

Materialwelten

Die neue Dauerausstellung

Ob Holz, Glas, Silizium oder Gummi – jedes Material, das uns im Alltag begegnet, erzählt eine Geschichte: von Ressourcen und Rohstoffen, von Handwerk und Hochtechnologie, von Gesellschaft und Entwicklung. Die Ausstellung „Materialwelten“ im Technischen Museum Wien widmet sich genau diesen Geschichten – und lädt ein zu einer spannenden Reise durch Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft unserer Werkstoffe.

Materialien umgeben uns ständig, oft unbemerkt. Sie formen unsere Städte, stecken in unseren Geräten, ermöglichen Kommunikation, Mobilität, Fortschritt. Die gefühlte Körperlosigkeit des digitalen Zeitalters steht im kompletten Gegensatz zum Bedarf an Materialien, den es für sein Funktionieren bedarf: Noch nie war in der Menschheitsgeschichte der Materialverbrauch so hoch wie heute und noch nie zuvor wurden diese in so raffinierter Weise miteinander kombiniert.

In 13 Themeninseln und auf 3.000 m² setzt sich die neue Dauerausstellung mit dieser Vielfalt an Werkstoffen, die unseren Alltag prägen, auseinander. Die Ausstellung zeigt, wie die Materialien – von Aluminium, Beton und Kunststoff bis hin zu Seltenen Erden und Stahl – aufwendig gewonnen oder hergestellt werden und welche ökologischen Konsequenzen ihre Nutzung mit sich bringt. Traditionelles Wissen trifft dabei auf aktuelle Forschung und innovative Verfahren, bei denen Nachhaltigkeit zunehmend in den Fokus rückt. Jedes Material ist Teil eines komplexen Systems. Die Ausstellung macht sichtbar, wie eng Materialien mit gesellschaftlichem Wandel und technologischer Entwicklung verknüpft sind.

Ein Teil der Ausstellung ist auch die Maschinenwand, die anschaulich zeigt, wie Werkstoffe in Form gebracht werden. Schmieden, Schweißen, Fräsen, Gießen oder Pressen – jede Fertigungstechnologie verleiht einem Werkstoff seine Funktion und Form. Besonders greifbar wird das am Beispiel eines Lastenfahrads: Hier treffen unterschiedlichste Verfahren aufeinander. Ob gefrästes Kettenblatt, geschweißter Rahmen, geschmiedetes Pedal oder gespritzte Kunststoffgriffe – jedes Teil ist das Ergebnis eines präzisen Produktionsschritts. Die Maschinenwand macht deutlich, wie stark Produktionstechnik, Materialwahl und Design miteinander verknüpft sind – gestern wie heute.

Die neue Dauerausstellung Materialwelten vermittelt den Besucher:innen mit Objekten, Medien und Interaktiva sinnlich, spielerisch und hochaktuell, woraus unsere Welt besteht.

„Mit der Eröffnung der ‚Materialwelten‘ beginnt im TMW eine neue Ära: Die Welt in ihre kleinsten Bestandteile zu zerlegen und neu zusammensetzen, Neugier zu wecken und wissenschaftliche Erkenntnisse zu vermitteln – alles das bündelt sich in dieser hochaktuellen Ausstellung.“

Peter Aufreiter, Generaldirektor Technisches Museum Wien

Panorama „A New Flood“

Herwig Scherabon und Joshua Alena

Für die neue Dauerausstellung „Materialwelten“ schufen der österreichische Medienkünstler und Professor für Immersive Environments Herwig Scherabon und der Designer Joshua Alena mithilfe von 3D-Scans, NASA-Daten und CGI-Technologie ein eindrucksvolles Panorama über die komplexe Welt der Materialien. Eine immersive Darstellung von Abbau über Produktion und Konsum bis zu Entsorgung und Recycling, die auch die Brüche im globalen Materialkreislauf nicht ausspart. Das 72 Meter umfassende Werk „A New Flood“ zeigt die tiefgreifenden Folgen von Ressourcenverbrauch und Umweltverschmutzung. 3D-Scans vom Erzberg und einer brennenden Müllhalde in Pakistan sind von Scherabon und Alena ebenso in die Darstellung eingeflochten worden wie Pflanzen aus dem Regenwald. Trotz teils dystopischer Bilder lädt das Panorama zur Reflexion über Verantwortung und Hoffnung in einer von Konsumfluten geprägten Welt ein. Die Künstler möchten darin auch eine Utopie, eine neue Sicht auf die Welt zeigen, um Veränderungen anzustoßen und einen positiven Blick in die Zukunft zu ermöglichen.

Die Themeninseln

Dauerausstellung Materialwelten

✦ 1. Seltene Erden

Die „Gewürzmetalle“ moderner Technologien, deren Zusatz Leistungsstärke, Lebensdauer und Bauweise verbessern können, sind weder selten, noch sind es Erden im wortwörtlichen Sinn. Der irreführende Name dieser 17 Metalle ist historisch bedingt: Sie wurden zunächst in Mineralien als Oxide entdeckt, welche man früher Erden nannte. Da sich deren Entdeckung über 150 Jahre erstreckte, blieb es lange Zeit ein Rätsel, wie viele es von ihnen gibt.

Ihr Abbau ist aufwendig und eine starke Belastung für die Umwelt, da sie großflächig verteilt sind und immer in Verbindung mit anderen Elementen vorkommen. Um die Seltenen Erden in Reinform zu erhalten, müssen sie in weit mehr als 1.000 Schritten voneinander getrennt werden. Nur bei wenigen Mineralien – Monazit, Bastnäsit und Xenotim – ist die Gewinnung technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll. Zudem sind die Vorkommen häufig radioaktiv. Der wichtigste Produzent dieses Materials ist China, das mit 69% Weltmarktanteil ein Monopol innehat. Beim starken Anstieg, den die Nachfrage an Seltenen Erden in den letzten Jahrzehnten erlebt hat, bedeutet das auch eine starke wirtschaftliche Abhängigkeit, welcher die Europäische Union durch eigenen Abbau, beispielsweise in Nordschweden, entgegenwirken möchte. Diese Umstände und die stetig wachsende Menge an Elektroschrott intensivieren die Bemühungen, das Recycling Seltener Erden zu erforschen. Mikroorganismen nehmen die Seltenen Erden aus Metallschlacke im Bioreaktor auf. In einem chemisch-biologischen Prozess können sie anschließend nachhaltig und umweltfreundlich wieder herausgetrennt werden. Im Labor hat sich das Verfahren bereits bewährt, im nächsten Schritt sollen Algen und Bakterien das Recycling von Seltenen Erden aus unserem Elektroschrott ermöglichen.

Anwendungen reichen von Elektronik über Elektromobilität bis hin zu Beleuchtungsmitteln. Mit ihren besonderen Eigenschaften sorgen die Seltenen Erden dafür, dass Magnete kraftvoller sind oder Bildschirme heller leuchten. LEDs erhalten durch sie eine längere Lebensdauer und verbrauchen weniger Strom und Busmotoren können durch die Eigenschaften dieser Metalle kompakter gebaut werden.



Der Wiener Carl Auer von Welsbach, Chemiker und Unternehmer, entdeckte die Seltenen Erden Neodym und Praseodym. Ein Nahverhältnis besteht auch durch den Park neben dem TMW, der nach ihm benannt ist. Als Unternehmer verkaufte er erfolgreich Glühstrümpfe für Gaslampen, die mit Seltenen Erden versetzt waren und deshalb eine besonders starke Strahlkraft hatten. Auer von Welsbachs Beiname „Österreichs Prometheus“ geht auch auf diesen Umstand

zurück. Die ausgestellten Vasen, ein Geburtstagsgeschenk an ihn, zeigen, wie farbenprächtig Seltenerdverbindungen sein können.

✦ 2. Silizium

Die Grundlage unserer digitalen Gegenwart ist der Rohstoff Silizium. Ein Halbleiter, der seine Leitfähigkeit aufgrund von Temperaturänderungen oder dem Einbringen von Fremdatomen ändert und auf der Erde in großen Mengen vorhanden ist. Halbleiter sind die materielle Basis unserer digitalen Realität – sie schalten, speichern, rechnen, steuern, verstärken. Als Sensoren fühlen, hören und sehen sie und verarbeiten die unendlich vielen Daten des Alltags. Um diese herzustellen, wird das Element Silizium benötigt – es kommt in Quarzsand und Gesteinen vor, aber bis dieses als hochreiner Einkristall in der Elektronik verarbeitet werden kann, durchläuft es einen komplexen Produktionsprozess, der höchste Präzision erfordert. In einem zeit- und energieaufwendigen chemischen Prozess werden zunächst unregelmäßig angeordnete Einzelkristalle in der Schmelze mithilfe eines langsam rotierenden Impfkristalls zu einem ein bis zwei Meter langen Einkristall gezogen. Halbleiterbauteile, die als Mikrochips in verschiedensten Anwendungen vom Smartphone bis zum Implantat sogar bis in unsere Körper vordringen, waren ursprünglich mehrere Zentimeter groß und mussten einzeln verlötet werden. Moderne Mikrochips sind mittlerweile mit Milliarden Transistoren bestückt, deren Größe im Nanometerbereich liegen. Die Herstellung der Chips erfordert einen Reinraum, in dem die Luft viel sauberer als in jedem OP-Saal ist. Dort arbeitende Menschen müssen spezielle Schutzausrüstung tragen und strenge Regeln einhalten, da nur ein Hauch von Parfüm genügen würde, um ganze Produktionschargen zu zerstören. Nach der Herstellung des Einkristalls werden aus diesem hauchdünne Scheiben geschnitten, die „Wafer“, die auf dem Weg zur Mikrochip noch zahlreiche weitere Bearbeitungsschritte benötigen: Diese werden durch Fotolack lichtempfindlich gemacht und anschließend geätzt, ein Vorgang, der viele Male wiederholt wird, um so die übereinanderliegenden Strukturen der Schaltung herzustellen. Beim anschließenden Dotieren werden an diese zuvor freigelegten Bereiche des Wafers Fremdatome eingebracht. Diese verschieden dotierten, nebeneinanderliegenden Bereiche bilden Halbleiterbauelemente, wie zum Beispiel Transistoren.

Die Halbleiterindustrie zählt zu den bedeutendsten Branchen des 21. Jahrhunderts. Sie wird als strategisch eingestuft, da die Kontrolle über Halbleiter enorme geostrategische und wirtschaftliche Auswirkungen hat. Diese Entwicklung ist eine natürliche Konsequenz des digitalen Zeitalters. Ebenso wie die Tatsache, dass dies ein hohes Maß an Elektroschrott erzeugt: Allein im Jahr 2022 waren es weltweit 62 Millionen Tonnen, von denen nur 17 % ordnungsgemäß wiederverwertet wurden. 65 % des gehandelten Elektroschrotts werden unreguliert nach Asien oder Afrika exportiert, wo Menschen – unter ihnen auch viele Kinder – mit einfachsten Mitteln und unter großer Belastung von Gesundheit

und Umwelt die wertvollen Rohstoffe entnehmen und dabei Schwermetallen und anderen Gefahrenstoffen ausgesetzt sind.

→ 3. Holz

Menschen verarbeiten seit Jahrtausenden Holz, weswegen es zu den ältesten Baumaterialien zählt. Zusätzlich zu jenen Eigenschaften, die es für die Kreislaufwirtschaft ideal machen – nachwachsend und biologisch abbaubar – fungiert Holz auch als Kohlendioxidspeicher und ist einfach zu verarbeiten. Dazu kommt die aktive Feuchtigkeitsregulierung des Holzes sowie seine Eigenschaft als Wärmespeicher.

Weniger geläufig ist, woraus es besteht: Während Zellulose den meisten bekannt ist, wird Lignin schon weitaus weniger oft erwähnt, obwohl es unseren Alltag ähnlich prägt wie Papier: Lignin befindet sich in der pflanzlichen Zellwand und bewirkt die Verholzung. Es entsteht als Abfallprodukt in großen Mengen bei der Papiererzeugung und ist die größte natürliche Rohstoffquelle für aromatische Verbindungen. Seine Wirkung auf Wein in Barriquefässern ist den meisten zumindest geschmacklich bekannt, dass es die Basis von Vanillearomen ist, wesentlich weniger Personen. Harze auf der Basis von Lignin können in Farben, Kleb- und Kunststoffen sogar Erdöl und Erdgas ersetzen. Geht man von seinen kleinsten zu seinen nächstgrößeren Bausteinen, hängt die Nutzung von Holz stark mit den Holzfasern zusammen: Hohe Zugfestigkeit erhält das Material nur längs zur Faser, quer dazu sinkt diese auf etwa ein Hundertstel. Auch die Art des Holzes wirkt sich auf seine Eigenschaften aus, Fichte als Konstruktionsholz, das leicht, belastbar und sich durch geraden Wuchs auszeichnet, steht den schweren, dichteren und härteren Laubhölzern gegenüber. Mit einer Exportrate von 70 % zählt Österreich zu den weltweit führenden Holzproduzierenden Ländern, außerdem ist es der Entwickler und größte Hersteller von Brettsperrholz, wo es eine wichtige Vorreiterrolle einnimmt.

Als Kohlenstoffdioxidspeicher nimmt Holz während des Wachstums pro Kubikmeter rund eine Tonne Kohlenstoffdioxid auf, das es erst am Ende einer bestenfalls sehr langen Nutzungsdauer, währenddessen der Baum mehrmals nachwachsen konnte, im Rahmen der energetischen Verwertung wieder abgegeben wird. Die Doppelrolle von Holz als Rohstoffquelle, aber auch wichtiger Teil des Ökosystems führt aufgrund des hohen weltweiten Bedarfs auch zu gefährlichen Entwicklungen in Form von illegalem Holzeinschlag, da die unkontrollierte Abholzung und Umwandlung in landwirtschaftliche Flächen jährlich 1,5 Gigatonnen Kohlenstoffdioxid freisetzen. Entgegengewirkt werden kann beispielsweise durch den lückenlosen Nachweis von Lieferketten oder Satellitenüberwachung.

Holz riechen, besetzen und schmecken

- Riechen: Für seinen speziellen Geruch sind seine Nebenbestandteile wie Harze, Fette, Öle und Gerbsäuren verantwortlich.
- Sitzen: 1840 entwickelte Michael Thonet jenes Verfahren, bei dem Holz unter Druck mit Wasserdampf gesättigt wird, um es verformbar zu machen.
- Essen: Mit dem Lebensmittelzusatzstoff E 460 nehmen wir die grundsätzlich unverdauliche Zellulose zu uns, das Speiseeis cremig und Schlagobers stabil macht. Durch ihre anregende Wirkung auf ein reibungsloses Funktionieren des Darms wird sie häufig in Diätprodukten eingesetzt.



Eisenpresse mit eingebogenem Lehnenschnörkel

✦ 4. Luft

Luft ermöglicht nicht nur Leben auf der Erde, sie ist auch wichtig für industrielle Prozesse. Abgesehen von der direkten Nutzung, um zu kühlen oder Geräte anzutreiben, erfüllen die einzelnen Bestandteile von Luft noch viele weitere Funktionen. Diese sogenannten technischen Gase werden über Luftzerlegungsanlagen gewonnen: Dort erfolgt eine Trennung durch das Linde-Fränkler-Verfahren, bei dem die Luft im ersten Schritt verflüssigt wird, wofür es eine Temperatur von $-194,25$ Grad Celsius bedarf. Diese wird durch Verdichtung, Entspannung und Rückführung zur Verdichtung erreicht, ein Prozedere, das mehrmals durchlaufen wird und bei der die Temperatur bei jedem Durchgang

weiter sinkt, bis die Luft verflüssigt wird. Anschließend verdampft dies in einem Destillationsturm – die enthaltenen Gase steigen wieder auf und kondensieren in unterschiedlichen Höhen, wodurch seine Bestandteile voneinander getrennt werden.

Mit einem Anteil von drei Vierteln ist Stickstoff der größte Bestandteil von Luft. Im Boden ist Stickstoff wesentlich für das Pflanzenwachstum, in der Luft ist ein Zuviel für Mensch und Tier tödlich, da es Sauerstoff verdrängt. Eine Eigenschaft, die in der Industrie genutzt wird, um empfindliche Prozesse wie das Verpacken von Lebensmitteln zu schützen oder Brände zu verhindern. Flüssiger Stickstoff dient dazu, Lebensmittel, aber auch Zellkulturen, Eizellen oder Spermien einzufrieren. Der Sauerstoffanteil in der Luft liegt bei einem Fünftel und auch hier ist das Element sowohl lebensrettend als auch tödlich: Es wirkt in hoher Konzentration als Gift. Seine bekannteste Reaktion ist die Verbrennung, bei der er mit Kohlenstoff zu Kohlenstoffdioxid reagiert. Als wichtigster Abnehmer benötigt ihn die Stahlindustrie für das Linz-Donawitz-Verfahren, weswegen Sauerstoff von der Zerlegeanlage via Pipeline direkt zu seinen Abnehmern gelangt. In der Medizin ist er für viele Behandlungen notwendig, er unterstützt Mikroorganismen in Kläranlagen bei ihrer Arbeit und sorgt dafür, dass Frischfleisch bei seiner Konservierung seine rote Farbe behält. Als passiver Spezialist ist der Bestandteil Argon – altgriechisch für „untätig“ – das häufigste Edelgas der Erde, obwohl sein Anteil in der Luft weniger als 1 % beträgt. Seine „Untätigkeit“ bezieht sich auf dessen Eigenschaft als inertes Element – es reagiert mit keinen anderen Stoffen, wodurch es als „Schutzgas“ eingesetzt wird, um andere Gase zu verdrängen und unerwünschte Reaktionen zu verhindern. Einen noch geringeren Anteil mit 0,04 % in der Luft hat Kohlenstoffdioxid. Seinen größten Abnehmer hat dieses in der Getränkeindustrie. Dass es keine langfristige Bindung eingeht, ist all jenen schon aufgefallen, die eine Getränkeflasche geöffnet haben. Ein Unterschied zu den anderen Gasen, die in der Luft enthalten sind, ist die Tatsache, dass es nicht in Zerlegeanlagen gewonnen werden kann, da es bei -80 Grad Celsius fest wird. Die direkte Gewinnung aus der Luft mittels „Carbon Capture“ benötigt jedoch viel Energie, da die Mengen sehr gering sind und die Reaktion mit anderen Stoffen träge ist. Die Schwierigkeit, es dauerhaft aus der Luft zu entfernen, macht es zum Gegenstand weltweiter Forschung.

Innovativ gedacht: Ein Forschungsansatz an der TU Wien nimmt sich die Photosynthese der Natur zum Vorbild. Hierbei wandeln Pflanzen Kohlenstoffdioxid mithilfe des Sonnenlichts in Zucker um.



Kastengebläse

✦ 5. Kupfer

Als ausgezeichneter elektrischer Leiter begegnet Kupfer uns in der Computertechnologie und spielt eine entscheidende Rolle beim Ausbau der Elektromobilität. Vorteilhaft ist, dass Kupfer zu einem hohen Prozentsatz recycelt werden kann und durch „Urban Mining“ aus nicht mehr gebrauchten Produkten rückgewonnen und wiederverwertet werden kann. Als Schlüsselrohstoff für die Energiewende ist Kupfer essenziell: Elektrofahrzeuge benötigen drei Mal mehr Kupfer als Verbrennerfahrzeuge, außerdem wird Kupfer auch in den Ladestationen verarbeitet. Die zunehmende Automation und Digitalisierung lässt sich nur mittels Kupferleitungen bewerkstelligen, wodurch der Bedarf weiter steigen wird.

Das optisch auffällige Metall beeinflusst seit Jahrtausenden das menschliche Schaffen und Leben: Gut formbar und zäh war es jenes Metall, das sich die Menschen als erstes zu Nutzen machen konnten.

Lateinisch „Cuprum“, verweist bereits sein Name auf die antiken Kupferbergwerke auf Cyprus (Zypern) und seine Nutzung seit Jahrtausenden. Es kommt, genau wie Silber und Gold, in der Natur in reiner Form vor. Sein geringer Härtegrad konnte jedoch erst durch die Legierung von Kupfer und Zinn und der daraus entstehenden Bronze erhöht werden. Bereits im Mittelalter war Kupfer in Europa strategisches Handelsgut und seine Bedeutung steigerte sich durch die Entdeckung, dass mit seiner Hilfe elektrische Impulse über weite Distanzen übermittelt werden können: Mit der kabelgebundenen Telegrafie – in Österreich verband 1846 die erste reguläre Telegrafienverbindung Wien und Brunn – wurde die Kommunikation zwischen Kontinenten möglich. Die hervorragende elektrische Leitfähigkeit von Kupfer wird bei seiner Verwendung als Supraleiter nochmals signifikant verbessert.



Materialproben aus dem Prozess zur Herstellung von Supraleiter-Drähten

Unter extremen Bedingungen von -269 Grad Celsius kann elektrischer Strom ohne jeglichen Widerstand übertragen werden. Im Gegensatz zum handelsüblichen Kupferdraht erreichen Supraleiter eine 100- bis 1.000-fache Stromdichte – und ermöglichen den Bau von Elektromagneten mit sehr starken Magnetfeldern, wie sie auch bei Teilchenbeschleunigern oder zu klinischen Zwecken (MRT) zur Anwendung kommen.

Die Dimensionen, die große Abbaugelände wie das Chuquibambilla-Kupferbergwerk in der Atacamawüste erreichen, sind enorm: Es erstreckt sich mittlerweile auf eine Größe von 13 Quadratkilometern, bei einer Tiefe von 1.000 Metern. Umweltschäden entstehen durch chemisch verunreinigtes Abwasser, das Flüsse verseucht und die Lebensgrundlagen der lokalen Bevölkerung angreift. Bei der Kupferproduktion, die ein Veredelungsprozess ist, unterscheiden sich die primäre Produktion aus angereicherten Erzen und die sekundäre aus Kupferschrott. Im Schachtofen entsteht beim Schmelzen Schwarzkupfer mit einem Kupfergehalt von 75 %, das im Konvertofen durch das Einblasen von Sauerstoff angereichert wird und andere Metalle entfernt. Nach diesem Verarbeitungsschritt beträgt der Kupfergehalt 95 %. Vermischt mit hochwertigem Kupferschrott kann dieser Prozentsatz im Anodenofen auf 99 % gesteigert werden, es entsteht Anodenkupfer. Bei der abschließenden Elektrolyse wird die Kupferanode in einem Schwefelsäure-Elektrolyte-Bad mit Gleichstrom aufgelöst, wodurch sich an der Edelstahl-Kathode Kupfer mit einem Reinheitsgehalt von 99,99 % ablagert – jene Reinheit, die für die elektrische Leitfähigkeit von Nöten ist. Übrig bleibt Anodenschlamm, aus dem sich Edelmetalle wie Silber, Gold, Platin und Palladium zurückgewinnen lassen.

Elektromotor BMW Gen 5 HEAT 170 MF, Schnittmodell

Die Kernkomponente des ausgestellten Elektromotors ist Kupfer: Im Rotor ist ein dünner Kupferrunddraht mit einem Gewicht von 2,8 Kilogramm und einer ungefähren Länge von 280 Metern. Im Stator, dem unbeweglichen Antriebsteil, befindet sich eine Formstabwicklung mit einer ungefähren Länge von 47 Metern und 4,2 Kilogramm Kupfer.

✦ 6. Aluminium

Als leichtestes Metall, das nur ein Drittel des Gewichts von Stahl hat, kann es bei daraus hergestellten Fahrzeugen deren Energie- und Betriebskosten reduzieren. Vor der Weiterverarbeitung ist Aluminium ein Energiefresser: Um eine Tonne Aluminium zu produzieren, werden 15 Megawattstunden Strom benötigt. Das entspricht dem Stromverbrauch eines Zwei-Personen-Haushalts über 5 Jahre hinweg. Das Recycling von Aluminium kommt hingegen mit lediglich 5 % dieser Energieaufwands aus und 75 % des jemals produzierten Aluminiums sind heute noch im Einsatz.

Der Newcomer unter den Metallen wurde erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts entdeckt, obwohl es das dritthäufigste Element der Erde ist. Da es in der Natur nur in gebundener Form vorkommt, erfordert seine Herstellung in Reinform einen hohen technischen Aufwand, wodurch Aluminium erst spät seinen Einzug in die Technik und den Alltag der Menschen fand. Aufgrund der Leichtigkeit dieses stabilen und korrosionsbeständigen Metalls ist es von großer Bedeutung für die Fahrzeug- und Luftfahrtindustrie und auch für die Raumfahrt essenziell. Eine große Rolle spielt es auch in der Architektur und für die Verpackungsindustrie. In der

Primärproduktion ist der Energieaufwand zur Herstellung von Aluminium enorm, was das Recycling dieses Materials besonders wichtig macht, da dieses mit einem Bruchteil dieser Energie auskommt.

Gewonnen wird es hauptsächlich aus Bauxit, einem Verwitterungsprodukt von Kalk- und Silikatgestein mit hohem Aluminiumoxidanteil. Dieses Aluminiumoxid, auch bekannt als Tonerde, wird durch das Bayer-Verfahren aus dem Bauxit gelöst. Benannt nach dem Österreicher Carl Josef Bayer, der dieses in den 1890er-Jahren entwickelt hat. Bei der anschließenden Schmelzflusselektrolyse wird aus dem Aluminiumoxid reines Aluminium freigesetzt, wodurch ein Werkstoff entsteht, der breite Anwendung in Strangpress-, Walz- und Gussverfahren findet. Um das Metall noch härter und widerstandsfähiger zu machen, wird es legiert, was heißt, dass andere Metalle wie Kupfer, Magnesium und Zink hinzugefügt werden. Mit zunehmender Nutzung von recyceltem Material wird auch das Entfernen von Rückständen anderer Metalle immer wichtiger, weswegen intensiv an innovativen Legierungskonzepten geforscht wird, um Ressourcen zu schonen und die Umweltbelastung zu reduzieren, da bei der Primärproduktion pro Tonne hergestelltem Aluminium vier Tonnen giftiger Rotschlamm entstehen – Bestandteile davon sind unter anderem Blei, Cadmium und Quecksilber. Unfälle in Zusammenhang mit diesen Rotschlamm-Auffangbecken können immensen Schaden anrichten, wie im Jahr 2010 beim Bruch eines solchen Beckens in Kolontár (Ungarn). Dort gelangten eine Million Kubikmeter giftiger Schlamm in Landschaft und Gewässer, was 10 Menschen das Leben kostete und 150 Schwerverletzte sowie eine mit giftigem Schlamm kontaminierte Region hinterließ.

In geringer Konzentration umgibt uns Aluminium als dritthäufigstes Element der Erde so gut wie überall: in Pflanzen, Trinkwasser, Lebensmittel, Küchengegenständen, Arzneimitteln und Kosmetika. Über unsere Nahrung nehmen wir Aluminium täglich auf, 99 % davon scheidet ein gesunder Mensch wieder aus. Die maximal tolerierbare Aufnahmemenge pro Woche hat die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFAS) bei einem Milligramm Aluminium pro Kilogramm Körpergewicht festgelegt. Wird diese auf Dauer überschritten, können Organe geschädigt und Krankheiten ausgelöst werden.

✦ 7. Stahl

Die Vielseitigkeit von Stahl macht ihn in vielen Bereichen einsetzbar: von Windkraftanlagen über Brücken und Hochhäusern bis hin zu Maschinen, Fahrzeugen und Haushaltsgegenständen. Stahl ist dabei nur ein Sammelbegriff für verschiedene metallische Legierungen, also ein metallischer Werkstoff, der aus mindestens zwei verschiedenen Elementen besteht. Gemein haben alle Stähle, dass sie auf Eisen basieren und einen sehr geringen Kohlenstoffgehalt haben. Gegenwärtig befindet sich die Stahlindustrie in einer Umbruchphase. Während lange Zeit das Linz-Donawitz (LD)-Verfahren genutzt wurde und weltweit immer noch der größere Anteil an Stahl mittels dieses Verfahrens gewonnen wird, ist die

Stahlproduktion mittlerweile auch mit einem Elektrolichtbogenofen möglich. Im Gegensatz zum LD-Verfahren lassen sich die CO₂-Emissionen während der Produktion um die Hälfte reduzieren. In Österreich wird aus diesem Grund mittlerweile auf Hybridstahlwerke umgestellt, die beide Verfahren nutzen.

An den Hauptstandorten der Vereinigten Österreichischen Eisen- und Stahlwerke (VÖEST), Linz und Donawitz, wurde nach dem Zweiten Weltkrieg das gleichnamige Verfahren entwickelt, bei dem flüssiges Roheisen durch das Aufblasen von reinem Sauerstoff zu Stahl wird. Das erste LD-Stahlwerk der Welt stand in Linz und der LD-Tiegel in der Mitte der Westhalle, mit darüber abgehängter Sauerstofflanze, ist ein besonderer Zeitzeuge: Er lieferte am 21. Jänner 1953 die erste Charge Stahl und erinnert an diese bedeutungsvolle Innovation. Beim LD-Verfahren wird der Tiegel bzw. LD-Konverter mit bis zu 20 % Schrott, flüssigem Roheisen und Kalk als Schlackenbinder befüllt. Über die Sauerstofflanze wird Sauerstoff auf die Schmelze aufgeblasen, die Hitze steigt und wirbelt die Schmelze durcheinander, was „Frischen“ genannt wird. Dies entfernt unerwünschte Elemente wie Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Schwefel und Phosphor aus dem Roheisen, die als Gase entweichen oder sich in Verbindung mit dem Kalk in der flüssigen Schlacke am Boden des Tiegels absetzen. Der fertige, flüssige Stahl wird bei einer Temperatur von mehr als 1.600 Grad Celsius durch das Abstichloch abgegossen, flüssige Schlacke folgt über den Konverterrand. Die große Menge Kohlenmonoxid – 2,05 Tonnen pro Tonne Rohstahl – entsteht bei der Blasdauer von 10 bis 20 Minuten.

Weltweit ist das LD-Verfahren in der Stahlproduktion weiterhin dominierend. Die Stahlindustrie unternimmt enorme Anstrengung, um mehr und mehr Stahl mit dem wesentlich umweltfreundlichen Elektrolichtbogenofen (EAF) zu produzieren. Bei diesem erzeugen Lichtbögen zwischen Grafit-Elektroden Temperaturen bis zu 1.800 Grad Celsius – betrieben wird er mit elektrischer Energie, die auch aus erneuerbaren Quellen stammen kann. Im Betrieb ist der EAF sehr flexibel und kann verschiedene Stahlqualitäten in variierenden Mengen produzieren. Das Schmelzgut kann bis zu 100 % aus Stahlschrott bestehen, was die anfallenden CO₂-Emissionen noch weiter herabsetzt als durch das Verfahren an sich – pro Tonne Rohstahl werden nur noch 0,26 Tonnen CO₂ freigesetzt.

✦ 8. Keramik

Dass die außergewöhnlichen Eigenschaften eines Werkstoffes, der uns täglich umgibt – ob beim Zähneputzen über dem Waschbecken oder bei jeder Mahlzeit – oft nicht wahrgenommen werden, mag auch daran liegen, dass er die Menschheit seit Jahrtausenden in ihrem Alltag begleitet. Damals wie heute machen wir uns die große Hitzebeständigkeit, die ausgezeichnete Wärmeisolation und – im Fall der Aufbewahrung von Lebensmitteln – auch die Geschmacksneutralität und den Widerstand von Keramik gegenüber Säuren und Laugen zunutze.

Technische Keramik ist ein Werkstoff, der in der Elektrotechnik Verwendung findet. Seit der Einführung der Elektrizität wird Keramik als Isolator genutzt, um Stromleitungen voneinander abzuschirmen. Er schützt die Umgebung vor der Verlustwärme, die beim Fließen des Stromes durch Leitungen entsteht und schützt uns vor elektrischen Lichtbögen, die im Falle eines Kurzschlusses Temperaturen von mehreren Tausend Grad Celsius erreichen. Die Eigenschaften moderner Keramik kann durch die Zugabe beispielsweise von Metalloxiden beeinflusst werden. Besondere Keramiken sind supraleitend, ermöglichen also den Transport von elektrischem Strom ohne Widerstand und Verlust. Allerdings kann dieser Effekt bislang nur bei Temperaturen von weniger als 150 Grad Celsius erreicht werden, was bedeutet, dass dies nur durch erheblichen Energieaufwand und mittels Kühlung durch flüssigen Stickstoff gegeben ist. Gegenwärtig wird intensiv daran geforscht, diese „Sprungtemperatur“ deutlich zu erhöhen. Ein Material, das auch bei Raumtemperatur supraleitend ist, wurde bis heute nicht gefunden. Andere Stoffmischungen haben faszinierende elektrische Eigenschaften: Piezokeramik beispielsweise erzeugt Spannung, wenn sie verformt wird und Keramikkondensatoren sind als wichtige elektrische Energiespeicher die Grundlage für die Miniaturisierung von Elektronik. Keramik dringt aufgrund seiner speziellen Eigenschaften in Form von Zahnimplantaten oder als künstliche Gelenke bis in den menschlichen Körper vor. Seine umfassende Nutzung insbesondere in der Bauindustrie macht Keramik allerdings auch zur größten Gruppe innerhalb des Gesamtabfalls, die in gleicher Form nicht wiederverwertet werden kann, ihr Vorteil ist aber, dass sie im gesamten Lebenszyklus keine Schadstoffe abgibt.

Um Keramik herzustellen, bedarf es dreier Schritte: Die Herstellung einer Masse aus einem oder mehreren Grundstoffen, dem anschließenden Formen und dem abschließenden Brennvorgang des Rohlings, auch Grünkörper oder Grünling genannt, bei Temperaturen von 800 bis 1.500 Grad Celsius. Am Ende dieses Prozesses steht die Keramik, die – einmal gebrannt – Wind und Wetter trotz, Strom und Hitze isoliert und dabei ihre Form nicht mehr ändert. Der größte Anteil von Keramik wird für das Bauwesen benötigt, wo es in Form von Ziegel, Klinker, Fliesen, Ofenkacheln und Tonröhren produziert wird und essenzieller Bestandteil unserer Wohnumgebung ist. Unabdingbar ist die Keramik allerdings im technischen Bereich: Wenngleich die hochentwickelte technische Keramik bei nur 1 % liegt, ist ihr Einsatz in der Industrie nicht zu unterschätzen. Die herausragende Oberflächenhärte verlängert die Einsatzzeit von Werkzeugen stark und macht es möglich, dass in Textil- und Stahlindustrie Garne oder Drähte endlos über Keramikrollen laufen können oder zu Geweben gesponnen und für Hitze- und Brandschutz eingesetzt werden.

Memory of Mankind: Unser heutiges Wissen wird zumeist digital gespeichert, was die Informationen sehr flüchtig macht – Datenträger können nach einiger Zeit nicht mehr gelesen werden. Das Projekt „Memory of Mankind“ hat zum Ziel, dieses digitale Wissen in analoger Form mittels digitaler keramischer Datenträger,

gelagert in Bergwerken, zu erhalten. Token aus Keramik sollen zukünftigen Generationen den Weg zu diesem Wissensschatz weisen und einen Zugriff auf die riesigen digitalen Archive ermöglichen.



Doppelschirm-Hängeisolator

✦ 9. Glas

Große Mengen an Informationen über Tausende Kilometer in Bruchteilen von Sekunden zu übermitteln – was vor gar nicht allzu langer Zeit noch unvorstellbar war, gelingt heute mit scheinbarer Leichtigkeit durch die Verwendung von Glasfasern. Ohne den Werkstoff Glas gebe es kein digitales Zeitalter. Aus nur drei Stoffen – Sand, Soda und Kalk – entsteht durch Zufuhr von viel Energie Glas. Diese Bestandteile haben sich im Laufe der Zeit kaum verändert. Zerbrechlichkeit, jene Eigenschaft, an die viele in Zusammenhang mit Glas als erstes denken, sollte nicht darüber hinwegtäuschen, zu welchen erstaunlichen Leistungen dieses Material fähig ist. Es ist durchsichtig und inert, also chemisch gesehen untätig, es trennt und verbindet zugleich.

Tagtäglich blicken wir auf und durch Glas, es begegnet uns als Display von Smartphones, Bildschirmen, Fenstern und vielem mehr. Bei Röhrenmonitoren schossen noch Elektronenkanonen in luftleeren Glaskolben Elektronen in

Richtung des phosphorbeschichteten Frontglases, Flüssigkristallanzeigen (LCDs) nutzen elektrische Ströme, um Licht zu modulieren und so Bilder oder Texte auf Bildschirmen zu erzeugen. Touchscreens hingegen orton mittlerweile Finger oder Stift mit kapazitiver Technik, ihre Berührungen verändern das elektrische Feld – die Ansprüche, die an dieses Glas gestellt werden, sind sehr hoch: Dünn und leicht soll es sein, nicht schnell zerkratzen und nicht brechen, wenn es auf den Boden fällt. Um das zu erreichen, wird Glas gehärtet bzw. vorgespannt: Diese sogenannte Pressspannung, welche die Festigkeit erhöht, entsteht, wenn das Glas nach dem Schmelzvorgang abgeschreckt wird. Ein Vorgang, der durch chemische Behandlung noch verstärkt werden kann. Die technische Herausforderung besteht im Ausgleich von Härte und Sprödigkeit, Elastizität und Kratzfestigkeit.

Glas ist ein Material, das hart, widerstandsfähig gegenüber kalten und heißen Temperaturen, Säuren ebenso wie Laugen ist. Es kann Licht bündeln und streuen – ohne Glas wären viele wissenschaftliche Erkenntnisse nicht möglich gewesen: Ob als Linsen und Prismen, verarbeitet in Fernrohre und Mikroskope, ermöglicht Glas auch Blicke tief ins Universum. Aus thermodynamischer Sicht betrachtet, ist Glas eine gefrorene, unterkühlte Flüssigkeit, sein Erscheinungsbild und seine Eigenschaften werden durch die im Glasschmelzprozess früh beigemischten Zusatzstoffe verändert: Selen und Arsen färben Glas rot bzw. rosa, der schöne Klang und das hohe Lichtbrechungsvermögen von Kristallglas wird durch die Zugabe von Bleioxid erzielt. Doch bevor es dazu kommt, müssen die drei Rohstoffe Sand, Soda und Kalk bei 1.500 Grad Celsius geschmolzen werden, was für den hohen CO₂-Ausstoß bei der Produktion von Glas verantwortlich und weswegen die Wiederverwendung von Glas im Sinne aktiven Umweltschutzes so wichtig ist. Jahrhundertlang war die Erzeugung nur in Handarbeit möglich, bis 1903 in den USA der erste Vollautomat für die Flaschenerzeugung gebaut wurde.

Gläserne Infrastruktur: Der Ausbau des Glasfasernetzes in Österreich ist ebenso notwendig wie aufwendig und teuer. Nach der Verlegung von Leerrohren, die zum Schutz der empfindlichen Glasfasern benötigt werden, wird beim Anschluss eines Wohnhauses häufig eine Erdrakete genutzt: Sie bohrt sich unterirdisch durch Erde und Kellerwand, die Glasfasern selbst werden durch die fertig verlegten Rohre mit Luftdruck durchgeblasen. Im abschließenden Schritt, der entscheidend für die Signalqualität ist, werden mit Spleißgeräten die Enden der Glasfasern präzise verbunden.



Nachttopf der Kaiserin Elisabeth

✦ 10. Kunststoffe

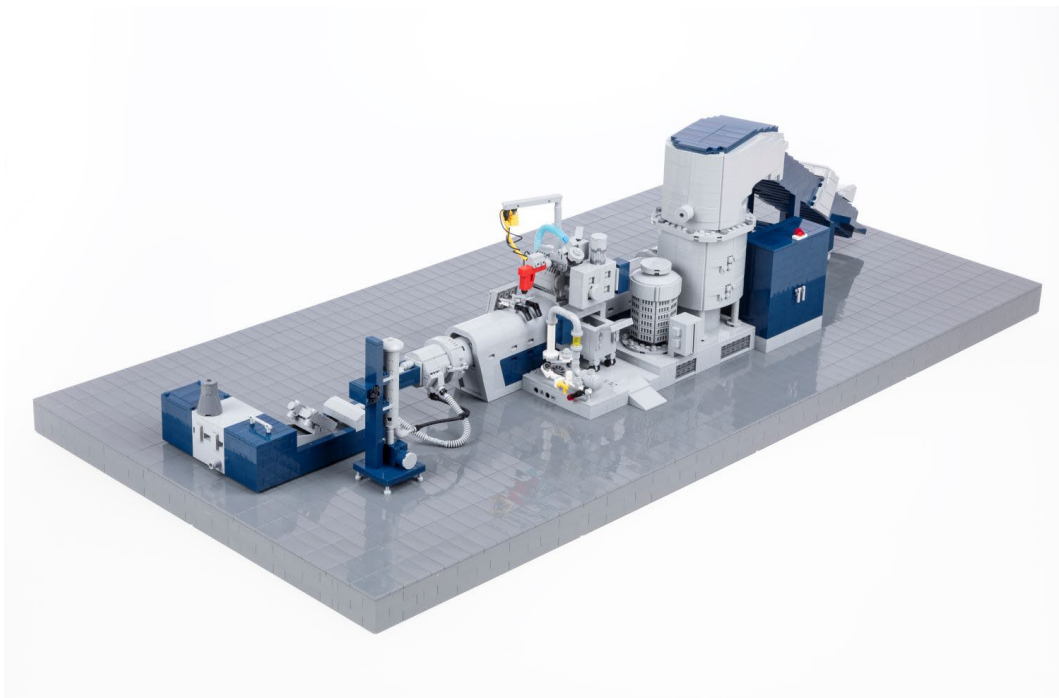
Die umgangssprachlich auch als Plastik bekannten Kunststoffe gelten als verhältnismäßig „junges“ Material. Frühe Kunststoffe waren jedoch bereits um 1850 bekannt. Es dauerte fast hundert Jahre, bis dieses Material alltäglich wurde, erst die Erfindung der Spritzgießmaschine nach dem Zweiten Weltkrieg ermöglichte dessen Nutzung auf breiter Basis. Kohlenwasserstoffverbindungen aus Erdöl oder Erdgas werden chemisch aufgebrochen, wodurch neue, lange Kohlenstoffketten gebildet werden können – die Polymere. Die Vorteile, die das Material Kunststoff mit sich bringt, sind eng verknüpft mit dessen Nachteilen: Es ist günstig herzustellen, leicht und billig. Aufgrund dessen produzieren insbesondere Industrienationen sehr große Mengen davon – fast die Hälfte der Kunststoffanwendungen sind Einwegprodukte, die als Plastikmüll aufwendig zu entsorgen sind und deren Dimension enorm ist: Weltweit wurden seit 1950 etwa 8,8 Milliarden Tonnen Kunststoff erzeugt. Nur noch ein Drittel davon ist in Gebrauch, der Rest ist Abfall, der auch über Generationen hinweg nicht verrottet, sondern in immer kleinere Bestandteile zerfällt und sich in Form von Mikroplastik unsichtbar verteilt. Die Einsatzdauer einer Plastiktragtasche beträgt im Schnitt 15 Minuten, dem gegenüber steht eine Lebensdauer von 100 Jahren. Recycling von Kunststoffen ist dann sinnvoll, wenn der Energieaufwand nicht zu hoch ist – bei der mechanischen Zerkleinerung und der Verarbeitung zu Regranulat nimmt die Qualität des Materials ab. Chemisches Recycling zerlegt Plastik in seine Grundbausteine und es entstehen neue Kunststoffe gleicher Qualität – allerdings mit einem entsprechend hohem Energieaufwand. Am häufigsten und ökologisch ungünstigsten ist dessen Verbrennung. Obwohl das Problem der Entsorgung seit den 1960er-Jahren bekannt ist, stand sie nicht im Fokus der Industrie. Eine Lösung wäre die bewusste Verringerung und eine klare Unterscheidung, wann Kunststoffe wirklich notwendig und wo sie ersetzbar sind. Wiederverwertbarkeit, Langlebigkeit und Reparaturfähigkeit müssten bereits beim Produktdesign mitgedacht werden und auch für Pfandsysteme bedarf es einer Standardisierung sowie eine entsprechende Infrastruktur, wie sie in Österreich gerade aufgebaut wird.

Jüngere Entwicklungen wie die der Biokunststoffe täuschen mitunter durch die missverständliche Namensgebung: Biobasierte Kunststoffe bestehen aus nachwachsenden Rohstoffen wie Mais oder Zuckerrohr, müssen aber nicht zwingend biologisch abbaubar sein, was erdölbasierte Kunststoffe mitunter sein können. Sie verrotten nicht natürlich, sondern werden in Kompostieranlagen bei über 60 Grad Celsius zersetzt, was wiederum weniger ökologisch ist als Recycling.

Die außergewöhnlichen Eigenschaften von Hochleistungskunststoffen sind mittlerweile unverzichtbar, obwohl ihr Anteil in der Kunststoffproduktion bei weniger als 1 % liegt. Sie unterscheiden sich von gewöhnlichen Kunststoffen durch ihre hohe Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit und ihre mechani-

schen Eigenschaften. Zum Einsatz kommen sie unter anderem als Wirbelsäulen-implantate, wo sie das Anwachsen von Knochen fördern oder als Gleitlager im Maschinen- und Anlagenbau, bei dem sie die Verwendung von umweltschädlichen Schmierfetten unnötig machen. Paradoxerweise können diese Hochleistungskunststoffe auch als Filter für Mikroplastik und in Müllverbrennungsanlagen eingesetzt werden.

Natürliche Plastikfresser: Um den stetig wachsenden Kunststoffabfall zu reduzieren, beschäftigen sich aktuelle Forschungsprojekte mit teils ungewöhnlichen Ansätzen: Mikroorganismen, die bestimmte Kunststoffarten zersetzen oder sogar weiterverarbeiten. Enzyme zerlegen Kunststoffe in ihre Bausteine und reinigen sie, durch Repolymerisierung entstehen neue Kunststoffe ohne Qualitätsverlust. Ein anderer Ansatz würde Verpackungen auch für den Menschen genießbar machen – auf der Basis von Algen können diese nach Verwendung verzehrt, recycelt werden oder einfach verschwinden.



Modell einer mechanischen Recyclinganlage III

✦ 11. Gummi

Elastizität, die Dehnbarkeit und das Zurückspringen in seine ursprüngliche Form ist die markanteste Eigenschaft von Gummi, ein Material, das in Europa lange Zeit unbekannt war, das sich aber die Mayas in Südamerika bereits 1.000 v. Chr. zunutze gemacht haben. Ohne seinen Einsatz wäre der Wandel von Mobilität und Kommunikation Anfang des 20. Jahrhunderts unmöglich gewesen – von Reifen bis hin zu Kabeln und Telefonapparaten – Gummi und das ebenfalls aus Bäumen gewonnene Guttapercha waren unersetzbar. Sie federten Schuhe und Räder ab, schützten vor Wasser und isolierten Leitungen. Der Hartgummi Ebonit hat ausgezeichnete Klangeigenschaften und wurde nicht nur für die frühen Telefonhörer eingesetzt, sondern findet sich bis heute in den Mundstücken von Musikinstrumenten.

Die Nachfrage Ende des 19. Jahrhunderts stieg rasant. Die Geschichte der Kautschuk-Gewinnung ist untrennbar mit dem europäischen Kolonialismus und Ausbeutung verbunden. Plantagenwirtschaft und das Ernten von wildem Kautschuk gingen mit schweren Menschenrechtsverletzungen und ökologischer Zerstörung einher. Der Saft aus den Kautschuk-Bäumen, wurde von indigenen Zwangsarbeiter:innen im Amazonas-Gebiet Südamerikas gesammelt. Später wurde der Baum auch von Engländern nach Südostasien importiert und in Plantagen angelegt. Die dritte Kautschuk-Region bildete Afrika, wo Lianenkautschuk gewonnen wurde. Die wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Folgen dieser Ausbeutung von Natur und der dortigen Bevölkerung sind bis heute spürbar .



Gummi wurde während des Ersten Weltkriegs zum strategischen Material: Abgeschnitten von der Kautschukversorgung aus Übersee, sollten Ersatzkonstruktionen aus Stahlfedern die dämpfende Wirkung von Gummi und Guttapercha auf Reifen simulieren – mit überschaubarem Erfolg. Die Elastizität des Gummis zum Ausgleich zwischen stählernen Maschinen auf holprigen Straßen war nicht so einfach zu ersetzen. Synthetischer Kautschuk wurde in Folge stark beforscht und die I.G. Farben-Industrie AG meldete 1927 den Styrol-Butadien Kautschuk (SBR), kurz „Buna“, zum Patent an. Der Aufbau der Produktion in den

1930er-Jahren und die Kriegsvorbereitungen hingen eng mit den Autarkismus-Bestrebungen der Nationalsozialist:innen zusammen. Zwangsarbeiter:innen starben zu Zehntausenden bei der Errichtung eines Gummiwerks der I.G. Farben beim Konzentrationslager Auschwitz, das nicht mehr in Betrieb ging. Buna findet sich noch heute in vielen Autoreifen.

Als Umweltproblem in Form von Mikroplastik ist der Reifenabrieb mit einem Anteil von bis zu 30 % ein nicht zu unterschätzender Faktor. Moderne Auto- und Fahrradreifen bestehen aus komplexen Gummimischungen: Naturkautschuk und synthetischer Kautschuk werden mit Zusatzstoffen wie Ruß, Öle und Vulkanisationsmitteln versetzt, deren Mischung Grip, Abriebfestigkeit und Witterungsbeständigkeit geben, gleichzeitig aber auch eine Herausforderung bei der Entsorgung bedeuten. Für den Lkw-Bereich gibt es schon jetzt komplett wiederaufgearbeitete Reifen. Obwohl der Anteil an recyceltem Material in den Reifen von PKWs steigt und auch Versuche mit anderen Kautschukgewächsen gemacht werden, hat der Fahrradreifen aus Löwenzahn bislang keinen breiten Markt gefunden.

✦ 12. Beton

Hart, stabil, beständig und langlebig. Was wie Stein klingt, ist es im Grunde genommen auch: Der Werkstoff Beton ist ein technisch hergestellter Stein, mit dem Unterschied, dass er frei gegossen werden kann. Dadurch kann er beliebige Formen annehmen und auch große Druckkräfte aufnehmen. Beton ist unersetzbar geworden: Er ist essentiell für die öffentliche Infrastruktur zum Bau von Straßen, Brücken, Tunnel oder Kraftwerken. Ein breit verfügbarer Baustoff, der einen geringen Preis hat, aber auch für den Ausstoß von weltweit 8 % der CO₂-Emissionen verantwortlich ist.

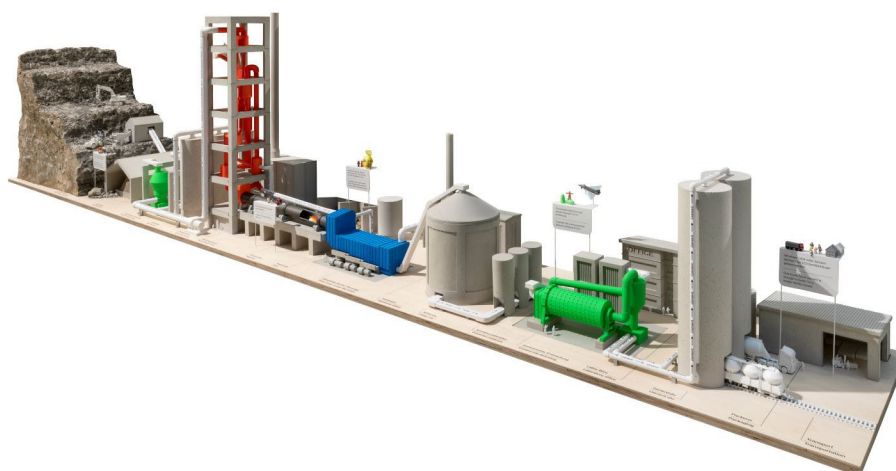
Beton besteht zu 80 % aus Sand und Kies, was diese Rohstoffe zusammenhält, ist der Zement, mit einem Anteil von lediglich 13 %. Obwohl Zement ein einfaches Produkt ist, laufen in einem Zementwerk eng verwobene Prozesse ab, um Stein in ein Pulver mit Klebekraft zu verwandeln: Zementklinker ist dabei der wichtigste Bestandteil. Bei der Sinterung, dem Zusammenbacken des feinkörnigen Rohmaterials unter hohen Temperaturen, entstehen neue Verbindungen, die Klinkergranalien. Zur Verbesserung der Sinterung werden neben Kalkstein und Ton korrigierende Stoffe beigemischt. Durch die chemische Reaktion mit Wasser, der Hydratation, wachsen Kristallnadeln, die sich fest miteinander verzahnen und den fein gemahlene Klinker erhärten lassen. 4,1 Milliarden Tonnen Zement werden weltweit jährlich verbaut.

Die Eisenbewehrungen in Beton ermöglichten vor über hundert Jahren den Bau des ersten Wolkenkratzers und auch das Technische Museum Wien ist ein beispielhaftes Bauwerk für seine Zeit. Erbaut zwischen 1909 und 1913 sah es bereits bei der Ausschreibung den Einsatz von Eisen, Beton und Glas vor, wobei

Eisenbeton nur an absolut notwendigen Stellen eingesetzt wurde. Gemauerte Säulen und Eisenbetonsäulen sind äußerlich nicht voneinander unterscheidbar – Zweitere übernehmen aber als mittlere Säulen in den Hallen tragende Funktion. Sichtbar werden durfte der Beton allerdings erst bei der Generalsanierung des Museums in den 1990er-Jahren, als sich der Baustoff bereits lange durchgesetzt hatte.

Die hohen CO₂-Emissionen, die bei der Herstellung von Beton anfallen und die Tatsache, dass Sand ein begrenzt verfügbarer Rohstoff ist, zwingt zu einem neuen Umgang mit dem Baustoff Beton. Neben der Option weniger und langsamer zu bauen, wird auch an der Rezeptur und Bauweise gefeilt: Durch neue Techniken können komplexere Strukturen hergestellt werden, die Material überall dort einsparen, wo es keine tragende Funktion erfüllt. Zudem wird der Gesteinsanteil sukzessive durch recycelten Betonbruch ersetzt.

Beton-3D-Druck: Die ökologische Bilanz lässt sich auch durch die Reduktion von Beton und Bewehrungsstahl bei Geschoßdecken verbessern: Stahlbetonleichtdecken haben ein geringeres Gewicht wodurch auch tragende Wände und Fundamente schlanker ausgeführt werden können – zudem werden 35 % CO₂-Äquivalente eingespart. Komplexe Schalungen werden durch Beton-3D-Druck überflüssig und filigrane Aussparungskörper mit Wandstärken von nur 2 Zentimetern gedruckt. Diese Geschoßdecken sind im Verbund mit Stahlbeton um bis zu 40 % leichter als vergleichbare Flachdecken.



Modell Zementwerk

✦ 13. Kohlenstoff

Die Grundlage des Lebens auf der Erde ist Kohlenstoff, jenes Element, das die meisten Verbindungen mit anderen Elementen eingehen kann. Es zählt zu den besten elektrischen Leitern, hat eine hohe Wärmeleitfähigkeit und widersteht sehr hohen Temperaturen. Mit Beginn der Materialforschung im 19. Jahrhundert eröffneten sich für Kohlenstoff neue Anwendungsgebiete.

Seit langer Zeit wird Kohlenstoff in Form von Holz, Kohle, Öl oder Gas als Energiequelle genutzt – ohne den Energieträger Kohle wäre keine Industrialisierung möglich gewesen. Auch die Dampflokomotive 12.10 nutzte für ihre weit über 2.000 PS Kohle als Energiequelle zur Dampfproduktion. Die mit 120 km/h schnellste österreichische Dampflokomotive wurde 1927 vorgestellt, zu einem Zeitpunkt, als die Elektrifizierung der Bahnstrecken im Westen bereits vollzogen war. Koks, das aus Steinkohle bei Erhitzung über 1.000 Grad Celsius und unter Sauerstoffabschluss gewonnen wird, hat auch zu spannenden anderen Entwicklungen geführt: Bei dem Prozess fallen große Mengen Steinkohlenteer an, weswegen Forscher:innen Mitte des 19. Jahrhunderts Anwendungen für dieses Abfallprodukt suchten – und in der Entwicklung von synthetischen Farbstoffen fanden. Verschiedene Bestandteile des Steinkohlenteers erzeugen in chemischen Reaktionen kräftige Farben: Diese Anilinfarben bieten eine breite Farbpalette, die für Textilien, Papier oder Lebensmittel verwendet wurden.

Reiner Kohlenstoff in fester Form lässt sich auf zwei unterschiedliche Kristallstrukturen zurückführen: Diamant und Grafit, deren Eigenschaften von der Anordnung im Kristall abhängen: Atome in einer Ebene werden Grafit genannt, in einer dreidimensionalen Anordnung entsteht das härteste natürliche Material Diamant, das seit Mitte des 20. Jahrhunderts – unter hohem Energieeinsatz – auch künstlich hergestellt werden kann. In der Forschung können Kohlenstoffatome gezielt angeordnet werden, wodurch es möglich ist, Nanostrukturen mit neuen Eigenschaften zu erhalten. Wenn Kohlenstoffatome nebeneinander angeordnet sind, bildet sich eine hauchdünne Folie, die nur ein Atom „dick“ ist – dieses Material ist Graphen, was als transparenter und flexibler Leiter beispielsweise bei der Herstellung von Solarzellen und elektronischen Anwendungen genutzt wird.

Bei der Herstellung von Kohlefasern wird das zweidimensionale Grafitgitter, also die innere Struktur, so ausgerichtet, dass die hohen Zugkräfte in bestimmten Richtungen genutzt werden können, wodurch Kunststoff mit Kohlefasern bei geringem Gewicht hoch belastbar sind. Es entsteht ein leichter und stabiler Werkstoff der in der Luft- und Raumfahrt, bei Windkraftanlagen oder in Sportgeräten unverzichtbar geworden ist. Kohlefaserverstärkter Kunststoff ist allerdings als Verbundstoff nur mit hohem Aufwand zu trennen und aufgrund seiner hohen thermischen Stabilität in üblichen Anlagen nicht verbrennbar – ein Problem, weswegen an der Wiederverwendbarkeit von Kohlestofffasern weltweit geforscht wird.

Kohlenstoff macht weiß und schwärzer als Schwarz: Bereits 1800 wurde Holzkohle industriell verwendet, um Zucker zu filtern und zu entfärben. Aktivkohle in Wasserfiltern dient zum Entfernen chemischer Rückstände und Gerüche. Dass Ruß, der bei unvollständiger Verbrennung entsteht, in modernen Laserdruckern als Farbstoff genutzt wird, erscheint in diesem Zusammenhang paradox. Ruß befindet sich auch in Reifen, wo es die Abriebfestigkeit steigert. Wenn Kohlenstoff-Nanoröhren als dichter Teppich gezüchtet werden, bildet sich eine Oberfläche, die Licht fast vollständig absorbiert. Dieses schwärzeste Schwarz findet Anwendung in der Raumfahrt, der Militär- und Messtechnik.



Diamantfenster einer EUV-Laseranlage

✦ **Maschinenwand**

Moderne Gebrauchsgegenstände wie beispielsweise ein Lastenrad entstehen in der Regel durch eine Vielzahl von Herstellungsprozessen, von denen viele seit Jahrhunderten bekannt sind. Geändert haben sich die Maschinen und die Skalierung ihres Outputs. Die grundlegenden Verfahren selbst haben sich hingegen bedeutend weniger stark gewandelt.

1. Schmieden

Schmieden ist die älteste Metallbearbeitungstechnik und der Hammer ein wichtiges Werkzeug. Die Lokomotiv- und Maschinenfabrik Maffei in München baute den im Museum ausgestellten Lufthammer um 1910. Er funktionierte anfangs mit Riemenantrieb. Die Nutzung bis 1976 in der Huf- und Wagenschmiede Alfred Tomek in Wien ermöglichte ein nachgerüsteter Elektromotor. Schmieden ist ein umformendes Fertigungsverfahren: Es verändert die Form eines festen Materials. Das passiert durch Schlagen und Pressen bei hohen Temperaturen. Beim Fahrradbau kommt es etwa bei der Herstellung von Fahrradpedalen zum Einsatz. Fahrradpedale sind mit Sattel und Lenker die einzigen Kontaktpunkte zwischen Fahrer:in und Fahrrad. Sie wandeln die Tretkraft in Vortrieb um und bewegen so das Fahrrad.

2. Formgießen

Die Spritzgießmaschine hat unseren Alltag verändert. Ohne sie gäbe es die meisten Gegenstände aus Kunststoff nicht. Das Spritzgießen ist ein Verfahren des Urformens, bei dem aus formlosen Stoffen feste Körper hergestellt werden. Die Spritzgießmaschine der Engel Maschinenbau GesmbH wurde 1968 im Technischen Museum Wien in Betrieb genommen. Anlässlich des 50-Jahr-Jubiläums der Eröffnung des Museums goss sie Erinnerungschips. Die Maschine schmilzt Kunststoffgranulat. Eine Schnecke führt das Material durch Rotation und Druck der Spritzgussform zu. Bei der Fahrradproduktion wird dieses Verfahren für Kunststoffteile wie Fahrradgriffe verwendet. Sie sind ein wichtiger Kontaktpunkt zum Fahrrad und entscheidend für Fahrkomfort und Lenkkontrolle.

Die Geschichte des Spritzgießens beginnt 1872 in den USA mit der Erfindung der ersten Spritzgießmaschine für die Verarbeitung von Celluloid. Im Jahr 1956 entstand die erste Spritzgießmaschine mit Schubschnecke. Sie ist eine der wichtigsten Entwicklungen der Kunststofftechnik. Zu dieser Zeit waren die meisten gängigen Kunststoffe bereits erfunden. Erst die Erfindung des neuen Maschinentyps ermöglichte die Massenproduktion von Kunststoffprodukten in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts.

3. Schweißen

Industrieroboter sind Universaltalente. Die Beweglichkeit ihrer Glieder ermöglicht verschiedene komplexe Arbeitsschritte. Der ROMAT 76 in Knickarm-Bauweise ist mit sechs frei programmierbaren, computergesteuerten Achsen ausgestattet. Das erlaubt präzises, punktgenaues Schweißen in der Massenproduktion. Er kam

vor allem in der Automobilindustrie in großen Fertigungslinien zum Einsatz. Schweißen ist das wichtigste fügende Fertigungsverfahren. Es ermöglicht die dauerhafte Verbindung von mehreren Werkstücken. So entstehen Verbindungen mit hoher Festigkeit wie etwa beim Fahrradrahmen. Ein Fahrradrahmen ist die Tragstruktur eines Fahrrades. Er besteht aus mehreren miteinander verschweißten Elementen, um größtmögliche Stabilität zu erreichen.

4. Pressen

Exzenterpressen sind die am weitesten verbreiteten mechanischen Pressen in der Metall- und Blechbearbeitung. Das Modell VP diente seit 1928 zur Herstellung von Verpackungen aus Blech, wie etwa Dosen. Pressen gehört zu den Techniken des Druckumformens. Diese Verfahren verändern gezielt die Form von Teilen aus plastischen Werkstoffen. Das sind Metalle oder thermoplastische Kunststoffe. Dabei wird kein Material abgetragen oder hinzugefügt. Beim Bau eines Fahrrades etwa bringt das Pressen oder Biegen den Lenker in seine endgültige Form. Der Fahrradlenker dient der Richtungsbestimmung. Er überbrückt den Abstand zwischen Händen und Fahrradgabel und ist wichtig für die Körperhaltung.

5. Scherschneiden

Scherschneiden ist in der Blechbearbeitung eines der häufigsten Fertigungsverfahren. Bei dieser Scherschneidemaschine handelt es sich um ein Lehrmodell der Berndorfer Metallwarenfabrik. Das Scherschneiden gehört zu den Trennverfahren. Zwei sich aneinander vorbeibewegende Schneiden zerteilen das Werkstück. Stanzen ist eine Variante des Scherschneidens bei geschlossener Schnittlinie. In der Fahrradkettenproduktion bestehen die Glieder, Bolzen und Platten der Kette aus Stahl. Sie müssen hochpräzise ausgestanzt werden. Das gewährleistet die reibungslose Bewegung der Kette. Das Scherschneiden ermöglicht es, Fahrradketten kostengünstig, langlebig und mit engen Toleranzen zu produzieren.

6. Mischen

Mischen ist eigentlich kein eigenes Fertigungsverfahren. Für die Chemie-, Lebensmittel- und Bauindustrie ist es aber von zentraler Bedeutung. Die Knet- und Mischmaschine der Firma Werner & Pfleiderer ist eine Maschine für die Produktion von Backwaren. Sie kam allerdings für das Mischen von Farben zum Einsatz. Das Mischen vermengt zwei oder mehr Stoffe gleichmäßig miteinander. Es entsteht ein einheitliches Gemisch mit spezifischen Eigenschaften. Bei einem Fahrrad ist so ein Gemisch die Farbe. Einerseits drückt sie ästhetische Vorlieben der Fahrer:innen aus. Gleichzeitig kann eine günstige Farbwahl durch bessere Sichtbarkeit im Straßenverkehr die Unfallgefahr reduzieren. Zusätzlich schützt sie den Rahmen vor Rost und Witterungseinflüssen.

7. Weben

Weben ist nach Holz- und Steinbearbeitung eines der ältesten Handwerke. Einfache Webstühle existieren bereits seit der Steinzeit. Der mechanische Webstuhl in der Ausstellung ist ein Erzeugnis der Firma Dickinson & Sons in Blackburn (GB) aus dem Jahr 1867. Als Energiequelle dienten Wasserkraft, Dampf und später ein Elektromotor. Weben ist ein textiles Fertigungsverfahren. Dabei verkreuzen sich zwei Fadensysteme, Kette und Schuss, rechtwinklig miteinander. Die Kettfäden verlaufen längs. Die Schussfäden werden quer eingeführt und abwechselnd über und unter den Kettfäden durchgezogen, um Stoffe zu erzeugen. Das tragende Gerüst in einem Fahrradreifen ist die Karkasse. Sie besteht meistens aus einem textilen Gewebe und gibt dem Reifen die nötige Stabilität.

8. Drahtziehen

Die riemenbetriebene Multiplex-Drahtziehmaschine kam 1964 ins Museum. Bis dahin stand sie in einer Fabrik für Gold- und Silberdrähte. Die Maschine zieht bei diesem Verfahren einen Metallstab durch einen oder mehrere Ziehsteine. Diese helfen, die Länge des Metallstabs zu erhöhen und seinen Durchmesser zu verringern. Dieser Kaltumformungsprozess verbessert auch die Materialeigenschaften wie Festigkeit und Oberflächenqualität. Die so erzeugten Drähte kommen beispielsweise für die Herstellung von Schaltzügen für Fahrräder zum Einsatz. Die Gangschaltung beim Fahrrad bestimmt das Übersetzungsverhältnis, das heißt, wie oft sich das Hinterrad bei einer Umdrehung der Tretkurbel dreht. Der Draht überträgt den Schaltimpuls vom Schalthebel mechanisch an Schaltwerk und Umwerfer.

9. Fräsen

Fräsen ist eines der jüngeren Fertigungsverfahren. Es entstand erst im 19. Jahrhundert, zusammen mit den ersten Fräsmaschinen. Die Cintimatic, Modell-DE, war eine der ersten in Österreich eingesetzten numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen. Die elektronische Steuereinheit Acramatic steuert die Maschinenfunktionen durch Lochstreifen, einen streifenförmigen Datenträger. Fräsen ist ein zerspanendes Verfahren. Ein Zerspanungswerkzeug trennt Material in Form von Spänen vom Werkstück ab. Ein rotierendes Schneidwerkzeug, der Fräser, bewegt sich entlang vorgegebener Bahnen. Der Fräser erzeugt so komplexe geometrische Formen. In der Fertigung von Fahrradteilen werden insbesondere Kettenblätter gefräst. Das Kettenblatt ist mit der Tretkurbel verbunden und treibt das Kettengetriebe eines Fahrrades an.

Der erste numerisch gesteuerte Fräser entstand in den 1940er-Jahren. Damit begann eine neue Automatisierungswelle in Industrieanlagen. Die NC (Numerical Control)-Technologie ermöglichte die präzise, nichtmenschliche Steuerung von Maschinen. Das passierte durch programmierte Zahlenwerte, anfangs mit Lochstreifen. So konnte eine höhere Genauigkeit erreicht und die Effizienz

gesteigert werden. NC-Maschinen legten den Grundstein für die spätere CNC (Computerized Numerical Control)-Technologie.

10. Sägen

Erste sägenartige Werkzeuge zur Holzbearbeitung sind seit der Steinzeit bekannt. Die ausgestellte Bandsäge wurde 1916 in der Gründungszeit des Technischen Museums übernommen. Die Maschinenfabrik Moritz Zuckermanns Witwe übergab sie trotz der Anforderungen der Kriegswirtschaft dem Museum als Leihgabe. Anfangs stand sie, mit ihren Schutzvorrichtungen aus Holz, in einer Ausstellung zum Thema Arbeitsschutz. Danach nutzten die Werkstätten des Museums sie von 1936 bis 1959. Sägen zählt zu den Trenn-Fertigungsverfahren. Durch Abtragen (Trennen) von Werkstoffteilen wird eine Formänderung erreicht. Es kommt bei der Fahrradproduktion besonders beim Zuschneiden von Rahmenrohren und der Sattelstütze zum Einsatz. Sattelstützen tragen den Sattel und werden, wie viele Fahrradteile, vornehmlich in Taiwan hergestellt.

11. Drehen

Drehbänke gehören zu den wichtigsten Werkzeugmaschinen. Die Revolver-Drehmaschine zeichnet sich durch einen horizontal angeordneten Werkzeug-Revolver aus. An der rechten Seite befinden sich die Anschlagbolzen, die für das jeweilige Werkzeug die zu drehende Länge begrenzen. Drehen ist ein zerspanendes Fertigungsverfahren. Ein Werkstück rotiert, während ein feststehendes Schneidwerkzeug Material abträgt. So entstehen zylindrische Formen wie Bolzen und Schrauben. Durch Verschieben des Werkzeugs entlang der Werkstückachse entstehen verschiedene Durchmesser und Oberflächen. Ein so hergestelltes Bauteil bei einem Fahrrad ist das Tretlager. Es stellt die Verbindung zwischen Kurbel und Antrieb her und ist ein zentrales Element für die Kraftübertragung.

Revolver-Drehbänke erlaubten mehr Effizienz und Vielseitigkeit in der industriellen Fertigung. Der drehbare Werkzeug-Revolver ermöglicht das schnelle Wechseln zwischen verschiedenen Bearbeitungswerkzeugen. Die Produktionszeit verkürzte sich dadurch deutlich. Diese Maschinen waren für die Serienproduktion sehr wichtig. Sie ermöglichten präzise und wiederholbare Arbeitsprozesse. In den 1840er-Jahren kündigte ihre Einführung die zunehmende Automatisierung und Rationalisierung von Arbeitsprozessen an.

Presse-Kontakt:

Technisches Museum Wien
Bettina Lukitsch
Mariahilfer Straße 212, 1140 Wien
Tel. +43 1 899 98-1200
presse@tmw.at
tmw.at/presse
tmwpress.bsky.social

Partner Technisches Museum Wien:

Wiener Netze

Hauptsponsoren:

ALPLA Group

Beton Dialog Österreich

Infineon Austria

voestalpine AG

Sponsoren:

Österreichische Bundesforste

Österreichische Lotterien

proHolz Austria

UNIQA

Fördergeber:

Waldfonds Republik Österreich

Co-Sponsoren:

CANCOM Austria AG

ISS Österreich