Von den beiden Schwebefähren in Deutschland ist die 1910 bis 1913 über den Nord-Ostsee-Kanal erbaute Rendsburger Hochbrücke mit 41,5 Metern Höhe und 140 Metern Spannweite die bekannteste. Sie dient aber nicht nur der Aufhängung der Gondel, sondern auch als Eisenbahnbrücke, die diese Höhe nur über eine Auf- und Abfahrrampe

mit je etwa drei Kilometern Länge schafft. Kaiser Wilhelm ließ sie errichten, weil er den Bewohnern beim Bau des Kanals versprochen hatte, die Verkehrswege nicht zu unterbrechen. Der Puente Transbordador »Nicolás Avellaneda« in Buenos Aires wurde 1914 mit 43,2 Metern Höhe und 77,5 Metern Spannweite erbaut und ist seit 2014 wiederhergestellt.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts war der Eisen- und Stahlbau so weit fortgeschritten, dass die Ingenieure begannen, auch Bogenbrücken aus Eisen mit großen Spannweiten zu bauen. Spektakulär war etwa die 1867 bis 1874 erbaute St.-Louis-Brücke über den Mississippi. Der Erbauer, James B. Eads, benutzte bei der Gründung der Pfeiler im Fluss erstmals Caissons, Senkkästen mit Überdruck, die das Arbeiten unter Wasser ermöglichten. Unbestrittener Meister des Eisenbaus war natürlich Gustave Eiffel, der nicht nur den nach ihm benannten Turm und Wahrzeichen von Paris, sondern eine Vielzahl von Brücken baute. Der Garabitviadukt aus dem Jahre 1884 ist mit 165 Metern Spannweite ein wahres Meisterwerk. Ein solcher Zweigelenkbogen war noch etwas schwierig zu berechnen und zu bauen, so dass sich Anton Rieppel 1891 beim Entwurf der Münstener Brücke für einen Dreigelenkbogen entschied. Diese Eisenbahnbrücke wurde zwischen 1895 und 1897 von der MAN gebaut. Trotz einer Generalsanierung in den 1990er Jahren war sie zwischen 2010 und 2015 nicht in Betrieb. Als Auslegerbrücke mit einer Bogenform entwarf Paul Joseph Bodin den Viaur-Viadukt, der 116 Meter hoch über der Talsohle zwischen 1895 und 1902 mit 220 Metern Spannweite gebaut wurde.

Eine Besonderheit ist die Pont Alexandre III in Paris, die eigens für die Weltausstellung von 1900 im Zuge der für die Ausstellung zentralen Achse zwischen dem Grand Palais und dem Dôme des Invalides ab 1896 von Jean Résal und Amédée Alby entworfen wurde. Die Konstruktion von Joseph Cassien-Bernard ist ein eleganter, flacher Dreigelenkbogen aus Stahl mit 107 Metern Spannweite, den eine seitliche Gusseisenverkleidung aus dem Atelier von Gaston Cousin schmückt.

Spannweitenrekorde bei stählernen Bogenbrücken sind die 1916 erbaute Hellgate-Brücke in New York von Gustav Lindenthal mit 310 Metern, die 1926 bis 1932 von Dorman



Eine der letzten historischen Kettenbrücken ist die 1898 bis 1903 erbaute Elisabethbrücke in Budapest. Die Erbauer entschieden sich bewusst für Ketten, weil diese – im Gegensatz zu Seilen – in Ungarn hergestellt werden konnten.

Long & Co. erbaute Sydney Harbour Bridge mit 503 Metern Spannweite, die zusammen mit der Oper zum Wahrzeichen der Stadt wurde, und die 1931 von Othmar A. Ammann entworfene Bayonne-Brücke in New York mit 510 Metern Spannweite.

Hängepartien

Unter den Eisen- und Stahlbrücken sind natürlich die Hänge- und Schrägseilbrücken die eindrucksvollsten. Die Idee, Ketten und Seile für Tragwerke zu verwenden, ist recht alt: Es gibt Spannbandbrücken aus geflochtenem Gras in den Anden, aus Lianen in Borneo sowie aus Astwerk im Himalaja. Auch Schrägseilbrücken aus Bambusrohren und anderen Baustoffen aus der Natur sind historisch dokumentiert. Doch abgesehen von den bereits genannten Beispielen aus China wurde Eisen erst im 19. Jahrhundert zum Baustoff der Wahl. 1801 erbaute James Finley (1756–1828) mit der Jacob's Creek Bridge die erste Hängebrücke mit schmiedeeisernen Ketten, auf die er 1808 ein Patent erhielt. Es dauerte noch einige Jahre, bis die Entwicklung tragfähiger Drähte den Bau eines Steges ermöglichten: Ein erster soll 1816 in

Philadelphia erbaut worden sein. Doch zunächst entwickelte sich auch noch eine vor allem heute besonders wichtige Form: die Schrägseilbrücke. Sie wurde als Tragwerk in Deutschland bereits 1821 und 1824 bei den Kabelstegen über den Hochablass in Augsburg und über die Pegnitz in Nürnberg verwendet. Die 1873 errichtete Albert Bridge in Chelsea mit 122 Metern Spannweite ist ein besonders imposantes historisches Beispiel. Als in den 1970ern Jahren verbesserte Baustoffe und Montageverfahren zur Verfügung standen, wurden immer häufiger Schrägseilbrücken gebaut. Eine Serie von Schrägseilbrücken über den Rhein wurde vom Ingenieur Fritz Leonhardt entworfen. Seit der Jahrtausendwende hat sich der Bau von Schrägseilbrücken als eines der wirtschaftlichsten Bauverfahren fest im Brückenbau etabliert.

Doch kehren wir noch einmal zu den Kettenbrücken zurück, mit denen ein Wettlauf um die Spannweitenrekorde begann. Ein erster Höhepunkt dieser Entwicklung ist die 1819 von Thomas Telford entworfene Menai-Kettenbrücke mit 175 Metern Spannweite, die 1826 fertiggestellt wurde und die Karl Friedrich Schinkel auf seiner Englandreise im selben Jahr mit großer Begeisterung besichtigte und akkurat porträtierte. Claude Navier entwickelte in der Zeit bis 1823 seine Theorie zu Hängebrücken, die der Bauform neue Impulse gab. In Deutschland war der Bau der Regnitzbrücke in Bamberg in den Jahren 1827 bis 1829 mit 62 Metern Spannweite ein bedeutender Schritt in die Zukunft. Der Bauingenieur Franz Joseph Schierlinger hatte die Tragstruktur entworfen und Leo von Klenze sollte die Gestaltung zur Brücke liefern. Doch sein Entwurf zweier Triumphbögen an den Brückenzugängen war mit dem vorgeschlagenen Tragwerk nicht vereinbar und es bedurfte des Eingreifens seiner Majestät Maximilian I. Joseph, um Klenze zu einem bescheideneren Entwurf mit Portalen aus je zwei Türmen zu überreden. Nach verschiedenen Nachfolgerbrücken gibt es seit 2010 an derselben Stelle wieder eine moderne Kettenbrücke. Die erste Hängebrücke mit Drahtseilen war im Jahre 1834 die Saanebrücke bei Fribourg, die Joseph Chaley mit 273 Metern Spannweite entworfen hatte.

Ein Markstein des Brückenbaus und legendäres Wahrzeichen New Yorks ist die 1883 fertiggestellte Brooklyn Brücke. Der aus Thüringen stammende Ingenieur Johann



Mit einer Spannweite von 1991 Metern ist die Akashi-Kaikyo-Brücke in Japan die längste Brücke der Welt.



DER AUTOR

Dirk Bühler
ist Leiter der Hauptabteilung »Ausstellungen Technik«, Kurator für Bauwesen und Leiter des Projektmanagements Sonderausstellungen.

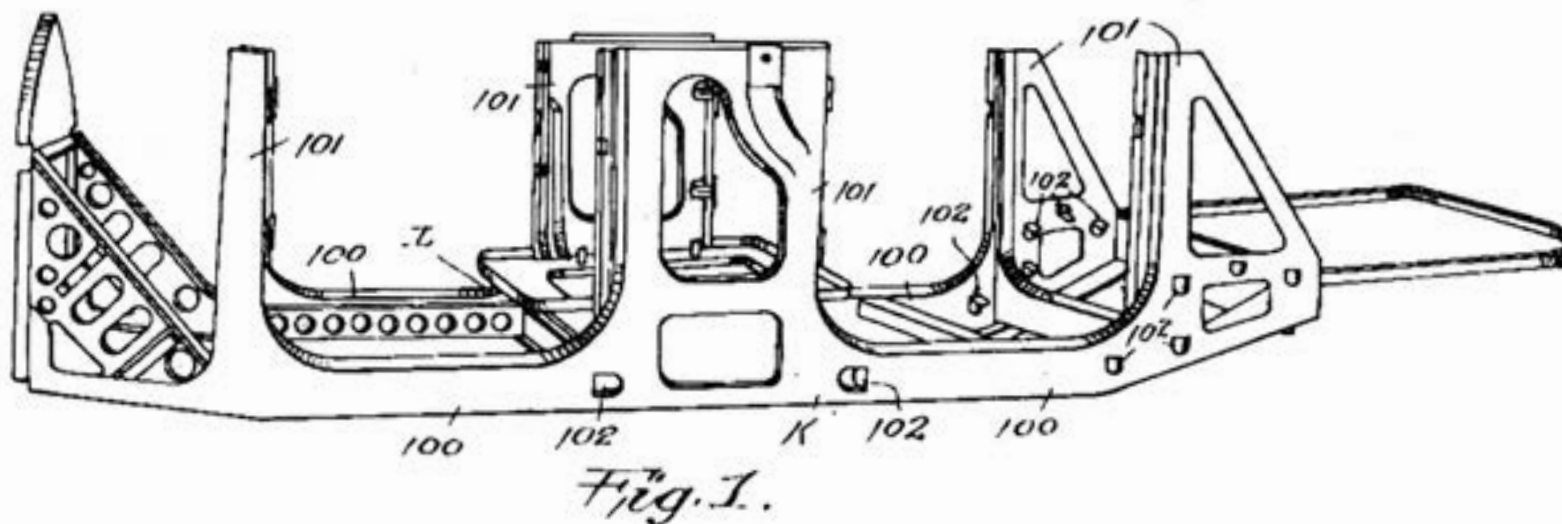
August Roebling hatte sie entworfen und bis zu seinem tragischen Tode auf der Baustelle auch den Bau geleitet. Er hatte sich 1831 in die Vereinigten Staaten aufgemacht und 1841 in Saxonburg, Pennsylvania, eine Drahtseilfabrik eröffnet. Bald wurde er auch mit dem Bau seiner Hängebrücken bekannt, so dass ihm dieses größte seiner Projekte übertragen wurde, bei dem er erstmals das Luftspinnverfahren für das Verlegen der Hauptseile einführte. Nach seinem Tod 1869 führte sein Sohn Washington A. Roebling das Bauprojekt zu einem guten Ende.

Spannweiten-Rekorde

In Süddeutschland wurde etwas später, im Jahre 1897, die Hängebrücke in Langenargen mit 72 Metern Spannweite erbaut, bei der ein Othmar H. Ammann als Praktikant erste Erfahrungen im Brückenbau sammelte. Er sollte zu einem der bedeutendsten Brückenbauer New Yorks werden: 1931 erbaute er die Washington-Brücke mit 1067 Metern Spannweite, die für Fritz Leonhardt, der 1933 die USA als DAAD-Stipendiat bereiste, zum Vorbild wurde. Berühmt wurde auch Ammanns 1964 mit 1298 Metern erbaute Brücke über die Verrazano Narrows.

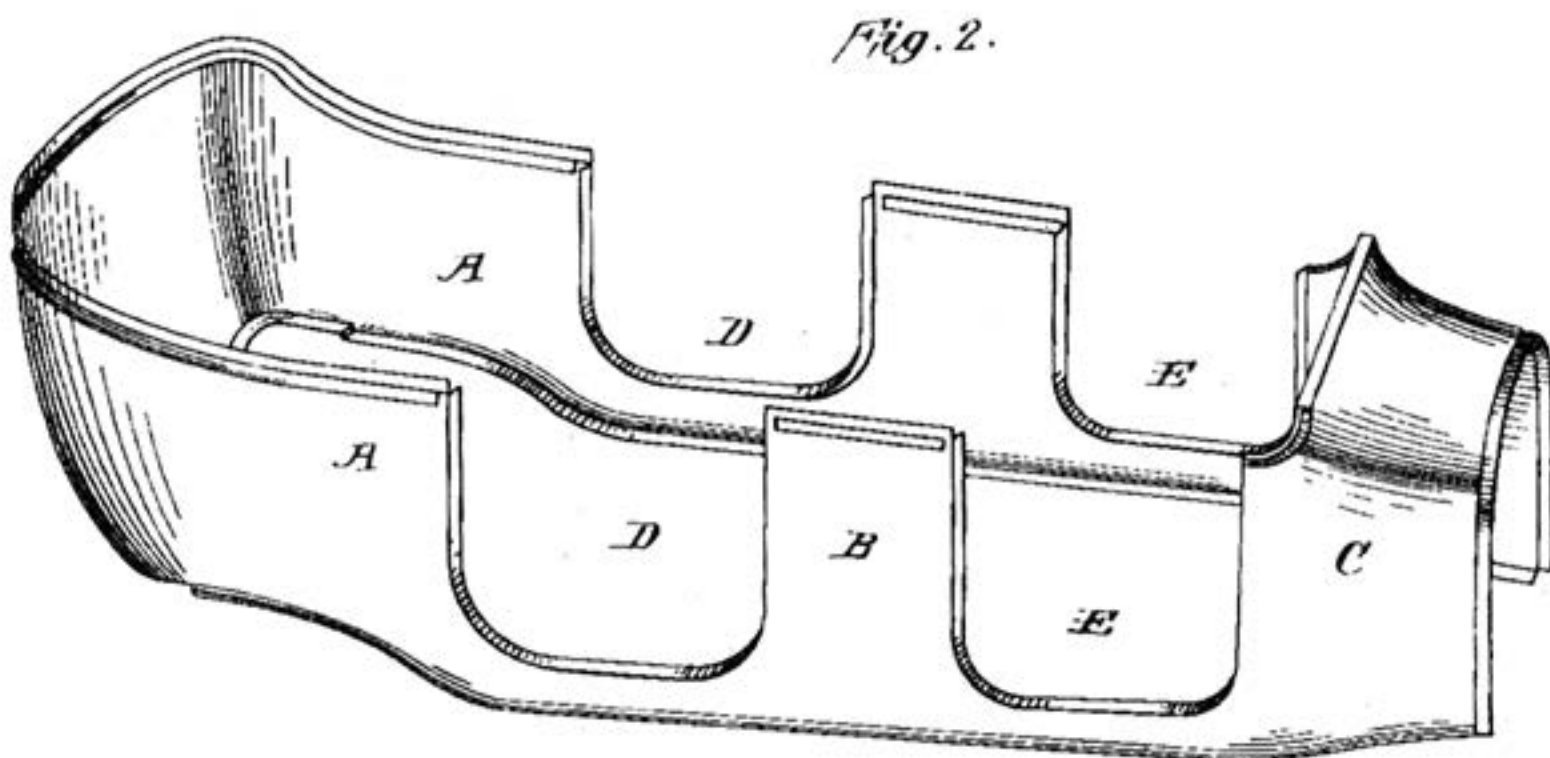
In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden in Deutschland 1913 bis 1915 die Rheinbrücke Köln-Deutz als eine der wenigen sogenannten selbst verankerten Hängebrücken und 1929 die Köln-Mülheimer Brücke mit 315 Metern Spannweite als echte Hängebrücke gebaut. Letztere war das Vorbild für Fritz Leonhardt, der nach seiner Rückkehr aus den USA im Brückenbau eingesetzt wurde und zusammen mit Paul Bonatz 1938 bis 1941 die Rodenkirchener Brücke entwarf.

1949 wurde die Hängebrücke über die Tacoma Narrows (USA) bei einem Sturm Opfer sich überlagernder Schwingungen. Seither werden für Hängebrücken in Europa windkanalgetestete Hohlkastenträger eingesetzt, erstmals bei der von 1961 bis 1966 erbauten Severnbrücke mit 988 Metern Spannweite. Den derzeitigen Etappensieg im Wettlauf um immer größere Spannweiten hält seit 1998 die Akashi-Kaikyo-Brücke in Japan. Mit 1991 Metern Spannweite übertrifft sie sogar die Brücke über den Großen Belt in Dänemark, die mit 1624 Metern Spannweite ebenfalls gigantische Ausmaße hat. ■■



Die Evolution des Automobils

Kutschen und Fahrräder standen Modell für die Entwürfe der ersten Autobauer. Die Karosserien baute man anfangs aus Holz. Gegen Stahl, das bevorzugte Material der Eisenbahn- oder Schiffskonstruktoren hegten die frühen Automobilisten etliche Vorurteile. Erst ab 1925 setzte sich die Stahlkarosserie langsam durch – und brachte seither nicht nur mehr Sicherheit für die Fahrenden. Von Erik Eckermann



Linke Seite: Automobile Body aus Ganzstahl nach Budd-Ledwinka-Patent von 1915, bestehend aus einem Stahlgerippe (Fig. 1), das mit der Außenhaut (Fig. 2) verschweißt wird.

Von den drei Vorläufern des Automobils: Stationärmotor, Kutsche und Fahrrad, hatte nur die Kutsche eine Karosserie oder, wie man damals sagte, einen Wagenkasten. Er bestand aus Holz, konnte mit der Erfindung der Längsblattfeder 1805 ohne Fahrgestell, also selbsttragend, ausgeführt werden und schützte die Insassen vor Witterungseinflüssen.

Die ersten Motorwagen besaßen keine Karosserien, stattdessen ein Fahrgestell, das den Antriebsstrang und die anderen Bauteile aufnahm. Fahrer und Beifahrer thronten auf einer Sitzbank über der nackten Technik, den meist unverkleideten Motor hinter, vor oder unter sich. Ein ästhetischer Rückschritt im Vergleich zu den Profan-Kutschen, die zum Ausgang des 19. Jahrhunderts ihre Höchstform erreichten. Die ersten Autobauer waren sich unsicher, welches Design sie dem neuen technischen Artefakt geben sollten. Und so mäanderten die ersten Modelle von Benz, Daimler, Peugeot und anderen zwischen Kutschwagen- und Fahrradbau. Erst Gottlieb Daimlers Kompagnon Wilhelm Maybach gab dem Auto mit dem Mercedes 35 PS von 1900/01 ein eigenes Aussehen: Mit seinem mutig in den Wind gestellten Kühler und der anschließenden Motorhaube, mit einem tiefergelegten Fahrwerk und der gestreckten Form markierte der Mercedes die Abkehr vom Motorwagen und den Beginn des modernen Automobils.

Die Karosserietechnik folgte der Kutschwagenbauweise: ein Holzgerippe mit darüber genagelten oder verleimten Holzpaneelen und Schlagleisten. Um 1910 ging man von der Holz- auf die Gemischtbauweise über, worunter normalerweise ein Holzgerippe mit Stahlblechbeplankung zu verstehen ist. Es gab darüber hinaus auch Bauweisen mit Aluminiumtafeln oder einer Bespannung aus nachgiebigem Kunststoff (Weymann-Karosserie) über dem Holzgerüst. Damit bestand die tragende Struktur immer noch aus Holz, dessen Vorteile wie geringe Wärmeleitfähigkeit und gute Geräuschdämpfung die Nachteile wie relativ hohes Gewicht und geringe Festigkeit, Form- und Volumenkonstanz, Lebensdauer und Umsatzgeschwindigkeit allerdings nicht aufwiegen konnten.

Der Anstoß zum Bau von Stahlkarosserien kam vom Eisenbahnbau. Unter dem Eindruck von Eisenbahnunfällen, bei denen splitterndes Holz und zusammenbrechende



Dodge Coupé um 1916 mit Budd-Ganzstahlkarosserie, die hier einen unfreiwilligen Beweis ihrer Überschlagesicherheit liefert. Damals genügten Bordsteine, um die Holzspeichenräder wegbrechen zu lassen und das Auto aufs Kreuz zu legen. Bei einem Holzaufbau wären die Insassen vermutlich zerquetscht worden.

Wagenkästen die Passagiere verletzt, durchbohrt oder zerquetscht hatten, ersetzte Edward Gowen Budd, Betriebsleiter einer Waggonbaufirma in Philadelphia, um 1901 den überbeanspruchten Werkstoff Holz durch Bauteile aus Stahlblech. Er wechselte die üppig dimensionierten Holzpfeiler und Dachsprügel gegen schlanke Stahlblechprofile aus und befestigte an ihnen statt Holzlatten Blechtafeln, die sich mit ihrem ganzen Querschnitt an der Aufnahme der Kräfte beteiligen konnten. Die anfänglich schwereren Stahlblechwaggons wogen bereits nach wenigen Jahren Bau- und Entwicklungszeit weniger als Holzwaggons, waren langlebiger, widerstandsfähiger und zudem fäulnis- und feuerresistent. 1910 gelang es Budd, inzwischen Manager, seine Mit-Geschäftsführer zum Bau einer ganz aus Stahlblech bestehenden Autokarosserie zu überreden, nicht aber zu den erforderlichen Investitionen für eine reguläre Produktion. Worauf sich Budd mit Hilfe von Investoren selbständig machte und 1912 die Edward G. Budd Manufacturing Co, Philadelphia, gründete.

Erfolgsmodell »Dodge«

Schon in den ersten beiden Jahren lieferte die Budd Company Stahlblech-Karosserien an Oakland und Garford und LKW-Aufbauten an Packard und Peerless. Größter Kunde aber wurde Dodge. Die Dodge Brothers John und Horace, bisher Zulieferer von Ford, beschlossen, eigene Autos zu bauen, und hatten errechnet, dass nicht nur der Einkauf ei-



Blick in eine Ambi-Budd-Ganzstahlkarosserie für vermutlich Adler Primus 1934/35, bestehend aus Bodenblech mit Kardantunnel und Querversteifungen, Spritzwand mit Windschutzscheibenrahmen, Dach mit Heckwand und gegenläufig öffnenden Türen mit Schlosssäule. Separates Fahrgestell noch erforderlich.

ner Karosserie aus Stahlblech um 10 Dollar günstiger kam als eine in Gemischtbauweise (Holzgerippe mit Blechbeplankung), sondern dass sich auch die Produktions-, Lackier- und Lagerkosten verringerten. Die Dodge-Autos verkauften sich so gut, dass Budd bis Jahresende 1915 50000 Stahlblech-Karosserien an Dodge liefern konnte. Alle deutschen Autowerke zusammen stellten 1913, dem letzten vollen Produktionsjahr vor dem Ersten Weltkrieg, ganze 12400 Personenwagen her.

Zur Erinnerung: Die Herstellung eines Automobils teilten sich damals, von Ausnahmen abgesehen, zwei Wirtschaftszweige. War der Kutschwagen noch ein Eigenprodukt einer Wagenbaufirma gewesen, die Achsen, Räder und andere Bauteile nach Belieben von einer gut sortierten Zulieferindustrie kaufen konnte, musste ein Karosseriebetrieb ein von einem Autowerk oder von einem Kunden angeliefertes, fahrfähiges Fahrwerk mit einem Aufbau nach Vorgabe komplettieren. Bei der Vielzahl von Autoherstellern – allein in Deutschland gab es im Zeitraum 1901 bis 1914 etwa 130 Firmen – und den wuchernden Sonderwünschen der Kundschaft war eine rationelle oder Serienfertigung gar nicht möglich.

Vorschläge, den Holzgerippe/Blechhaut-Verbund durch einen Aufbau ganz aus Stahlblech zu ersetzen, stießen auf den erbitterten Widerstand der Wagen- bzw. Karosseriebauer, nicht nur wegen der erforderlichen Investitionen, sondern auch wegen des Designs. Denn »es würde sehr viel Mühe und Arbeitslohn erfordern, wenn man die feine, ebene Linienführung unserer modernen (Holz-) Karosserien in Metall nachbilden wollte, oder glaubt man vielleicht, unsere Kundschaft, welche oft ein großes Kunstverständnis und einen sehr feinen Geschmack besitzt, läßt sich ruhig eine viereckige, unter der Stanze gepreßte Kiste als Karosserie verkaufen ... der Käufer ... wird vorläufig lieber in einem Coupé aus Nußbaumholz fahren, als sich in einer eisernen Kiste die Nerven zu verderben, denn daß so ein Blechkasten von Anfang an und besonders in 1 bis 2 Jahren ein furchtbarer Spektakelkasten sein wird, davon wird jeder mit mir überzeugt sein, der jemals Metalltafeln an Wagen verarbeitet hat« (*Der Motorwagen* Heft 9/1906, S. 302).

Tatsächlich addierten sich die Schwingungen, denen ein Auto während der Fahrt ausgesetzt ist, wegen des als Reso-

nanzkörpers wirkenden Stahlblechaufbaus besonders bei Limousinen zu einem lästigen Wummern und Dröhnen, einem Phänomen, dass bei einer Ganzholzkarosserie oder bei der Gemischtbauweise nie aufgetreten war.

Doch wie bei den meisten neuen Erfindungen konnte auch bei der Karosserie zunächst Gleichstand, dann Überlegenheit des Stahlblechaufbaus gegenüber der Gemischtbauweise erzielt werden. Vorteile waren kostengünstigere Herstellung bei größeren Stückzahlen (USA) und die Sicherheit bei Verkehrsunfällen und Überschlägen. Budds hinterlistige Aufforderung, ein Auto in Gemischtbauweise doch mal einen Abhang hinunterzustürzen und unten weiter zu fahren, schlug vielen Wagen- und Karosseriebauern schwer auf den Magen. Budd hatte damit bereits 1919 auf die passive Sicherheit hingewiesen, für europäische Autobauer bis in die 1950er Jahre ein Fremdwort.

Mit angezogener Bremse

So folgte das Automobil den anderen Verkehrsmitteln Schiff, Eisenbahnwaggon und Fahrrad, die schon von der Holz- auf die Stahlbauweise übergegangen waren, mit angezogener Bremse: Das erste europäische Serienfahrzeug mit Ganzstahlkarosserie, der Citroën B10 »Tout Acier«, erschien erst 1925, Morris (Pressed Steel) in England und Adler (Ambi-Budd) in Deutschland folgten 1926. Holz in PKW-Aufbauten wurde noch in den 1960er Jahren verbaut.

In den USA zwangen zunehmende Produktionszahlen sowie der um 1922 einsetzende Übergang von der offenen zur geschlossenen Karosserie zur Weiterentwicklung der Press- und Schweißtechnik, außerdem zur Lieferung breiterer Blechrollen von den Stahlwerken, um Seitenteile komplett mit Radhäusern und Türöffnungen sowie Türen mit Fensterrahmen in einem Stück pressen zu können. Das damals bei der PKW-Karosserie größte Einzelteil, das Dach, bestand jedoch nach wie vor aus hölzernen Dachsprügel, Maschendraht und Kunstlederbezug. Es konnte erst ab 1932 in einem Stück aus Stahlblech gepresst werden.

Die in den USA erzielten Fortschritte setzten die drei europäischen Budd-Lizenznehmer ohne Verzögerung um. Bis zum Ende der 1920er Jahre musste Ambi-Budd Stahl-

bleche aus den USA importieren, weil deutsche Walzwerke weder die Abmessungen noch Bleche liefern konnten, die nach der Umformung keiner zeitraubenden und damit kostenträchtigen Nacharbeit bedurften. Erst 1938 verfügte Deutschland mit der vollmechanisierten, kontinuierlich arbeitenden Kaltbreitbandstraße der Vereinigten Stahlwerke in Dinslaken über einen Hersteller homogener Bleche mit guten Umformeigenschaften und punktschweißgeeigneten Oberflächen.

War die Ganzstahl-Karosserie einst eingeführt worden, um kostengünstig größere Stückzahlen am laufenden Band produzieren zu können, ergab sich mit der Zeit eine weitere konstruktive Möglichkeit, an die man anfangs noch gar nicht gedacht hatte: die Verschmelzung von Karosserieboden und Fahrgestell zu einem verwindungssteifen Bodenblech, das einen separaten Fahrzeugrahmen überflüssig machte und – verschweißt mit dem Karosseriekörper – eine selbsttragende Karosserie ergab. Antriebsstrang, Federn, Radaufhängungen und andere Bauteile wurden nun nicht mehr mit dem Fahrgestell, sondern mit dem Karosseriekörper verschraubt. Bei der bei Personenwagen meist angewendeten Schalenbauweise wurden kalt umgeformte Press- und Stanzteile verschweißt. Die unter einem Millimeter dünnen Stahlbleche, die für sich genommen biegefreudig und wenig widerstandsfähig sind, wurden zu einer aus Bodengruppe, Säulen, Dach, Seiten- und Querwänden bestehenden, äußerst biege- und torsionssteifen Struktur verschweißt.

Abschied von der Rahmenbauweise

Die Entwicklung der selbsttragenden Karosserie für Großserienfahrzeuge geht in der Hauptsache auf Joseph Ledwinka zurück, technischer Direktor der Budd Company in Philadelphia. Einer ersten Versuchskarosserie 1928 folgte 1931 ein Versuchsauto mit Vorderradantrieb. André Citroën erwarb beides: sowohl die Lizenz für die selbsttragende Karosserie als auch die für den Vorderradantrieb. Als französische Umsetzung der amerikanischen Anregung erschien 1934 der Citroën 7 CV, der nach Lancia Lambda zweite in Großserie hergestellte Personenwagen mit selbsttragender Stahlblech-Karosserie.

Inzwischen hatte der ehemalige Ledwinka-Mitarbeiter

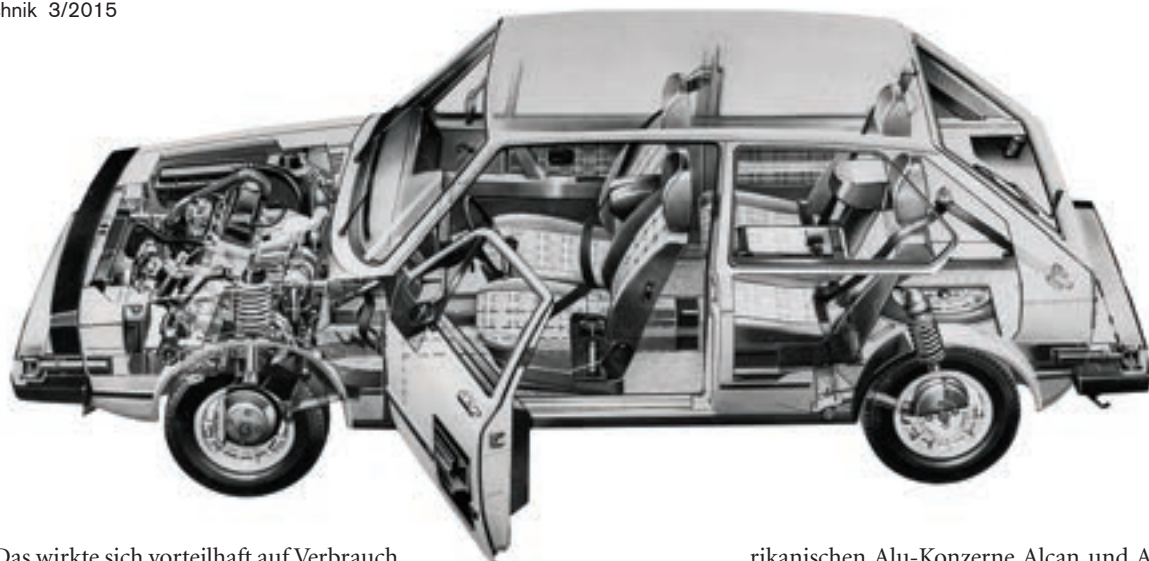


Opel produzierte ab 1935 den Olympia mit einer aus Blechträgern und Profilen bestehenden selbsttragenden Ganzstahlkarosserie, bei der auch Säulen und Dach Kräfte übertragen.

Theodore Ulrich bei General Motors einen kleinen Chevrolet entwickelt, der mit selbsttragender, weil kostengünstiger Karosserie der Weltwirtschaftskrise trotzen sollte. Doch weil diese Mitte 1932 ausklang und weil auch das inflexible System das bei den Amerikanern beliebte »face lifting« erschwerte, gingen die Pläne an die europäischen GM-Dependancen Opel und Vauxhall. Opel brachte mit dem Olympia von 1935 das erste deutsche, Vauxhall mit dem Ten von 1938 das erste englische Großserienauto mit selbsttragender Stahlblech-Karosserie heraus.

Während demnach amerikanische Lizenzen den drei größten autobauenden Ländern Europas mit Citroën, Opel und Vauxhall den Sprung in die Moderne ermöglichten, stellten General Motors, Ford und Chrysler erst ab 1958/60 von der Rahmen- auf die selbsttragende Bauweise um. Das Gros der europäischen Hersteller hatte den Wechsel fünf bis zehn Jahre früher vollzogen.

Jahrzehntelang galt die selbsttragende Ganzstahlkarosserie, größere Serien vorausgesetzt, als der Weisheit letzter Schluss, weil sie kostengünstigere Herstellung, niedrigere Schwerpunktage (dadurch erhöhte Fahrsicherheit) und ein um etwa zehn Prozent geringeres Gewicht als ein vergleichbares Fahrzeug in Rahmenbauweise bot. So wog der Opel Olympia 1,3 Liter von 1935 mit 860 Kilogramm elf Prozent weniger als sein Vorläufer Opel 1,3 Liter von



Béla Barényis »Knautschpatent« von 1951, nach dem die Festigkeit des Fahrgastraums am größten ist und nach den Enden zu definiert abnimmt, fand nur zögerlich Umsetzung in die Serienfertigung. Im Bild das VW-Forschungsfahrzeug ESW II aus den 1970er Jahren mit entsprechend ausgelegten Front- und Heckabschlüssen.

1934 mit 970 kg. Das wirkte sich vorteilhaft auf Verbrauch, Beschleunigung und Höchstgeschwindigkeit aus – von Emissionen sprach man vor und nach dem Zweiten Weltkrieg noch nicht. Hohe Investitionen, steigende Unfallzahlen und mindere Stahlblechqualitäten in Verbindung mit mangelndem Korrosionsschutz während der 1970er Jahre – Glas und Porsche führten 1966 und 1976 einzelne verzinkte Karosseriebleche ein, Audi 1985 die Vollverzinkung – rückten seit den 1980er Jahren Werkstoff-Alternativen in den Blickpunkt, immer im Bestreben, Herstellungs- und Unterhaltskosten einzusparen, die Rohbaugewichte zu senken und die Torsionssteifigkeit zu erhöhen.

Das Auto soll leichter werden

Blieben Karosserien aus Edelstahl oder glasfaserverstärktem Polyesterharz (GFK) Einzelstücken, Sportwagen oder Klein(st)serien vorbehalten, setzten einige Hersteller auf Aluminium-Karosserien. Während die auf diesem Gebiet vor und nach dem Zweiten Weltkrieg führenden französischen Autos von Grégoire und Panhard und die ab den 1990er Jahren folgenden Sport- und Luxuswagen von Honda, Jaguar und Lamborghini nach der Blechschalenbauweise (reine Aluminium-Blechbauweise: RAB) ausgelegt waren, kaprizierte sich Audi ab 1994 auf die raumumschließende Fachwerktechnik (Aluminum Space Frame: ASF). RAB- und ASF-Karosserien ergaben gegenüber üblichen Stahlblech-Karosserien Gewichtseinsparungen zwischen 30 und 40 Prozent, obwohl die Wanddicke der Alu-Teile um das 1,7- bis 1,8-Fache höher sein muss als bei Stahl, um die gleiche Steifigkeit zu erreichen. Daher sind realisierbare Gewichtseinsparungen bei Alu geringer, als sie sich aus der Relation der spezifischen Gewichte allein theoretisch ergeben. Das gilt übrigens auch für GFK.

Steigende Anforderungen an Komfort, Fahrdynamik und Unfallsicherheit hatten wiederum unerwünschte Gewichtszunahmen zur Folge. So kletterte das Gewicht des Corsa 1,2 Liter von 2008 – um bei Opel zu bleiben – auf 1130 Kilogramm, was einer Gewichtszunahme von 16,5 Prozent gegenüber dem Vergleichsmodell von 1934 entspricht. Damit war der Gewichtsvorteil einer selbsttragenden Ganzstahlkarosserie mehr als aufgezehrt. Als Reaktion auf vorangegangene Offensiven der kanadischen und ame-

rikanischen Alu-Konzerne Alcan und Alcoa beendete die internationale Stahlindustrie ihren »Dornröschenschlaf« (VDI-Nachrichten 01.03.1991) und ging mit dem ULSAB-Projekt (Ultra Light Steel Auto Body) 1994 in die Gegenoffensive. Zielsetzung von ULSAB war eine um 25 Prozent leichtere Stahlkarosserie bei im Vergleich zu herkömmlichen Karosserien zumindest gleichen Herstellungskosten, Sicherheitsmerkmalen, Biege- und Torsionseigenschaften sowie Serientauglichkeit.

Ergebnisse dieses und der folgenden Forschungsprojekte Atlas Spaceframe (Salzgitter/Karmann 2003), NSB (New Steel Body, ThyssenKrupp 2003), ScaLight (Scalable Autobody Lightweight Concept, Salzgitter/Karmann 2007), InCar (ThyssenKrupp 2009), S-in motion (ArcelorMittal 2010) und InCar plus (ThyssenKrupp 2014) waren neuartige Stahlsorten, Verarbeitungsverfahren und Konstruktionskonzepte. Standen 1932 nur sieben Sorten von Stahlblechen mit unterschiedlichen Festigkeiten zur Verfügung und 1961 sechzehn, so erhöhten sie sich bis heute auf sage und schreibe etwa 800. Sie werden grob in hochfeste, höherfeste und höchstfeste Stähle unterteilt, die sich nicht nur in Zugfestigkeit und Streckgrenze, sondern auch in ihren Umformeigenschaften unterscheiden.

Weitere Entwicklungen, die in die Projekte einfließen, waren das Laserschweißen von Blechen unterschiedlicher Stärke und Stahlsorten, die später in einem Stück umgeformt werden können (Tailored Blanks), und die Veränderung der Blechstärke einer Platine durch flexibles Walzen (Tailor Rolled Blanks). Mit beiden Verfahren kann die vorher berechnete Blechdicke und -güte für bestimmte Bereiche genau hergestellt werden. Beispiel: Die aus einem Stück bestehende B-Säule ist im unteren Bereich nachgiebig, um bei einem Seitenaufprall möglichst viel Energie aufnehmen zu können, während im oberen Teil, in Kopfhöhe der Insassen, eine möglichst hohe Festigkeit gefordert ist. Für die Längsträger im Vorderwagen können wegen ihres günstigen Verformverhaltens im Crashfall »Tailored Tubes« statt Längsträger in Schalenbauweise verwendet werden. Das sind aus gewalzten Profilen, beispielsweise aus zylindrischen Rohren, bestehende konische Bauteile.

Andere Neuheiten sind: Bake Hardening-Stähle, die legierungsseitig so ausgelegt sind, dass sie erst beim Lackein-

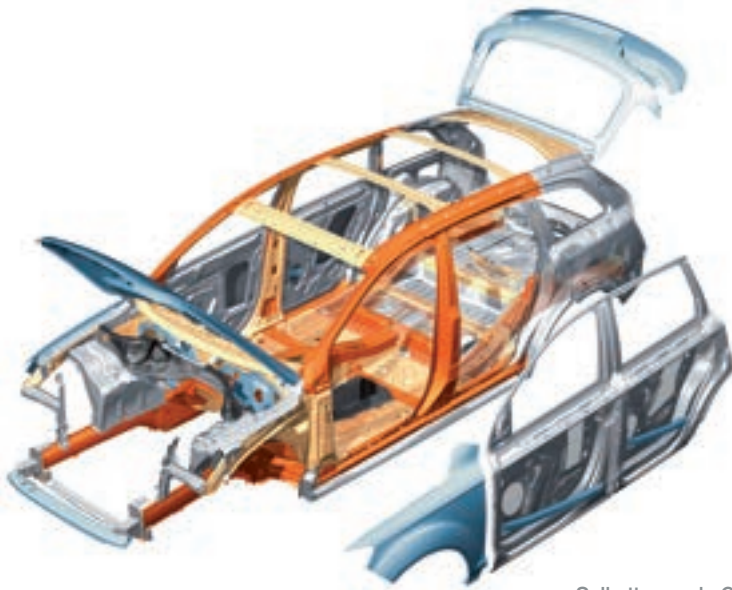
Weiterführende Literatur:

Stahlfibel, hrsg. von der Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf 1964.

Erik Eckermann (Hrsg.), *Auto und Karosserie. Geschichte Fertigung Design. Von der Kutsche bis zum Personewagen*, Wiesbaden 2013.

Richard Güttner, *Das Feinblech und seine Verwendung im Karosseriebau*, Berlin 1939.

Wilhelm Romeiser, *Automobilkarosserien*, Leipzig 1907.



Audi Q7

Karosserie: Werkstoffe

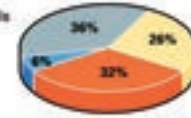
Bodyshell: Materials
01/06

■ Höherfeste und Höchstfeste Stähle
Higher-strength and highest strength steels

■ Hochfeste Stähle
High-strength steels

■ Standardstähle
Standard steels

■ Aluminium
Aluminium



brennen ihre endgültige Festigkeit erhalten; rollgeformte Profile für beispielsweise Seitenschweller; Organobleche mit endlosfaserverstärkten, thermoplastischen Kunststoffen hinterspritzte Stahl- oder Alu-Rahmen für beispielsweise Frontpartien; Stahlsandwichbleche von unter einem Millimeter Stärke, bei denen zwei dünne Stahlbleche mit einer dazwischen liegenden Kunststoffolie verklebt werden; »Space Frame«, die von ASF-Karosserien bekannte Profilstruktur, hier mit Stahlblech beplankt. Weitere Neuerungen sind das Laserschweißen statt Punktschweißen, weil beim Erstgenannten über die gesamte Nahtlänge und nicht nur Punkt für Punkt verbunden wird; die Warmumformung, häufig auch als Press- bzw. Formhärten bezeichnet, bei der Bleche vor der Verformung erhitzt und noch in der Presse von etwa 900 °C auf etwa 70 °C heruntergekühlt und dabei gehärtet werden; geschäumte Metalle, die dem Aufbau eines Knochens vergleichbar sind: In hohlen Metallstreben befindet sich poriges Metall, das mit Treibmitteln aufgeschäumt wird. Sie kombinieren hohe Festigkeit mit niedrigem Gewicht.

Die neuen Stahlsorten und Herstellungstechniken verringern das Gewicht und erhöhen Streckgrenze, Zugfestigkeit, Elastizitätsmodul und, wichtig besonders bei Cabriolets, Biege- und Torsionssteife. Die Karosserie trägt zu rund einem Drittel zum Gesamtgewicht eines Personenwagens bei und bietet dementsprechend großes Potenzial zur Gewichtseinsparung. Zur Erinnerung: Stahl gehört mit den Eisengusswerkstoffen zu den Eisenmetallen. Er zeichnet sich aus durch ein günstiges Preis-Leistungsverhältnis und gute verarbeitungstechnische Eigenschaften. Als Karosserieblech ist es verform- und lackierbar, lässt sich leicht reparieren und weist eine hohe Struktur- und Beulfestigkeit auf. Nachteilig sind der erforderliche Korrosionsschutz, die starke Schallabstrahlung und das hohe Gewicht: Stahl wiegt je nach Legierung zwischen 7,9 und 8,7 g/cm³, Alu, Magnesium und CFK (Kohlefaserverstärkter Kunststoff) dagegen nur 2,7, 1,8 und 1,5 g/cm³.

Gewicht allein ist jedoch nicht das einzige Kriterium, das bei der Konstruktion eines Autos oder einer Karosserie berücksichtigt werden muss. Nicht minder wichtig sind wirtschaftliche und ökologische Gesichtspunkte. »So erfordert beispielsweise die Herstellung eines Karosserieblechs

Selbsttragende Ganzstahlkarosserie des 2006 herausgebrachten Audi Q7, bei dem nur sechs Prozent aus Aluminium bestehen (Kotflügel, Front- und Heckklappe). Die höher- und höchstfesten Stähle (32 Prozent) decken zugleich die Lastpfade beim Frontalaufprall ab. In dem aus hochfesten Stählen (26 Prozent) bestehenden Boden kommen »Tailored Blanks« zum Einsatz.

aus Aluminium im Vergleich zu einem entsprechenden Blech aus hochfestem Stahl etwa die vierfache Menge an Energie«, stellte das Stahl-Informations-Zentrum fest (08.03.2010). Bei einer ganzheitlichen Betrachtung spielen daneben auch Materialherstellung, Bezugspreis, Verfügbarkeit, Emissionen und Wiederverwendung (Recycling) eine wichtige Rolle. So setzte sich die Überzeugung durch, dass es nicht mehr darum gehen kann, sich auf einen bestimmten Werkstoff festzulegen, sondern darauf, den bestgeeigneten Werkstoff an der richtigen Stelle einzusetzen. Entscheidend ist die Einbaulage eines Teils in der Karosserie im Bereich der Lastpfade für Front-, Heck- oder Seitencrash. Hier werden Stähle mit plastischen (bleibenden) und höchstfesten Eigenschaften verbaut, während Anbauteile wie Türen, Kotflügel, Front- und Heckklappen auch in Aluminium, Magnesium, glas- oder kohlefaserverstärktem Kunststoff ausgeführt werden können. Die neuen Werkstoffe erfordern andere Fügetechniken und Verbindungselemente. Die klassischen Techniken des Verschraubens und Punktschweißens wurden um Laser-Schweißen, Clinchen, Stanznieten, MIG- und Laser-Löten erweitert. Zusätzlich hat die Klebetechnik in den letzten zehn Jahren an Bedeutung gewonnen. Sie alle sind für die Produktion ausgelegt – erschweren und verteuern aber die Instandsetzung. Denn die Bedingungen in einer Werkstatt sind gänzlich andere. So lassen sich beispielsweise höchstfeste Stähle nicht mehr mit herkömmlichen Trennscheiben, sondern nur noch mit Plasmaschneidgeräten trennen.

Stahl ist immer noch der wichtigste Werkstoff in der Automobilindustrie. Derzeit experimentiert das Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf mit einer Mn-Si-Al-Legierung, die das Dehnungsvermögen verbessern soll. Einem dort entwickelten »Triplex-Stahl« sind Nanopartikel aus Kohlenstoffverbindungen beigefügt, er ist dadurch leichter, härter und dehnbar. Geforscht wird auch an »selbstheilenden« Stählen, bei denen bei Materialermüdung winzige Kapseln mit Klebstoff platzen und dieser die entstandenen Risse füllt. »Stahlblech«, so BLECH (Coburg, um 1967), »hat das Automobil zu dem gemacht, was es jetzt ist, denn dieser vielseitige Werkstoff schuf die Voraussetzung zur Evolution eines handwerklichen Erzeugnisses zum spektakulärsten Produkt der Großserie.« ■



DER AUTOR

Erik Eckermann

studierte an der Ingenieurschule für Fahrzeugtechnik in Hamburg, war Konservator im Deutschen Museum (Abteilungen Landverkehr und Erdöl/Erdgas) und ist seit 1978 freiberuflich tätig als Fahrzeughistoriker und Organisator für Fahrzeug- und Verkehrsausstellungen.



Das Supertalent

Eine leere Getränkedose zu zerdrücken, ist kein Kunststück. Eine Eisenbahnschiene mit der bloßen Hand zu verbiegen, schafft dagegen höchstens Superman, der »Mann aus Stahl«. Dass der silbergraue Werkstoff Stahl mit heldenhaften Talenten punkten kann, zeigt ein Blick in die Welt der Metalle. Von Caroline Zörlein



Metallene Vielfalt

Ob Eisenbahnschiene oder Getränkedose – beide bestehen aus dem gleichen Material: Stahl. Dennoch sind sie grundverschieden. Als Weißblech, aus dem die Getränkedose geformt ist, präsentiert sich Stahl als weich und biegsam. Doch als Baustoff von Eisenbahnschienen bringt er auch die notwendige Härte mit, um tonnenschweren Zügen standzuhalten. Der Grund: Stahl ist – im Gegensatz zu Silber oder Gold – kein reiner Stoff, sondern eine Mischung. Experten sprechen von einer metallischen Legierung. Weltweit gibt es viele Hundert Stahlsorten – mit unterschiedlichsten Eigenschaften. Zum Großteil besteht Stahl zwar aus Eisen, aber er enthält auch Kohlenstoff. Und dieser ist für seine Härte verantwortlich: je mehr Kohlenstoff, desto härter der Stahl. In der Eisenbahnschiene steckt deswegen viel Kohlenstoff. Damit sich dieser mit dem Eisen verbindet, sind bei seiner Herstellung Temperaturen von mehreren Tausend Grad Celsius notwendig. Wenn die Mischung rasch abgekühlt wird, bleibt im Metall der

Kohlenstoff. Allerdings macht dieser den Stahl auch spröde. Ein dünnes Dosenblech ist auch wegen seines geringen Kohlenstoffgehalts so gut formbar. Zwar werden aus Stahl meist Gegenstände hergestellt, die viel aushalten müssen: robuste Baustellenkräne oder stabile Autokarosserien, die den Fahrer vor Unfällen schützen. Doch aus dem silbergrauen Werkstoff lassen sich auch feine Formen konstruieren, wie Scheren oder Pinzetten in Arztpraxen. Sogar zu Schmuck lässt er sich verarbeiten. Für Ohrringe oder Armbänder werden vor allem Stahlmischungen eingesetzt, die nicht so leicht rosten.

Lutscher, Nüsse, Zuckersaugen: Zahnspangen aus Stahl müssen einiges aushalten können und dabei auch noch die Zähne geradebiegen.



Die Mischung macht's!

Warum der Wasserhahn nicht rostet? Weil Chrom im Stahl ist!

Stahl ist nicht gleich Stahl. Den metallischen Werkstoff gibt es mit unterschiedlichsten Fähigkeiten – hart und robust, dünn und biegsam, rostfrei und hochglänzend oder hitzestabil. Welche Eigenschaften man bekommt, hängt vom beigemischten Stahlveredler ab: Enthält der Stahl das chemische Element Chrom, rosten die späteren Bauteile nicht. Das Chrom sorgt dafür, dass sich eine Schicht von nur ein bis zwei Millionstel Millimetern auf der Oberfläche bildet. Diese schützende Barriere bewahrt das Stahlbauteil vor seiner Umgebung. Ein willkommener Zusatzeffekt: Verchromte Oberflächen glänzen besonders edel. Soll der Stahl hitzefest und belastbar sein, wird Wolfram zugemischt. Daraus lassen sich dann robuste Werkzeuge herstellen, zum Beispiel Bohrwerkzeuge. Denn während des Bohrens entstehen Temperaturen von mehreren Hundert Grad, denen das Material trotzen muss. Weil wolframhaltiger Stahl viel Hitze aushält, wird er zudem in der Raumfahrt genutzt, beispielsweise als Werkstoff für Raketendüsen oder für Hitzeschilde. Auch das Element Molybdän macht Stahl sehr wärmetauglich und zugleich zugfest. Zudem verbessert es die magnetischen Eigenschaften. Eine Beimischung von Nickel macht den silbergrauen Werkstoff so robust, dass ihm auch ein längerer Aufenthalt im Salzwasser nichts anhaben kann.

BERGMANNSGESCHÄFT

Um Stahl herzustellen, braucht man Eisenerz. Dafür mussten Bergleute früher tiefe Schächte in den Berg graben und in mühseliger Arbeit das Erz aus dem Stein schlagen. Der Abstieg in den Stollen war gefährlich und langwierig. Bis zu zwei Stunden konnte das Ausfahren aus den Hunderte von Metern tiefen Schächten dauern. Klar, dass man da nur einmal am Tag runterfahren möchte. Aber was, wenn der Bergmann mal musste? Dafür gab es das »Bergmannsklo«, auch »Abortkübel« genannt. Da mussten alle Bergmänner drauf und anschließend ihr Geschäft mit einer Handvoll Kalk abdecken. Alle drei Tage wurde das Klo dann nach oben geholt und gereinigt.



Eisenerz im Kochtopf

VON EISEN UND WIND HENRY BESSEMER UND SEINE STAHLBIRNE



Mitte des 19. Jahrhunderts: Stahl muss in mühseliger Handarbeit hergestellt werden. Doch der Bedarf an Eisen steigt gerade rasant an.



Die von dem »Berufserfinder« Henry Bessemer entwickelte revolutionäre Windfrischen-Methode entpuppt sich in der Anwendung zunächst als Reinfall.

Doch Bessemer ist von der Richtigkeit seines Prinzips überzeugt und investiert 1858 seine letzten Geldreserven in ein eigenes Stahlwerk.



Die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Technik erweist sich als totaler Erfolg. Die Bessemer Birne wird in allen Stahlwerken eingeführt.



Die ganze Geschichte liest du im Comicband *Anthropozän*, den das Deutsche Museum herausgegeben hat.

Die Reise des Stahls beginnt tief im Berg in Erzlagerstätten. Hier findet sich rötliches und graues Gestein, das Eisenerz. Mit Hilfe von großer Hitze lässt sich daraus der wichtigste Stahlrohstoff gewinnen: Eisen. Weil der Weg vom Erz bis zum fertigen Stahlträger in Bauwerken wie dem Eiffelturm lang und heiß ist, nennen Experten diese Prozedur Stahl »kochen«. Die Rohstoffe werden von oben in sogenannte Hochöfen gegeben, die wie Kamine fast neunzig Meter hoch in den Himmel ragen. Von unten bläst heiße Luft hinein – ähnlich wie bei einem Grill, dessen Glut man mit einem Föhn anfaucht. Allerdings ist der Hochofen mit 2200 Grad Celsius deutlich heißer. Der Koks verbrennt zu Kohlenstoff und erzeugt dabei die nötige Hitze. Am Ende bleibt flüssiges Roheisen zurück, das sich am Grund des Hochofens sammelt. Um das Roheisen zu Stahl weiterzuverarbeiten, muss der Kohlenstoff entfernt werden: Das geschieht beim sogenannten Frischen mit Hilfe von Sauerstoff. Zu heißen Blöcken geformt lässt sich der fertige Werkstoff transportieren und anschließend walzen, schmieden oder gießen – und in Bleche, Stahlträger oder Drähte formen.

Lange bevor es Hochöfen gab, wollten die Menschen das Metall aus dem Erzgestein nutzen. Doch es gelang ihnen nicht, die hohen Temperaturen zu erzeugen. In Kleinasien versuchte man im 2. Jahrtausend vor Christus mit Hilfe von offenen Feuern das Eisen aus dem Stein zu lösen. Bis zum Mittelalter wurden teilweise unter der Erde liegende Öfen dazu genutzt. Dennoch war die Hitze nicht groß genug, um das Metall zu schmelzen. Man konnte es nur mit vielen Hammerschlägen bearbeiten und beispielsweise zu Schwertern schmieden.

Mitte des 19. Jahrhunderts gelang es Henry Bessemer (1813–1898), die Stahlerzeugung zu vereinfachen. In ein großes feuerfestes Gefäß wird Luft eingeblasen. Dadurch entstehen hohe Temperaturen von etwa 1500 Grad Celsius, so dass sich das Eisen verflüssigen kann. Nach seinem Erfinder wird das Gefäß »Bessemerbirne« genannt. Heute allerdings wird Stahl in modernen Hochöfen gewonnen.

Guten Tag, Bavaria

Der bayerischen Patronin Bavaria die Hand reichen – das ist gar nicht so einfach, denn schließlich ist die Bronzestatue stattliche 18,52 Meter hoch. Im Deutschen Museum ist man ihr schon etwas näher, denn hier liegt eine Kopie der 420 Kilogramm schweren Hand. Das Original befindet sich an der Münchner Theresienwiese, wo die Bavaria seit ihrer Fertigstellung 1855 steht. Dieses Wahrzeichen der Stadt wurde als Bronzehohl-guss hergestellt. Modelliert hat sie Ludwig Michael von Schwanthaler. Ferdinand von Miller, der Vater des Museumsgründers Oskar von Miller und spätere Inhaber der königlichen Bronze-gießerei, war für den Guss verantwortlich.



Sie ist zwar nicht aus Stahl, aber trotzdem ein Knaller, diese Bavaria! Ihr Kopf wurde aus der Bronze türkischer Kanonen gegossen, die dafür extra über die Alpen gebracht wurden.

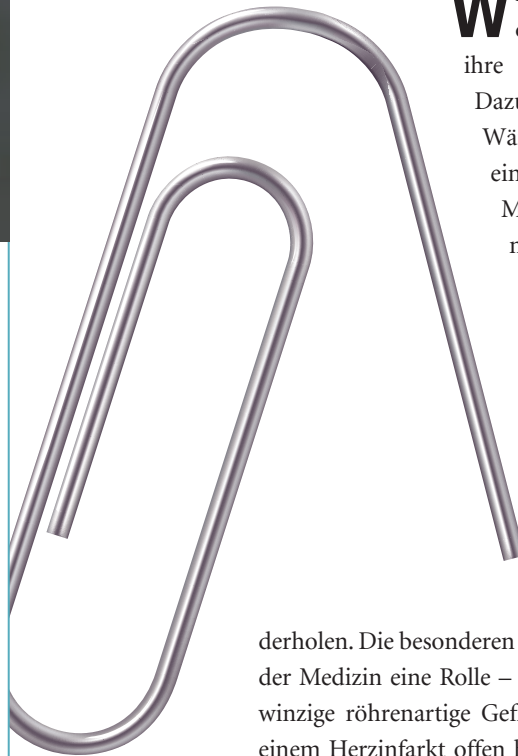




Dem Rost keine Chance

Er ist der größte Feind des Eisens und damit auch des Stahls: Rost. Die rotbraunen Flecken sind nicht nur unschön anzusehen. Hat sich der Rost einmal in die Stahloberfläche gefressen, verändert er die Eigenschaften des Bauteils: Das Material wird zunehmend brüchig. Doch was lässt Schrauben, Fahrradketten oder den Auspuff am Auto verrosten? Die Antwort liegt in der Luft: Die Sauerstoffatome aus Luft und Wasser reagieren mit den Eisenatomen in den obersten Schichten des Stahls. Es bildet sich die chemische Verbindung: Eisenoxid, auch bekannt als Rost. Je feuchter die Umgebung, desto schneller rostet das Metall. Immer größere Löcher fressen sich dann hinein. Auf Dauer kann das sogar gefährlich werden – zum Beispiel, wenn Stahlträger von Gebäuden oder Brücken betroffen sind. Um zu verhindern, dass diese einstürzen, müssen die Rostschäden regelmäßig repariert werden. Oder besser: den Stahl von vornherein schützen. Fahrradketten lassen sich mit Fett oder Ölen behandeln, denn Sauerstoff und Wasser kommen nicht durch diese Schicht hindurch. Auch aufgepinselter Lack kann den Rost abhalten, solange diese Schutzschicht nicht verletzt wird. Platzt die Farbe jedoch an einer Stelle ab, dringen Feuchtigkeit und Sauerstoff ein und greifen das Eisen im Stahl an. Eine andere Möglichkeit: eine Metallschicht auftragen, die weniger empfindlich gegenüber Sauerstoff ist. Bei Getränkedosen ist das Zinn. Das Metall schützt nicht nur vor Rost, sondern ist auch unempfindlicher gegenüber schwachen Säuren, die beispielsweise in Cola oder Orangensaft enthalten sind. Zudem gibt es rostfreien Stahl. Das darin enthaltene Chrom fängt die Sauerstoffatome ab, indem es eine chemische Verbindung mit ihnen eingeht – so ist das Eisen vor dem Rosten geschützt.

Metall mit Köpfchen



Wie von Zauberhand windet sich die verbogene Büroklammer in ihre ursprüngliche Form zurück. Dazu braucht es nur ein wenig Wärme und das richtige Material: ein Formgedächtnismetall, auch Memory-Metall genannt. Bringt man es beim Herstellungsprozess unter hohen Temperaturen in eine bestimmte Form, merken sich Memory-Metalle dies. Wieder abgekühlt lassen sie sich verformen, doch beim Erhitzen erinnern sie sich an ihre Ursprungsform – und biegen sich wieder zurück. Der Effekt lässt sich beliebig oft wiederholen.

Die besonderen Metalle spielen beispielsweise in der Medizin eine Rolle – als sogenannte Stents: Das sind winzige röhrenartige Geflechte, die die Blutgefäße nach einem Herzinfarkt offen halten. Der Arzt setzt den Stent in die Ader ein und die Körperwärme des Patienten sorgt dafür, dass sich die Röhren bis an die Wand der Ader ausdehnen und das Blut ungehindert hindurchströmen lassen.

Wer den Memory-Effekt selbst beobachten will, kann Büroklammern aus Metall im Internet kaufen. Die aufgebogene Klammer einfach in warmes Wasser legen – und zuschauen, wie sie wieder in ihre Form findet.

Mitmachen und gewinnen

Bist du ein Stahl-Experte? Dann schick uns deine richtigen Antworten!

1. Woraus besteht die Hand der Bavaria?

- a) Stahl b) Bronze c) Holz

2. Aus welchem Rohstoff wird Stahl gewonnen?

- a) Eisenerz b) Sand c) Ölschiefer

3. Welches Element ist für rostfreien Stahl notwendig?

- a) Gold b) Chlor c) Chrom

Die ersten drei Einsendungen gewinnen den Comic-Band zur aktuellen Sonderausstellung »Willkommen im Anthropozän«.



Sende deine Lösung per E-Mail an:
mikromakro@publishnet.org

oder per Post an:
Redaktion »MikroMakro«
c/o publishNET
Hoferstraße 1, 81737 München

Einsendeschluss ist der 1. September 2015
Bitte schreibe uns auch dein Alter(!) und die Adresse.



Idealisierende Inszenierung eines orientalischen Basarladens, der von 1925 bis 1944 in der Chemieabteilung des Deutschen Museums stand. Der orientalische Händler war durch eine Wachsfigur nachgestellt, ein Teil der Exponate war tatsächlich in Kairo erworben worden.

Ein Hauch von Orient

Ein orientalischer Basarladen ergänzte zwischen 1925 bis 1944 als exotisches Anschauungsobjekt die kleine Riechstoffausstellung im Eingangsbereich der damaligen Chemieabteilung.

Von Elisabeth Vaupel und Isolde Lehnert

Die Bedeutung der Welt- und Gewerbeausstellungen des 19. Jahrhunderts als Ideenpool und Inspirationsquelle für die Gestaltung des Deutschen Museums kann nicht hoch genug eingeschätzt werden. Etliche Highlights, die gemeinhin für genuine Eigenentwicklungen des Deutschen Museums gehalten werden, waren – zumindest was ihre Grundkonzeption anbelangte – in Wirklichkeit bereits auf den kurzlebigen Welt- und Gewerbeausstellungen des 19. Jahrhunderts zu sehen, bevor sie in mehr oder weniger überarbeiteter Form ins Deutsche Museum integriert wurden. In welchem Ausmaß dies geschah, ist bislang noch nicht umfassend und systematisch erforscht worden. Zweifellos bestand eine der großen Leistungen Oskar von Millers darin, aus den Impressionen, die er beim Besuch internationaler und nationaler Ausstellungen, Museen oder Bildungsinstitutionen erhalten hatte, die publikumswirksamsten, originellsten und pädagogisch am besten verwertbaren Ideen herauszufiltern und diese dann den Zielen »seines« Museums entsprechend zu nutzen. Dank dieses Geschicks bündelte er im Deutschen Museum die spektakulärsten und instruktivsten Ausstellungsattraktionen, die je auf technisch-wissenschaftlichem Gebiet entwickelt worden waren, dauerhaft an einem Ort zusammen. Einige Beispiele sollen verdeutlichen, in welchem Umfang Miller von den großen Ausstellungen seiner Zeit als »Ideensteinbruch« und »Kopiervorlage« zu profitieren wusste: Für das Besucherbergwerk im Deutschen Museum stand eindeutig die »Exposition minière souterraine« bei der Pariser Weltausstellung von 1900 Pate. Von dieser ist auch die Vorführung einer Luftverflüssigungsanlage nach dem Linde-Verfahren, bis heute eine der Hauptat-

Abbildungen: Deutsches Museum



Dieses Foto eines Parfümladens aus dem Souk von Tunis diente als Vorbild für die im Deutschen Museum realisierte Inszenierung. Offensichtlich wurden charakteristische Elemente der authentischen Bildvorlage, etwa die morsche Balustrade und der abblätternde Anstrich des Ladeninterieurs, beim Münchner Nachbau geschönt und retuschiert.

traktionen der Physikabteilung, entlehnt. Ebenso war das damals populäre, aus Strahlenschutzgründen mittlerweile nicht mehr betriebene Röntgenkabinett, in dem sich die Besucher von den unsichtbaren X-Strahlen durchleuchten lassen konnten, im Kern die Weiterentwicklung eines Publikumsmagneten der Berliner Gewerbeausstellung von 1896. Und die drei historischen Laboratorien der Abteilung Chemie hatten sich gleich auf mehreren Weltausstellungen bewährt, bevor Miller sie in München nachbauen ließ.

Die orientalischen Wurzeln der Duftkultur

Oskar von Miller machte sich aber auch Ausstellungsattraktionen zunutze, die auf den ersten Blick keinerlei Bezug zu naturwissenschaftlich-technischen Sachverhalten boten und damit vordergründig nicht ins Deutsche Museum zu passen schienen. Dies traf beispielsweise für die Inszenierung eines orientalischen Basarladens zu, der von 1925 bis 1944 in der kleinen Riechstoffausstellung im Eingangsbereich der damaligen Chemieabteilung stand.

Es entsprach dem didaktischen Konzept des Deutschen Museums, in jeder noch so kleinen Ausstellung zunächst die Entwicklungsgeschichte der dargestellten Disziplin zu skizzieren. So begann auch die Riechstoffausstellung mit einem historischen Exkurs zur Parfümkultur, bevor die modernen Errungenschaften thematisiert wurden. Die Schlüsselbotschaft war, dass es der Chemie im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts gelungen war, klassische Riechstoffe wie das Vanillin oder den Veilchenduft synthetisch herzustellen. Diese Synthesen machten die Parfümherstellung zunehmend von der mühsamen Extraktion wohlriechender Pflanzeninhaltsstoffe unabhängig und ermöglichten die industrielle Produktion von Duft- und Aromastoffen.

Obwohl der Fokus in der Chemieabteilung vorrangig auf den Errungenschaften der zeitgenössischen Chemie lag, war es den Münchner Museumsmachern ein wichtiges Anliegen, dem Besucher zu vermitteln, dass die Kulturgeschichte der Duftstoffe ihre historischen Wurzeln nicht in Europa, sondern im Orient hatte und erst das Zeitalter der Kreuzzüge und das Vordringen des Islams im Mittelalter bewirkten, dass die im arabisch-islamischen Raum hochentwickelten Kenntnisse und Fertigkeiten auf dem Gebiet der Parfümherstellung allmählich auch vom Abendland



Ursprünglich wollte Oskar von Miller den bekannten Orientaler Carl Wuttke – hier eine von ihm gemalte orientalische Straßenszene mit dem Titel »Hôtel du Nil« – für die Gestaltung der im Deutschen Museum geplanten Basarladensinszenierung gewinnen. Wuttke zeigte zunächst Interesse, lehnte den Auftrag schließlich aber ab.

rezipiert wurden. Um diese tragende Rolle des Orients in der Geschichte der Duftkultur zu veranschaulichen, wurde schon 1916 beschlossen, in der Riechstoffausstellung einen orientalischen Parfümladen zu inszenieren, der die Besucher neugierig machen und in die oft trocken und spröde wirkende Chemieabteilung hineinlocken sollte.

Orientbegeisterung und neue museale Präsentationsformen

Miller nahm regen Anteil an der Realisierung dieser Inszenierung, die eindeutig die Wirkung zweier wichtiger Außenimpulse erkennen ließ: Zum einen spiegelte sie die damals allenthalben spürbare Orientbegeisterung wider, die in Deutschland durch die Orientreise Kaiser Wilhelms II. im Jahre 1898 besonderen Auftrieb erhalten hatte und 1910 in der bayerischen Landeshauptstadt durch die »Ausstellung von Meisterwerken muhammedanischer Kunst«, der größten Präsentation islamischer Kunst überhaupt, noch verstärkt wurde. Zum anderen zeugte die Inszenierung vom prägenden Einfluss einer Studienreise nach Skandinavien, die Miller im Sommer 1914 unternommen hatte. Die Ausstellungskonzeption des Freilichtmuseums Skansen in Stockholm, das 1891 als erstes seiner Art eröffnet worden war, hatte Miller tief beeindruckt. Um eine möglichst wirklichkeitsgetreue Vorstellung von Leben und Kultur der schwedischen Bevölkerung zu liefern, hatte man in Skansen konsequent zahlreiche »historische Erlebnisräume« inszeniert, die vollständig mit Originalmöbeln und -gebrauchsgegenständen eingerichtet waren. Begeistert von diesem in der damaligen Museumsszene völlig neuartigen Gestaltungskonzept beschloss Miller, den bereits in Planung befindlichen Neubau des Deutschen Museums ebenfalls mit zahlreichen Raumszenarios auszustatten.

Anspruch und Wirklichkeit der Basarladensinszenierung

Bau und Eröffnung des neuen Sammlungsgebäudes verzögerten sich wegen des Ersten Weltkriegs und der Inflationsjahre, so dass die Basarladensinszenierung in der Chemieabteilung erst seit 1925 zu sehen war; 1944 wurde sie in den Bombenhageln des Zweiten Weltkriegs bis auf wenige Objekte zerstört. Dank einer Fotografie können wir uns aber

ein recht genaues Bild von ihrem einstigen Aussehen machen. Der exakt geschreinerte, sauber gestrichene Verkaufsstand auf dem Foto hinterlässt beim heutigen Betrachter allerdings einen wenig authentischen Eindruck. Wäre der Laden nicht mit Arabesken verziert und säße in seinem Inneren nicht die Wachsfigur eines mit Kaftan und Turban bekleideten orientalischen Händlers mit einem ausgestopften Krokodil über dem Kopf und arabisch beschrifteten Dosen zur Seite, würde man dieses Szenario wohl kaum für einen »historischen Erlebnisraum« nach dem Vorbild des Freilichtmuseums in Skansen halten. Unwillkürlich drängt sich die Frage auf, ob das Deutsche Museum damals überhaupt den Bau eines möglichst »echt orientalisches« wirkenden Ensembles beabsichtigt hatte?

Die Auswertung der entsprechenden Korrespondenz zwischen Miller und den zu Rate gezogenen Experten belegt jedoch, dass das Deutsche Museum damals sehr wohl eine möglichst originalgetreue Inszenierung anstrebte, die ausdrücklich kein »Theater« sein sollte. Zur Realisierung des museumsintern viel diskutierten Projekts hatte man sich an einen führenden Hersteller ätherischer Öle und Essenzen gewandt, die Firma Schimmel & Co. in Miltitz bei Leipzig. Diese hatte schon 1917 eine Schwarz-Weiß-Aufnahme eines typischen Parfümladens aus dem Souk von Tunis nach München geschickt. Sie hat sich im Archiv des Deutschen Museums erhalten und diente klar erkennbar als Vorlage für den Bau der Inszenierung, auch wenn der Vergleich beider Fotos neben Übereinstimmungen auch erhebliche Unterschiede offenbart.

Die optimale Bauvorlage: Genreszene oder Fotografie?

Miller hatte sich zunächst gegen die Verwendung dieser historischen Fotografie als Bauvorlage gesträubt und eher an eine Genreszene aus dem Bildrepertoire der seinerzeit populären Orientalmalerei als Gestaltungsvorlage gedacht. Tatsächlich teilte Miller 1917/18 mit, dass der bekannte Orientalmaler Carl Wuttke (1849–1927) einen gestalterischen Entwurf für den Bau des Basarladens anfertigen werde. Genrebilder wurden Ende des 19. Jahrhunderts sowohl in Museen als auch auf Weltausstellungen häufig als Muster für die Konstruktion von Rauminszenierungen



Ein Beispiel für die Orientalmalerei des 19. Jahrhunderts: das Ölgemälde »Rauchender türkischer Händler in seinem Laden« von Alexandre Gabriel Decamps (1844, Paris, Musée d'Orsay).

verwendet. Gegenüber der Schwarz-Weiß-Fotografie boten sie in der Tat einige Vorteile. Sie waren nicht nur farbig, sondern arbeiteten, wenn auch idealisierend und romantisierend, typische Elemente der jeweiligen Alltagsszene pointiert heraus. Diese gleichermaßen pittoresken wie verklärend-beschönigenden Impressionen waren hinsichtlich ihres Aussagewertes jedoch in keiner Weise mit dem damals neuen Bildmedium der Fotografie vergleichbar, das die Realität sehr viel ungeschminkter und härter wiedergab

als die in (bildungs)bürgerlichen Kreisen beliebten Genregemälde. Der aus einer Künstlerfamilie stammende Miller, der stets auf eine ästhetisch geschmackvolle Ausgestaltung des Deutschen Museums Wert legte, zeigte sich mit seinem Faible für Genregemälde also ganz als Kind des 19. Jahrhunderts.

Zu Millers großer Enttäuschung lehnte Wuttke den Auftrag nach anfänglicher Zusage jedoch ab. Er war nach Kriegsende zu sehr mit Aufträgen und der Vorbereitung einer Werkschau beschäftigt, zudem konnte er bis 1923 wegen der politischen Situation nicht selbst in den Orient reisen, um dort die als notwendig erachteten Studien und Skizzen orientalischer Parfümläden anzufertigen, die in seinem Oeuvre bislang noch nicht vertreten waren. Erst nach Wuttkes definitiver Absage verständigte man sich im Deutschen Museum darauf, das bewusste Schwarz-Weiß-Foto als Gestaltungsvorlage für die geplante Inszenierung zu verwenden, zumindest als groben Orientierungsrahmen. Denn an der schließlich realisierten Münchner Inszenierung fällt zum einen das stark »geschönte« Aussehen der Verkaufsbude auf, die im Gegensatz zum historischen Foto keinen abblättrenden Anstrich, keine morschen Balustraden oder verwitterten Zierelemente zeigte. Zweifellos hatte sich, trotz Kontroversen mit dem damaligen Leiter der Chemieabteilung, schlussendlich Miller mit seiner Vorliebe für die zeitgenössische Genremalerei durchgesetzt. Alle Spuren von Armut, Verfall oder mangelnder Hygiene, die auf der Fotovorlage zu sehen oder angedeutet waren, wurden weichgezeichnet, so dass im Museum letztlich eine idealisierende Basarlädeninszenierung installiert wurde, in der die sozialen Realitäten wie in einem Genregemälde übertüncht worden waren.

Originalinventar aus Kairo

Während der Basarläden selbst in München geschreinert wurde, sollte seine Innenausstattung nach den Vorstellungen des Museums aus »echten« Originalobjekten bestehen. Wegen des mittlerweile auch im Orient einsetzenden Modernisierungsprozesses gestaltete sich deren Beschaffung jedoch als relativ schwierig. Erst 1924/25 fand das Deutsche Museum durch Vermittlung des Deutschen Instituts für Ägyptische Altertumskunde, des heutigen Deutschen



Die »Rue du Caire« war eine der beliebtesten Publikumsattraktionen der Pariser Weltausstellung von 1889. Unter Verwendung von Original-Architekturteilen aus Kairo hatte man einen idealtypischen Straßenzug des alten, in der Realität in dieser Form längst verschwundenen Kairo nachgebaut. Indigene Orientalen sollten dieser Kulissenlandschaft Flair und eine möglichst authentische Atmosphäre geben.

Auf der Berliner Gewerbeausstellung von 1896 vermittelten Basarläden, in denen orientalische Handwerker Teppiche, Metall-, Leder- oder Töpferwaren feilboten, sowie zahlreiche Kaffeehäuser, in denen man nicht nur einen Mokka genießen, sondern auch Tanz- und Musikaufführungen folgen konnte, ein stereotypes Bild orientalischen Lebens.



Archäologischen Instituts in Kairo, einen Experten, der sich um den Ankauf kümmern wollte. Aufgrund eines Missverständnisses erwarb er jedoch überwiegend das für Drogenläden typische Warensortiment, das trotz einiger Überschneidungen von dem eines Parfümladens differierte. Diese Unstimmigkeiten lassen sich beim Vergleich der beiden Ladenfotos auch erkennen: Während im tunesischen Parfümladen Räucherkerzen und zahlreiche Parfümflakons dominieren, fallen in der Museumsinszenierung Vorratsdosen mit arabischer Beschriftung ins Auge, ferner exotische Exponate wie das Krokodil, getrocknete Mohnkapseln, Kürbisse und orientalisch anmutende Lampen.

Da das Deutsche Museum den Zeitaufwand für Besorgung und Transport der Kairoer Waren völlig unterschätzt hatte, trafen diese viel zu spät, also erst einige Wochen nach der Eröffnung des Neubaus, in München ein. Den bereits eingebauten Laden hatte man, um ihn nicht völlig leer präsentieren zu müssen, provisorisch mit einigen bereits vorhandenen Exponaten bestückt, die eigentlich nicht in einen orientalischen Basarläden gehörten. Die aus Kairo gekommenen Stücke stellte man dann einfach zu den bereits hineindekorierten Objekten hinzu, ohne expliziten Hinweis, dass ein Teil der Exponate aus Europa stammte und die neu hinzugekommenen zwar orientalischer Provenienz waren, doch thematisch nur eingeschränkt zum Thema Riechstoffe passten. Der Hinweis im Ausstellungsführer, es handle sich um Originalexponate aus Kairo, suggerierte eine vermeintliche, letztlich aber falsche Authentizität.

Vorbild Weltausstellung

Millers Vorstellungen vom Aussehen eines orientalischen Basarladens waren trotz einer im Februar 1908 unternommenen Ägyptenreise nicht nur von den malerischen Markt- und Straßenszenen der romantisierenden zeitgenössischen Orientmalerei geprägt, sondern auch von den Eindrücken, die die Länderausstellungen der nordafrikanischen Kolonien auf den Pariser Weltausstellungen vermittelt hatten. Ein besonders nachhaltiger Einfluss ging sicher von der Inszenierung der berühmten »Rue du Caire« aus, die von 1867 bis 1904 zum festen Repertoire aller großen Welt- und Gewerbeausstellungen gehörte. Sie bildete in



Postkarte mit einer Ansicht der Sonderausstellung »Kairo« auf der Berliner Gewerbeausstellung von 1896. Auf dem Sandboden der Mark Brandenburg war eine morgenländische Wunderstadt aus Gips aufgebaut worden, die mit ihren Minaretten, Palästen und Basarszenen Einblicke in die Geschichte des Pharaonenlandes und sein reiches kulturelles Erbe vermitteln sollte.

verkleinertem Maßstab einen Straßenzug des mittelalterlichen Kairo nach, mit Gebäuden verschiedener Epochen und Baustile. Direkt neben orientalischen Palästen, Moscheen, Minaretten, Mausoleen und Wohnhäusern standen Restaurants, Cafés und Basarläden, die in der charakteristischen Gipsarchitektur der Weltausstellungen konstruiert worden waren. Bei der Pariser Weltausstellung von 1889 wurde die »Rue du Caire« dank der Initiative des französischen Bauingenieurs und Ägyptenliebhabers Alphonse Delort de Gléon (1843–1899) zu einer veritablen Amüsiermeile erweitert, deren scheinbare Authentizität in mehrfacher Hinsicht Fiktion war. Die mehr als zwanzig Gebäude, die sich in der Realität gar nicht in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander befanden, wurden zu einem Gesamtensemble zusammengefügt, das einen willkürlichen Stilmix unterschiedlichster orientalischer Architekturelemente aufwies. Obwohl man einige Originalteile aus Abbruchhäusern in Kairo verwendete, beispielsweise Maschrabijen, kunstvoll geschnitzte Holzverkleidungen für Fenster, sowie Türen, Kacheln oder Kalligrafien, war das Ergebnis ein Kunstprodukt, auch wenn die Außenwände zwecks Vortäuschung von Detailtreue absichtlich beschmutzt oder gar beschädigt worden waren. Die »Rue du Caire« sei, wie Delort de Gléon stolz behauptete, authentischer als das



Nachgebaute Straßenansicht aus Kairo. Gezeigt ist der Eingang zur Nabhâsîn-Straße, auf der Berliner Gewerbeausstellung von 1896.

Original. Er habe dort ausschließlich traditionelle Bauten kopiert; vor Ort sei ein derartig geschlossenes Straßenbild durch Neubauten dagegen zunehmend im Verschwinden begriffen. Die Anziehungskraft der »Rue du Caire« ging jedoch nicht allein von der Architektur aus, sondern vor allem von den aus dem Orient rekrutierten Einheimischen, einer bunten Mischung von Musikern, Tänzern, Gauklern, Eseltreibern, Kamelführern, Handwerkern und verschleierten Frauen, die während der Weltausstellung den Anschein erwecken sollten, als gingen sie ihren normalen Tätigkeiten nach. Die europäischen Besucher, die fremde Kulturen damals üblicherweise nur aus Zeitschriften und Illustrierten, Reisebeschreibungen oder von den populären Völkerschauen kannten, konnten beim Flanieren durch die »Rue du Caire« die Trachten der Orientalen bestaunen, ihr Verhalten beobachten und den ungewohnten Klängen ihrer Sprachen lauschen. Handwerker aller Couleur, Kesselschmiede, Drechsler, Stuckateure, Teppichweber und andere, führten ihre traditionellen Gewerbe vor, Basarläden boten landestypische Souvenirs zum Kauf an und in den vermeintlich orientalischen Restaurants konnte man unge-

wohnte Speisen und Getränke kosten. Folkloristische Veranstaltungen oder Kamel- und Eselritte taten ihr übriges, damit sich das europäische Publikum der Faszination des Fremden hingeben konnte, ohne zu ahnen, dass es dabei Opfer einer trügerischen Kulisse wurde. Nur eine 1889 anwesende Delegation von Kairoer Gelehrten ließ sich nicht über das zweckentfremdete Innenleben so mancher Fassade hinwegtäuschen: Die Moschee beherbergte nicht etwa einen Gebetsraum, sondern ein Café, in dem pikanterweise Tanzvorführungen dargeboten wurden. Offensichtlich spiegelten die Weltausstellungen vor allem wider, welches Bild sich die Europäer vom Orient machten.

Missglückter Authentizitätseifer

In ähnlicher Weise wie die künstlich gealterten Häuserfassaden der »Rue du Caire« zeigte die Münchner Inszenierung mit ihrem purifizierten Laden eine europäisierte Version. Sie lässt sich durchaus im Sinne der Orientalismus-Kritik des Literaturtheoretikers und -kritikers Edward Said (1935–2003) interpretieren, nach der westliche Vorstellungen vom »Orient« als dem »ganz Anderen« einen objektiven, unverstellten Blick auf fremde Kulturen per se nicht zulassen und stattdessen die Wirklichkeit verzerren. Authentizität konnte die Münchner Inszenierung nur sehr bedingt für sich beanspruchen, obwohl dies ursprünglich durchaus intendiert war. Man scheiterte jedoch an mehreren Faktoren: zu langen museumsinternen Diskussionen in der Planungsphase, zu spät getroffenen Entscheidungen bei der Realisierung, einem Missverständnis, das zum Ankauf eigentlich unpassender Exponate führte, sowie einer völligen Verknennung der Schwierigkeiten, die die Objektbeschaffung im Orient verursachen würde.

Offenkundig war man im Deutschen Museum also nach einem ähnlichen Patchwork-Prinzip vorgegangen wie bei der »Rue du Caire« oder der Abteilung »Kairo« auf der Berliner Gewerbeausstellung von 1896. So wie dort vereinzelt authentische Versatzstücke orientalischer Architektur verbaut worden waren, allerdings in ahistorischem Kontext, enthielt auch die Münchner Basarinszenierung »echt« orientalische Exponate, die jedoch mit denen europäischer Herkunft und aus anderen Verwendungszusammenhängen stammenden vermischt worden waren. Die Besucher des



märkten« konnte die Wachfigur des orientalischen Händlers natürlich nicht wiedergeben. Zum sterilen Eindruck der Münchner Inszenierung dürfte zudem beigetragen haben, dass die dort präsentierten Gewürz-, Duft- und Arzneipflanzen bald keine exotischen Düfte mehr verströmten, sondern nur noch verstaubt rochen und damit ihren letzten Reiz verloren. Es überrascht daher nicht, dass beim Wiederaufbau des Museums nie ernsthaft daran gedacht war, die zerstörte Inszenierung zu rekonstruieren. Sie hatte sich – wie die gesamte Orientmode um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert – überlebt und hätte nicht mehr in die Nachkriegszeit gepasst, da sich die Sehgewohnheiten der Menschen längst an den Realismus von Fotografie und Film gewöhnt hatten. Die einstige Existenz dieser Inszenierung ist jedoch ein weiteres Beispiel für die wichtige Vorbildfunktion der Weltausstellungen für die Gestaltung des Deutschen Museums. ■■

Literatur

Alphonse Delort de Gléon, *La rue du Caire*. Paris 1889.

Carl Krug, *Offizieller Führer durch die Special-Abtheilung Kairo der Berliner Gewerbe-Ausstellung 1896*. Berlin 1896.

Zeynep Çelik, *Displaying the Orient. Architecture of Islam at Nineteenth-Century World's Fairs*. Berkeley u.a. 1992.

Karin Rhein, *Deutsche Orientalmalerei in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts*. Berlin 2003.

Alexa Färber, *Weltausstellung als Wissensmodus: Ethnographie einer Repräsentationsarbeit*. Münster 2006.

Ines Roman, *Exotische Welten – Die Inszenierung Ägyptens in der Sonderausstellung »Kairo« der Berliner Gewerbeausstellung von 1896*. Münster 2010.

Deutschen Museums unterstellten den Ausstellungsmachern unreflektiert allerdings immer streng wissenschaftliches Vorgehen und das Bemühen um größtmögliche Authentizität, so dass sie die fiktiven Raumentsembles, die ihnen besonders in der Frühzeit des Deutschen Museums präsentiert wurden, meist nicht kritisch hinterfragten und mangels Expertenwissens auch nicht hinterfragen konnten.

Inwieweit erfüllte nun diese Inszenierung Millers Anspruch, möglichst anschaulich und unterhaltsam der Volksbildung zu dienen? Verglichen mit den auf den Weltausstellungen präsentierten Länderpavillons Algeriens, Tunesiens und Marokkos und der beliebten »Rue du Caire« wirkte die auf einen Laden reduzierte Münchner Basarlädeninszenierung etwas leblos. Allerdings wissen wir nicht, wie die damaligen Besucher auf dieses Szenario reagierten. Die lebhaft und quirlige Atmosphäre auf den »Weltjahr-

Für die Sonderausstellung »Kairo« auf der Berliner Gewerbeausstellung von 1896 war eigens ein ausführlicher Führer herausgegeben worden, der eine Art kulturgeschichtlicher Leitfaden zu allen nachgebauten Gebäuden darstellte. Zugleich gab er Empfehlungen, wie man sich als europäischer Besucher gegenüber den orientalischen Schaustellern zu verhalten habe.



Prof. Dr. Elisabeth Vaupel
ist Chemiehistorikerin im
Forschungsinstitut des
Deutschen Museums.



Isolde Lehnert M.A.
leitet die Bibliothek des
Deutschen Archäologischen
Instituts in Kairo / Ägypten.



Ein Meister ist zu wenig

Perfektes Holz und Handwerkskunst sind notwendig für den Bau einer sehr guten Geige. Verzaubernde Musik kann erklingen, wenn Instrument und Interpret zusammenpassen.

Von Klaus Wagner

Für den perfekten Klang muss die Geigendecke so dünn sein, dass das Licht hindurchscheint.

Klassische Musik ist dann grandios, wenn sie zum Träumen veranlasst. Hört der Autor dieses Berichts die Einleitung des Konzerts für Violine und Orchester von Ludwig van Beethoven, schweifen seine Gedanken bisweilen ins Erdinger Moos. Dann sieht er Bäume, deren Blätter vom leichten Wind bewegt werden, dass man ihre silbrige Unterseite sieht. Plötzlich, der Wind frischt auf zur lebendigen Brise, wogt Getreidehalme hin und her und ebbt dann wieder ab. Fast ist es still und ein kleiner Vogel schraubt sich zwitschernd in die Höhe, sinkt wieder ab, steigt erneut nach oben und singt sich dabei schier die Seele aus dem Leib.

Wohnt dem Holz ein Zauber inne?

Bevor ein Solist mit seinem Geigenspiel die Zuhörer verzaubern kann, muss ein Geigenbauer sein ganzes handwerkliches Können und jahrelange Erfahrung aufgewendet haben, um dessen Instrument zu erschaffen. Nicht selten ist dieses sehr berühmt, enorm teuer und mehrere Hundert Jahre alt. Aber auch heute werden sehr gute Instrumente gefertigt. Am Anfang jedoch, wenn in den Alpenregionen das Holz geerntet wird, aus dem Geigendecken entstehen, erklingen weniger erbauliche Töne: Früher das kratzend-mahlende Geräusch einer Zweimannsäge. Heute ist es das Knattern eines Motors, der eine Säge antreibt. Bäume fällen ist eine Sache der Waldarbeiter. »Kein Geigenbauer geht mit einem Hammer in den Wald, klopft Fichtenstämme ab und lauscht, ob sich ihm der Klang einer zukünftigen Meistergeige offenbart«, sagt Geigenbaumeister Wolfgang Löffler, der in der Münchner Kellerstraße seine Ladenwerkstatt betreibt.

Fichten für Klangholz haben idealerweise eine lange astfreie Zone, sind gerade und nicht an einem steilen Hang gewachsen. Denn an der dem Tal zugewandten Seite bildet der Stamm sogenanntes Stützholz, das zu dicht und stabil ist für schwingende Geigendecken. Ob gutes Klangholz teuer ist? »Kommt darauf an, wie gut man den Förster kennt und wie dieser das Holz klassifiziert«, sagt Löffler. Den Preis für Brennholz und somit 300 Euro je Baumstamm hat man ihm einst berechnet. Nutzholz kostete dagegen ein Mehrfaches. Was das Holz anbetrifft, ranken sich viele Mythen um die schön klingenden Stra-



Antonio Giacomo Stradivari baute Geigen, die bis heute durch ihren unvergleichlichen Klang verzaubern.

divaris und Guarneris. So zum Beispiel, dass die Baumstämme vorzugsweise in einer klaren Vollmondnacht zu fallen seien. Einige vermuten, dass Fichten aus dem Aostatal ganz besonders geeignet seien, weil die Cremoneser Geigenbauer des 16. bis 18. Jahrhunderts ihr Holz von dort bezogen. Der Hintergrund könnte eher praktischer Natur gewesen sein, denn das Tal war der nächstgelegene Ort, an dem geeignetes Holz wuchs. Andere suchen das Klanggeheimnis in dem Umstand, dass die verwendeten Fichten während der kleinen Eiszeit gewachsen waren, die vom 15. bis 19. Jahrhundert das europäische Klima beherrschte. Wieder andere glauben an eine spezielle Lackierung oder an ein geheimes Rezept für ein bestimmtes Holzschutzmittel. Und dann gibt es ganz nüchterne Stimmen, die behaupten, dass das Geheimnis der kostbaren alten Italienerinnen darin bestehe, dass es gar keines gebe. Klang und Schönheit seien auf nichts anderes zurückzuführen als auf die sorgfältige Auswahl der verwendeten Hölzer und auf beherrschte Handwerkskunst.

Stradivari und die Wende

Strahlend hell, reich an Obertönen und mit einer gewissen Lautstärke müssen die Instrumente für Solisten klingen. Dann können sie sich zum einen gegen das Orchester durchsetzen und andererseits die immer größer werdenden Konzertsäle mit ihrem Klang erfüllen. Unterstützt werden diese Anforderungen durch den Umstand, dass die Klassikfreunde unserer Tage durch technisch optimierte CD-Aufnahmen einen wuchtigen Geigenton gewöhnt sind, den sie auch bei Livekonzerten nicht vermissen möchten. Die Entwicklung hin zu Instrumenten, die solches leisten können, geht auf den berühmten Antonio Giacomo Stradivari (1646–1737) zurück. Anfang des 18. Jahrhunderts wurden die ersten Solokonzerte für Violine und Orchester geschrieben, und mit der Erweiterung der Geigenliteratur war es erforderlich, Instrumente zu bauen, die den neuen Anforderungen gerecht wurden. »Die Geigen aus der Werkstatt von Nicola Amati (1596 bis 1684), süßlicher klingend und mit hochgewölbter Brust, waren diesen Schwierigkeiten noch nicht ausgesetzt. Bei den von Stradivari nach 1700 gebauten ist die Geigendecke dagegen flacher und etwas breiter. Außerdem sind die

Das Ausformen der Geigendecke erfordert viel Erfahrung und Einfühlungsvermögen in das Holz.

Vorsichtig werden die Wirbel in den Wirbelkasten geschoben.



Die Spitzschablone für den Zargenkranz bestimmt den Umriss der Geigendecke.

F-Löcher verlängert«, sagt Martin Schleske, der sein Meisteratelier für Geigenbau in Stockdorf bei München führt.

Löffler entnimmt das stabilste und leichteste Stück Fichtenholz aus seinem Vorrat, wenn er beginnt, eine Solistengeige zu bauen. Aus zwei an ihrer Längsseite miteinander verklebten Brettchen formt er mit Schnitzwerkzeugen und Laubsäge zunächst die Decke des Instruments. Deren Aufgabe ist es, die Vibrationen der Saite in Luftschwingungen zu übersetzen, die den Klang zum Ohr des Zuhörers transportieren. Andere Bauteile wie Geigenboden, Stimmstock, Bassbalken, Steg für die Saiten und Zargen arbeiten dieser Funktion zu. Wie die Violine letztendlich klingt, wird ganz erheblich von den Eigenschaften der Geigendecke bestimmt. Steigt sie in Längsrichtung steil oder flach an? Wie in Querrichtung? Wie dünn ist die Decke an bestimmten Stellen? Wie groß wird das Innenvolumen des Geigenkörpers? Das sind kritische Variablen, die es bei der Arbeit ständig zu berücksichtigen gilt. »Eine Decke auszuarbeiten ist eine ständige Gratwanderung zwischen meiner Vorstellung, wie die fertige

Geige ertönen soll, und den Möglichkeiten, die das jeweilige Holz bietet. Das erfordert viel Einfühlungsvermögen und gleicht einem meditativen Vorgang«, sagt Löffler. Ist die Decke zu dünn und damit instabil, wird sie nicht hell genug klingen. Bei zu großem Innenvolumen des Geigenkörpers ist ihr Ton zu tief und dumpf. Immer wieder hält er bei der Ausarbeitung die Decke an sein Ohr und klopft mit der Spitze seines Mittelfingers dagegen, um Hinweise zu erhalten, ob er seinem Ziel noch auf der Spur ist.

Streicht der Bogen bei einer Geige über eine auf dem Steg lastende Saite, gerät diese in Schwingung. Dabei vollführt sie eine Bewegung, die in extremer Zeitlupe der eines am Boden liegenden Tauses gleicht, das – festgebunden an einem Ende – am anderen mit schlenkernden Handbewegungen parallel zum Boden hin und her bewegt wird. Im Gleichtakt mit der anregenden Frequenz schwingt auch der Steg senkrecht zur Längsachse der Geige. Dieser steht auf zwei Füßchen, welche die Vibration auf die Decke übertragen.« Die F-Löcher ermöglichen dabei hohe Amplituden. Wenn der Steg auf der Diskantseite nach unten drückt, das heißt derjenigen, auf der die höchst klingende Saite aufliegt, überträgt der zwischen Decke und Boden eingeklemmte Stimmstock die Bewegung auf den Geigenboden. Dieser ist aus dem härteren Ahornholz gefertigt, und dessen Wölbung ist so gestaltet, dass er durch optimale Federwirkung die Schwingung der Decke verstärkt. Drückt der Steg auf der anderen Seite nach unten, verteilt der unten an der Decke verklebte Bassbalken großflächig die Abwärtsbewegung.

Wechsel von der Werkbank ins Akustiklabor

»Sieben Jahre dauerte die Ausbildung in der Werkstatt von Stradivari«, sagt Geigenbaumeister Sebastian Zens, der in Kufstein seine Werkstatt betreibt. Wie Schleske und Löffler erlernte er sein Handwerk an der Staatlichen Berufsfachschule für Musikinstrumentenbau in Mittenwald. Gerade einmal halb so lange dauert dort die Lehrzeit, und Zens, der im Fachbereich Geigenbau selbst an der Schule unterrichtete, betont, wie wichtig es sei, diese kurze Zeit gut zu nützen: »Es besteht die Gefahr, dass während der Lehre zu viel über den Klang der Geigen diskutiert wird und dabei das handwerkliche Tun zu kurz kommt.«

In einem Lehrjahr fünf bis zehn Instrumente zu bauen hält er für ideal, damit die handwerklichen Voraussetzungen geschaffen sind, einmal einen eigenen Stil zu entwickeln. »Sehr gute Instrumente bauen zu können, erfordert jahrelange Erfahrung und ständiges Optimieren der eigenen Arbeitsweise«, sagt Löffler.

Der Musiker kommt ins Spiel

Martin Schleske ergänzte seine Lehre durch ein Physikstudium an der Fachhochschule in München, um die Entstehung des Klangs aufgrund der Schwingungen des Holzes besser zu verstehen. Mehrmals täglich unterbricht er die Arbeit in der Werkstatt, um an dem gerade bearbeiteten Objekt in seinem akustischen Labor Messungen durchzuführen, wie sie in Luft- und Raumfahrt üblich sind. Für die sogenannten Modalanalysen von Geigendecken und -böden, aber auch ganzer Instrumente regt er diese an bis zu 600 verschiedenen Stellen nacheinander mit einem kleinen Impulsgeber an. Ein hochempfindlicher Sensor zeichnet dann die erzeugten Resonanzschwingungen auf. Durch mathematische Umrechnung der Messergebnisse lassen sich die Vibrationen einer Geigendecke in einzelnen Bezirken berechnen und anschließend für die gesamte Fläche grafisch oder als Computeranimation darstellen.

Die kontinuierlichen Messungen geben ihm Informationen darüber, wie einzelne Arbeitsschritte das Schwingungsverhalten beeinflussen. »Die eigentliche Kunst besteht dann darin, Rückschlüsse zu ziehen, in welcher Weise die Arbeit am besten fortzusetzen ist«, sagt Schleske. Auf seinen Erfahrungsschatz kann er beileibe nicht verzichten. Weisen ihn seine Messungen in eine Richtung, die seinen Erfahrungen widerspricht, verlässt er sich auf seine Expertise. Fasziniert ist er von der Möglichkeit, mit seiner Methode den klanglichen Eigenschaften des Holzes nahezukommen. Auch kostbare Stradivaris hat er schon vermessen, um die vom Instrument gegebenen Grundlagen von Tönen zu erforschen, die sich größtmöglich modulieren lassen. Diese Modulationen ergeben sich, wenn der Musiker durch Ändern seiner Spielweise das Verhältnis von Grund- zu Obertönen variiert. »Warum klingen manche Instrumente so banal und andere dagegen so, dass die Zuhörer im Konzertsaal den Atem anhalten? Das



Mit dem Umreißmesser wird eine Nut für den Einlegespan in die Geigendecke geschnitten. Dieser verhindert die Bildung von Rissen bei seitlichen Stößen.

ist es, was ich herausfinden will«, sagt Schleske. »Erst zur Hälfte sind die klangbestimmenden Arbeiten erledigt, wenn bei der angefertigten Geige auch noch der Stimmstock gesetzt und die Saiten aufgezogen sind«, sagt Löffler. Was nun folgt, ist die Feinabstimmung zusammen mit dem Musiker, dessen Werkzeug die Geige sein soll. Mehrere Sitzungen können notwendig sein, um durch Auswahl der Saiten und Regulierungen an Steg oder Stimmstock beziehungsweise an dessen Position die gewünschte Klangfarbe einzustellen. Soll das Instrument heller und lauter erklingen, versetzt er den Stimmstock näher zum Steg. Auch die Steifigkeit des Stegs muss reguliert werden.

»Die Geige muss zum Interpreten passen, denn sie klingt durch dessen Persönlichkeit. Für ein ausdrucksstarkes Spiel muss eine große Verbundenheit vorhanden sein«, sagt Lorenz Nasturica-Herschcowici, erster Konzertmeister bei den Münchner Philharmonikern. Zurzeit spielt er auf einer Guarneri, vor einem Jahr war es noch eine Stradivari. Seine Instrumente lässt er von Wolfgang Löffler betreuen. Und dann erzählt der Musiker eine Anekdote über Jascha Heifetz, einen sehr bedeutenden Geiger des 20. Jahrhunderts. Eine begeisterte Zuhörerin sei einst nach einem Konzert zu Heifetz in die Garderobe gekommen und schwelgte, wie schön seine Geige doch wieder geklungen habe. Danach soll Heifetz sein Instrument geschüttelt und konzentriert daran gelauscht haben, um schließlich zu sagen: »Ich höre nichts.« ■■



DER AUTOR

Dr. rer. nat. Klaus Wagner
ist freier Journalist für
Technik und Wissenschaft.

Am 6. Februar 1958 überrollte eine Ambassador Elisabethan die Startbahn des Flughafens München-Riem. An Bord befand sich das Fußballteam Manchester United. Insgesamt 23 Menschen starben bei diesem Unglück.



Protokolle für die Sicherheit

Fliegen gehört zu den sichersten Möglichkeiten, große Strecken rasch zu überwinden. Dennoch ist die Fortbewegung in der Luft für viele Menschen mit Ängsten verbunden. So selten Unfälle passieren, so dramatisch sind ihre Folgen. Aus jedem Unfall, jedem Absturz lernten und lernen Experten, um Ähnliches für die Zukunft zu verhindern. Von Barbara Grilz



Bis zum 1. September 1998 oblag dem Luftfahrt-Bundesamt die Untersuchung von Unfällen. Seither gibt es in Deutschland sogar eine eigene Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU). 32 Mitarbeiter zählt diese Behörde, deren Aufgabe es ist, Unfälle und Störungen im Betrieb ziviler Luftfahrzeuge innerhalb Deutschlands und – sofern es sich um ein in Deutschland zugelassenes Luftfahrzeug handelt – auch weltweit zu untersuchen. Seit den Anfängen haben die oft mühseligen und komplizierten Untersuchungen vor allem ein Ziel: die Ursachen zu identifizieren und die Schwachstellen zu beseitigen.

Eine Ambassador-Elisabethan überrollte 1958 in München-Riem mit voll laufenden Motoren das Ende der Startbahn sowie die 270 Meter lange Sicherheitsfläche, durchbrach die Flughafenumzäunung und stieß gegen ein Haus, wobei Teile der linken Tragfläche und des Leitwerks abbrachen und die Maschine in Brand geriet. Im Weiterutschen prallte das Wrack gegen den Betonsockel einer Holzbaracke, so dass der hintere Rumpf abbrach, anschließend rutschte es noch 70 Meter weiter, bis es in Normallage liegen blieb. 23 der 44 Menschen an Bord kamen bei dem Unglück ums Leben.

Schon kurze Zeit nach dem Unglück hegte man den Verdacht, vereiste Tragflächen könnten an dem Unfall schuld gewesen sein, aber auch die bereits im Vorfeld beanstandeten Ladedruckschwankungen der Motoren kamen als Ursache infrage. Ihretwegen war der Start bereits zweimal abgebrochen worden. Auf der Parkposition des Flugzeugs war das zwar mit der Technik besprochen worden, aber da das Phänomen am Münchner Flughafen bekannt war, gab es keine weiteren Untersuchungen und damit auch keinen Eintrag im Technischen Logbuch (TLB). Genau dieser Eintrag hätte den Ermittlern aber einen wichtigen Anhaltspunkt geliefert, denn Flugdaten oder aufgezeichnete Cockpitgespräche gab es damals noch nicht. So gab es als handfeste Fakten nur den Tonbandmitschnitt zwischen den Piloten und dem Tower, die Tabellen des Flughafens über die Schneematschtiefe auf der Runway sowie die Wetterdaten mit der amtlichen Verbriefung, dass es geschneit hatte. Diese drei Tatsachen, kombiniert mit über dreißig Zeugenaussagen und einigen Berechnungen von Instituten, die sich mit der Aerodynamik befassten, bilde-

Verformung bei voller Leistung: die Überreste von Rotorenblättern.



ten die Grundlage für die Untersuchungskommission des Luftfahrt-Bundesamtes (LBA) und ließen jene nach einer elfmonatigen Untersuchung zu dem Schluss kommen, dass vereiste Tragflächen an der Katastrophe schuld gewesen seien. Ob die Tragflächen tatsächlich vereist gewesen waren, konnte allerdings nicht abschließend festgestellt werden, denn in diesem Punkt unterschieden sich die Zeugenaussagen gravierend. Man einigte sich schlichtweg auf die höchste anzunehmende Wahrscheinlichkeit.

Ein wenig mehr Glück hatten die Ermittler 1961, als eine Boeing 720 auf einem Checkflug im Dezember bereits nach sechs Minuten in einen Sturzflug überging und sich fast senkrecht bis zu fünf Meter tief in den Erdboden grub. Zum Glück befanden sich keine Passagiere an Bord, aber die drei Besatzungsmitglieder starben. Auch damals gab es noch keinen Flugschreiber oder Cockpit-Voice-Recorder (CVR) an Bord. Technische Mängel an der Maschine, die das Verhalten hätten erklären können, waren nicht bekannt und die Kommunikation zwischen dem Tower und der Crew ließ keinen Rückschluss auf ein Problem an Bord zu.

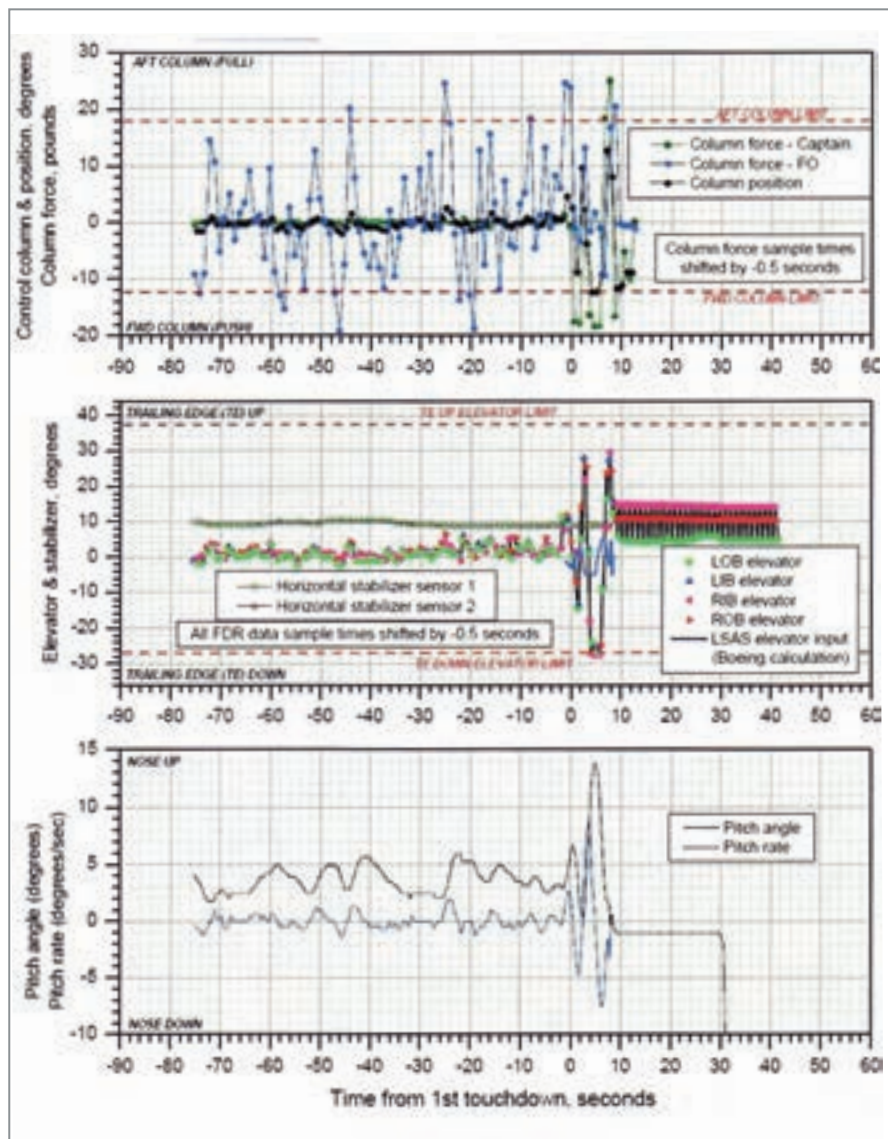
Die Ermittler tappten im Dunklen, denn weder die geborgenen Triebwerke noch die Spindel des Stabilizers wiesen auf ein fehlerhaftes Verhalten hin. Aber wenige Wochen zuvor hatte es einen ähnlichen Vorfall gegeben,

bei dem ein Kapitän berichtete, dass die Maschine wenige Minuten nach dem Start aus unerklärlichen Gründen die Nase steil anhub und mit voller Triebwerksleistung in den Himmel schoss. Im Originalbericht hieß es: »Das Flugzeug stieg stark nach oben und im künstlichen Horizont war nur ein weißes Feld zu sehen. [...] Ich drückte instinktiv mit aller Kraft die Steuersäule langsam nach vorn, um wieder Kontrolle zu erhalten. Hierbei trat naturgemäß eine negative G-Kraft auf, die das Durcheinander in der Kabine hervorrief.«

Notizen eines Flugzeugkapitäns

Der Kapitän landete die Maschine ohne weitere Zwischenfälle wenige Minuten später und hielt im Technischen Logbuch sämtliche Parameter fest, wie die Stellung seiner Schubhebel, Leistungen der Triebwerke oder leuchtende Warnlampen. So hatte die Flightcrew, die wenige Tage nach diesem Zwischenfall mit derselben Maschine einen Testflug durchführte, einen Anhaltspunkt. In dem Originalbericht heißt es: »Das Flugzeug macht, wenn es nicht in Trim-Balance ist, unter diesen Bedingungen eine sehr starke und ruckartige Bewegung um die Querachse nach oben, so dass innerhalb von max. 3 Sekunden der Horizont restlos verschwindet. [...] Durch die starke Fliehkraft, die durch den abrupten Steigflug hervorgerufen wird, ist es dem Piloten nur unter Aufwendung seiner ganzen Kraft möglich, das Flugzeug wieder unter Kontrolle zu bekommen, ohne dass er mit der Trimmung arbeitet.« Fazit: Die Testcrew konnte das fehlerhafte Verhalten bestätigen und man fand bei der anschließenden Fehlersuche einen nicht funktionierenden Trim-out-off-Schalter als Ursache.

Allerdings war nicht zu ermitteln, ob dieser Schalter auch Ursache für den Absturz vier Wochen später gewesen war, man konnte es nur annehmen. Der Vorfall zeigte aber deutlich, wie wichtig es war, Flugdaten an Bord unzerstörbar aufzuzeichnen. Ab 1963 wurde daher in alle Boeing 707- und 720-Maschinen der Lufthansa ein Flugdatenschreiber eingebaut. Dieses Gerät, welches die Geschwindigkeit, den Kurs, die Höhe und die vertikale Beschleunigung in eine Metallfolie eindrückt, war bereits eine Verbesserung des von dem Australier David Warren



entwickelten Prototyps von 1956. Ein Novum, das die Flugunfalluntersuchung fortan erleichtern sollte.

Die praktische Anwendung sollte nicht lange auf sich warten lassen. Im Sommer 1964 starben drei Besatzungsmitglieder an Bord einer Boeing 720, als jene sich wiederum auf einem Checkflug befand und es die Maschine förmlich in der Luft zerriss. Die Trümmer des einstigen Flugzeugs lagen über viele Quadratkilometer verteilt auf Wiesen und Feldern. Ein Sprengstoffattentat wurde nicht ausgeschlossen, doch die Untersuchungen konnten dies nicht bestätigen. Die Fundstelle wurde aus der Luft mehrfach fotografiert und vor allem die Lage der Triebwerke ausgemessen und in einer Zeichnung festgehalten. Alleine aus dieser Zeichnung war zu ersehen, dass sich das Flugzeug nicht in einer flugüblichen Lage befand.

Das beauftragte Institut der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt, Abteilung Strahltrieb, kam nach intensiven Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass die Triebwerke in Rückenlage des Flugzeuges ausgebrochen waren, aber ansonsten einwandfrei funktionierten. Dieses Ergebnis war für die Airline und den Trieb-

Mehr als 1000 Parameter können heute von einem digitalen Flightdatarecorder (Black Box) aufgezeichnet werden. 1964 waren es gerade einmal vier Parameter.



Die Überreste eines der ersten Flugschreiber. Vier Nadeln drückten Kurven in eine dünne Metallfolie.



Aufbewahrte Trümmer verunglückter Flugzeuge warten noch auf genauere Untersuchungen.

werkshersteller eine Erleichterung, nicht jedoch für die Untersuchungskommission. Diese erwartete mit Spannung die Auswertung der Flugdaten durch das Civil Aeronautic Board in Washington DC. Die vier aufgezeichneten Parameter waren der Schlüssel, auf den man baute, um dem Geheimnis auf die Spur zu kommen. Am Ende zeigte sich allerdings, dass es noch viel hilfreicher gewesen wäre, auch die Gespräche der Besatzung zu kennen, denn die aufgezeichneten Flugdaten bestätigten das Ergebnis des Instituts für Luft- und Raumfahrt, dass das geflogene Flugmanöver in keinem Fall Gegenstand des geforderten Checkflugs gewesen sein konnte. Somit war auch ein absichtliches Herbeiführen dieser Fluglage nicht mehr auszuschließen. Diese Frage konnte letztlich nie geklärt

werden, so dass die Untersuchungskommission zu dem Schluss kam, die Maschine sei einer außergewöhnlichen Überbeanspruchung ausgesetzt gewesen und daran zerborsten.

Vielleicht war es dieser Absturz der den Punkt auf das i setzte, so dass fortan die Gespräche im Cockpit aufgezeichnet werden mussten. Der Cockpit Voice Recorder wurde zur Pflicht und erleichterte in der Tat den Ermittlern ihre Arbeit. Denn nun erfuhr man auch von zwischenmenschlichen Uneinigkeiten im Cockpit, die vor allem in schwierigen Situationen ein enorm großes Sicherheitsrisiko darstellen, wie sich 1988 zeigte. Eine Meteor III geriet im Endanflug auf Düsseldorf in ein Gewitter, welches umflogen hätte werden können. Ein Blitzschlag ließ die gesamte elektrische Stromversorgung ausfallen, so dass das Flugzeug in einen unkontrollierbaren Zustand geriet und auseinanderbrach. Alle 21 Menschen an Bord starben.

Der Flugdatenschreiber bestätigte den von der Flugsicherheit beschriebenen Flugverlauf und brachte keine neuen Erkenntnisse. Doch durch die Aufzeichnung des Stimmrekorders wusste man, dass sich die Besatzung bereits im Vorfeld nicht über den Flugweg im Bereich des Gewitters einig gewesen war. Als das Flugzeug vom Blitz getroffen wurde, kämpfte sie mit Situationen, an die man als Unbedarfter niemals gedacht hätte. Die Ermittler entdeckten nicht nur technische Lücken in der Stromversorgung, sondern auch in den Flughandbüchern dieses Flugzeugtyps. Als Folge des Unfalls sprach die Flugunfalluntersuchungsstelle des LBA mehrere Sicherheitsempfehlungen aus, wie den Einbau eines zusätzlichen stromunabhängigen Kreiselhorizonts, einige Änderungen im elektrischen Stromnetz sowie eine Überarbeitung des Flughandbuchs.

Rückblickend kann man eine Entwicklung erkennen, in der die Flugunfalluntersuchung nicht nur technische Mängel an Fluggeräten aufdeckte und für deren Verbesserung sorgte, sondern sich zunehmend mit menschlichen Verhaltensmustern auseinandersetzen musste. Denn das Zeitalter der Elektronik brachte nicht nur eine erhebliche Verbesserung in der Überwachung von Systemen an Bord, es vertauschte zunehmend die Rollen. Traf der Pilot in den Anfängen sämtliche Entscheidungen, welche notwendig waren um von A nach B zu kommen, so wurde er mehr

und mehr von dieser Verantwortung entbunden, denn die Computer haben den besseren Überblick und treffen völlig unbeeinflusst Entscheidungen. Für viele war es nicht leicht, dies zu akzeptieren und leider musste erst ein Unglück passieren, bevor der Computer seinen selbstverständlichen Platz im Cockpit einnehmen konnte.

Der Computer übernimmt das Kommando

Im Juli 2002 kollidierte bei Überlingen am Bodensee eine Tupolew 154 mit einer Boeing 757 in der Luft und 71 Menschen kamen dabei ums Leben. Das Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS), welches eben genau eine Kollision in der Luft verhindern sollte, war in beiden Flugzeugen installiert und aktiv, und doch trafen sich die zwei Maschinen. Die dringlichste Frage war, ob diese Computer einwandfrei funktioniert hatten. Beide Computer wurden schwerstbeschädigt gefunden und die Techniker der BFU bauten die nichtflüchtigen Speicher der TCAS-Computer aus und setzten sie zu Testzwecken in funktionierende ein. Das Ergebnis: Die Computer arbeiteten einwandfrei. Die Technik hätte also dieses Unglück verhindern können. Zu jener Zeit überwogen allerdings noch bei Vielen die Zweifel an der Zuverlässigkeit von Computersystemen. Aus diesem Grund verließen sich die Piloten der beiden Unglücksmaschinen nicht auf die korrekten Kommandos ihrer Rechner, sondern vertrauten den Anweisungen der Lotsen, die ihrerseits aufgrund falsch interpretierter Radarinformationen Kommandos gaben, die am Ende zum Absturz führten. Eine Verkettung höchst unglücklicher Umstände. Die Ergebnisse der Untersuchung läuteten einen weltweiten Paradigmenwechsel ein: Im Regelfall ordnet sich das Flugpersonal heute den automatisierten Steuerungs- und Kontrollsystemen unter.

Im März 2008 führten die Ermittler der BFU eine Untersuchung an einem Airbus A320 durch, welcher beim Landen bei starkem Seitenwind in Hamburg mit der linken Fläche leichten Bodenkontakt hatte. Bei dieser Untersuchung wurde schnell klar, dass alle Systeme an Bord einwandfrei gearbeitet und auch die Flightcrew nach den vorgeschriebenen Richtlinien der Airline gearbeitet hatten. So kämpften sich die Ermittler zwei Jahre durch praktikable Anflugverfahren, Windmesstechniken, Flight Crew Operation Manuals und technische Feinheiten bestimmter Bordcomputer und am Ende war offensichtlich, dass Definitionsschwierigkeiten in den Dokumenten schon zu Missverständnissen beim Pilotentraining geführt hatten.

Geistesgegenwart der Copilotin

Doch weitaus gravierender war, dass die Quersteuerung des Flugzeugs eingeschränkt wurde, sobald dieses mit nur einem Fahrwerk Bodenkontakt hatte. Hier steckte der Fehler in einem winzig kleinen Detail, das nur die Programmierer kennen konnten, die aber –



An ihm lag es nicht: Diesem Computer konnte nachgewiesen werden, dass er zum Zeitpunkt des Absturzes voll funktionsfähig war.

verständlicherweise – auch nicht alle Eventualitäten im Blick gehabt hatten. Den Airlines und Besatzungen war diese Einschränkung nicht bekannt und somit konnte dieses Flugzeugverhalten nie im Simulator trainiert werden. Dass bei einer derart schweren Störung des Flugbetriebs alle an Bord befindlichen Menschen nur mit dem Schrecken davonkamen, war der Reaktion der Copilotin zu verdanken. In diesem Fall triumphierte der Mensch doch wieder über die Technik und machte damit deutlich, wie engmaschig das Netz zwischen der menschlichen Reaktion und der nach einer Matrix arbeitenden Technik gewoben ist.

Die Arbeit der Flugunfalluntersuchung erleichtert das nicht unbedingt und die Sicherheitsempfehlungen werden immer weitgreifender. Sie gelten nicht mehr ausschließlich den Flugzeugherstellern und Airlines, sondern auch Behörden wie dem LBA und der EASA (Europäische Agentur für Flugsicherheit). Die jeweiligen Empfehlungen werden stets schnellstmöglich umgesetzt, da sich niemand nachsagen lassen möchte, er habe nicht alles unternommen, um einen erneuten Unfall zu verhindern. Somit haben alle Flugunfalluntersuchungen weltweit Auswirkungen auf Flugzeughersteller, Airlines, Flughäfen, Bodenkontrollstationen und Behörden.

Hundertprozentige Sicherheit wird es nicht geben können, aber weltweit sind Helfer und Ermittler in Flugunfalluntersuchungsstellen den wahren Umständen und Ursachen auf der Spur, um das Netz der Sicherheit enger und fester zu knüpfen. ■■



DIE AUTORIN

Barbara Grilz ist Flugzeugtechnikerin, Journalistin und Buchautorin. Ihr besonderes Interesse gilt der alten Verkehrsfliegerei.



Deutsches Museum



INTERN

- **Neues aus dem Freundes- und Förderkreis**
- **Museumsinsel**
Zukunftsinitiative Deutsches Museum
Abhandlungen und Berichte
Kerschensteiner Kolleg

Der Terminkalender Juli bis September 2015 liegt dieser Ausgabe bei. Aktuelle Termine finden Sie auch unter:
www.deutsches-museum.de/information/kalender



Museumsinsel

Verkehrszentrum

Flugwerft Schleißheim

Deutsches Museum Bonn

Alle aktuellen Veranstaltungen finden Sie in unserem Quartalsprogramm.

Damit wir nicht auf den Pluto umsiedeln müssen



Der Freundes- und Förderkreis des Deutschen Museums fördert Kinder- und Jugendprojekte im Rahmen der Anthropozän-Ausstellung. Sie sind eine Bestätigung dafür, wie wichtig die Ausstellung ist – und wie gelungen.

»Ich will, dass wir Menschen 2025 immer noch leben und dass es nicht mehr nach Autoabgasen riecht. Und dass sich die Natur wieder erholt«, hat ein kleines Mädchen auf rosa Papier geschrieben. Ein anderes Kind schrieb: »Ich wünsche mir für die Zukunft, dass alle Menschen ein Zuhause haben.« Die kurzen Texte ergeben, zu Blumen gefaltet, eine Wiese der Wünsche, die den Besucher der Ausstellung »Willkommen im An-

thropozän« empfängt. Nicht nur Kinder sind hier vertreten, aber sie haben durch die Unterstützung des Freundes- und Förderkreises Deutsches Museum e. V. ein halbes Jahr vor der Eröffnung der Ausstellung im November 2014 in einer Forschungswerkstatt diese Ideen mitentwickelt und das Thema der Ausstellung für sich besetzt. »Es war sehr interessant für mich zu sehen, wie die Kinder und Jugendlichen all die Themen als ihre ureigenen Themen wahrnehmen«, erklärt Gabrielle Kramer, die die Projekte vonseiten des Museums leitet.

Seit dem Sommer 2014 haben Kinder und Jugendliche zwischen neun und 15 Jahren ihre Perspekti-

Eine ganz eigene Vorstellung vom Anthropozän: In der Forschungswerkstatt machen sich Kinder die Welt, wie sie ihnen gefällt.

ve auf Urbanität, Klima, Verhältnis von Natur und Technik, die Zukunft des Verkehrs und der Nahrungsmittel entwickelt. Neben den Wünschen auf der Blumenwiese gibt es am Eingang zur Ausstellung auch einen Plakatständer, der den Besuchern die Möglichkeit gibt, mit den Augen der Kinder auf die Zukunftsfragen der Menschheit zu blicken. Ein 14-Jähriger meinte geradezu exemplarisch: »Wir wachsen mit Recycling und diesen Dingen auf, hören all das seit unserer Kindheit, deshalb werden wir auch etwas verändern, anders als die Erwachsenen, für die die Themen immer noch neu sind.« In den Projekten waren die Kinder immer selbst gefordert, Zusammenhänge zu erforschen und nach Lösungen zu suchen.

Insgesamt war das Kinder- und Jugendprogramm so erfolgreich, dass dem Freundeskreis schon ein neuer Antrag zur Anthropozän-

Ausstellung vorliegt. Im Rahmen von »Kinder führen Kinder« sollen Absolventen der Forschungswerkstatt durch die Ausstellung führen und zu Beginn der Sommerferien wird das Thema Anthropozän mit ins Verkehrszentrum genommen. Dort geht es dann um die Frage, wie der Mensch die Welt durch Straßen und Schienen verändert hat, und wie der Verkehr der Zukunft aussehen soll.

Die Anthropozän-Ausstellung, so Kramer, sei auch deshalb so gelungen, weil es viele Beteiligungsmöglichkeiten für junge Menschen gibt. Auch darin ist die Ausstellung ein Meilenstein und ein Aushängeschild dafür, dass das Deutsche Museum mit seiner Zukunftsinitiative auch museumsdidaktisch die Nase vorne hat. Der Freundes- und Förderkreis kann stolz auf eines seiner jüngsten Projekte sein.

Monika Czernin

Unterstützen Sie den Freundeskreis des Deutschen Museums!

Jahresbeitrag:

- 500 Euro für persönliche Mitgliedschaften
- 250 Euro für Juniormitgliedschaften (bis 35 Jahre)
- 2500 Euro für Mitgliedschaften mittelständischer Unternehmen nach EU-Norm
- 5000 Euro für Mitgliedschaften großer Unternehmen

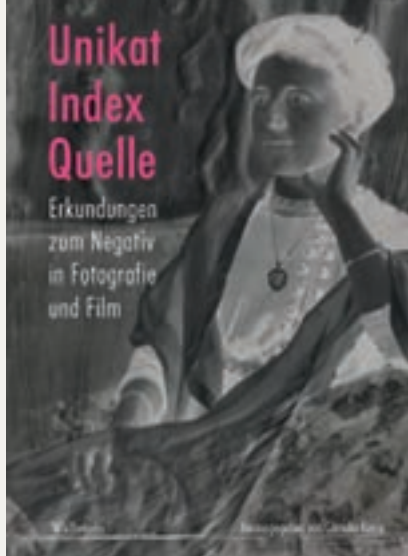
Kontakt:

Freundes- und Förderkreis
Deutsches Museum e. V.
Museumsinsel 1 · 80538 München

Ihre Ansprechpartnerin:

Claudine Koschmieder
Tel. 089 / 2179-314
Fax 089 / 2179-425
c.koschmieder@
deutsches-museum.de

NEUERSCHEINUNG in der Reihe »Abhandlungen und Berichte«



Cornelia Kemp (Hrsg.),
Unikat, Index, Quelle –
Erkundungen zum Negativ
in Fotografie und Film.
Abhandlungen und Berichte,
Neue Folge, Band 30

Wallstein Verlag,
Göttingen 2015,
261 Seiten, 163 farbige
Abbildungen,
Klappenbroschur
29,90 Euro
ISBN 978-3-8353-1515-0

»Alle Abzüge werden anhand ein und desselben Negativs hergestellt, und dieses Negativ, welches das eigentliche Foto ist, bleibt immer ein Unikat.« (Philippe Dubois)

Bis zum Beginn der digitalen Fotografie war das Negativ der Beginn, der Startpunkt eines jeden fotografischen Bildes. Durch die Integration der Fotografie in den digitalen Code wird das Negativ jedoch nicht mehr benötigt. Damit gehen auch die Kenntnisse über die besonderen Eigenschaften dieses Mediums verloren, die das Erscheinungsbild der Fotografie über 150 Jahre ganz entscheidend mitgeprägt haben.

Im Zuge des »material turn«, der in den letzten Jahren verstärkt in das Blickfeld der Geisteswissenschaften gerückt ist, erscheint es daher an der Zeit, sich aus gehöriger Distanz kritisch mit dem Phänomen des Negativs zu beschäftigen und es auf seinen Anteil an der Fotografie, seine Bedeutung und seine Leistungen hin zu befragen. Im Frühjahrsprogramm 2015 des Wallstein Verlags erschien nun der von Dr. Cornelia Kemp, Kuratorin für Foto und Film am Deutschen Museum, herausgegebene Sammelband zum Negativ in Fotografie und Film, der auf die gleichnamige, zweitägige Tagung des Deutschen Museums in Kooperation mit der Deutschen Gesellschaft für Photographie im Jahr 2013 zurückgeht.

Die Beiträge des vorliegenden Bandes sind dem Negativ als dem Ausgangsmittel der Fotografie gewidmet. Sie diskutieren verschiedene Aspekte des Negativs und lassen damit noch einmal Entstehung und Gebrauch dieses Mediums in all seiner Komplexität Revue passieren.

Erstmals werden hier die historische Genese des Negativs wie auch seine Gebrauchsweisen in Kunst, Wissenschaft und Film zusammenfassend erkundet. Die Betrachtungen spannen einen Bogen von der Erfindung und Verbesserung des Negativs über die hohen Erwartungen an seine dokumentarische Qualität bis hin zu seinem experimentellen Gebrauch in der Kunst und arbeiten zudem die immense quellenkundliche Bedeutung des Mediums heraus.

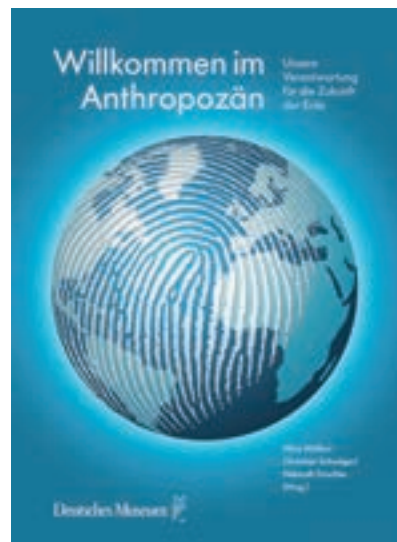
Der Band aus der museumseigenen, traditionsreichen Reihe *Abhandlungen und Berichte, Neue Folge* ist im allgemeinen Buchhandel und natürlich auch im Shop des Deutschen Museums erhältlich.

Dorothee Messerschmid-Franzen

Deutsches Museum *Kerschensteiner Kolleg*

Ein Wochenende für Frauen von Frauen
Freitag bis Sonntag, 16. – 18. Oktober 2015

Rahmenprogramm zur Sonderausstellung



Willkommen im Menschenzeitalter! Ob Landwirtschaft, Handel, Verkehr oder Industrie: Seit es Menschen gibt, haben sie die Erde geprägt und verändert. Insbesondere seit der Industrialisierung hinterlassen wir einen unverwechselbaren und oft unwiderrufflichen Fingerabdruck auf der Erde.

Die Sonderausstellung, die als gemeinsames Projekt mit dem Rachel Carson Center for Environment and Society entstanden ist, erklärt den Begriff und das Konzept des Anthropozän anhand ausgewählter Themen wie Natur, Urbanität, Evolution oder dem Verhältnis Mensch-Maschine und bildet den Schwerpunkt unseres Mitgliederwochenendes. Ergänzend dazu werden Aspekte der Industrialisierung und die Möglichkeiten neuer Energietechniken aufgezeigt. Sie haben außerdem Gelegenheit, das neue, wieder eröffnete Planetarium kennenzulernen.

**Zwei Übernachtungen mit Frühstück
inkl. Seminargebühren und Museumseintritt
143,- Euro im Einzelzimmer, 133,- Euro im Doppelzimmer**

Sie wohnen im Kerschensteiner Kolleg, direkt im Deutschen Museum, im Zentrum Münchens. Die Zimmer (Etagenduschen und -WCs) sind modern eingerichtet und ruhig gelegen. Wir empfehlen die Anreise mit öffentlichen Verkehrsmitteln.

**Information und Anmeldung:
Sabine Bärmann
Kerschensteiner Kolleg, Deutsches Museum
Museumsinsel 1, 80538 München**

**Tel. 089 / 2179 - 569, Fax 089 / 2179 - 273
E-Mail: s.baermann@deutsches-museum.de**

MUSEUMSINSEL Die Zukunftsinitiative des Deutschen Museums


Generaldirektor
Wolfgang M. Heckl
vor dem DNA-Besucher-
labor im Zentrum
Neue Technologien.

»Wir werden das modernste Museum der Erde sein!«

Die Zukunftsinitiative des Deutschen Museums geht in diesem Jahr in die entscheidende Phase. Generaldirektor Wolfgang M. Heckl spricht in K&T darüber, warum die Maßnahmen so wichtig für das Museum sind, wie man die Besucher teilhaben lässt an dem spannenden Zukunftsprojekt – und warum er sich schon auf den 7. Mai 2025 freut.

Herr Heckl, lassen Sie uns über die Zukunftsinitiative sprechen. Wo stehen wir heute, was hat das Museum bereits erreicht?

Ich habe zum Beispiel im letzten Jahr den Kaufvertrag für ein Grundstück in Erding bei München unterschrieben, auf dem ein neues zentrales Depot für unsere fast 100 000 wertvollen Exponate entstehen soll. In der Vergangenheit waren unsere Sammlungen auf viele Depots verteilt, teilweise

unter Bedingungen, die aus konservatorischer Sicht nicht zumutbar waren. Uns geht es ja wie vielen Museen: Wir können nur einen Bruchteil unserer Schätze ausstellen. Derzeit werden unsere Depots auf der Museumsinsel geräumt, und da kommen faszinierende Objekte zum Vorschein, die für das bloße Verwahren viel zu schade sind. Deshalb wollen wir das Depot in Erding auch für Besuchergruppen zugänglich machen. Um ein

solches Schauderdepot realisieren zu können, suchen wir derzeit nach Finanzierungsmöglichkeiten.

Welche Maßnahmen konnten schon abgeschlossen werden?

Fassaden, Dächer und Fenster des Sammlungsbaus sind bereits saniert worden – und dafür haben wir sogar eine Auszeichnung beim Fassadenpreis der Stadt München bekommen. Auch das Bauwerk für die neue unterirdische Elektrozen-

trale ist schon fertig. Der Seenotrettungskreuzer »Theodor Heuss« steht nach Abschluss der Arbeiten wieder an seinem angestammten Platz. Und richtig stolz sind wir darauf, dass wir im Februar unser Planetarium wieder eröffnen konnten. Das ist ein richtiger Publikumsrenner mit faszinierenden technischen Möglichkeiten.

Unsere beiden Sternwarten und das Sonnenteleskop wurden wieder instand gesetzt – so dass unsere Besucher die partielle Sonnenfinsternis in diesem Jahr auch ohne Sofi-Brille erleben konnten. Und auch unsere Zweigmuseen haben schon von der Zukunftsinitiative profitiert: Das Verkehrszentrum hat sein lange schmerzlich vermisstes Eingangsbauwerk erhalten – und die Flugwerft Schleißheim ein neues Solardach.

Warum ist die Zukunftsinitiative so wichtig für das Deutsche Museum?

Das wichtigste Vorhaben der Zukunftsinitiative ist die Erneuerung der Ausstellungen. Wir werden nach Abschluss der Zukunftsinitiative 31 komplett neue und 21 aktualisierte Ausstellungen hier auf der Insel zeigen können. Die wichtigste Voraussetzung dafür ist die Sanierung des denkmalgeschützten Sammlungsbaus. Wir konzentrieren uns derzeit auf dieses Projekt – schließlich ist der Ausstellungsbetrieb das Kerngeschäft unseres Hauses. Im Oktober dieses Jahres geht die Zukunftsinitiative in eine neue, entscheidende Phase: Ein Teil der Ausstellungen wird geräumt, um die Ausstellungsräume anschließend sanieren zu können. Aber auch während der Baumaßnahmen wird

jederzeit mindestens die Hälfte der Ausstellungen geöffnet sein – und wir gehören selbst in dieser Phase zu den größten Museen für Naturwissenschaft und Technik auf dieser Erde. Zudem wollen wir den Museumsbesuch durch zusätzliche Führungen, Vorführungen und Sonderveranstaltungen besonders attraktiv gestalten. Und wir wollen die Besucher teilhaben lassen an dem spannenden Zukunftsprojekt. Die Demontage der riesigen Exponate und deren Transport in die Ausstellungen und Depots, die Bauarbeiten selbst, bei denen zum Teil gigantische Maschinen zum Einsatz kommen – all das ist auch eine faszinierende Demonstration modernster Technik, wie sie zu unserem Museum passt. Und auch das werden unsere Besucher zu sehen bekommen – zum Beispiel bei Baustellenführungen.

Welche Ausstellungen werden im Oktober 2015 geschlossen?

Die moderne Luftfahrt, Raumfahrt, Druck- und Papiertechnik, Foto + Film, Textiltechnik, Telekommunikation, Optik und Elektronenmikroskope, Musikinstrumente 1, ein kleiner Teil der Kraftmaschinen, Robotik, Modelleisenbahn, TumLab, Tunnelbau und Museumsturm.

Die bereits geschlossenen Ausstellungen Chemie, Lebensmittel- und Agrartechnik, Brücken- und Wasserbau bleiben weiterhin geschlossen. Mit einer Ausstellungsfläche von dann rund 25 000 Quadratmetern alleine auf der Museumsinsel ist das Deutsche Museum aber auch ohne diese Ausstellungen immer noch riesig – und hat auch ab Oktober 2015 viel mehr zu bieten, als man sich an einem Tag ansehen kann.

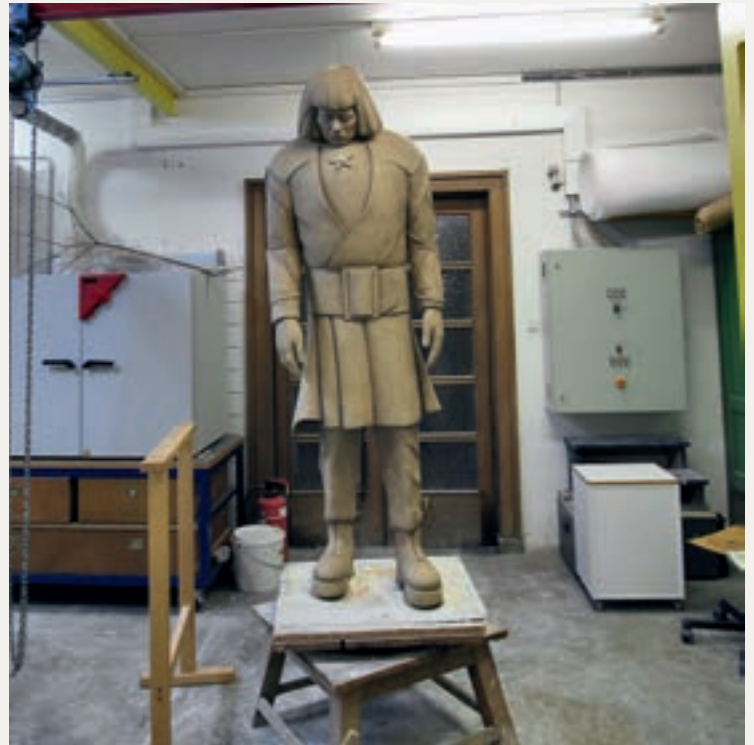
Welche Ausstellungen bleiben geöffnet?

Bergwerk, Schifffahrt, Historische Luftfahrt, Umwelt, Kraftmaschinen, Starkstrom, Werkzeugmaschinen, Metalle, Technisches Spielzeug, Glastechnik, Keramik, Glasblasen, Altamira-Höhle, Musikinstrumente 2, Mikroelektronik, Informatik, Geodäsie, Astronomie 1, Astronomie 2, Zeitmessung, Maße und Gewichte, Planetarium, Sonnenuhrgarten, Amateurastronomie, Pharmazie, Ehrensaal, Museumsgeschichte, Akademiesammlung, Energietechnik, Physik, Zentrum Neue Technologien mit Nano- und Biotechnologie, dem DNA-Besucherlabor, dem Gläsernen Forscherlabor und der Sonderausstellung (derzeit: »Willkommen im Anthropozän«).

Die Ausstellung Erdöl und Erdgas wird schon im Juni 2015 geschlossen – dort soll in Zukunft das Kinderreich einen neuen Platz finden.

Welche Teile des Museums sind überhaupt nicht von den Baumaßnahmen betroffen?

Die Sonderausstellungen und das Zentrum Neue Technologien werden über den gesamten Zeitraum der Modernisierung geöffnet sein. Zudem bleiben die Außenstellen des Museums – das Verkehrszentrum, die Flugwerft Schleißheim und das Deutsche Museum Bonn – in vollem Umfang geöffnet.



Wie habe ich mir das als Besucher konkret vorzustellen? Welche Ausstellungen werden geschlossen, welche bleiben geöffnet?

Am spürbarsten wird für die Besucher wohl die Schließung der Bereiche Luftfahrt und Raumfahrt. Aber wir verlegen zum Beispiel Flugzeuge nach Schleißheim, damit sie weiterhin für die Öffentlichkeit zugänglich bleiben. Und Publikumsmagneten wie der Flugsimulator und das Elektronenmikroskop bleiben dem Publikum erhalten, weil sie innerhalb des Ausstellungsgebäudes einen neu-

In den Werkstätten des Deutschen Museums entstehen bereits Objekte für die neuen Ausstellungen. Im Bild oben sieht man den Golem für die neue Robotik-Ausstellung, im unteren Bild das in Arbeit befindliche »Tatort«-Diorama für die neue Abteilung Chemie.

en Standort bekommen. Auch das Kinderreich, das alleine 200 000 Besucher pro Jahr hat, bekommt einen Alternativstandort im Haus. Und schließlich wird die Ausstellung zum Deutschen Zukunftspreis, die für uns sehr wichtig ist, einen neuen Platz im Haus finden – im Zentrum Neue Technologien. Das ZNT mit dem Bereich Nano-



technologie, dem DNA-Besucherlabor und dem Sonderausstellungsraum, in dem gerade die Ausstellung »Willkommen im Anthropozän« zu sehen ist, wird über die gesamte Laufzeit der Zukunftsinitiative hinweg geöffnet bleiben. Es wird mit einem Lichtgang von der Physik aus erschlossen. Dieser Gang wird außen am Gebäude verlaufen – und ist damit ein weithin sichtbares Zeichen für die Zukunftsinitiative.

Wie werden die Maßnahmen konkret ablaufen?

Die Zukunftsinitiative ist in zwei Phasen gegliedert. Phase 1 beginnt im Oktober 2015. Zur Langen Nacht der Museen am 17. Oktober 2015 laden wir alle unsere Freunde ein, um den Start dieser wichtigen Phase der Zukunftsinitiative mit uns zu feiern. Nach der Langen Nacht werden die Ausstellungen im »Realisierungsabschnitt 1« neun Monate lang geräumt, dann beginnen die Vorarbeiten zur Bauphase. Im Herbst 2016 beginnen die eigentlichen Bauarbeiten. Bis 2019, spätestens bis 2020 soll Phase 1 abgeschlossen sein. Dann wird

der bis dahin geschlossene Teil des Gebäudes mit den neuen Ausstellungen wieder geöffnet.

Anschließend beginnt Phase 2: Die Modernisierung im zweiten Teil des Gebäudes startet, wieder wird ein Teil der Ausstellungen nicht zugänglich sein. Komplette wieder eröffnet wird das Museum dann spätestens 2025. Anschließend wird das Deutsche Museum nicht nur das größte, sondern auch das modernste Museum für Naturwissenschaft und Technik sein.

Wie weit sind Sie mit der Gestaltung der neuen Ausstellungen?

Dafür, dass wir die ersten neuen Ausstellungen voraussichtlich 2019 eröffnen werden, sind wir schon sehr, sehr weit. Zum ersten Mal seit Jahrzehnten können wir grundlegend neue Dauerausstellungen verwirklichen. Für viele davon liegen bereits Entwurfspläne vor, unter anderem für Elektronik, Chemie, Mathematik, Robotik, Brückenbau, Musikinstrumente und Landwirtschaft. Für Gesundheit, Optik, Atomphysik, Kernphysik und Zentrale Experimentierwerkstatt gibt es schon

Feinkonzepte. Und in den Werkstätten wird bereits an den Dioramen für die neuen Ausstellungen gearbeitet. Wir möchten den Lesern von *Kultur & Technik* gern in den nächsten Ausgaben vorstellen, wie die neuen Ausstellungen aussehen werden. Ich bin von diesen Ausstellungen begeistert – für das Deutsche Museum ist das ein riesiger Sprung in die Zukunft. Wir arbeiten mit völlig neuen Mitteln, mit einer attraktiven und zukunftsgerichteten Optik – und gleichzeitig bewahrt das Museum seinen Charme. Die Besucher dürfen gespannt sein.

Was hat der Besucher von der Sanierung des Gebäudes? Warum ist das notwendig?

Man darf nie vergessen: Das Ausstellungsgebäude auf der Museumsinsel ist jetzt neunzig Jahre alt – und es wurde nach dem Zweiten Weltkrieg nur notdürftig repariert, aber in diesen neunzig Jahren nie grundlegend saniert und auf den neuesten Stand der Technik gebracht. Sie brauchen heute in einem Museum eine moderne Infrastruktur – angefangen

Das Deutsche Museum im Jahr seiner Eröffnung 1925: Jetzt, neunzig Jahre später, wird es zum ersten Mal grundlegend saniert.

vom Brand- und Hochwasserschutz bis hin zu Aufzügen und Toiletten. Zudem mussten wir den Maßgaben des Brandschutzes erst einmal Genüge tun, um unsere Ausstellungen überhaupt modernisieren zu können. Und moderne Ausstellungen braucht das Museum. Wir müssen ständig mit dem Stand der Technik und der naturwissenschaftlichen Forschung Schritt halten. Das ist bei mehr als fünfzig Ausstellungen eine gigantische Aufgabe. Und dass wir das jetzt anpacken und das Deutsche Museum in die Zukunft führen, macht mich stolz. Ich freue mich jetzt schon auf den 7. Mai 2025. Das 100. Jubiläum der Eröffnung der Museumsinsel wollen wir dann als modernstes Museum der Erde feiern.

Was passiert mit dem Kongressaalgebäude?

Wir könnten uns jetzt zurücklehnen und sagen: Wir modernisieren unser Ausstellungsgebäude, für den Rest reicht ja das Geld nicht. Genau das tun wir aber nicht. Der Sammlungsbau wird erneuert, gleichzeitig wird aber auch eine integrierte Gesamtplanung für die ganze Museumsinsel auf den Weg gebracht. Denn ich glaube fest daran, dass ein Forum der Zukunft an der Ludwigsbrücke der ideale Ort ist, um das Museum zur Stadt hin weiter zu öffnen. Wir brauchen einen Ort des Dialogs, an dem Menschen über wichtige Zukunftsfragen der Menschheit diskutieren – und anschließend vielleicht noch gemeinsam ein Bier direkt an der Isar trinken können. Die Museumsinsel soll in allen Bereichen ein Ort werden, an dem man gerne ist, an dem man sich austauscht, ein Ort der Kommunikation. *Interview: Gerrit Faust*

Bleiben Sie uns treu

Ihre Mitgliedschaft hat viele Vorteile!



In Zeiten des Aufbruchs wünscht man sich gute Freunde. Und das Deutsche Museum betrachtet seine Mitglieder als treue Freunde. Als Menschen, die sich dem Museum verbunden fühlen. Wir freuen uns deshalb, dass Sie uns auch während der Zukunftsinitiative und der damit verbundenen Sanierung gewogen bleiben. Deshalb haben wir auch den Mitgliedsbeitrag in diesem Jahr nicht erhöht. Mit Ihrer Jahreskarte profitieren Sie als Mitglied deutlich. Sie können das Deutsche Museum so oft besuchen, wie Sie wollen, bekommen freien Eintritt zu vielen Veranstaltungen und viele Extraleistungen.

Ihre Vorteile im Einzelnen:

- Sie haben freien Eintritt in alle vier Museen: Deutsches Museum, Flugwerft Schleißheim, Verkehrszentrum, Deutsches Museum Bonn
- Sie müssen nicht an der Kasse warten
- Sie haben freien Eintritt zu ausgewählten Veranstaltungen – zum Beispiel zu den Vorträgen »Wissenschaft für Jedermann« sowie zu Konzerten in der Musikinstrumentensammlung
- Sie können kostenlos an den Übersichtsführung teilnehmen
- Sie haben freien Eintritt ins Planetarium – und in die Lokwelt Freilassing
- Sie bekommen kostenlos viermal jährlich das Museumsmagazin *Kultur & Technik*
- Sie bekommen auf Wunsch künftig auch einen monatlichen Newsletter per E-Mail: Wir informieren Sie topaktuell über Veranstaltungen im Museum und über die Zukunftsinitiative

Auch während der Sanierung werden stets mehr als fünfzig Prozent der Ausstellungen auf der Museumsinsel geöffnet sein – ein Besuch lohnt sich also immer. Das Museum ist auch während der Umbauarbeiten so groß, dass man Tage darin verbringen kann. Und das Verkehrszentrum und die Flugwerft sind von der Sanierung gar nicht betroffen und bleiben in vollem Umfang geöffnet.

Umbau live erleben

Das Deutsche Museum auf dem Weg in die Zukunft – das wird spannend. Auch für Besucher: Sie können live erleben, wie Flugzeuge und andere tonnenschwere Exponate umgesetzt und transportiert werden. Über alle diese Aktivitäten werden wir Sie rechtzeitig informieren.

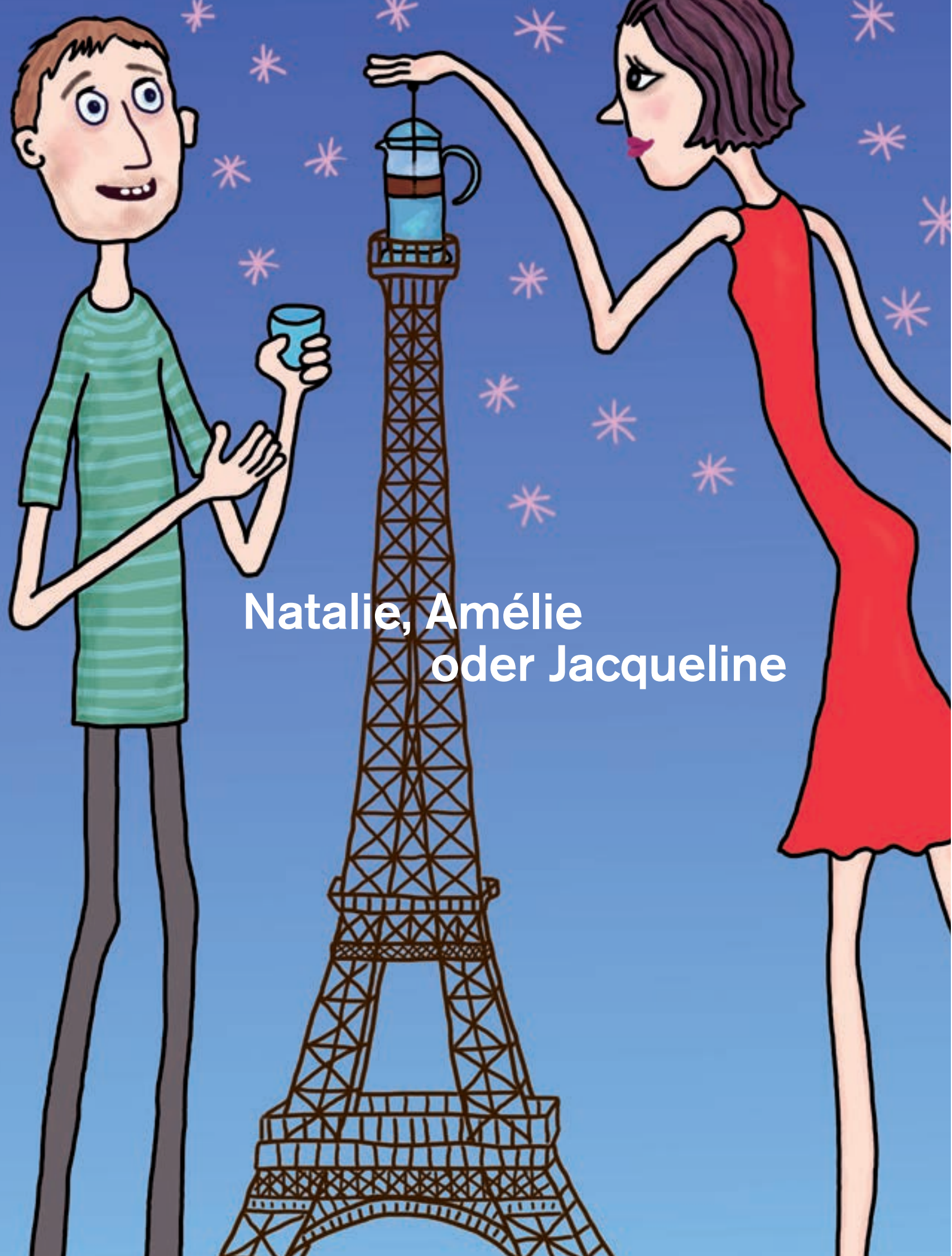
Attraktive Sonderausstellungen

Die in diesem Jahr sehr beliebte Sonderausstellung »Willkommen im Anthropozän« wird im kommenden Jahr durch die ebenso bedeutende Sonderausstellung »EnergieWenden« abgelöst. Das Verkehrszentrum plant noch für dieses Jahr eine Sonderausstellung zum Goggomobil und zum 125-jährigen Jubiläum der Bahnstrecke München – Augsburg. Und die Flugwerft Schleißheim bereitet für das kommende Jahr eine Schwerpunktausstellung über Otto Lilienthal vor.

Alles wird teurer. Ihre Mitgliedschaft nicht

Das Deutsche Museum war schon immer der Ansicht, dass besondere Verbundenheit auch honoriert werden sollte. Deswegen ist – entgegen aller gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Trends – der Beitrag für Ihre Mitgliedschaft seit Jahren unverändert. Und wir wollen noch mehr für Sie tun: Ab Herbst/Winter werden wir die exklusiven Angebote für Mitglieder um weitere ergänzen. Lassen Sie sich überraschen!





Natalie, Amélie
oder Jacqueline

Ich bin verzweifelt«, sagte ich zu Fräulein Schröder, »mir fällt absolut nichts ein!« »Was fällt dir nicht ein?«, fragte sie, goss heißes Wasser in die Teekanne und stellte den Küchenwecker auf drei Minuten. »Ich soll eine Geschichte erzählen zu einem Thema, über das ich gar nichts weiß, über das es absolut nichts zu erzählen gibt, das so derart unsexy ist, dass ich sofort ins Koma falle, wenn ich daran auch nur eine Sekunde denke.« »Wie heißt denn das Thema?«, wollte sie wissen und stellte zwei Tassen auf den Tisch. »Sag ich nicht!«, sagte ich. »Denn wenn ich es sage, dann muss ich daran denken. Und wenn ich daran denke, dann falle ich ins Koma. Mein Kopf knallt auf den Küchentisch und ich ziehe mir eine blutende Platzwunde zu, die genäht werden muss. Dann laufe ich mit einer Narbe auf der Stirn herum und sehe aus wie Frankenstein.« »Jetzt übertreibst du aber«, sagte sie, »komm schon. Sag's halt! Worum geht's?« »Na gut. Weil du es bist. Es geht um – Stahl.« »Oh!«, sagte Fräulein Schröder, »Stahl.« »Siehst du, was hab ich gesagt. Das Einzige nämlich, was mir zu Stahl einfällt, ist der Eiffelturm. Mehr nicht.« »Wieso Eiffelturm?«, Fräulein Schröder sah mich ratlos an. »Na ja, Eiffelturm eben, der ist aus Stahl.« »Ach so. – Und sonst?« »Nix sonst. Das war's schon.« »Aber du kannst doch keine Geschichte schreiben, die nur lautet: ›Der Eiffelturm ist aus Stahl‹. Eine Geschichte braucht eine Geschichte.« »Das weiß ich selber. Ich hab aber keine Geschichte. Ich war noch nie auf dem Eiffelturm. Ich war in Paris, aber auf dem Eiffelturm war ich nicht.« »Und warum nicht? Alle fahren da drauf.« »Weil's mir zu teuer war und weil die Warteschlangen immer so lang waren. Und dann hab ich mir noch gedacht, wenn ich auf dem Eiffelturm bin, hab ich von diesem Turm selbst rein gar nichts, weil ich ihn dann ja gar nicht sehen kann. Ich meine, das ist doch bescheuert. Man ist in Paris und zahlt ein Mordsgeld und kann über ganz Paris sehen und den Eiffelturm, das wichtigste Wahrzeichen, den sieht man nicht, weil man selber obendrauf steht.« »Aber vielleicht hättest du da oben etwas Besonderes erlebt. Vielleicht hättest du eine unvergessliche Begegnung gehabt, vielleicht wäre dir da oben eine Geschichte für einen ganzen Roman eingefallen.« »Das mag ja sein. Aber das hilft mir jetzt auch nicht weiter, denn ich war ja, wie gesagt, gar nicht oben.« »Du könntest doch einfach so tun, als wärest du oben gewesen. Du könntest ja zum Beispiel erzählen, dass du als armer Student per Autostopp nach Paris getrampt bist, weil du in München auf einem Sommerfest eine Französin kennengelernt hattest, die dir nicht mehr aus dem Sinn gegangen ist und die du unbedingt wiedersehen wolltest. Das Einzige, was du von ihr wusstest, war, dass ihre Eltern einen kleinen Kiosk am Fuße des Eiffelturms betrieben. Du bist also in München an die Autobahnauffahrt gegangen, hast dein selbst gemaltes Pappschild mit dem Wort »Paris« rausgeholt und hast dich irgendwie dahin durchgeschlagen. Und dann hast du sie dort wiedergetroffen, weil sie in dem Kiosk ihrer Eltern Zigaretten verkauft hat. Ihr seid

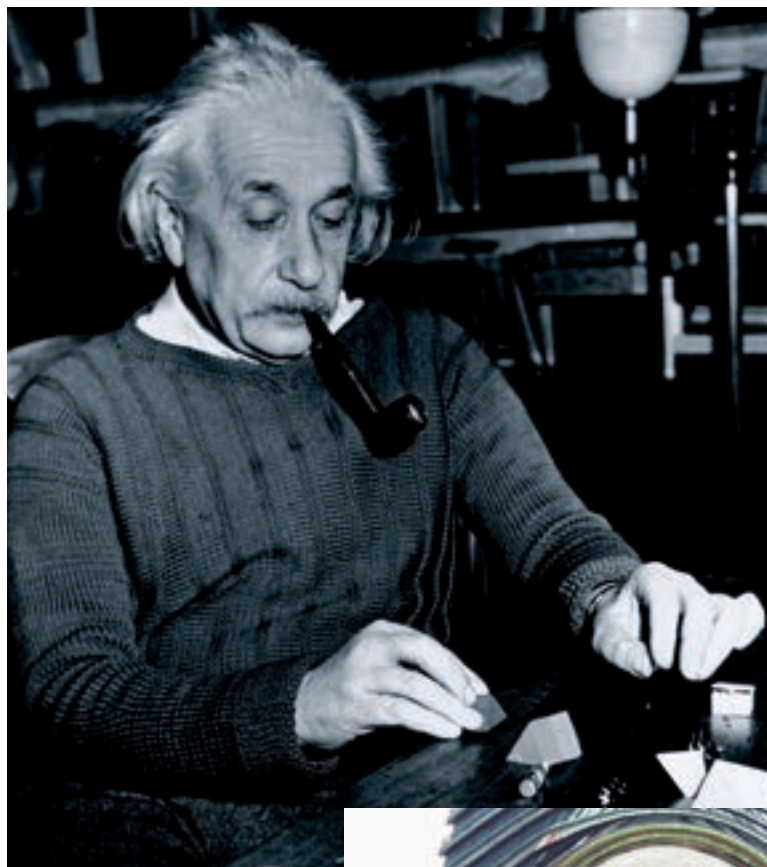
etwas spazieren gegangen und als ihr unter dem Eiffelturm standet, da hast du sie geküsst.« »Aber ich kann doch keine Geschichte über Stahl erzählen, die darin besteht, dass ich ein Mädchen unter dem Eiffelturm küsse.« »Na ja, die Geschichte ist ja noch nicht zu Ende. Denn kaum, dass du Natalie oder Amélie oder Jacqueline geküsst hast, kommt ihr Freund Jean-Pierre um die Ecke gebogen, fixiert dich mit seinen stahlblauen Augen und bricht dir dann mit seiner stahlharten Faust die Nase.« »Das ist nicht dein Ernst«, sagte ich, »ich kann doch nicht so einen Schmonzes erzählen. Stahlblaue Augen, stahlharte Faust. Das ist ja der reinste Groschenroman.« »Hast du eine bessere Idee? – Na also! Du bist dann mit blutender Nase geflüchtet, Natalie oder Amélie oder Jacqueline ist dir hinterher, ihr versteckt euch im Getümmel der Touristen, werdet irgendwie Richtung Kasse geschoben und gelangt in einem unbeobachteten Moment durch die Absperrung, weil sich der Kassier von einer Schlägerei, die dieser Jean-Pierre mit einem anderen Passanten angezettelt hatte, ablenken lässt. Ihr aber seid mit dem Lift bis ganz nach oben an die Spitze.« »Ja, und dann? Was passiert dann? Wie geht die Geschichte weiter?« »Wie es weitergeht? Tja, wie geht es weiter?« Fräulein Schröder zögerte. »Siehst du«, sagte ich, »das nennt man eine Sackgasse. Die sind jetzt da oben und können da versauern, bis sie schwarz werden.« »Halt«, sagte Fräulein Schröder, »ich weiß es! Ihr beiden habt natürlich erst mal die Aussicht genossen und habt euch noch einmal gründlich geküsst. Und dann passiert das Unfassbare. Ein Heißluftballon kommt vorbeigeflogen, der Luftschiffer lässt eine Strickleiter herab, ihr klettert in die Gondel und segelt in den Sonnenuntergang.« »Wie bitte?! Ein Ballon kommt vorbei? Am Eiffelturm? Das nimmt dir keiner ab! Das ist das reinste Märchen und der reinste Kitsch!« »Na gut, dann erzähl du doch! Da bin ich mal gespannt.« Ich holte tief Luft. »Also wenn's nach mir geht, dann haut mir dieser Jean-Pierre zwar eine rein, aber ich haue zurück. Und zwar mit Schma-ckes. Ein Passant hat alles gesehen, holt die Polizei, Jean-Pierre wird in Handschellen abgeführt und landet hinter schwedischen Gardinen. Die bestehen natürlich aus exzellentem Stahl. Und mein Mädchen liebt mich angesichts meiner Durchschlagskraft jetzt erst recht. Sie nennt mich fortan zärtlich Steely. Wir beziehen eine Mansarde am Montmartre und ich kaufe jeden Morgen Croissants, während Jacqueline den Milchkaffee in einer Edelstahlkanne zubereitet. Danach setze ich mich an die Schreibmaschine und schreibe Romane und Erzählungen, die vor allem das harte Leben und Schicksal der Stahlarbeiter zum Thema haben. Und Jacqueline, die ich inzwischen geheiratet habe, kümmert sich alldieweil liebevoll um unsere Zwillingssöhne Isenhart und Isenfried.« »Das ist ja völlig absurd!«, protestierte Fräulein Schröder. »Und ist erst recht der reine Kitsch. Mansarde, Montmartre, Milchkaffee ... Schlimmer geht's nimmer.« Aber mir machte ihr Protest gar nichts aus. Denn ich hatte meine Geschichte. ■

Text:
Daniel Schnorbusch,
Illustration:
Jana Konschak



DER AUTOR

Dr. Daniel Schnorbusch
geboren 1961 in Bremen, aufgewachsen in Hamburg, Studium der Germanistischen und Theoretischen Linguistik, Literaturwissenschaft und Philosophie in München, ebendort aus familiären Gründen und nicht mal ungern hingengeblieben, arbeitet als Lehrer, Dozent und freier Autor.

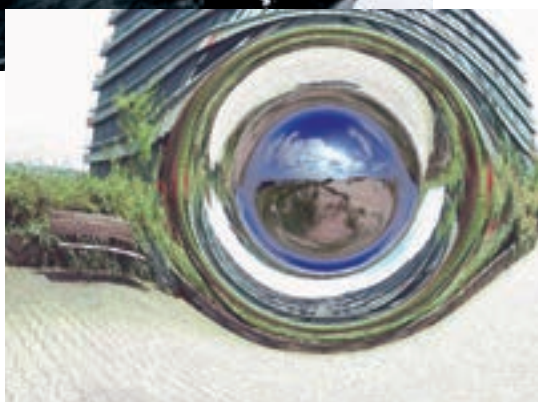


1916 veröffentlichte Albert Einstein seine Allgemeine Relativitätstheorie.

Die Dynamik von Raum und Zeit

Vor 100 Jahren formulierte Albert Einstein seine Allgemeine Relativitätstheorie (ART). Wurden Raum und Zeit bis dahin als eine Art Bühne für das Weltgeschehen betrachtet, postulierte Einstein nun eine dynamische Raumzeit, die in einer Wechselwirkung zur darin enthaltenen Materie steht. Erst in den letzten fünfzig Jahren können Wissenschaftler die Einstein'schen Thesen dank verbesserter Techniken und Möglichkeiten im Experiment überprüfen – und viele davon bereits verifizieren: Schwarze

Löcher oder Gravitationswellen beispielsweise. Die ART inspiriert heute ambitionierte Forschungsprojekte und hat im Globalen Positionsbestimmungssystem GPS sogar schon eine konkrete Anwendung gefunden. Mehr dazu in unserer nächsten Ausgabe!



Die Allgemeine Relativitätstheorie inspiriert auch Künstler. So stellt sich der Grafiker Philippe Hurbain ein Wurmloch vor.

Impressum

Das Magazin aus dem Deutschen Museum

39. Jahrgang

Herausgeber: Deutsches Museum München
Museumsinsel 1
80538 München
Postfach 80306 München
Telefon (089) 2179-1
www.deutsches-museum.de

Gesamtleitung: Rolf Gutmann (Deutsches Museum),
Dr. Stefan Bollmann (Verlag C.H. Beck, verantwortlich)

Beratung: Dr. Ralf Spicker

Redaktionsleitung: Sabrina Landes, Agentur publishNET
Hoferstr. 1, 81737 München, redaktion@publishnet.org;
Laura Pöhler (Redaktion), Birgit Schwintek (Grafik), Inge
Kraus (Bild), Bärbel Bruckmoser (Produktion), Andrea
Bistrich, Manfred Grögler (Korrektur)

Verlag: Verlag C.H.Beck oHG, Wilhelmstraße 9, 80801
München; Postfach 40340, 80703 München, Telefon (089)
38189-0, Telefax (089) 38189-398, www.beck.de

Redaktioneller Beirat: Dr. Frank Dittmann (Kurator Energie-
technik, Starkstromtechnik, Automation), Gerrit Faust
(Leiter Presse- und Öffentlichkeitsarbeit), Dr. Johannes-
Geert Hagmann (Kurator Physik, Geodäsie, Geophysik),
Dr. Carsten Klein (Leiter Kommunikation), Dr. Nina
Möllers (Forschungsinstitut), PD Dr. Elisabeth Vaupel (For-
schungsinstitut)

Herstellung: Bettina Seng, Verlag C.H. Beck

Anzeigen: Bertram Götz (verantwortlich), Verlag C.H. Beck
oHG, Anzeigenabteilung, Wilhelmstraße 9, 80801 Mün-
chen; Postfach 40340, 80703 München; Telefon (089)
38189-598, Telefax (089) 38189-600. Zurzeit gilt Anzei-
genpreisliste Nr. 31, Anzeigenschluss: sechs Wochen vor
Erscheinen.

Repro: Rehbrand, Rehms & Brandl Medientechnik
GmbH, Friedenstraße 18, 81671 München

Druck und Bindung: Memminger MedienCentrum,
Fraunhoferstraße 19, 87700 Memmingen

Versand: Druckerei C.H.Beck, Niederlassung des Verlags
C.H.Beck oHG, Bergerstraße 3, 86720 Nördlingen

Bezugspreis 2015: Jährlich 26,- Euro
Einzelheft 7,80 Euro, jeweils zuzüglich Versandkosten

Für Mitglieder des Deutschen Museums ist der Preis für
den Bezug der Zeitschrift im Mitgliedsbeitrag enthalten
(Erwachsene 52,- Euro, Schüler und Studenten 32,- Euro).
Erwerb der Mitgliedschaft: schriftlich beim Deutschen Mu-
seum, 80306 München. **Für Mitglieder der Georg-Agricola-
Gesellschaft** zur Förderung der Geschichte der Natur-
wissenschaften und der Technik e.V. ist der Preis für den
Bezug der Zeitschrift im Mitgliedsbeitrag enthalten. Weitere
Informationen: Georg-Agricola-Gesellschaft, Institut für
Wissenschafts- und Technikgeschichte, TU Bergakademie
Freiberg, 09596 Freiberg, Telefon (03731) 393406

Bestellungen von Kultur & Technik über jede Buchhand-
lung und beim Verlag. Abbestellungen mindestens sechs
Wochen vor Jahresende beim Verlag.

Abo-Service: Telefon (089) 38189-679

Die Zeitschrift erscheint vierteljährlich. Sie und alle in
ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urhe-
berrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der
engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes bedarf der
Zustimmung des Verlags. Der Verlag haftet nicht für
unverlangt eingesandte Beiträge und Bilddokumente.
Die Redaktion behält sich vor, eingereichte Manuskrip-
te zu prüfen und gegebenenfalls abzulehnen. Ein Recht
auf Abdruck besteht nicht. Namentlich gekennzeichnete
Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung der
Redaktion wieder.

ISSN 0344-5690