

Der unterschätzte Rest Bei der Reinigung von Abwasser können wertvolle Rohstoffe und Energie gewonnen werden
Ein Gefäß für den Unrat der Stadt Bereits im 6. Jh. v. u. Z. begannen die Römer mit dem Bau der Cloaca Maxima
Strom kann wandern Vor 130 Jahren wurde erstmals Strom über eine Strecke von 145 Kilometern übertragen

KULTUR & TECHNIK



Da steckt mehr drin

Abwasser belastet die Umwelt. Es kann aber auch Quelle wertvoller Ressourcen sein



ZUKUNFTSREIF

Die Taxi-München eG wurde im Jahr 1917 gegründet. Das Deutsche Museum war da bereits 14 Jahre alt. Industrialisierung und technischer Fortschritt strebten mit nie dagewesenem Schwung vorwärts. Im Taxigewerbe waren erste Taxameter zur geeichten Ermittlung des Fahrpreises sowie etwas später Rufsäulen an Taxistandplätzen zur Bestellung des Taxis in der Nähe absolute Meilensteine im Kundenservice. Heute befördert die Taxi-München eG jährlich etwa jeden Münchner zweimal. Unsere digitale Vermittlungstechnik schickt Ihnen an jeden Ort Münchens binnen fünf Minuten ein Taxi. Privat- und Geschäftskunden bringen uns Butter und Brot. Unsere besondere Verantwortung im ÖPNV sind Kranken-, Dialyse- und Schülerfahrten – auch im E-Inklusionstaxi. www.tmeg.de





Liebe Leserin,
lieber Leser,

in seinem Buch *Eine kurze Geschichte der alltäglichen Dinge* schildert der Schriftsteller Bill Bryson eine folgenschwere Begebenheit 1878 auf der Themse in London: Ein Vergnügungsdampfer kollidierte mit einem anderen Schiff genau in dem Moment, als die gigantischen Abwasserrohre der Stadt den ungeklärten Unrat aus dem städtischen Kanalsystem in die Themse spülten. »Fast achthundert Menschen ertranken im erstickenden Schlamm und in ungeklärten Abwässern. Selbst wer schwimmen konnte, kam nur schwer durch den klebrigen Unrat.« Weitere, ebenda geschilderte Details erspare ich Ihnen an dieser Stelle ...

Bis heute werden in den Großstädten der Industrienationen die Abwässer wie damals in London über unterirdische Kanalsysteme gesammelt. Ehe sie wieder in den Wasserkreislauf gelangen, werden sie allerdings – je nach Größe und Finanzkraft der jeweiligen Kommune – mehr oder weniger aufwendig geklärt. Am Beispiel des Münchener Klärwerks Großlappen erläutert in unserer aktuellen Ausgabe der Abwasserexperte Prof. Dr. Christian Schaum, wie sich der Blick auf das »Abwasser« im Laufe der letzten hundert Jahre gewandelt hat: von der stinkenden und krankmachenden Dreckbrühe zur Quelle begehrter Ressourcen.

»Probleme sind da, um gelöst zu werden«, heißt es so schön. Aber ohne kreative Köpfe, die ihr Knowhow und ihren Erfindergeist für die Verbesserung der Situation vieler Menschen einsetzen, hätte es all die Fortschritte, die

unser Leben heute um vieles leichter machen, nicht gegeben. Aktuelle Lösungen für Probleme unserer Zeit präsentieren wir im Deutschen Museum in der Ausstellung zum Deutschen Zukunftspreis. Für 2021 sind nominiert: ein neuartiger quantenzählender Computertomograf von Siemens, ein innovativer Naturkautschuk aus russischem Löwenzahn und der mittlerweile schon weltweit bekannte mRNA-Impfstoff der Firma Biontech. Am 17. November wird der Gewinner in Berlin bestimmt und der Preis durch den Bundespräsidenten übergeben. Das ZDF wird die Preisverleihung ab 18 Uhr im Livestream übertragen. Der Platz für den Preisträger ist in unserem Ausstellungssaal bereits reserviert.

Wie wir Probleme von heute in Zukunft lösen werden, gehört auch zu den Fragen, mit denen sich das Deutsche Museum in Nürnberg beschäftigt. Mitte September haben wir es eröffnet und ich lade Sie herzlich ein, dieses ganz neue und lebendige Zukunftsmuseum, das wir Ihnen in *Kultur & Technik* 1/2021 bereits vorgestellt haben, nun auch live zu besuchen.

Es grüßt Sie herzlich

Ihr Wolfgang M. Heckl



6
Bis zur Einführung von Kläranlagen wurde Abwasser ungereinigt in die Gewässer geleitet.



14
Mit dem Kohlebreiverfahren gelang erstmals eine effiziente Reinigung von Abwasser.



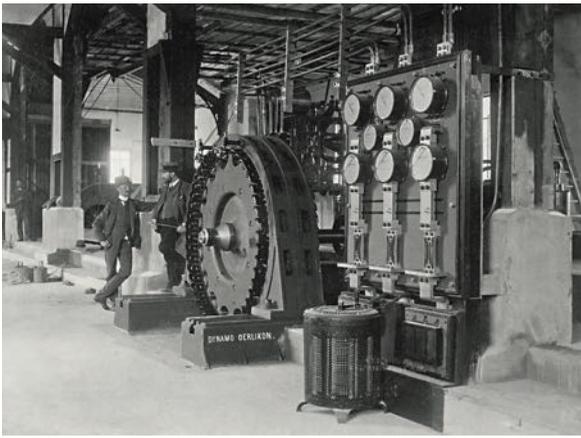
18
Im antiken Rom nutzte man öffentliche Toiletten auch zur Unterhaltung.



22
In armen Ländern fehlen oft die grundlegendsten Sanitäreinrichtungen. Lokal angepasste, preisgünstige Lösungen helfen, Krankheiten zu vermeiden und die Hygiene zu verbessern.



30
Mikroplastik ist ein großes Problem, vor allem dort, wo es unbemerkt und an den Kläranlagen vorbei in den Wasserkreislauf gelangt.



40
Strom kann über weite Strecken hinweg transportiert werden. Das bewies Oskar von Miller vor 130 Jahren.



44
Mit Pressluft flog der »Bing Autoplan« bis zu 25 Meter hoch.



46
Zu einer Besichtigung der neuen Ausstellungen lud der Freundkreis seine Mitglieder.

Wir wollen noch besser werden! Und dazu brauchen wir Ihre Hilfe. Bitte beteiligen Sie sich an unserer Umfrage für Leserinnen und Leser. Sie finden diese zum Herausstreifen in der Mitte dieses Magazins. Es besteht auch die Möglichkeit, online zu antworten.

DA STECKT MEHR DRIN

- 6** **Der unterschätzte Rest**
Wie Kläranlagen funktionieren |
Von Christian Schaum und Sebastian Chalupczok
- 14** **Kohle als Saubermacher**
Die Entwicklung des Kohlebreiverfahrens | Von Moritz Heber
- 18** **»Receptaculum omnium purgamentorum urbis«**
Zur Geschichte der Cloaca Maxima | Von Hannah Schnorbusch
- 22** **Mit Toiletten gegen Seuchen**
Sanitär Ideen für Entwicklungsländer | Von Christian Rauch
- 24** **Die sauberste Stadt Europas**
München wird kanalisiert | Von Florian Breitsameter
- 30** **Überall ist Mikroplastik**
Winzige Plastikpartikel bedrohen die Umwelt |
Von Silke Haubensak, Michael Sturm, Dennis Schober und Katrin Schuhen
- 38** **Zerstörer, Schöpfer, Gestalter**
Eine Ausstellung in der Flugwerft Schleißheim
-

Magazin

- 40** **Strom kann wandern**
Die erste Drehstromübertragung 1891 | Von Frenziska Schwiersch
- 44** **Mit Pressluft fliegen**
Der »Bing Autoplan« | Von Heinrich Eder
- 46** **Berechtigte Vorfreude**
Neues aus dem Freundes- und Förderkreis | Von Monika Czernin
-

STANDARD

- 3** **Editorial**
- 50** **Vorschau, Impressum**



Das Bild zeigt einen Münchner Abwasserkanal mit Spültüre. Diese kann zum Aufstauen des Wassers mechanisch geschlossen werden. Das gestaute Wasser drückt die Spültüre plötzlich auf. Mit dem dadurch entstehenden Schwall wird der Kanal durchgespült.

Der unterschätzte Rest

Das gebrauchte Wasser, das täglich in den Kläranlagen der Kommunen landet, birgt eine ganze Menge an Potenzial. Wissenschaftler und Ingenieure tüfteln an technischen Lösungen, um verborgene Rohstoffe zu recyceln oder Schlamm und Gase zur Energiegewinnung zu nutzen. Von Christian Schaum und Sebastian Chalupczok

Allgemein kann Abwasser definiert werden als »Wasser bestehend aus jeglicher Kombination von abgeleitetem Wasser aus Haushalten, Industrie- und Gewerbegrundstücken, Oberflächenabfluss und Fremdwasser« (vgl. DIN, 2007). Im Bereich der Haushalte entsteht vor allem durch den Gebrauch von Trinkwasser Abwasser, wobei grundsätzlich alle Stoffe, die der Mensch täglich durch die Nahrung aufnimmt oder z. B. für die Körperpflege, beim Kochen oder Putzen nutzt, sich im Abwasser wiederfinden. Der *Chemical Abstracts Service* (CAS) führt zurzeit mehr als 183 Millionen organische und anorganische Substanzen auf. Der Mensch kommt also täglich mit einer Vielzahl von Substanzen in Berührung. Je besser die analytischen Möglichkeiten werden, umso klarer bestätigt sich, dass kommunales Abwasser ein Vielstoffgemisch mit mehreren hundert bis tausend verschiedenen Inhaltsstoffen ist und so zu unserem ganz persönlichen Fingerabdruck wird. Dabei darf nicht vergessen werden, dass Abwasser zu über 99 Prozent aus Wasser besteht (vgl. Schaum, 2016; Cornel und Schaum, 2012).

Alles eine Frage der Technik?

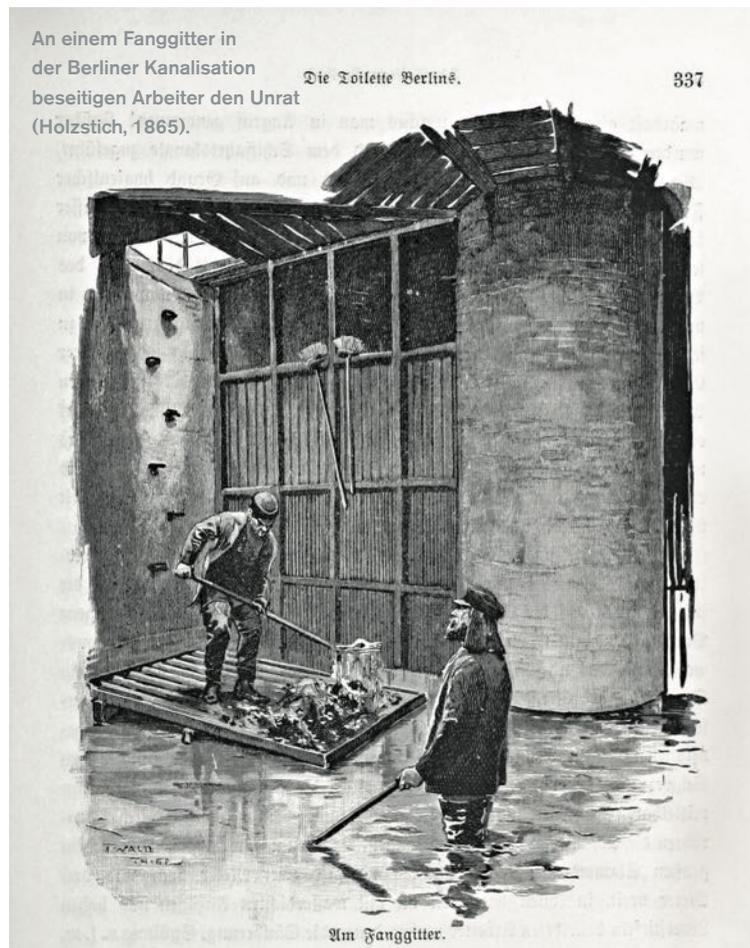
Dass Wasser für uns in einer bestimmten Qualität, Menge und mit einem entsprechenden Druck aus der Leitung kommt, scheint für uns heutzutage selbstverständlich. Ebenso wie die Tatsache, dass es nach Gebrauch durch Siphons und Rohrsysteme abfließt, um über unterirdische Kanäle in den örtlichen Kläranlagen zu landen. Über die Zusammensetzung unseres Abwassers machen wir uns kaum Gedanken.

Dominant sind die natürlichen Ausscheidungen der Menschen. Urin und Fäzes enthalten die nicht verwerteten Reste der aufgenommenen Nahrung sowie deren Abbauprodukte. Fette, Eiweiße, Kohlehydrate sowie andere organische Kohlenstoffverbindungen, Harnstoff und weitere Nährstoffverbindungen sind die Hauptkomponenten, deren Mengen sich einwohnerspezifisch abschätzen und bilanzieren lassen. Auch Metalle und Schwermetalle wie Eisen, Kupfer und Zink werden vom Menschen in Spuren benötigt, mit der Nahrung aufgenommen, auf natürlichem Wege wieder ausgeschieden und gelangen somit ebenso ins Abwasser wie Salze. Aus den menschlichen Ausscheidungen stammen auch der überwiegende Teil der Krankheitserreger wie z. B. coliforme Keime, Legionellen, Viren (was aktuell auch den Nachweis über das Verhalten von Corona-Viren ermöglicht), Protozoen oder Wurmeier. Im besonderen Fokus

stehen seit einigen Jahren auch antibiotikaresistente Keime (vgl. Schaum, 2016; Cornel und Schaum, 2012).

Im Abwasser finden sich auch verschiedenste Salzverbindungen und Spurenstoffe aus dem täglichen Gebrauch von Wasch- und Reinigungsmitteln sowie Verbindungen aus geogenen Quellen wie Calcium und Magnesium aus Trinkwasser sowie weiteren Verbindungen (Nitrat, Sulfat ggf. Eisen und Mangan). Mikroverunreinigungen gelangen über Pharmazeutika (u. a. Schmerzmittel, Antibiotika etc.) sowie Haushalts- und Pflegemittel (Shampoos, Kosmetik, Zahnpflege etc.) in geringen Konzentrationen ins Abwasser. Der überwiegende Anteil wird durch Haushaltsabwässer eingetragen und nicht, wie oft vermutet wird, durch Abwässer von Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen bzw. Industrie und Gewerbe.

An einem Fanggitter in der Berliner Kanalisation Die Toilette Berlins. beseitigen Arbeiter den Unrat (Holzstich, 1865). 337





Durch technische Entwicklungen wie beispielsweise faserverstärkte Kunststoffe oder Fassadenfarben finden sich vermehrt Nanomaterialien (z.B. Silber, Kohlenstoff oder Titanoxid) und Mikroplastik im Abwasser, die im Fokus von diversen Forschungsarbeiten stehen. Bei Mikroplastik handelt es sich um Kunststoffpartikel mit einer Größe von unter fünf Millimeter aus Kosmetikprodukten oder auch durch die direkte Nutzung von Kunststoffprodukten, aus dem Abrieb von Reifen oder aus Kunststofffasern. Die verschiedenen Stoffe haben eine ganz unterschiedliche Wirkung auf die Gesundheit und das Gewässer; sie können sowohl Schad- als auch Wertstoff sein.

Von der Choleraepidemie zur Abwasserableitung

Während in München bereits im 15. Jahrhundert Brunnen zur Trinkwasserversorgung errichtet wurden (Brunnen auf der Schranne: heute Marienplatz) und über Wasserbriefe die Entnahme von 2,138 Liter pro Minute für einmalig 100 Gulden (später 200 Gulden) geregelt war, wurde die Abwasserentsorgung lange Zeit nicht betrachtet. Die Entsorgung von Abwasser und Abfällen fand über die Stadtbäche statt, wodurch das Trinkwasser stark verunreinigt wurde. Die Gewässer ver-

Ihr Abwasser entsorgten die Münchner noch bis Anfang des 20. Jh. in den zahlreichen Stadtbächen.

schlammten und eutrophierten. Abtritterker, die als Toiletten für Burgen oder Wohngebäude dienten waren immer wieder Quellen für Seuchenausbrüche (Bähr und Erker 2017).

Mitte des 19. Jahrhunderts waren die hygienischen Bedingungen in München sehr schlecht; Krankheiten bis hin zu einer Choleraepidemie dominierten den Tagesablauf. Der Hygieniker, Apotheker und Chemiker Max von Pettenkofer drängte auf die Errichtung einer Wasserver- und -entsorgung für München. Unter der Leitung des Oberbaurats Arnold Zenetti erfolgte der Bau eines Kanalsystems. Damit schuf er eine Basis, auf die bis heute die Münchner Städtentwässerung aufbaut. Durch die Errichtung eines Systems für die Siedlungswasserwirtschaft verbesserte sich die hygienische Situation in München markant. Der Gesundheitszustand der Bevölkerung verbesserte sich, die Sterberate sank.

Über eine Kanalisation von ca. 2400 Kilometer Länge erfolgt heute die Ableitung des Abwassers aus München. Durch das Münchner Kanalnetz fließen jährlich über 180 Millionen Kubikmeter Abwasser, die zusammen mit mehreren Regenbecken, Dükeranlagen, Regenüberläufen und den Kläranlagen zu der heutigen sehr guten hygienischen Gesamtsituation Münchens beitragen.

Der Zugang zu einwandfreiem Trinkwasser und zu Sanitärversorgung gehört heute zu den Menschenrechten der Vereinten Nationen. Dennoch hatten im Jahr 2012 mindestens 2,6 Milliarden Menschen keinen Zugang zu einfachen sanitären Einrichtungen. Täglich starben etwa 3900 Kinder aufgrund von schlechten hygienischen Bedingungen (vgl. Bericht der UN 2012). Wasser ist bis heute immer wieder Auslöser von Konflikten und Fluchtbewegungen. In Fortführung der Millenniumsziele definierten die Vereinten Nationen daher im September 2015 als 6. Ziel der *Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung*, dass die »Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle zu gewährleisten ist.«

Perspektivwechsel beim Gewässerschutz

Mit der Errichtung der Kanalisation erfolgte die Verlagerung des Abwassers in die Gewässer, d.h. es kam zu einer Verschlammung und Eutrophierung (starkes Wasserpflanzenwachstum aufgrund von Nährstoffanreicherung) in den Flüssen.

Vor der Errichtung des ersten Münchner Klärwerks wurden alle Kanalleitungen des damaligen Münchner Kanalnetzes direkt in die Isar abgeleitet, wobei die meisten Einleitungen unterhalb des späteren Oberföhringer Wehrs stattfanden. Durch diese Einleitungen und dadurch, dass der mittlere Isarkanal am Oberföhringer Wehr der Isar das Wasser entzogen hat, entstanden dort unerträgliche hygienische Verhältnisse. Infolgedessen wurde auf Forderungen der Oberbayerischen Regierung der damalige Betreiber des mittleren Isarkanal zum Bau der ersten Münchner Kläranlage verpflichtet. Münchens erstes Klärwerk



Blick auf die Kläranlage von Gut Großlappen.

Gut Großlappen wurde 1926 in Betrieb genommen (mechanische Abwasserbehandlung mit nachgeschalteter Fischteichanlage am Speichersee bei Ismaning) und seitdem kontinuierlich an die technischen und strukturellen Veränderungen angepasst. Das zweite Münchner Klärwerk Gut Marienhof folgte im Jahr 1989.

Zur Verringerung der bakteriologischen Belastung und zur Verbesserung der Wasserqualität an der Isar wird seit 2005 in den Sommermonaten der Ablauf des Klärwerks Gut Marienhof mittels UV-Licht desinfiziert. Zusammen mit 11 weiteren kommunalen Kläranlagen mit UV-Desinfektionsanlagen im Einzugsgebiet der oberen und mittleren Isar sowie der Würm kann so eine Badegewässerqualität erzielt werden.

Der Blick auf den Gewässerschutz hat sich im Laufe der Zeit gewandelt, so dass mit dem Jahrtausendwechsel vor allem der damalige emissionsbezogene Ansatz, d. h. die Verminderung der Austräge in das Gewässer, durch die *Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union* (WRRL 2000) auf einen immissionsbezogenen Ansatz, d. h. auf die Betrachtung des Eintrags und der Auswirkung auf die Umwelt (Gewässer, Tier/Mensch), reformiert wurde. Dadurch wird Wasser als »keine übliche Handelsware, sondern ein ererbtes Gut, das geschützt, verteidigt und entsprechend behandelt werden muss« charakterisiert (WRRL 2000), womit ein rechtlicher Ordnungsrahmen für einen umfassenden europaweiten Gewässerschutz geschaffen wurde.



Bakterien in den Belebungsbecken sorgen für den Abbau schädlicher Substanzen.

Durch die Veränderung des wirtschaftlichen, landwirtschaftlichen und privaten Verhaltens gelangen die bereits erwähnten verschiedenen »neuen« Stoffgruppen wie Mikroschadstoffe, Nanopartikel oder Mikroplastik in das Abwasser. Aufgrund ihrer teilweise schlechten biologischen Abbaubarkeit können diverse Mikroverunreinigungen in den Gewässern nachgewiesen werden. Dies bedeutet, dass zusätzliche physikalische Verfahren wie z. B. (Membran-)Filtration, Adsorption an Aktivkohle und/oder chemische Verfahren wie z. B. die Oxidation mit Ozon zunehmend in den Fokus einer weitergehenden Abwasserbehandlung stehen.

Mikroplastik gelangt zu einem großen Anteil durch Reifenantrieb und die Abfallentsorgung in die Gewässer. Dabei zeigen neueste Untersuchungen, dass Mikroplastik bei konventionellen Behandlungsverfahren von Kläranlagen weitgehend entfernt wird (bis zu mehr als 99 Prozent in Abhängigkeit von der Partikelgröße). Nachgeschaltete Ultrafiltrationsanlagen können den Partikelrückhalt noch weiter erhöhen. Eine große



Bild links: Im »Wärmetauscher« wird der Schlamm für die Faulbehälter erwärmt.

Bild links unten: Steuerungszentrale des Klärwerks Großlappen.



Herausforderung ist neben der Optimierung der analytischen Möglichkeiten der Rückhalt von Mikroplastik bei Mischwasserentlastungsereignissen (vgl. PLASTRAT 2021).

Nutzung der Mangelware Wasser

Da Abwasser, wie eingangs erwähnt, zu über 99 Prozent aus Wasser besteht, liegt hierin auch die mengenmäßig größte Ressource. Wenngleich in Deutschland Wasser in ausreichender Menge und Qualität verfügbar ist, so bleibt doch die Fragestellung einer Wasserwiederverwendung bestehen, insbesondere vor dem Kontext der lokalen und saisonalen Verfügbarkeit, in der Zukunft verstärkt durch den Klimawandel, aber auch im Hinblick auf die weltweite Verfügbarkeit von Wasser.

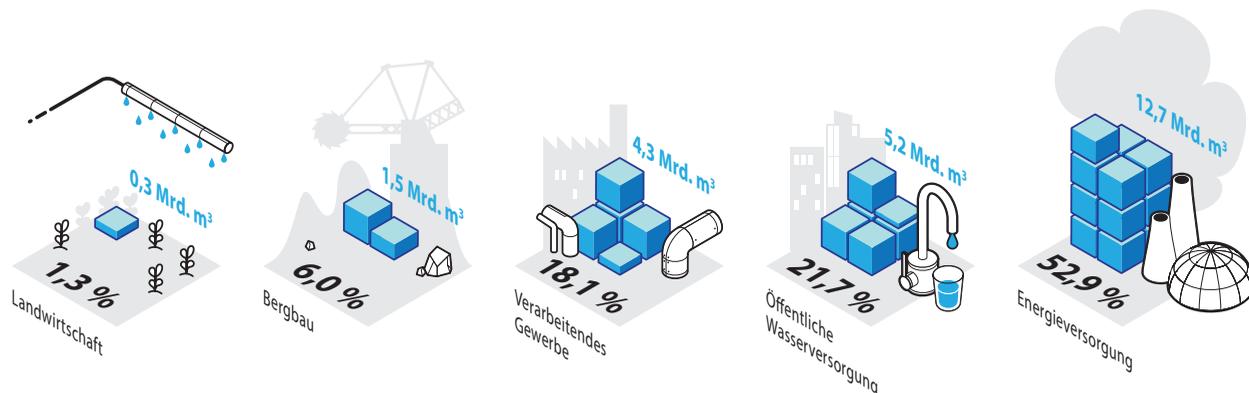
In Verbindung mit einer weitergehenden kommunalen Abwasserbehandlung können zukünftig Verfahrensansätze zur Nutzung des aufbereitenden Abwassers an Bedeutung gewinnen. Einhergehend mit einer Verschiebung von Regenzeiten in den Winter, d. h. außerhalb der Vegetationsperioden, sowie durch den Anbau von Pflanzen zur Bioenergieerzeugung könnte beispielsweise in der Landwirtschaft die Wiederverwendung gebrauchten Wassers auch in Deutschland notwendig werden (vgl. auch DWA 2009).

Abwasser als unterschätzte Nährstoffquelle

Abwasser kann aber noch mehr: So wurde von 1929 bis 2000 mit dem gereinigten aber noch nährstoffhaltigen Wasser aus dem Klärwerk »Gut Großlappen« in München Fischteiche an einem Speichersee betrieben. Damit erfolgte eine direkte Nutzung der noch im Wasser enthaltenen Nährstoffe. Mit der zunehmenden Erweiterung des Klärwerks konnten die Nährstoffkonzentrationen sukzessive vermindert werden, womit auch die Fischzucht unrentabel und im Jahr 2000 eingestellt wurde.

Wer nutzt das Wasser in Deutschland?

Wasserentnahme nach Sektoren /gesamte Wasserentnahme (2016) 24 Mrd. m³



Wasservorräte in Deutschland: 188 Mrd. m³ im langjährigen Mittel
 Weitere Sektoren wie Baugewerbe oder Handel werden aufgrund der niedrigen Entnahmemengen nicht berücksichtigt

Quelle: Statistisches Bundesamt (2016)



Der Speichersee bei Ismaning. In den Fischteichen rechts züchtete die Stadt im gereinigten, aber noch nährstoffhaltigen Abwasser Karpfen. Durch die Optimierung des Klärprozesses wurden im Laufe der Jahre immer weniger Nährstoffe eingeleitet: Die Fischzucht wurde unrentabel.

Bis dahin konnten immerhin 200 Tonnen Karpfen pro Jahr geerntet werden.

Am Ende der verschiedenen Reinigungsstufen wird das geklärte Wasser wieder in den natürlichen Wasserkreislauf zurückgeführt. Übrig bleibt der Klärschlamm. Darin befinden sich große Mengen an Schadstoffen aber auch wichtige Nährstoffe, wie Stickstoff, Phosphor oder Kalium. Aus diesem Grund ist der Umgang mit Klärschlamm Auslöser zahlreicher kontrovers geführter Debatten zur landwirtschaftlichen Klärschlammnutzung.

Seit 1998 wird der bei der Abwasserbehandlung anfallende Klärschlamm der beiden Münchner Klärwerke überwiegend am Klärwerk Gut Großlappen thermisch in einer Monoklärschlammverbrennungsanlage verwertet (ca. 22 000 Tonnen Klärschlamm pro Jahr), womit alle im Klärschlamm enthaltenen Schadstoffe dem Kreislauf entzogen werden. Mit Inkrafttreten der novellierten *Klärschlammverordnung* 2017 (AbfKlärV 2017) wurden einerseits die Grenzwerte für eine bodenbezogene Klärschlammverwertung verschärft und andererseits eine Rückgewinnungspflicht von Phosphor aus Klärschlämmen eingeführt. Mit einer Übergangspflicht von maximal 15 Jahren müssen Kläranlagen für Orte mit mehr als 50 000 Einwohnern entsprechend aufgerüstet werden (vgl. auch *UniBwM* 2020). Die Stadt München plant daher eine neue Klärschlammverbrennungsanlage am Klärwerk Gut Großlappen.

Phosphor ist ein begrenzter, lebensnotwendiger Rohstoff, welcher durch kein anderes Element ersetzt werden kann. Hauptanwendungsgebiet bildet die Düngemittelindustrie bzw. die Landwirtschaft. Das Element wird während der Abwasserbehandlung durch biologische sowie chemisch-physikalische Verfahren (Fällung) in den Klärschlamm eingebunden. Um den Phosphor rückzugewinnen stehen für die verschiedenen Stationen der Abwasserbehandlung (Abwasser, Klärschlamm oder Klärschlammasche) jeweils eigene Technologien zur Verfügung. Grundsätzlich müssen die Nährstoffe von den Schadstoffen getrennt werden (vgl. Schaum 2018).

Als weiteres Element kann Stickstoff in verschiedenen Verbindungen vorliegen. Es gelangt über den Harnstoff und Eiweiße aus Fäzes ins Abwasser. In der Landwirtschaft wird Stickstoff zur Düngemittelproduktion verwendet, wofür dieser mit einem hohen Energieaufwand aus der Luft gewonnen werden muss. Hier könnte der im Abwasser bzw. im Klärschlamm enthaltene Stickstoff eine Alternative sein, sofern dieser sich mit geringerem Energieeinsatz (landwirtschaftlich) verwerten lässt.

Vom Klärwerk zum Kraftwerk

Einhergehend mit dem Ziel, die Energiewende in Deutschland zu schaffen, wird der Strommarkt zukünftig von erneuerbaren Energien, vor allem von Wind und Photovoltaik dominiert werden. Deren Stromerzeugung fluktuiert stark. Ergänzend

müssen Flexibilitätstechnologien bereitgestellt werden. Hier können Kläranlagen einen wichtigen Beitrag leisten. Sie haben das Potenzial, kurzfristige Bedarfsschwankungen in beachtlichem Umfang auszugleichen: Durch effizientere Antriebe und optimierte Eigenerzeugung des Energieangebots können Kläranlagen von Konsumenten zu Erzeugern werden. Beispielsweise lässt sich durch eine flexible Stromerzeugung mit räumlich und zeitlich entkoppelten Energiespeichern das Potenzial in der Praxis deutlicher erhöhen, ohne dass der Hauptauftrag der Abwasserbehandlung gefährdet wird. Daneben kann durch den Einsatz von sogenannten Co-Substraten, wie z.B. organische Reststoffe aus der Lebensmittelindustrie, gezielt die Faulgas-erzeugung gesteuert werden, so dass Co-Substrate als Speicher von chemisch gebundener Energie fungieren. Die Faulung als wichtiger Bestandteil der Klärschlammbehandlung kann zudem als Wärmespeicher betrieben werden und so saisonale Schwankungen ausgleichen (Hubert et al. 2019).

Für die Abwasserbehandlung bedeutet dies, zukünftig den Einsatz von Energie zu minimieren und gleichzeitig die im Abwasser enthaltene Energie zu nutzen – auch wenn durch zusätzliche Verfahrenstechniken zur Elimination von Mikro-schadstoffen oder auch zur Desinfektion der Energieverbrauch steigt. Neben der Nutzung der in den Kohlenstoffverbindungen gespeicherten Energie gilt es dabei auch, die im Abwasser enthaltene thermische Energie zu nutzen.

Auf den beiden Münchner Klärwerken wird der während der Abwasserbehandlung anfallende Klärschlamm mittels Faulung stabilisiert. Hierbei erzeugen beide Klärwerke stündlich eine Faulgasmenge von etwa 2700 Kubikmeter pro Stunde. In Blockheizkraftwerken wird dieses Gas zu Strom und Wärme umgewandelt. Bei einem durchschnittlichen Methangehalt von ca. 60 bis 70 Prozent könnten ohne Eigennutzung der Kläranlage somit im Jahr 35 000 bis 42 000 Vierpersonenhau-

halte (ca. 4000 Kilowattstunden) mit Strom versorgt werden. Der produzierte Strom auf den Klärwerken wird derzeit vollständig im Betrieb verwendet und deckt einen großen Anteil des gesamten Energiebedarfs. Um künftig die Eigenversorgung mit Strom zu erhöhen, wurde auf einer Erweiterungsfläche am Klärwerk Gut Marienhof eine Photovoltaik-Freiflächenanlage (PV-Park) realisiert. Zukünftig soll mit der Eigenstromerzeugung aus Blockheizkraftwerk, Dampfturbine der Monoklärschlammverbrennungsanlage und PV-Park eine weitgehende Bedarfsdeckung an elektrischer Energie der beiden Münchner Klärwerke erfolgen.

Perspektiven der Abwasserbehandlung

Heutige Abwasserbehandlungsanlagen gehen weit über das verbreitete Bild von Kläranlagen als technischen Anlagen zum Klären von Abwasser hinaus. Mit der Zusammenführung von Gesundheits-, Gewässer- und Ressourcenschutz wird die Abwasserbehandlungsanlage zum (System-)Dienstleister – zur Water Resource Recovery Facility. Sie übernimmt dabei u.a. folgende Aufgaben:

Hygiene und Gewässerschutz

Sicherstellung der Abwasserableitung (Hygiene) aus den Siedlungsstrukturen und weitergehende Abwasserbehandlung zum Schutz der Gewässer.

Ressourcenschutz als Produzent

Bereitstellung von Wasser (Wasserwiederverwendung) und Düngemittel, vor allem Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser bzw. Klärschlamm.

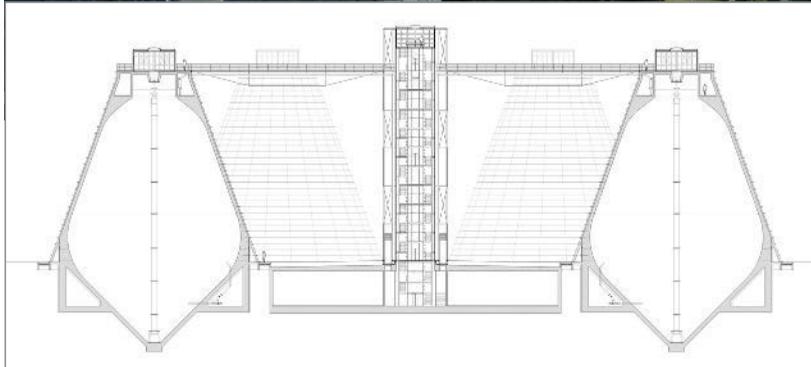
Ressourcenschutz als Energiesystemdienstleister

Interaktion der Abwasserbehandlungsanlage mit der Energiewirtschaft als Energieverbraucher, -erzeuger und -speicher, womit ein Beitrag zur Energiewende geleistet werden kann. ■■

Phosphor – Fluch und Segen eines Rohstoffs

Entdeckt wurde Phosphor 1669 durch den Hamburger Alchemisten Henning Brand auf der Suche nach dem Stein des Weisen. Durch das Erhitzen von Urinrückständen mit Sand und Kohle entstand eine leuchtende blassgrüne Substanz, welche er nach dem griechischen Wort für Lichtträger benannte. Phosphor ist lebensnotwendig für alle Organismen. Er ist neben Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff einer der lebensnotwendigen Bestandteile der DNA und kann durch kein anderes Element ersetzt werden. In der Landwirtschaft hat Phosphor als Düngemittel eine essentielle Bedeutung. Phosphor wird aber auch industriell eingesetzt bis hin als Kampfstoff. Deutschland verfügt über keine eigenen Phosphorlagerstätten. Der Inlandsabsatz phosphathaltiger Düngemittel betrug 2019/2020 rd. 250 000 Tonnen Phosphat (P_2O_5). Die größten Phosphorlagerstätten befinden sich in Marokko und der Westsahara, wobei China, USA und Russland ebenfalls über Phosphorvorräte verfügen. Die Phosphorlagerstätten sind endlich, Rohphosphat kann verunreinigt sein und der Abbau ist mit sehr negativen ökologischen Auswirkungen verbunden.

Der Mensch scheidet täglich 1,8 g Phosphor aus. Dieser gelangt über das Abwasser zur Kläranlage, wo zum Schutz des Gewässers eine Abtrennung über den Klärschlamm erfolgt. Klärschlamm ist damit eine Phosphorressource der Zukunft. Als eines der ersten Länder weltweit hat Deutschland mit der 2017 novellierten Klärschlammverordnung eine Rückgewinnungspflicht von Phosphor aus Klärschlamm ab dem Jahr 2029/2032 eingeführt. Durch die Phosphorrückgewinnung aus Abwasser/Klärschlamm können damit etwa 40 Prozent des importierten Phosphors substituiert werden. Der im Klärschlamm gebundene Phosphor kann direkt aus dem Klärschlamm oder auch nach einer Verbrennung aus der Klärschlammasche separiert werden. In den vergangenen Jahren wurden dazu diverse Verfahren entwickelt, die es nun gilt, großtechnisch zu realisieren.



In vier Faulbehältern wird der Münchner Klärschlamm behandelt: Der auf 37 °C erwärmte Klärschlamm verweilt in den Faulbehältern bis zu 24 Tage. Dort zersetzen mesophile Bakterien die im Klärschlamm enthaltenen organischen Reststoffe. Dabei entsteht Methan, das zur Stromerzeugung verwendet wird. Links ein Blick in das Innere der Behälter.

Zum Weiterlesen

J. Bähr und P. Erker, *NetzWerke. Die Geschichte der Stadtwerke München*. München 2017

P. Cornel, C. Schaum, *Stand der Maßnahmen für den Gewässerschutz und Ausblick in Deutschland*. In: *Wiener Mitteilungen*, Band 226, Wien 2012

DIN EN 1085, *Abwasserbehandlung – Wörterbuch*, Berlin

DWA, *Aufbereitungsstufen für die Wasserwiederverwendung*. In: *DWA-Themen*, Hennef 2009

C. Hubert, B. Steiniger, C. Schaum, M. Michel und M. Spallek, *Variation of the digester temperature in the annual cycle – using the digester as heat storage*. in: *Water Practice and Technology* 14(2), 471-81, 2019

PLASTRAT, *Lösungsstrategien zur Verminderung von Einträgen von urbanem Plastik in limnische Systeme*. In: *PLASTRAT – Synthesericht; Mitteilungen* / Institut für Wasserwesen, Nr. 134; <https://athene-forschung.unibw.de/doc/137063/137063.pdf>, 2021

C. Schaum, *Abwasserbehandlung der Zukunft: Gesundheits-, Gewässer- und Ressourcenschutz*. Habilitation. Schriftenreihe IWAR 233, 2016

C. Schaum in: Christian Schaum (Hrsg.), *Phosphorus: Polluter and Resource of the Future: Removal and Recovery from Wastewater*. In: *IWA-Publishing*, London 2018.

The Millennium Development Goals Report, United Nations, New York 2012

UniBwM, *Phosphorrückgewinnung bei der Abwasserbehandlung*. In: *Mitteilungen* / Institut für Wasserwesen – Heft 130; <https://athene-forschung.unibw.de/doc/133783/133783.pdf>

Gesetze und Verordnungen

Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts: Wasserhaushaltsgesetz, WHG, 2009

Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. WRRL 2000

Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost (Klärschlammverordnung - Abf-KlärV), 27. September 2017, Berlin.

Die Autoren bedanken sich bei der Münchner Stadtentwässerung für die freundliche Bereitstellung von Informationen und Bildmaterial.



Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Schaum

Der Universitätsprofessor leitet die Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität der Bundeswehr München.



Sebastian Chalupczok M. Eng.

ist Zukunftsforscher an der Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität der Bundeswehr München.

Kohle als Saubermacher

Mit der Industrialisierung wurde Mitte des 19. Jahrhunderts die Frage nach einer gründlichen Reinigung der Abwässer immer dringlicher. Es gab dazu zahlreiche Vorschläge und Erfindungen. Die beste Wirkung erzielte man schließlich mit Hilfe von Braunkohle. Von Moritz Heber

Unter den frühen Zugängen der Sammlung des Deutschen Museums befindet sich das Modell einer Kläranlage nach dem Kohlebreiverfahren von Rothe-Degener. Themen wie Wasserversorgung (und Abwasser-Entsorgung) oder Wohnbau waren schon Teil der provisorischen Ausstellungen im alten Nationalmuseum und der Isarkaserne. Im späteren Sammlungsbau auf der Museumsinsel sollten Bauen, Wohnen und Städte oder Siedlungswesen sogar dreiviertel des zweiten Stockwerks gewidmet werden. Wenig überraschend, bedenkt man, dass zu Beginn des 20. Jahrhunderts zum Beispiel die »Abwasserfrage« noch überall auf der Tagesordnung stand. Denn noch immer gab es damals Flüsse, die zeitgenössischen Berichten zu Folge nicht oder kaum von Schmutzwasserkanälen zu unterscheiden waren und eine »faulende, gärende Masse« darstellten.

Wie war es soweit gekommen? Jahrhundertlang wurden Fäkalien und Unrat in Jauchegruben aufgefangen, wobei flüssige Anteile im Boden versickerten und feste Anteile in der Regel als Dünger auf Feldern ausgebracht wurden. Teilweise wurden Fäkalien auch in Flüsse eingeleitet, was bis zu einer gewissen Menge mit den Selbstreinigungskräften von Gewässern vereinbar ist. Die Einführung des Wasserklosetts, zunächst in England um 1810, setzte den Jauchegruben ein Ende – sie liefen einfach zu schnell voll. Wo es bereits eine Stadtentwässerung gab (in der Regel zur Ableitung von Regenwasser) wurden die häuslichen Abwässer direkt in die Kanalisation eingeleitet. Dort wo sie fehlte, wurde schleunigst mit Ihrem Bau begonnen, wollte man die unhaltbaren Zustände auf den Straßen in den Griff kriegen

Das hatte zwei unmittelbare Konsequenzen: Mit der Kanalisation wurden die Fäkalien »ungenutzt« fortgeschwemmt, da sie aufgrund der starken Verdünnung nicht mehr als Dünger zu verwenden waren. Und: Die Selbstreinigungskräfte der Flüsse wurden durch die großen Mengen an Abwasser natürlich auch um ein Vielfaches überstiegen. Trotzdem wurde lange an dem Grundsatz festgehalten »the solution to pollution is dilution«: Die »Lösung« sei die starke Verdünnung des Abwassers durch Einleitung in die Gewässer.

Zu den häuslichen Abwässern kamen immer mehr gewerbliche Abwässer hinzu: Schlachthäuser, Gerbereien, Färbereien, Papierfabriken und Druckereien, chemische Industrie und natürlich auch der Bergbau – alle leiteten das schmutzige Wasser und damit sämtliche Problemstoffe in die umliegenden Ge-

wässer. Auch Molkereien, Brauereien und Zuckerfabriken verschmutzten die Flüsse. Bei den letztgenannten Betrieben ist der sehr hohe Anteil organischer Substanzen im Abwasser problematisch. Denn diese sind Nährstoff für alle Arten von Mikroorganismen, die den Gewässern Sauerstoff entziehen und noch dazu übelriechenden Schwefelwasserstoff produzieren. Solche Abwässer gehen also schnell in Fäulnis über und waren Quelle einer heute kaum vorstellbaren Belästigung. Einer zeitgenössischen Schätzung zufolge lieferte eine einzige mittelgroße Zuckerfabrik täglich so viel Abwasser (Wasser vom Rübenwaschen und Kondenswasser vom Einkochen) wie eine Stadt mit 20 000 Einwohnern!

Auf diese Weise waren Mitte des 19. Jahrhunderts viele Flüsse in Europa zu einer faulenden, gärenden Brühe geworden und die ungeklärte Einleitung von Abwässern war keine akzeptable Lösung mehr. Zunächst ging man dazu über, die Abwässer vor die Tore der Stadt zu leiten und dort auf sogenannten Rieselfeldern auszubringen, nach dem Prinzip der alten Jauchegruben, bei denen der Boden für eine Filtration sorgte. Der Flächenbedarf für die Abwässer einer Großstadt war allerdings enorm und angesichts stetig wachsender Städte zeichnete sich schon bald die Notwendigkeit ab, andere Wege zur Reinigung von Abwässern zu finden.

Der nächste Schritt war die Einführung von großen Klärbecken, in denen die im Abwasser enthaltenen Schwebstoffe absinken. Das derart lediglich vorgeklärte Abwasser musste natürlich noch durch Chemikalien wie Chlorkalk oder andere Stoffe behandelt werden, bevor es in Flüsse eingeleitet werden konnte. Der Klärschlamm vom Grund des Beckens wurde ausgehoben und als Dünger verwendet. Trotzdem ließen sich diese Anlagen selten rentabel betreiben und die ungeheure Geruchsbelästigung durch das in den Becken faulende Wasser war genauso unerträglich wie bei den Rieselfeldern.

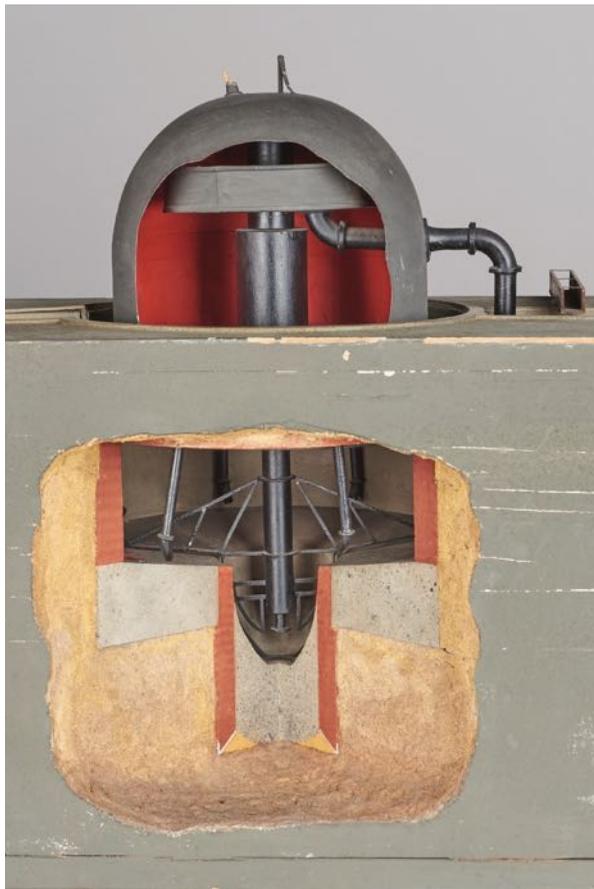
Ideen für klares Wasser

Im Jahr 1883 erhielt Carl Heinrich Röckner das Patent auf eine neue Art von Kläranlage, die in einem kontinuierlichen Prozess Schwebstoffe aus dem Abwasser filtern konnte. Leider liefern biografische Lexika keinerlei Hinweise auf seine Person, außer einem Eintrag in der Deutschen Nationalbibliothek für einen gewissen Harry Röckner, Ingenieur als Berlin. Interessanterweise nennt die Patentschrift (No. 26266) aber nicht Berlin,

Das »Kohlebreiverfahren« als Modell



Oben im Bild ist das Modell einer Abwasserkläranlage nach dem Kohlebreiverfahren von Degener und Rothe, Baujahr um 1900 zu sehen: Das Abwasser fließt von links durch einen Kanal mit zahlreichen Einbauten, durch die die Strömung ständig umgelenkt wird. Hier findet die innige Durchmischung mit Kohle und Eisensulfat statt, die über zwei hölzerne Rinnen zugeführt werden. In der Mitte befindet sich das Kernstück der Kläranlage: ein zylinderförmiger Turm. Rechts davon ein weiterer Kanal, durch den das gereinigte Wasser abläuft, wobei hier noch Chlorkalk zur Desinfektion zugegeben werden kann.



Links die Detailansicht des »Röckner-Turms« im Schnitt: Der Turm oder bildlich gesprochen die »Glocke« aus Stahl taucht am unteren Ende vollständig in das Abwasser ein. Am oberen Ende wird mit einer Luftpumpe die Luft abgesaugt, sodass ein Vakuum entsteht. Das Abwasser wird nun über Rohre von unten in die Glocke geleitet und steigt dort aufgrund des Unterdrucks nach oben (weit über den Wasserspiegel in den offenen Kanälen), bis es den Überlauf erreicht und wieder aus der Glocke herausgeleitet wird.

Sobald das Wasser am unteren Ende des Überlaufrohrs ausströmt, arbeitet der Überlauf wie ein hydraulischer Heber (Siphon), so dass ohne weiteres Zutun permanent Abwasser von unten in die Glocke »hineingesaugt« wird. Die Vakuum-Pumpe muss jetzt nur noch schleichende Druckverluste ausgleichen und dafür täglich für kurze Zeit laufen. Dabei werden aus dem Abwasser entweichende Gase (Schwefelwasserstoff, Methan etc.) abgesaugt und verbrannt.

Während das Abwasser in der Glocke langsam nach oben steigt, sinken Schwebstoffe nach unten und bilden einen sogenannten Filterkuchen, durch den das »frische« Abwasser hindurchströmen muss. Durch den schon vorhandenen Filterkuchen werden die Schwebstoffe im Abwasser noch besser zurückgehalten, doch irgendwann ist diese Filterschicht natürlich zu dick und undurchdringlich: Dann wird dieser Schlamm über ein Rohr am tiefsten Punkt abgesaugt. Mit einem rotierenden Rechen wird der Schlamm in den Pumpensumpf der Anlage geschoben.

sondern Newcastle upon Tyne als Wohnort – ein Hinweis auf die Tatsache, dass die Abwasserfrage als direkte Folge der Industrialisierung naturgemäß in England viel früher zum Thema geworden war. Sehr wahrscheinlich hat Herr Röckner seine Anlage also in England entwickelt und erprobt.

Gebaut wurden diese Kläranlagen von der Maschinenfabrik Wilhelm Rothe & Comp. in der Stadt Güsten in Anhalt und daher auch zunächst »System Röckner-Rothe« genannt. Auch

über Wilhelm Rothe und seinen Sohn Franz Rothe ist leider wenig bekannt. Anders verhält es sich mit Paul Degener, der die entscheidende Verbesserung des vorgenannten Systems beisteuerte, in dessen Folge dann nur noch vom »Rothe-Degener'schen Kohlebreiverfahren« die Rede war.

Degener wurde 1851 in Braunschweig geboren, studierte zunächst in Göttingen Chemie und wurde 1878 in Leipzig promoviert. Im gleichen Jahr begann er ein Volontari-

at in der Zuckerfabrik in Volkstedt und kurz darauf, 1880, im Alter von 29 Jahren, leitete er das Laboratorium des Vereins für die Zuckerindustrie des Deutschen Reiches in Berlin. Wenig überraschend musste er sich in der Rolle des Chef-Chemikers der deutschen Zuckerindustrie natürlich auch mit der Abwasserfrage beschäftigen. Nach einer jahrelangen wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit seinem Vorgänger und Gründer des Laboratoriums, Carl Scheibler, der ihn innerhalb des Vereins völlig diskreditierte, musste er 1887 sein Amt jedoch niederlegen und kehrte nach Braunschweig zurück. Nach eigener Aussage trat er auf Veranlassung »des um die Abwasserfrage so hoch verdienten Ingenieurs W. Rothe der Klärfrage im Jahr 1893 wieder näher«.



Paul Degener (1851–1901),
Aufnahme ca. 1885

Gegenüber den Klärbecken, die ebenfalls auf dem Prinzip der Sedimentierung der Schwebstoffe basieren, hatte das System Röckner-Rothe mehrere Vorteile: Erstens war die Abscheideleistung der Schwebstoffe deutlich höher (aufgrund des umseitig beschriebenen Filterkuchens), außerdem arbeitete die Anlage völlig geruchslos und kontinuierlich, wobei deutlich weniger Platz benötigt wurde. 1885 waren bereits mehrere kleine Anlagen in Betrieb (darunter Brauereien in Dortmund und Braunschweig) und die Stadt Essen mit ihren 65 000 Einwohnern hatte gerade beschlossen eine Pilotanlage zu errichten. Aber das System hatte, genau wie die Klärbecken, eine grundsätzliche Schwäche: Trotz Zugabe verschiedenster Chemikalien zu Beginn des Prozesses wurden nur die ungelösten Schwebstoffe im Abwasser entfernt, jedoch nicht die gelösten Stoffe. Das Abwasser war also nicht gründlich gereinigt und immer noch fäulnisfähig, sofern es nicht im Nachgang mit weiteren Chemikalien behandelt wurde. Damit schien sich Wilhelm Rothe nicht zufrieden geben zu wollen, obwohl zu dieser Zeit kein Weg bekannt war, gelöste organische Substanzen aus einer Flüssigkeit abzuscheiden.

Eine epochale Erkenntnis

Rothe suchte Hilfe bei Degener, der daraufhin 1893 Bodenproben von Rieselfeldern in Danzig untersuchte, die eine sehr gute Reinigungswirkung erzielten. Er stellte fest, dass der Danziger Boden durchweg mit Braunkohle durchsetzt war und kam im Verlauf seiner Untersuchungen zu dem Schluss, dass die Braunkohle eine »absorbierende« Wirkung auf gelöste Stoffe im Abwasser ausübe. Tatsächlich gelang Degener durch die Beimengung gemahlener Braunkohle und Zugabe von Eisensalz als Fällungsmittel, die gelösten organischen Substanzen in Abwässern um 60 bis 80 Prozent abzusenken, was bis dato für unmöglich gehalten worden war. Sein Kollege William Philipps Dunbar aus Hamburg, dessen Standard-Werk *Leitfaden für die*

Abwasserreinigungsfrage bis 1954 verlegt wurde, bezeichnete diese Erkenntnis 1907 als »epochemachend«.

Aber es war nicht alleine die hohe Reinigungswirkung, die dem Kohlebrei-Verfahren eine glänzende Zukunft bescherte: Da der Schlamm aus den Röckner-Türmen im Gegensatz zu den Klärbecken nicht in Fäulnis überging, enthielt er viel höhere Anteile an organischem Stickoxyden und Phosphor (sowie Humus aus der Braunkohle), so dass er hervorragend als Dünger geeignet war. Wenigstens jedoch sollte es möglich sein, den Klärschlamm nach gründlicher Trocknung als Brennmaterial zu verwenden. Schließlich enthielt der Klärschlamm neben der zugesetzten Braunkohle ja auch das Fett und die organische Materie aus dem Abwasser. Degener rechnete mit

dem Dreifachen an Trockenschlamm gegenüber der zugesetzten Braunkohle. Die Reststoffe der Abwasserreinigung sollten also endlich einen rentablen Betrieb der Anlagen ermöglichen!

Von dieser Vorstellung angespornt, entstanden in kurzer Zeit zahlreiche Anlagen in und um Berlin, darunter Potsdam, Tegel, Köpenick, Spandau, Oberschöneweide und Reinickendorf, außerdem in Elbing, Uchtsprunge, Sülzhayn und Soest. Der Chemiker Proskauer, der mit Robert Koch am Preußischen Institut für Infektionskrankheiten in Berlin arbeitete, führte in der Anlage in Potsdam im Auftrag der Stadt Berlin zwei Jahre lang Untersuchungen durch und kam zu dem Schluss, das Kohlebreiverfahren »nach jeder Richtung hin als einen bedeutenden Fortschritt auf dem Gebiet der Abwasserreinigung« zu bezeichnen. Wenngleich der Reinigungseffekt in chemischer Beziehung als sehr hoch angesehen wurde und die anschließende Desinfektion aufgrund der hohen Reinheit mit sehr geringen Mengen Chlorkalk ausgeführt werden konnte, stellte sich im Betrieb jedoch nicht die erhoffte Rentabilität ein.

Dunbar zufolge waren nur 10 bis 30 Prozent des Heizwertes auf die niedergeschlagenen Schmutzstoffe zurückzuführen, also weit weniger als von Degener prognostiziert. Außerdem sei das Trocknen des Klärschlammes und anschließende Formen zu Briketts mit hohem Arbeitsaufwand verbunden gewesen, der sich nicht rechnete. Um diesen Prozess zu optimieren, wurde überlegt, den Schlamm stattdessen zu vergasen. Es scheint aber nur eine einzige Anlage dieser Art realisiert worden zu sein (in Elbing, heute Elblag, Polen). Außerdem kann davon ausgegangen werden, dass die Kohlesteuer von 1917 und die Hyperinflation der 1920er Jahre die Kalkulation negativ beeinflusst haben. Aus einer Publikation über die Berliner Stadtentwässerung von 1928 geht hervor, dass die Kläranlage in Tegel wegen mangelnder Reinigungswirkung stillgelegt worden war. Das kann eigentlich nur bedeuten, dass sie aus Kostengründen mit zu wenig Kohle betrieben worden war.

Konkurrenz aus England

Der bereits erwähnte zeitgenössische Experte auf dem Gebiet der Abwasserreinigung, William Philipps Dunbar, ging 1907 davon aus, dass das Kohlebreiverfahren in Bezug auf Betriebssicherheit und Kosten nicht mit den künstlich-biologischen Verfahren mithalten könne, die sich im gleichen Zeitraum, ausgehend von England, entwickelt hatten. Damit hatte er im Prinzip Recht, denn noch heute werden kommunale Abwässer in der Regel nach diesem Prinzip geklärt. Für industrielle oder andere stark kontaminierte Abwässer, wie zum Beispiel das Sickerwasser von Mülldeponien, kommen aber auch heute noch Aktivkohle-Verfahren zum Einsatz! So urteilte auch Dunbar, dass sich wohl Nischenanwendungen für das Kohlebreiverfahren finden könnten. Jedoch hauptsächlich da es vom »wissenschaftlichen Standpunkt« her so interessant sei, widmete er dem Verfahren in seinem Standardwerk mehr als eine Randnotiz.

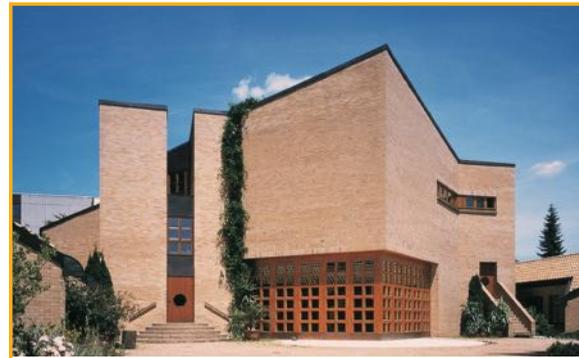
Der wissenschaftliche Standpunkt jener Zeit wirft tatsächlich ein letztes Fragezeichen auf: Degener verfolgte mit seinem Verfahren das Ziel, die Reinigungswirkung der »Ackerkrume« von Rieselfeldern in einem kontinuierlichen, künstlichen Prozess zu imitieren und war damit erfolgreich. Aus heutiger Perspektive verwundert dieser gedankliche Umweg auf dem Weg, die gelösten organischen Stoffe aus dem Abwasser auszuschleiden, denn die absorbierende Wirkung von Holzkohle war schon seit über 100 Jahren bekannt!

Der deutsch-russische Chemiker Johann Tobias Lowitz hatte schon 1785 bei seinen Untersuchungen festgestellt, dass Holzkohle Schadstoffe aus Wasser absorbieren kann und publizierte dies in seinem Buch mit dem vielsagendem Titel *Anzeige eines neuen Mittels Wasser auf Seereisen vor dem Verderben zu bewahren und faules Wasser wieder trinkbar zu machen*. Und ausgerechnet bei der Zuckerfabrikation war Kohle (zunächst Holzkohle, später Knochenkohle) ein wichtiger Baustein zur Entfärbung der Melasse. Degener musste also prinzipiell um die absorbierende Wirkung von Kohle gewusst haben, aber weder er noch irgendein anderer Chemiker seiner Zeit waren im Zusammenhang mit der Reinigung von Abwässern auf die Idee gekommen, Holzkohle zu verwenden.

Degener führte in einem Vortrag 1899 aus, wenn er einen Verdienst beanspruchen könne, dann »die durch [Julius Richard] Petri in Misskredit gekommene Absorptionswirkung der Klärtechnik wieder zugänglich gemacht zu haben« (Julius R. Petri ist der deutsche Chemiker, nach dem die Petrischale benannt ist). Ein Hinweis darauf, dass Absorption durch (Holz-) Kohle zu jener Zeit noch umstritten war. Heute ist Aktivkohle aus zahlreichen Prozessen – auch aus der Abwasserreinigung – nicht mehr wegzudenken. ■■



Moritz Heber hat Maschinenbau studiert und betreut als Kurator für Bauwesen und Haustechnik am Deutschen Museum eine Sammlung, die von der Mikrowelle bis zur Wasserleitung und von der Dampfwalze bis zum Dachziegel reicht.



Unsere Schule

ein unbequemer –
fröhlicher Ort



- Weil wir uns verpflichten, einander zu respektieren.
- Weil gegenseitiges Vertrauen stark macht.
- Weil alle ermutigt werden, die Freiheit des Einzelnen in unserer Gemeinschaft zu schützen.
- Weil junge Menschen sich selbst entdecken, ihre Gaben und Fähigkeiten entfalten.
- Weil wir den Widerspruch erwarten.
- Weil alle ermutigt werden, Bindungen einzugehen und Verpflichtungen wahrzunehmen.
- Weil uns Fehler helfen, Stärken weiterzuentwickeln.
- Weil wir im Interesse unserer Schüler auch dem Missbrauch von Macht und Einfluss entgegentreten.
- Weil wir den Mut haben, miteinander fröhlich zu sein.



www.derksen-gym.de



**ELTERNINFORMATIONSBENDE
für die 5. Klasse 2022/2023
am Montag, 15. November 2021, 19 Uhr
und Dienstag, 25. Januar 2022, 19 Uhr.
Intensive Beratung und Vorbereitung auf den
Übertritt ins Gymnasium.**

60 JAHRE



SEIT 1959

KLEINES PRIVATES LEHRINSTITUT

DERKSEN

GYMNASIUM

SPRACHLICH • NATURWISS.-TECHNOLOG.
STAATL. ANERKANT • GEMEINN. GMBH

Pfingstrosenstraße 73 • 81377 München
Telefon 089/780707-0 • Fax 089/780707-10

»Receptaculum omnium purgamentorum urbis«



Als »Gefäß für sämtlichen Unrat der Stadt« bezeichnete der römische Geschichtsschreiber Titus Livius (59 v. u. Z.–17 n. u. Z.) die Cloaca Maxima. Noch heute ist der älteste Abwasserkanal Roms in Benutzung. von Hannah Schnorbusch

Was die öffentliche Infrastruktur angeht, so ist man in Rom Kummer gewohnt. Seit fast 15 Jahren baut man in der Ewigen Stadt nun beispielsweise schon an der dritten U-Bahnlinie herum – ein Ende ist nicht in Sicht. Ein ähnlich langwieriges Projekt begannen die Römer im 6. Jh. v. u. Z. während der Regierungszeit des Königs Tarquinius Priscus, wie Plinius schreibt (Plin. nat. 36,24) oder auch des Tarquinius Superbus, wie Livius und Dionysios Halicarnasseus berichten (Liv. I,38,6; Dion. Hal. ant. 3,67,5; 4,44,1). Um den Überschwemmungen auf dem Gebiet des Forums, das in der Talsenke zwischen Kapitol, Palatin

und Esquilin liegt, Herr zu werden, legte man einen Kanal an, der später als eines der wichtigsten Bauprojekte überhaupt in die Geschichte eingehen sollte: die Cloaca Maxima.

Der zunächst unüberdachte Kanal aus massivem Tuffstein verlief in Nord-Süd-Richtung über das Forum und leitete das überschüssige Wasser in den Tiber bzw. in dessen Nebenarme. Zu Beginn des 2. Jh. v. u. Z. wurde der Kanal, vielleicht im Rahmen des Baus der Basilika Aemilia (179 v. u. Z.) überwölbt und verlief fortan unterirdisch. In den literarischen Quellen werden außerdem besonders die Baumaßnahmen unter Agrippa her-

Bild links: Übermannshoch sind die Kanäle der Cloaca Maxima.

Bild rechts oben: Das Gemälde des dänischen Malers C. Eckerberg zeigt einen Ausfluss des Kanals.

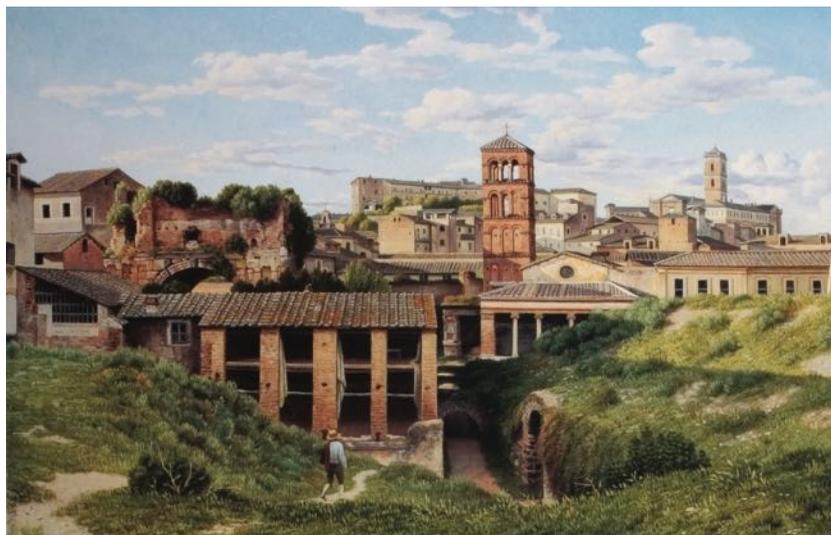
Bild rechts unten: Der Legende nach wurde der Heilige Sebastian nach seiner Ermordung in die Cloaca Maxima geworfen (Gemälde von L. Carracci).

vorgehoben, der im Jahr 33 v. u. Z. das Amt des Ädilen innehatte. Deutlich imposanter wirken heute zweifellos die Modifikationen der domitianischen Zeit, in der Kanalhöhen und -breiten von bis zu 3,5 Metern erreicht wurden. Der ursprüngliche Verlauf der Cloaca Maxima lässt sich heute archäologisch nicht ganz einfach fassen, es überlagern sich verschiedenste Baumaterialien (Tuffquader, Travertinblöcke, opus caementitium, Ziegelmauerwerk) und -techniken aus diversen Umbauten, Erweiterungen und Renovierungen vieler Jahrhunderte. Der Verlauf des ältesten Abschnitts wird indes beginnend beim späteren Nervaforum, vorbei an der Westseite der Basilika Aemilia und der Ostseite der Basilika Iulia, unter dem Velabrum hindurch bis zum Forum Boarium, rekonstruiert. Nahe des Ponto Rotto, den Überresten der antiken Brücke Pons Aemilius, mündete die Leitung schließlich in den Tiber. Noch heute markiert der bogenförmig gefasste Ausgang des Kanals aus Gabina-Stein den antiken Ausfluss (siehe Abbildung rechts oben).

Abgesehen von ihrer Funktion als Entwässerungssystem für die sumpfigen Bereiche der Innenstadt, diente die Cloaca Maxima – und damit nähern wir uns nun endlich dem, was wir heute unter »Kloake« verstehen – der allgemeinen Entsorgung von Abwässern und Abfällen diverser Art.

Titus Livius (59 v. u. Z.–17 n. u. Z.) nennt die Cloaca Maxima »receptaculum omnium purgamentorum urbis«, also »Gefäß für allen Unrat der Hauptstadt« (Liv. I,56,2). Die Kanäle waren in erster Linie für die Entsorgung flüssiger Abfälle gedacht, Abflussgitter sollten dafür sorgen, dass keine größeren Gegenstände hineingelangen. Die festen Abfallstoffe müssen von den Gruben und Sammelpunkten in der Stadt und von größeren innerstädtischen Zwischendeponien regelmäßig auf außerstädtische Halden gebracht worden sein. Einige dieser großen Mülldeponien sind inzwischen untersucht, so zum Beispiel in Pompeji, Augustodunum, Baelo Claudia, Tarraco, etc. Wiederverwendbare Gegenstände wurden recycelt, organische Abfälle und Exkrememente nutzte man zum Düngen und Gerben.

Generell scheinen die Abfallstoffe allerdings nicht immer »ordnungsgemäß« getrennt worden zu sein: In den Senkgruben landeten genauso Exkrememente, wie in den Abwasserkanälen aller möglicher anderer Müll. Archäologische Funde aus Abwasserkanälen in Apameia und York, die mit der Cloaca Maxima gut vergleichbar sind, belegen die Entsorgung von Keramik, Glas, Metallgegenständen, Spielsteinen, Haustierknochen, Nahrungspflanzen etc. in den Abwasserrinnen. Was nicht mehr gebraucht wurde, warf man offensichtlich mit Vorliebe einfach in den Kanal. Daher verwundert es auch nicht, dass sich an den Kanalrinnen auf dem Forum die sogenannten canalicolae, also das »Kanalvolk«, sammelten, Bedürftige, die nach brauchbaren Gegenständen suchten (Festus, Gloss. Lat. 50). Sogar von der



Entsorgung von Leichen in den Kloaken haben wir Nachricht. So sollte zum Beispiel der Körper Kaiser Elagabals nach seiner Ermordung im Jahr 218 n. u. Z. offenbar in der Cloaca Maxima entsorgt werden, passte aber ärgerlicherweise nicht durch den Gully (Cic. Sest. 77; SHA Gord. tres. 13,8; SHA Elag. 17,1 f. und 33,7). Ähnlich scheint es dem Heiligen Sebastian ergangen zu sein: Nachdem man ihn auf Befehl des Kaisers Diokletian im Circus Maximus erschlagen hatte, soll er ebenfalls in der Cloaca Maxima gelandet sein. Ein paar wackere Christen fischten ihn jedoch wieder heraus und bestatteten ihn schließlich in den Katakomben an der antiken Via Appia– so die Legende. Noch heute steht an der Stelle seines Grabes die Kirche San Sebastiano fuori le mura.

Legal war diese Form der Entsorgung freilich nicht, gegen das Werfen mit Müllgegenständen und Ausgießen von Flüssigkeiten gab es ebenso Gesetze wie gegen das Verschmutzen heiliger Bezirke. Auf das Verunreinigen öffentlicher Brunnen standen hohe Strafen. Die städtischen Behörden bemühten sich darum, die Stadt möglichst sauber zu halten, wie inschriftliche Quellen belegen, die Reinigung der öffentlichen Räume war offiziell geregelt. So wissen wir beispielsweise, dass es Personal für



Gut erhalten ist diese öffentliche Latrine auf dem Ausgrabungsgelände von Ostia Antica, nahe Rom.

Mit einem Stielschwamm säuberte man sich nach dem Stuhlgang.

die Reinigung der Abflüsse gab, und dass die Straßenreinigung auch außerhalb der für den sonstigen Verkehr zugelassenen Tageszeiten verkehren durfte.

Zur Säuberung der Straßen wurde in Rom das Pflaster mit Hilfe des Überlaufwassers aus den Laufbrunnen gespült. Sextus Iulius Frontinus, der Chef der stadtrömischen Wasserversorgung 97–103 n. u. Z., von dem die Schrift *De Aquaductu Urbis Romae* erhalten ist, beschreibt den positiven Effekt des Neubaus von Brunnen auf die Luftqualität (Frontin. Aq. 88). Der Gestank nach Fäkalien und Unrat wurde durch die verstärkte Straßenreinigung offensichtlich merklich reduziert. Um die nassen Straßen trockenen Fußes passieren zu können, spazierten die Fußgänger im Überschwemmungsfall über sogenannte Schrittsteine, größere Steinblöcke, die über dem Niveau der eigentlichen Straße lagen.

Doch woher kam nun das ganze Wasser, das in den Laufbrunnen und Abwasserkanälen landete? Es wurde von Quellen, Flüssen und anderen Gewässern, die zum Teil weit außerhalb Roms lagen, in die Stadt geleitet. Über neun Fernwasserleitungen gelangte im 1. Jh. n. u. Z. bis zu 635 000 m³ pro Tag frisches Trinkwasser nach Rom. Die Aqua Marcia, die Mitte des 2. Jh. v. u. Z. erbaut wurde, leitete das Wasser aus über 90 km Entfernung größtenteils über Freispiegelleitungen aus dem Anienetal nach Rom. In den Tälern half man sich bereits mit kurzen Druckrohrleitungen.



Die Leistung der Römischen Ingenieure kann hier nicht hoch genug eingeschätzt werden. Mit der Expansion der Stadt kamen im Laufe der Zeit immer mehr Wasserleitungen hinzu, bis zu 500 km soll das Netz der Leitungen im 3. Jh. n. u. Z. schließlich gemessen haben. Am Stadtrand angelangt, wurde das Wasser in großen Verteilerbecken, den *Castella Divisorum*, gesammelt. Von dort aus floss es in drei übereinander liegende Leitungen: Die unterste Leitung versorgte die städtischen Brunnen, die mittlere öffentliche Bauten wie Thermen, Circus, Theater, den Palast etc. und die oberste die Privathäuser. Bei niedrigem Wasserstand blieb so die Versorgung der Städtischen Brunnen gewährleistet.

Trotz der großartigen Wasserversorgung, wird das Niveau von Sauberkeit und Hygiene in der brodelnden Metropole Rom gemeinhin überschätzt. Die Kanalnetze dienten in erster Linie der Entwässerung der öffentlichen Plätze und Straßen, während beispielsweise die mehrstöckigen Mietshäuser Roms, die *insulae*, keineswegs an die zentralen Abwasserkanäle angeschlossen waren. Der Eindruck prachtvoller Badeanstalten und Latrinen mit Marmorinkrustation täuscht gerne darüber hinweg, dass das Gros der Bevölkerung seine Exkreme in Senkgruben bzw. im Freien entsorgte.

Zwar waren seit dem Beginn der Kaiserzeit öffentliche Toiletten in unterschiedlicher Dichte und von unterschiedlichem Standard im ganzen Reich verbreitet – für Rom ist für die Spätantike die stolze Zahl von 144 Latrinen und 245 *Necessaria*

überliefert, doch war keineswegs jede öffentliche Latrine jedem zugänglich.

Die meisten öffentlichen Latrinen standen unter der Aufsicht von Latrinenpächtern, den *foricarii*, die für die Benutzung Gebühren erhoben, so dass man davon ausgehen kann, dass die ärmste Bevölkerungsschicht, nicht in den »Genuss« kam, in öffentlichen Latrinen zu defäkieren. Tatsächlich scheint die Art der Ausstattung ein guter Indikator für die soziale Gruppe zu sein, die die Latrine aufsuchte, vereinfacht gesprochen: je reicher die Ausstattung einer Latrine, desto reicher auch der Bürger, der dort seine Notdurft verrichtete.

Dass der Besuch der öffentlichen Latrinen überhaupt als etwas Erstrebenswertes angesehen wurde, mag uns heute durchaus befremdlich erscheinen, waren sie doch weit entfernt von einem »stillen Örtchen«, an dem man in Ruhe sein Geschäft verrichtete. Ganz im Gegenteil handelte es sich um einen Ort der Kommunikation, man saß nebeneinander, wie die Hühner auf der Stange bzw. sich im Halbrund oder in U-Form gegenüber und konnte dem Nachbarn nach einer angeregten Konversation dabei zusehen, wie er sich mit dem Stielschwamm, dem *xylospongium*, den Hintern reinigte. Die Exkremente fielen durch das Loch in den Sitzbänken in den Kanal, der unter den Bänken entlang lief und der in einem kontinuierlichen oder zumindest periodischen Wasserfluss gespült wurde.

Die Besiedlung der öffentlichen Badeanstalten und Toiletten mit Bakterien, Parasiten und Keimen stellte eine der Hauptkrankheits- und Todesursachen dar. Ein Forscherteam um Piers Mitchell von der Universität Cambridge konnte in Proben aus versteinertem Kot aus römischen Gemeinschaftstoiletten Spulwürmer, Peitschenwürmer, Ruhmaböben und Saugwürmer sowie Zecken, Läuse und Flöhe nachweisen. Dagegen war selbst die Göttin Fortuna machtlos. Einer der größten Krankheitsüberträger war allerdings – und ist es global gesehen auch heute noch – das durch Fäkalien verunreinigte Wasser. Kaiserzeitliche Schriftquellen lassen darauf schließen, dass die Verschmutzung des Tibers durch die Abwässer besorgniserregend war: Bei dem Satiriker Juvenal (1./2. Jh. n. u. Z.) kommt die schlechte Qualität der Fische aus dem Tiber zur Sprache und auch der berühmte Arzt Galen (2. Jh. n. u. Z.) warnt vor dem Verzehr von Fischen aus derart schlechter Wasserqualität (Gal. Alim. Fac. 3, 25, 709 ff.; 29, 718 f.; 30, 721 f.).

Trotz des verschmutzten Wassers, der kontaminierten Lebensmittel und dem Gewimmel von Bakterien, und auch wenn das »Noch-immer-in-Betrieb« der antiken Abwasserleitung für den Römer von heute nur ein schwacher Trost für das »Noch-immer-außer-Betrieb« der Metrolinie C sein mag, die Cloaca Maxima ist nichtsdestotrotz eine der größten städtebaulichen Leistungen der Geschichte. ■■



Die Göttin Isis-Fortuna beschützt einen Mann beim Defäkieren. Das Fresco aus dem 1. Jh. n. u. Z. schmückte einen Korridor, der zu einer Latrine in Pompeji führte. Es befindet sich heute im Archäologischen Nationalmuseum in Neapel.

Die im Text zitierten antiken Autoren und Werktitel wurden abgekürzt nach *Der Neue Pauly. Enzyklopädie der Antike III* (Stuttgart 1997) XXXVI–XLIV bzw. *Oxford Classical Dictionary*, 4th Edition: <https://oxfordre.com/classics/page/ocdabbreviations>.

Zum Weiterlesen:

H. Bauer, *Die Cloaca Maxima in Rom*, in: *Wassernutzung und Wasserbau im antiken Italien*. Tagung in Rom am 10./11. Oktober 1988, in: *MInstWasser* 103, 1989, 43–67

E. Bianchi, *La Cloaca Maxima e i sistemi fognari di Roma dall'Antichità ad oggi*, Rom 2014

J. N. N. Hopkins, *The Cloaca Maxima and the Monumental Manipulation of Water in Archaic Rome*, in: *The Waters of Rome* 4, 2007, 1–15

A. Scobie, *Slums, Sanitation, and Mortality in the Roman World*, in: *Klio* 68, Nr. 68, 1986, 399–433

G. E. Thüry, *Müll und Marmorsäulen. Siedlungshygiene in der Römischen Antike*, Mainz am Rhein 2001

R. Neudecker, *Die Pracht der Latrine*, München 1994

B. Hobson, *Latrinae et foricae. Toilets in the Roman World*, London 2009



Hannah Schnorbusch

hat Klassische Archäologie, Philosophie und Kunstgeschichte in München und Rom studiert.

Eine von vielen Sanitär-ideen:
Die mobile Trockentoilette trennt
Urin und Kot. Aus den Hinterlassen-
schaften werden Biokohle und
Struvit gewonnen.



Mit Toiletten gegen Seuchen

Der 19. November ist internationaler Weltoilettentag. Seit 2013 erinnert dieser Tag daran, dass auf der Welt noch immer mehr als drei Milliarden Menschen keine sichere und nachhaltige Sanitärversorgung haben. Von Christian Rauch

Das Projekt hat Vorbildcharakter. Von 2011 bis 2018 bekamen in Kenia mehr als zweihunderttausend Menschen eine nachhaltige Sanitärversorgung. Deutschland unterstützte das ostafrikanische Land, ebenso wie die »Bill and Melinda Gates Foundation« mit insgesamt rund 18 Millionen Euro. Vor allem dort, wo keine Kanalisation existierte oder gebaut werden konnte, setzte man auf dezentrale Lösungen. Toiletten, aus denen die Exkremente in Absetzbehälter gelangen, wo sich die festen Stoffe sammeln und das Wasser wieder abfließen kann. Oder Trockentoiletten, die kein Spülwasser brauchen, da die Exkremente, vermengt mit Streumaterial, von alleine kompostieren.

»Über die Gemeinden fragte man die Haushalte und Menschen, welche Toilettenarten sie bevorzugten und für welche sie auch mitzahlen würden«, erzählt Dr. Arne Panesar von der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Die GIZ unterstützte die Arbeiten in Kenia im Auftrag des Ministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. Die Menschen einzubeziehen, zahlt sich aus. Denn nur so kann sichergestellt werden, dass die aufgestellten Toiletten richtig benutzt werden und Kompostierbehälter und Sammelgruben in den nötigen Abständen verlässlich geleert

werden. Bisher war dies häufig nicht der Fall. Oft wurde erst gehandelt, wenn die Toilette nicht mehr funktionierte, weil die Grube voll war. Wenn das weitere Vorgehen dann nicht geregelt ist, gelangt der Grubeninhalt meistens unkontrolliert in die Natur oder kontaminiert gar Gewässer aus denen Anwohner trinken. Um das zu ändern, wurden im Rahmen des Projekts in Kenia 12 dezentrale Kläranlagen gebaut, die speziell für die Behandlung dieser Schlämme geeignet sind.

Im südafrikanischen Sambia beispielsweise sind nur wenige Menschen an das Abwassernetz angeschlossen. Schwere Krankheiten wie Cholera, Typhus und Ruhr suchen die Hauptstadt Lusaka immer wieder heim. Auch hier unterstützt Deutschland seit Ende 2016 den Ausbau der Sanitärversorgung. Mehr als 500 Kilometer neue Abwasserkanäle entstehen in Lusaka. Auch hier verfolgt man dezentrale Lösungen, wenn eine neue Kanalisation nicht umsetzbar ist. Absetzbehälter und Sickergruben sollen in der Millionenstadt nun regelmäßig und professionell geleert werden. Kläranlagen werden ausgebaut und neu errichtet. Dank eines Mosaiks von Lösungen für die stadtweite Versorgung soll sich für über 500 000 Familien die sanitäre Situation bis 2022 verbessern.

Dass man heute vor allem auf dezentrale Lösungen setzt, ist das Ergebnis eines jahrelangen Lernprozesses. Bis in die achtziger Jahre setzte man ganz auf den Ausbau der Kanalisation. So war man es aus der Kolonialzeit und aus den entwickelten Ländern gewohnt. Doch die klassischen Spültoiletten setzten sich nur in den wohlhabenden Schichten und privilegierten Stadtteilen durch. Der große Teil der Bevölkerung musste sich weiter auf Büsche, Flüsse und bestenfalls Sickergruben beschränken, die weder zuverlässig geleert, noch sicher abgedichtet wurden. Zugleich explodierte die Bevölkerung und bremste die durch Entwicklungsprojekte erzielten Fortschritte aus. So kamen zwischen 1980 und 1990 zwar mehr als 300 Millionen in den Genuss neuer Toiletten, doch gleichzeitig kamen in den betroffenen Ländern und Städten rund 400 Millionen Menschen neu hinzu. Diese Entwicklung setzt sich bis heute fort. Noch immer sind rund eine Milliarde Menschen weltweit ganz ohne Toilette oder verfügen nur über ein provisorisches Klo, bei dem die Exkremente in die Natur und damit ins Trinkwasser gelangen. Und gut zwei Milliarden Menschen nutzen als einzelner Haushalt oder zusammen mit anderen Haushalten zwar ordentliche Toiletten. Doch die Sanitärkette ist nicht verlässlich organisiert, eine dauerhafte sichere Entsorgung der Exkremente, zum Beispiel in Kläranlagen, ist nicht gewährleistet.

»In Deutschland haben wir unser Sanitärsystem über mehr als 100 Jahre aufgebaut«, gibt Arne Panesar zu bedenken. »Würde es auf einmal verschwinden, wäre es unerschwinglich oder es würde sehr lange Zeit brauchen, es wieder für alle aufzubauen.« Die Akteure vor Ort haben gelernt, von Beginn an eine geeignete Sanitärkette für das jeweilige Stadtgebiet oder die Kommune zu entwickeln: Von der Toilette selbst, über die Entleerung, den Transport und die Behandlung der Abwässer und Exkremente bis zur nachhaltigen Entsorgung oder Wiederverwertung – mit oder ohne Kanal. Aus erfolgreich angewandten Projekten entstehen systematische Werkzeuge für die Planung und Umsetzung künftiger Projekte.

Ausgelernt hat man bis heute nicht. Die besonderen Bedürfnisse von Frauen und Mädchen wurden beispielsweise lange nicht ausreichend beachtet. Dabei sind sie es, die durch ein biologisch bedingt kleineres Blasenvolumen, durch den weiblichen Zyklus und Folgen einer Schwangerschaft eine Toilette häufiger brauchen. Besonders in asiatischen Ländern können junge Frauen aufgrund mangelnder Waschgelegenheiten während ihrer Menstruation oft nicht die Schule besuchen oder brechen diese sogar ab. Im internationalen Projekt »Sanitation for millions«, wurde auf dieses Problem besonders geachtet. Dadurch konnte man bisher für über 650 000 Menschen in zahlreichen asiatischen, lateinamerikanischen und afrikanischen Ländern, darunter 52 Prozent Frauen, Zugang zu sicherer Sanitärversorgung schaffen. Etwa 50 000 Mädchen konnten durch Bildungskampagnen zur Menstruationshygiene erreicht werden. Und ebenso viele Schülerinnen und Schüler profitierten von neuen Handwaschanlagen mit Handwaschanleitungen.

In Indien lernte man, dass es nicht reicht, einfach nur Toiletten aufzustellen. Besonders im ländlichen Raum schätzt man

dort traditionell die »Open Defecation«, also das Austreten unter freiem Himmel, an Straßen oder Flüssen. Indiens Regierung wollte dem 2014 ein Ende machen und ließ bis heute mehr als 100 Millionen Toiletten bauen. Doch viele blieben unbenutzt. Mehr Aufklärungsarbeit soll nun Abhilfe schaffen. 2017 stellte ein indischer Kinofilm das Thema Toilette gar in den Mittelpunkt. In dem Streifen *Toilet: Ek Prem Katha* (*Toilette: Eine Liebesgeschichte*) wacht eine junge Frau nach der Hochzeitsnacht auf und wird von den Frauen des Ortes zum gemeinsamen Klogang mit aufs Feld gebeten. Da wird ihr klar, dass sie in ein Dorf ohne Toiletten eingehiratet hat. »Bau mir ein Klo«, erklärt sie ihrem Ehemann daraufhin, »oder ich lasse mich scheiden.«

Das weltweite Bedürfnis nach mehr Sanitärversorgung hat auch private Unternehmen und Märkte erreicht. Das Architektur- und Designbüro Sparks baute jüngst mittels 3D-Druck eine Toilette, die aus menschlichen Exkrementen Strom erzeugt – möglich macht es ein in der Erde vergrabenes Biogasmodul, das aus den menschlichen, aber auch aus tierischen und pflanzlichen Abfällen Elektrizität produziert. »Peepoos« nannte ein schwedischer Städteplaner seine einfachen Tüenttoiletten, deren Inhalt sich nach einigen Wochen automatisch in Kompost verwandelt.

Vielversprechend scheint die Erfindung von Mona Mijthab. 2010 absolvierte sie während ihres Industrie Design Studiums in Magdeburg ein Praktikum in Bangladesch. Die Erfahrungen dort haben sie so geprägt, dass sie für ihre Bachelorarbeit eine mobile Kunststoff-Toilette entwickelte. Die kompakte Trockentoilette trennt Urin und feste Exkremente über das spezielle Sitzdesign in zwei verschiedene Sammelbehälter, so dass die Materialien später separat recycelt werden können. Mona Mijthab entwickelte den Ansatz weiter. 2016 gründete sie das Sozialunternehmen Mosan. Ihre Geschäftsidee: Menschen in Entwicklungsländern können die mobilen Toiletten mieten. Für ein paar Euro im Monat. Dafür holen Servicekräfte regelmäßig die aus der Toilette herausnehmbaren Eimer mit den Exkrementen ab und bringen sie zu einer zentralen Station. Dort entsteht aus dem menschlichen Kot Biokohle und aus dem Urin das phosphathaltige Mineral Struvit. Seit 2019 bietet Mijthab den Mosan Sanitätservice zunächst in Guatemala an, dem zweitärmsten Staat in Lateinamerika. Dort sind noch 83 Prozent der Menschen ohne sanitäre Versorgung. Ein Großteil der entstehenden Abwässer verschmutzt Flüsse, Seen und Lagunen. Bis 2030 wollen Mona Mijthab und ihr Team einer Million Menschen den Zugang zu einer sicheren Sanitärösung ermöglichen. 2030 ist das Jahr, in dem laut der Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen jeder Mensch auf der Welt Zugang zu einer Toilette haben soll. ■■



Dipl.-Ing. Christian Rauch

ist freier Journalist für Zeitungen und Zeitschriften.
Schwerpunkte: Wissenschaft/Technik sowie Reise und Tourismus.

Die sauberste Stadt Europas

Am 15. Juli 1854 wurde die Erste Allgemeine Deutsche Industrieausstellung im Münchner Glaspalast von König Max II. feierlich eröffnet. Aussteller aus aller Welt präsentierten technische Wunderwerke. Noch während der Eröffnungsrede durch den König kam es zu einem Todesfall – einer der Kontrolleure am Eingang brach zusammen. Zunächst glaubte man an einen Schlaganfall. In den nächsten Tagen aber litten viele Ausstellungsangestellte an heftigem Durchfall. Von Florian Breitsameter

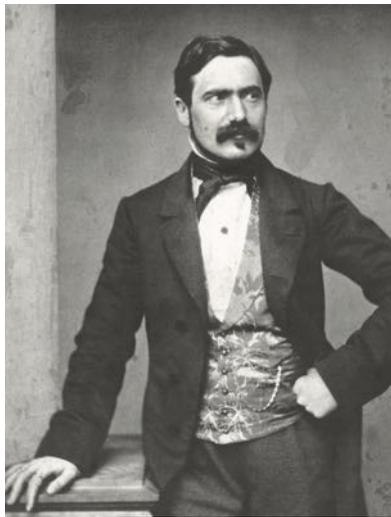
Am 27. Juli 1854 schließlich wurde beim 39-jährigen Tagelöhner Peter Stopfer eine Choleraerkrankung nachgewiesen, der er zwei Tage später erlag. Rasch wuchs die Zahl der Erkrankten – es kam zur Epidemie in München. Viele ausländischen Gäste und ranghohe Münchner verließen fluchtartig die Stadt. Erst am 30. September 1854 verkündete das einberufene »Komitee zur Beschließung von Maßnahmen gegen die epidemische Brechruhr« das Ende der Choleraepidemie mit 2143 Todesopfern.

Ursachenforschung

Ein Mitglied der Untersuchungskommission war der 36 Jahre alte Max von Pettenkofer (1818–1901). Der Sohn eines Bauern hatte Pharmazie, Chemie und Medizin studiert und war 1847 von der Ludwig-Maximilians-Universität zum Professor für medizinische Chemie berufen worden. Die Frage, warum die Cholera in München so wüten konnte und wie man eine solche Seuche in Zukunft verhindern könnte, sollte ihn von nun an beschäftigen. Pettenkofer suchte nicht nach dem Erreger der Krankheit, sondern er machte u. a. die durch Zersetzungs Vorgänge verunreinigte Luft mitverantwortlich und empfahl regelmäßiges Lüften oder die Installation von Siphons bei den Ausgüssen in Küchen und Aborten.

1865 eröffnete Pettenkofer in München sein Institut für Hygiene, das erste weltweit. Bald erkannte er, dass auch die Brunnenqualität durch die städtischen Abwässer stark beeinträchtigt wurde. Auf seine Empfehlungen beauftragte die Regierung von Oberbayern die Stadtverwaltung München mit dem Ausbau eines Abwasserkanalsystems. Der Bauingenieur und spätere Stadtbaurat Arnold Zenetti plante und beaufsichtigte den Bau des ersten Sielsystems (Bauzeit 1862 bis 1887).

In der Anfangszeit häuften sich die Beschwerden der Bewohner Münchens über die höheren Abgaben und die Kloake, deren Gestank sich besonders im Sommer deutlich bemerkbar machte. Die Kanäle mussten oft gereinigt werden. Auch die



Max von Pettenkofer um 1860

Landwirte waren gegen die Kanalisation. Bislang hatten sie die Fäkalien aus der Stadt geholt und als Dünger auf ihren Feldern ausgebracht. Nun büßten sie ihre Bezahlung von 30 Gulden pro geleerte Abortgrube ein.

Pettenkofer debattierte regelmäßig in Kommissionssitzungen, schrieb Zeitungsartikel und hielt öffentliche Ansprachen, um die Stadtbewohner von den Vorteilen der Kanalisation zu überzeugen. Damit die Abwässer nicht die Kanalrohre zersetzen, musste zudem die Zementsammensetzung verbessert werden, eine weitere Herausforderung der sich Pettenkofer stellte. Erst 1899 wurde schließlich die Schwemmkanalisation eingeführt,

was zur Durchsetzung des Spülklosetts in München führte und die Geruchsprobleme löste. Um 1900 waren dann bereits 78 Prozent der Münchner Bevölkerung an das Kanalnetz angeschlossen.

Erfolgreiche Maßnahmen der Stadthygiene

Als 1873 die Cholera abermals in München ausbrach, musste wie schon 1854 das Oktoberfest abgesagt werden. Nun endlich konnte sich Pettenkofer mit seinen erweiterten Maßnahmen zur hygienischen Stadtsanierung durchsetzen. Er verbannte die Schlachtereien aus der Innenstadt und 1878 wurde der zentrale Schlacht- und Viehhof eröffnet.

Das dritte Element in Pettenkofers Plan einer verbesserten Stadthygiene war die Trinkwasserversorgung. Seit 1867 bezog München einen Teil seines Wassers aus Thalkirchen, ab 1883 wurde das rund 40 Kilometer entfernte Mangfalltal zur Wasserversorgung herangezogen. Seitdem kann München seine Bürger bis heute jederzeit mit Trinkwasser in hervorragender Qualität versorgen. 1892 kam die Cholera als Seuche das letzte Mal nach Europa und grassierte besonders in Hamburg. München blieb nicht nur verschont, es galt, vor allem aufgrund seiner Kanalisation, mittlerweile als die »sauberste Stadt Europas«. ■

Deutsches Museum



Wir fragen, Sie antworten ...

... und gewinnen (mit etwas Glück) ein schönes Buch.

Hier geht es zur Mitgliederbefragung 2021 →

Liebe Leserin, lieber Leser,

das Deutsche Museum erfindet sich neu – im Rahmen der Zukunftsinitiative werden die Ausstellungen auf der Museumsinsel neu gestaltet und zu neuem Glanz gebracht.

Auch die Kultur & Technik soll eine Aktualisierung erfahren. Hierzu hätten wir gerne Ihre Meinung: Wie stellen Sie sich Ihr Mitgliedermagazin vor, was gefällt Ihnen am bisherigen Heft, was würden Sie ändern und was vermissen Sie?

Zu diesen und ein paar weiteren Fragen haben wir eine kurze Umfrage vorbereitet und möchten Sie herzlich zur Teilnahme einladen. Das Ausfüllen des Fragebogens wird etwa fünf Minuten dauern und ist selbstverständlich anonym und freiwillig.

Als Dankeschön verlosen wir unter allen Teilnehmenden 35-mal je einen Büchergutschein zu einer beliebigen lieferbaren Publikation aus dem Verlag Deutsches Museum (www.deutsches-museum.de/verlag).

Bitte senden Sie den ausgefüllten Fragebogen an folgende Adresse:

Deutsches Museum Verlag
Museumsinsel 1
80538 München

oder per Fax: +49 89 2179505

oder per E-Mail: verlag@deutsches-museum.de

Wenn Sie an der Verlosung teilnehmen möchten, teilen Sie uns bitte Ihre Anschrift oder E-Mail-Adresse mit.

Gerne können Sie die Umfrage auch online ausfüllen:

www.deutsches-museum.de/umfrage



1. Wie intensiv lesen Sie durchschnittlich eine Ausgabe der *Kultur & Technik*

Ich blättere die *Kultur & Technik* durch Ich lese die *Kultur & Technik* etwas Ich lese die *Kultur & Technik* intensiv

2. Lesen außer Ihnen noch weitere Personen Ihre Ausgabe der *Kultur & Technik*?

ja nein Wenn ja, wie viele? _____

3. Wie bewerten Sie die Erscheinungsweise der *Kultur & Technik*?

Zu selten Genau richtig Zu oft

4. Welche Veröffentlichungsform bevorzugen Sie?

Gedrucktes Heft Digitale Ausgabe Gedruckt und digital

5. Wie bewerten Sie den Umfang der *Kultur & Technik*?

Zu dick Genau richtig Zu dünn

6. Wie empfinden Sie die Länge der Artikel?

Zu lang Genau richtig Zu kurz

7. Wie verständlich finden Sie die Artikel?

Zu komplex Genau richtig Zu einfach

8. Was schätzen Sie an der *Kultur & Technik* besonders?

| | Sehr | Etwas | Wenig | Gar nicht |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Vielfalt an Themen | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Qualität der Beiträge | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Qualität der Ausstattung (Papier, Umschlag usw.) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Layout / optisches Erscheinungsbild | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Schwerpunktthema | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Informationen zum Deutschen Museum (Veranstaltungen, Internes) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Hintergründe/Vertiefendes zum Deutschen Museum (zu Objekten, Ausstellungen etc.) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Das Heft ist für mich unterhaltsam | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Beim Lesen des Hefts lerne ich etwas dazu | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Die Themen wecken meine Neugier | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Die Inhalte sind für mich persönlich bedeutsam | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ich erhalte Informationen, die ich sonst nicht bekommen hätte | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

9. Vermissen sie etwas im Heft?



10. Gibt es etwas, das Ihnen an der *Kultur & Technik* besonders gut oder überhaupt nicht gefällt?

11. Wenn Sie die *Kultur & Technik* nicht über die Mitgliedschaft im Deutschen Museum bezögen, wie viel wäre Ihnen dann ein Jahresabonnement wert?

Kein Interesse Bis 10 Euro Bis 20 Euro Bis 30 Euro Bis 40 Euro Mehr als 40 Euro

Nun noch einige Fragen zu Ihrer Mitgliedschaft im Deutschen Museum.

12. Seit wie vielen Jahren sind Sie Mitglied im Deutschen Museum?

Weniger als zwei Jahre Zwei bis fünf Jahre Sechs bis 15 Jahre Mehr als 15 Jahre

13. Wie oft besuchen Sie das Deutsche Museum bzw. eine seiner Zweigstellen?

Selten Einmal im Jahr Zwei- bis viermal im Jahr Häufiger als viermal im Jahr

14. Was schätzen Sie an Ihrer Mitgliedschaft im Deutschen Museum besonders?

| | Sehr | Etwas | Wenig | Gar nicht |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Freier Eintritt in fünf Museen | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Das Mitglieder magazin Kultur & Technik | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Freier Eintritt zu speziellen Führungen und Veranstaltungen | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Unterstützung für das Deutsche Museum | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Sonstiges: | | | | |

Und zum Abschluss einige Fragen zu Ihrer Person.

15. Ihr Geschlecht?

16. Wie alt sind Sie?

weiblich männlich divers Unter 25 Jahre 25 bis 35 Jahre 36 bis 50 Jahre 51 bis 65 Jahre Älter als 65 Jahre

17. In welcher Region leben Sie?

München oder Münchner Umland Bayern Deutschland Außerhalb Deutschlands

18. Welchen Bildungsabschluss haben Sie bzw. streben Sie an?

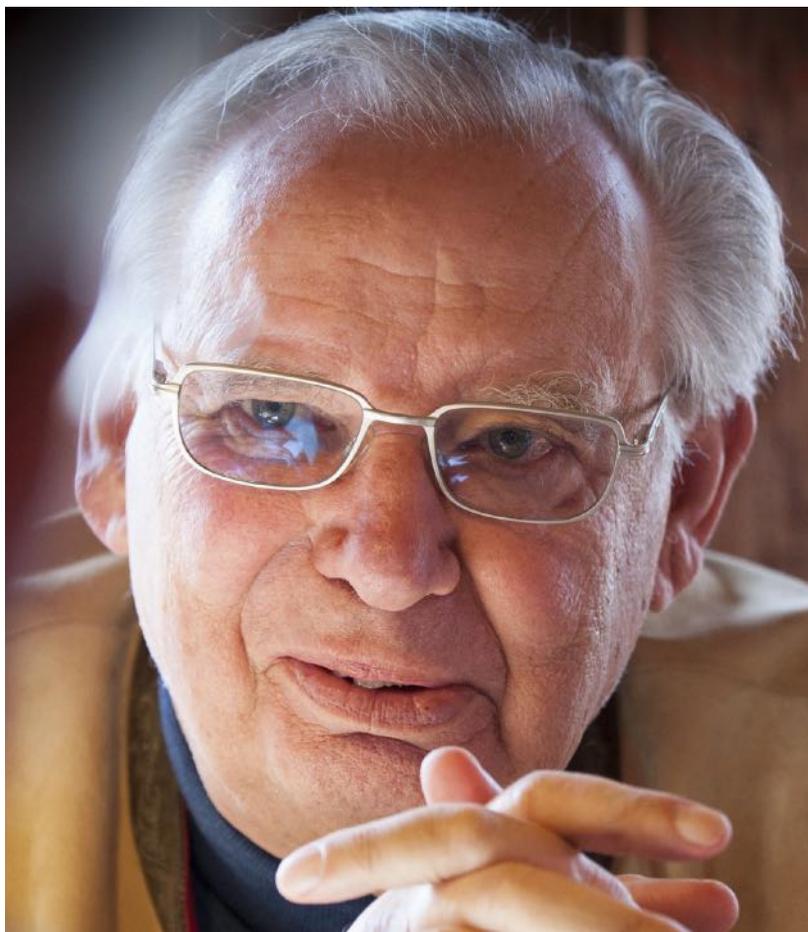
Ohne Abschluss Grund-/Hauptschulabschluss Realschulabschluss (Mittlere Reife)

(Fach-) Hochschulreife (Fach-) Hochschulabschluss oder höher

Denken Sie bitte daran, uns auf einem Beiblatt Ihre E-Mailadresse oder Anschrift zukommen zu lassen, wenn Sie an der Verlosung teilnehmen möchten.

EIN LEBEN IM ZEICHEN VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

MÜNCHNER UNTERNEHMER
UND GRÜNDER VON
LEINFELDER UHREN MÜNCHEN
ERHÄLT BUNDESVERDIENSTKREUZ



Hohe Ehre für Prof. Dr. Ulrich L. Rohde: Auf Vorschlag des Bayerischen Ministerpräsidenten Dr. Markus Söder hat Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier dem Münchner Unternehmer, Wissenschaftler und Gründer von Leinfelder Uhren München das Bundesverdienstkreuz verliehen. Eine Auszeichnung für ein großartiges Lebenswerk!

Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Ulrich L. Rohde, Jahrgang 1940, zählt zu den Pionieren der Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik. Als Inhaber mehrerer Firmen in den USA, wo er ab den 1970er-Jahren vorwiegend seine berufliche Verwirklichung suchte, und Mit-eigentümer der Weltfirma Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG hält der gebürtige Münchner zahlreiche Patente. Darüber hinaus ist er Autor diverser Fachpublikationen und lehrt bis heute mit über 80 Jahren als Professor an

mehreren Universitäten weltweit und betreut Doktoranden im Bereich Mikrowellen- und Hochfrequenznachrichtentechnik.

MIT LEINFELDER UHREN MÜNCHEN WIRD EIN LANG GEHEGTER TRAUM WIRKLICHKEIT

Man könnte glauben, bei diesem hohen unternehmerischen und akademischen Pensum bliebe nur wenig Raum für Freizeitbeschäftigungen. Doch weit gefehlt! Sein Vater vererbte ihm neben der Liebe für das Amateurfunk, den Segelsport und die Fotografie eine ganz besondere Leidenschaft und Begeisterung für Uhren sowie präzise Zeitmessung. Es war um 1938, als Lothar Rohde, selbst promovierter Wissenschaftler, Visio-

när und Mitbegründer der Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, der Öffentlichkeit die erste tragbare Quarzuhr der Welt präsentierte. Gut sieben Jahrzehnte später erfüllte sich Ulrich L. Rohde einen lang gehegten Traum und gründete 2010 die eigenständige Leinfelder Uhren München GmbH & Co. KG. Seitdem steht dort, in der Pacellistraße im Herzen Münchens, die Zeit nicht mehr still. Ein ambitioniertes Team fertigt edle Zeitmesser für Individualisten, streng limitiert und ausgezeichnet durch Perfektion in der Technik ebenso wie im Design. Hier spannt sich dann wieder der Bogen zu Prof. Dr. Ulrich L. Rohdes Beruf(ung), denn der Anspruch an höchste Präzision und Qualität spielt auch in seinen betrieblichen wie wissenschaftlichen Fachgebieten eine wichtige Rolle.



Überall ist Mikroplastik

Wie winzige Plastikteilchen im Wasser unser Leben beeinflussen.

Von Silke Haubensak, Michael Sturm, Dennis Schober und Katrin Schuhen | Grafiken: Wasser 3.0

Wir essen, trinken und atmen Mikroplastik. Jeder von uns, jeden Tag. Die winzigen Kunststoffpartikel befinden sich fein verteilt in Boden, Luft und Wasser. Mikroplastik wurde weltweit nachgewiesen. Von der Donau bis in die Arktis und Tiefsee. Das ist für viele Menschen nichts Neues. Mikroplastik ist ein Umweltproblem globalen Ausmaßes und das öffentliche Bewusstsein dafür ist hoch. Die Forschung befasst sich seit mehr als zwei Jahrzehnten mit Ursachen und Auswirkungen. Doch bislang wird wenig gegen die unkontrollierte und ungehinderte Verteilung von Mikroplastik in der Umwelt unternommen.

Plastik ist aus unserem Alltag kaum wegzudenken. Seine vielseitigen Eigenschaften und günstige Herstellung machen es unersetzlich. Seit dem Beginn der Massenproduktion in den 1950er Jahren steigt der weltweite Plastikverbrauch Jahr für Jahr an.

Plastik ist langlebig und resistent gegenüber Umwelteinflüssen. Der Abbau kann mehrere hundert Jahre in Anspruch nehmen, wodurch sich über die Zeit mehr und mehr Plastik in der Umwelt ansammelt. Dort wird es durch Wind, über Flüsse und Seen sowie Meeresströmungen verteilt. Plastik wird mit der Zeit spröde und zerfällt in immer kleinere Teilchen. Sind die Plastikpartikel kleiner als 5 Millimeter sprechen wir von Mikroplastik, alles darüber wird als Makroplastik bezeichnet.

Vielfalt der Kunststoffe

Kunststoffe sind synthetische Polymere. Waren es laut *Statista* (2019) zum Start der Massenproduktion rund zwei Millionen Tonnen Kunststoffe, die pro Jahr hergestellt wurden, stieg der Wert bis heute auf rund 400 Millionen Tonnen pro Jahr an.



Es gibt rund 200 verschiedene Polymerarten, unter ihnen bekannte Vertreter wie Polyethylen, Polypropylen oder auch Polystyrol. Diese wiederum besitzen diverse Untergruppen und werden zu Millionen von Produkten verarbeitet. Ihre spezifischen Funktionalitäten und anwendungsbezogenen Eigenschaften erhalten kunststoffbasierte Produkte, indem den Polymeren weitere Chemikalien, sogenannte Additive, beigemischt werden. Darunter sind umwelt- und gesundheitsgefährdende Stoffe wie Weichmacher, wasserabweisende per- und polyfluorierte Verbindungen oder Bisphenol-A.

Die vielfältige und übermäßige Verwendung von Kunststoffen verursacht große Mengen an Kunststoffabfällen. Recycelt werden bislang lediglich neun Prozent des verwendeten Kunststoffs. Das meiste landet auf Mülldeponien. Enorme Mengen Makro- und Mikroplastik gelangen zudem über Abwasserströme, unsachgemäße und unzulängliche Entsorgung, Leckagen oder sonstige Verluste in die Umwelt. Jedes Jahr landen bis zu 12 Millionen Tonnen Plastik in unseren Ozeanen. Dies entspricht einem Müllwagen pro Minute. Auch Plastikmüll auf den Straßen kann über Entwässerungsnetze oder Flüsse in den Ozean gelangen. Schätzungen zufolge tragen die großen Flüsse der Welt jährlich bis zu 2,41 Millionen Tonnen Plastik in das Meer, was 100 000 Müllwagen entspricht. Hinzu kommen Tonnen an Mikroplastik, die durch die spezifischen Anwendungen von kunststoffbasierten Produkten in die Umwelt und damit auch in den Wasserkreislauf eingetragen werden. Dazu gehören Reifenabrieb von Autos, Faserabrieb von Kleidern, Freisetzung von sogenannten Microbeads aus Putzmitteln und Kosmetika.

Besondere Merkmale

Sobald Mikroplastik in die Umwelt gelangt, wird nicht mehr zwischen einzelnen Polymertypen oder Kunststoffprodukten unterschieden, sondern eingeteilt in primäres, sekundäres und virtuelles Mikroplastik. Letzteres entsteht durch den Einsatz von synthetischen Polymeren bei der Herstellung und Verarbeitung von Produkten. »Primäres Mikroplastik« wird direkt als solches in die Umwelt eingetragen und unterteilt sich in zwei Arten.



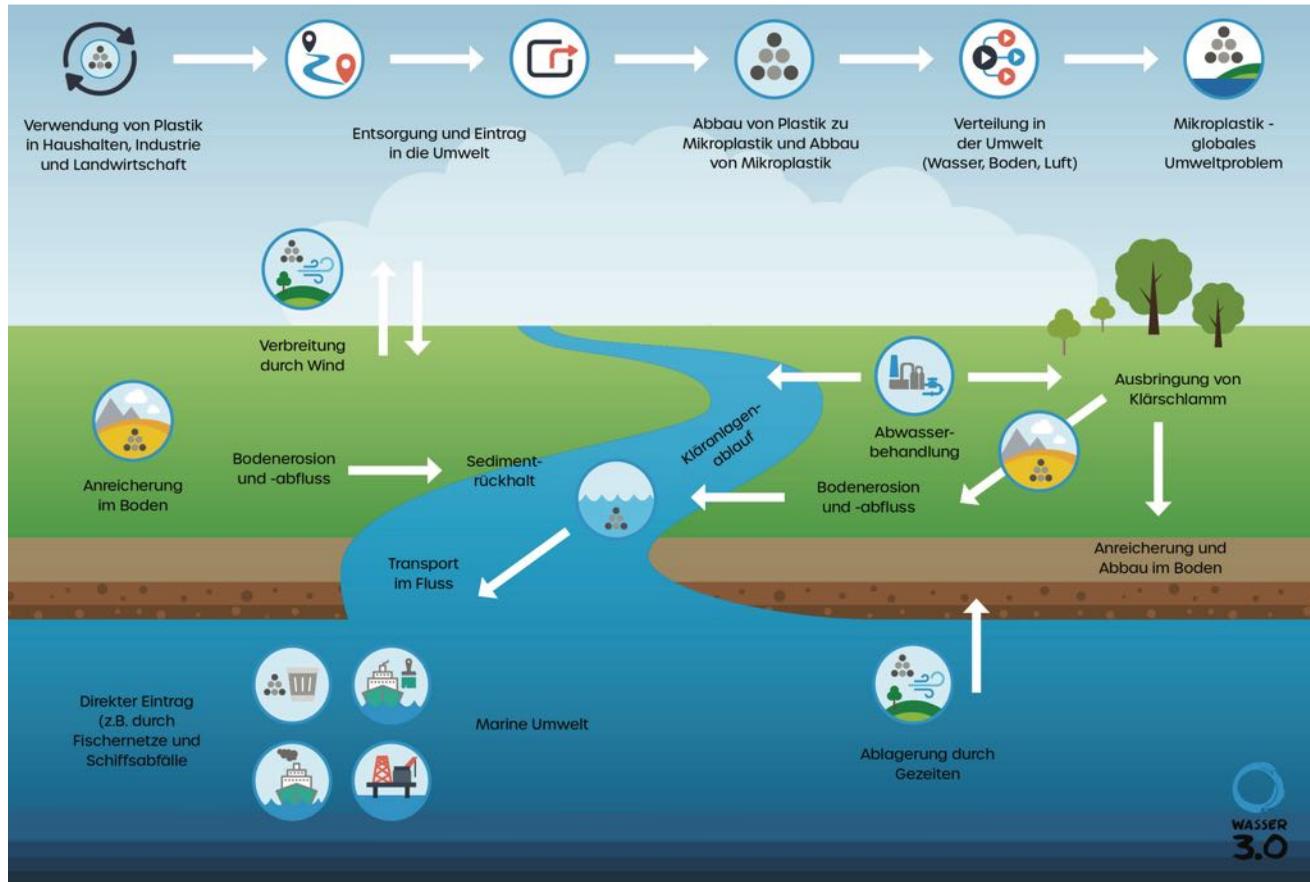
Virtuelles Mikroplastik entsteht aus Kunststoffen, die bei der Produktion eingesetzt werden, aber keine Inhaltsstoffe des Endprodukts sind. Sie sind nicht auf der Verpackung ausgewiesen.

Primäres Mikroplastik entsteht aus Kunststoffen, die als Inhaltsstoff in Endprodukten enthalten und auf der Verpackung ausgewiesen sind (z.B. Kosmetika, Putzmittel).



MIKROPLASTIK FOOTPRINT:

Gesamtmenge an virtuellem und primärem Mikroplastik, das während des Produktlebenszyklus in die Umwelt gelangt. Angefangen bei der Herstellung über die Nutzung bis zur Entsorgung. Er umfasst das gesamte Endprodukt inklusive Verpackung, Label, Trägerstoffe etc.



Eintrags- und Verteilungswege von Mikroplastik in die Umwelt.

- Primäres Mikroplastik Typ A umfasst die Arten, die Produkten wie Körperpflege oder Putzmittel direkt zugesetzt werden. Dieses Mikroplastik verschwindet seit einigen Jahren aus vielen Kosmetik- und Körperpflegeprodukten (»rinse-of« Produkte) in Deutschland. Grund hierfür ist die freiwillige Selbstverpflichtung der Kosmetikindustrie, die damit einer rechtlichen Regulierung zuvorkommt, die in einigen Ländern wie den USA, Neuseeland, Großbritannien und Schweden schon seit Jahren Realität ist.
- Primäres Mikroplastik Typ B umfasst kleinste Kunststoffpartikel, die bei der Nutzung und Verarbeitung von Kunststoffprodukten entstehen. Beispiele hierfür sind Kunstrasen, synthetische Kleidung, Reifenabrieb, Farben und Lacke.
 »Sekundäres Mikroplastik« bezeichnet Partikel, die durch langsamen Zerfall großer Plastikteile in der Umwelt entstehen. Dies kann durch äußere Einflüsse passieren wie UV-Strahlen, Bakterien oder auch durch Reibung. Plastikmüll an Land, im Meer und in Flüssen zerfällt im Laufe der Zeit zu sekundärem Mikroplastik.

»Virtuelles Mikroplastik« entsteht durch den Einsatz von synthetischen Polymeren in der Herstellung und Verarbeitung von Produkten. Dies ist unabhängig davon, ob das Endprodukt Kunststoffe enthält oder nicht. Durch die nützlichen Eigenschaften der mehr als 200 Polymerarten und ihrer diversen Unterkategorien werden sie in den meisten industriellen Produktionsprozessen eingesetzt. Im Jahr 2019 allein wurden laut Statista 370 Millionen Tonnen Polymere produziert und verar-

beitet. Schätzungen, die WissenschaftlerInnen des Forschungsschwerpunkts »Plastik in der Umwelt« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Jahr 2021 herausgegeben haben, gehen davon aus, dass allein durch die Herstellung der Polymere jährlich 250 000 Tonnen Mikroplastik in die Umwelt gespült werden.

Nicht verwunderlich ist es, dass WissenschaftlerInnen beim Monitoring von Mikroplastik in der Umwelt in der Nähe von Industriegebieten, insbesondere der Kunststoffindustrie, immer wieder erhöhte Konzentrationen in Seen, Flüssen, Ufersedimenten und an Stränden auffallen. Aufgrund fehlender Regelungen hinsichtlich des Umgangs mit Kunststoffen und Mikroplastik werden diese Partikel mit dem industriellen Abwasser in die umliegenden Gewässer oder in das Abwassersystem geleitet. Dieser Eintragspfad von Mikroplastik in die Umwelt wird bislang in der öffentlichen und politischen Diskussion wenig thematisiert. Der WWF fordert allerdings bereits seit 2018 Grenzwerte für das Einleiten von belasteten Industrieabwässern.

Der Fußabdruck von Mikroplastik

Die Entstehung von Mikroplastik durch Konsumgüter kann anhand des Mikroplastik Footprint eines Produkts verdeutlicht werden (siehe Grafik Seite 31). Er umfasst die Mikroplastikeinträge in die Umwelt aus Produktion, Verarbeitung, Verpackung, Transport, Nutzung und Entsorgung. Er berücksichtigt das gesamte Produkt inklusive Verpackung, Label, Trägerstoffe, etc. Auch Produkte, die als »mikroplastikfrei« gekennzeichnet sind,

haben in den allermeisten Fällen einen Mikroplastik Footprint. So kann beispielsweise ein Peeling an sich frei von (primärem) Mikroplastik als Inhaltsstoff sein – worauf sich in der Regel der Hinweis »mikroplastikfrei« auf der Verpackung bezieht –, aber durch den Einsatz von Kunststoffen bei der Herstellung des Produkts sowie seiner Verpackung entsteht Mikroplastik. Es ist davon auszugehen, dass jedes industriell gefertigte Produkt, auch wenn es auf den ersten Blick kein Mikroplastik enthält, einen Mikroplastik Footprint hat.

Mikroplastik beschreibt jedoch nur einen Bruchteil der anthropogenen (synthetischen) Polymere, nämlich feste Partikel. Aber auch viskose Polymere und lösliche Polymere repräsentieren ein Teil der anthropogenen Polymere in der Umwelt und sollten hinsichtlich ihrer Umwelt- und Gesundheitsrelevanz nicht vernachlässigt werden.

Mikroplastik in der Nahrungskette

Mikroplastik kann von Organismen durch die Verwechslung mit Nahrung oder nicht selektive Nahrungsaufnahme aus der Umwelt aufgenommen werden. Des Weiteren können besonders sehr kleine Plastikpartikel, beispielsweise bei Fischen, direkt über die Kiemen in den Blutkreislauf gelangen. Im Organismus kann es dadurch zu verschiedenen schädlichen Effekten kommen. Aber nicht nur Organismen in der Umwelt, sondern auch Menschen nehmen Mikroplastik über die Atemluft, über Wasser und Lebensmittel auf. Mikroplastik wurde bereits in zahlreichen Nahrungsmitteln nachgewiesen. Dazu gehören Meersalz, Honig, Zucker oder Bier. Untersuchungen von Leitungswasser ergaben eine geringe Kontamination von wenigen Partikeln pro Kubikmeter (Varianz zwischen 0,4 bis sieben Partikel), während in Kunststoffflaschen abgefüllte Trinkwasser hohe Belastungen aufweisen.

Da sich die Mikroplastikforschung bisher hauptsächlich auf das aquatische Umfeld fokussiert, finden sich in der wissenschaftlichen Literatur die meisten Studien zu Belastungen von Nahrungsmitteln bei Fischen und Meeresfrüchten. Dort sammelt sich Mikroplastik vor allem im Verdauungstrakt. Daher ist die Belastung von Fischen und Meeresfrüchten, die mit dem Verdauungstrakt verzehrt werden, beispielsweise Muscheln oder kleinere Fische wie Sardellen oder Sardinen, besonders problematisch. Die höchsten Mikroplastikkontaminationen weisen hier »filter-feeder« wie Muscheln auf, welche zu Nahrungsaufnahme Plankton aus dem Wasser filtern und dabei auch Mikroplastik aufnehmen.

Gesundheitliche Auswirkungen

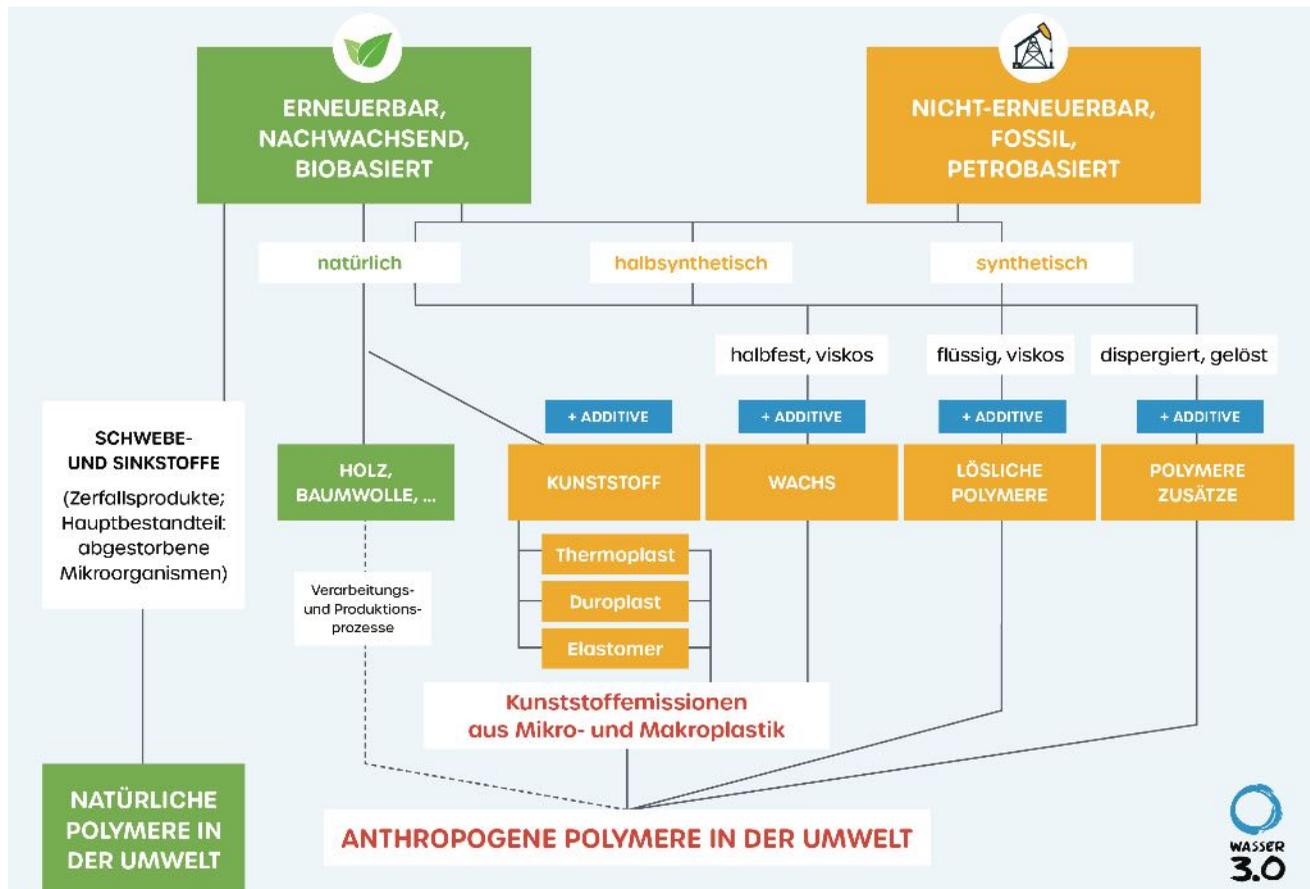
Bisher fehlen fundierte Aussagen darüber, ab welcher Aufnahmemenge ein Gesundheitsrisiko für den Menschen besteht. WissenschaftlerInnen sind sich jedoch einig, dass von einem Gefährdungspotential von Mikroplastik (und Nanoplastik) auf die menschliche Gesundheit auszugehen ist. Auch wenn Mikroplastikkonzentrationen in der Umwelt häufig unter den im Labor als akut toxisch nachgewiesenen Konzentrationen liegen, kann es durch die chronische Langzeitbelastung Stress für den

RADSPIELER

Seit 1841

*Radspieler –
damit
Einrichten
Freude
macht!*

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



Zusammenfassende Übersicht über anthropogene Polymere in der Umwelt.

Organismus verursachen. Die Erkenntnisse sind derzeit allerdings noch nicht sehr detailliert. Entscheidender Faktor für den Transport im Säugetier ist die Größe des Partikels. Mikroplastikpartikel die kleiner sind als $150\ \mu\text{m}$ können potenziell über die Darmschleimhaut aufgenommen werden und in das Lymphsystem gelangen, Partikel kleiner als $110\ \mu\text{m}$ können bereits über die Pfortader in den Blutkreislauf gelangen und Partikel unter $20\ \mu\text{m}$ werden über den Blutkreislauf verteilt und können von dort in die inneren Organe gelangen. Partikel die kleiner sind als $100\ \text{nm}$ können sogar ins Gehirn, in die Geschlechtsorgane und über die Plazentaschranke in den Fötus transportiert werden. Im Allgemeinen gilt: Je kleiner die Partikel sind, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie in den Organismus aufgenommen werden. Die Aufnahmewahrscheinlichkeit hängt auch von den spezifischen Eigenschaften der Mikroplastikoberfläche ab. Die Anlagerungen von Molekülen aus der Umwelt an die Mikroplastikoberfläche kann diese begünstigen.

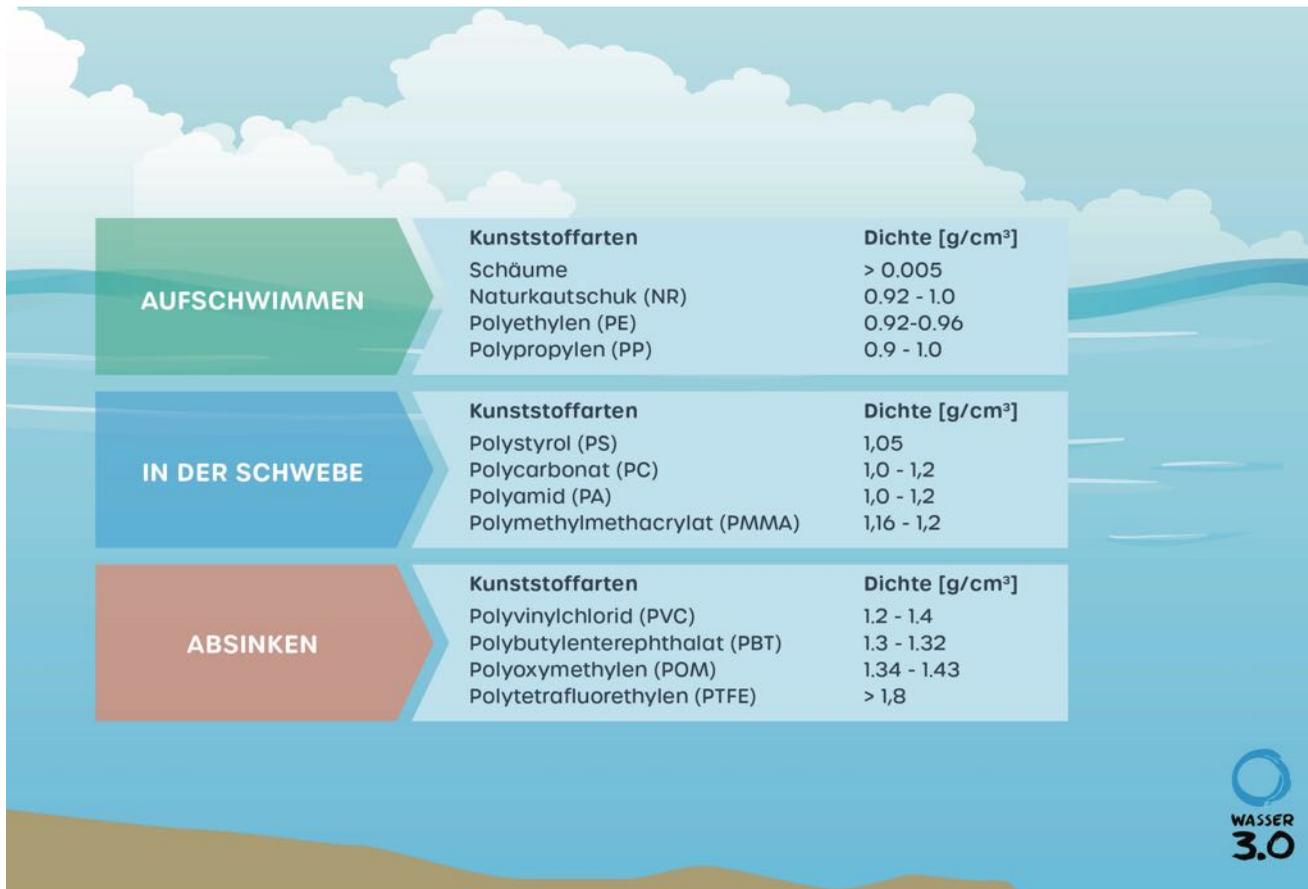
Ein zusätzliches Risikopotential für Organismen bilden die im Großteil der Kunststoffe enthaltenen, häufig als schädlich bzw. gefährlich eingestuft, additiven Inhaltsstoffe. Diese werden in die Umwelt freigesetzt oder bei der Aufnahme direkt auf den Organismus übertragen. Zu ihnen gehören chemische Verbindungen wie Phtalate oder Bisphenol A. Zusätzlich kann Mikroplastik organische Schadstoffe wie polyaromatische Kohlenwasserstoffe oder polychlorierte Biphenyle sowie Schwermetalle aus der Umwelt aufnehmen, diese über weite Strecken

transportieren und bei einer Aufnahme in den Organismen wieder freisetzen. In diesem Zusammenhang spricht man auch über die Rolle von Mikroplastik als Transportvektor.

Der Weg in den Wasserkreislauf

Sind Polymere und Kunststoffe erst einmal auf ihren unterschiedlichen Wegen in die Umwelt gelangt, ist Plastik nur noch mühsam und Mikroplastik fast unmöglich zu entfernen. Schätzungen zufolge beträgt der Plastikeintrag in die Umwelt in Deutschland im Mittel $5,4\ \text{Kilogramm}$ pro Person und Jahr, wovon ein Viertel Makroplastik ist, das über unsachgerechte Entsorgung in die Umwelt gelangt. $4\ \text{Kilogramm}$, und damit dreiviertel, werden als Mikroplastik in die Umwelt eingetragen.

Die weltweit verzweigten Wege des Wassers sind an unterschiedlichen Orten Eintragsquellen für Kunststoffpartikel in die Umwelt. Über Straßenentwässerungssysteme werden bei Regen große Mengen Reifenabrieb und Zigarettenkippen von den Straßen gespült. Auch Überläufe der Kanalisation (Mischwassereinleitung), Rohwasser aus der Trennkanalisation, Restinhalte im gereinigten Abwasser und stoffliche Klärschlammverwertung sind mit Mikroplastik kontaminiert. Ebenso wie industrielle Abwässer, besonders die der Plastikindustrie. Häusliche Abwässer sind durch Plastikabrieb, Putzmittel und kunststoffbasierte Kleidungsfasern, die sich beim Waschen aus der Kleidung lösen, hoch mit Mikroplastik belastet. Neben Feuchttüchern werden Kontaktlinsen ein immer größeres Problem für kommunale Kläranlagen. Amerikanische Forscher haben fest-



Verhalten von Kunststoffen im Wasser.

gestellt, dass bis zu 15 Prozent der in den USA pro Jahr verkauften rund 45 Millionen Kontaktlinsen über die Toilette entsorgt werden.

Endstation Kläranlage

Kommunale Kläranlagen stellen vielerorts ein Sammelbecken für Mikroplastik aus häuslichem Abwasser, industriellen Abwässern, Oberflächenabfluss, Regenwasser und Deponien dar. Sie sind einerseits eine Barriere gegen die Verteilung von Mikroplastik in den Wasserkreislauf, andererseits eine bedeutende Quelle für dessen weitere Verteilung. Der Grund liegt darin, dass sie täglich große Mengen an mehr oder weniger gereinigtem Abwasser in angrenzende Bäche, Flüsse oder direkt ins Meer einleiten und einige Mikroschadstofffrachten, darunter auch Mikroplastik, nicht überwacht werden. Es gibt für sie schlicht keine Grenzwerte.

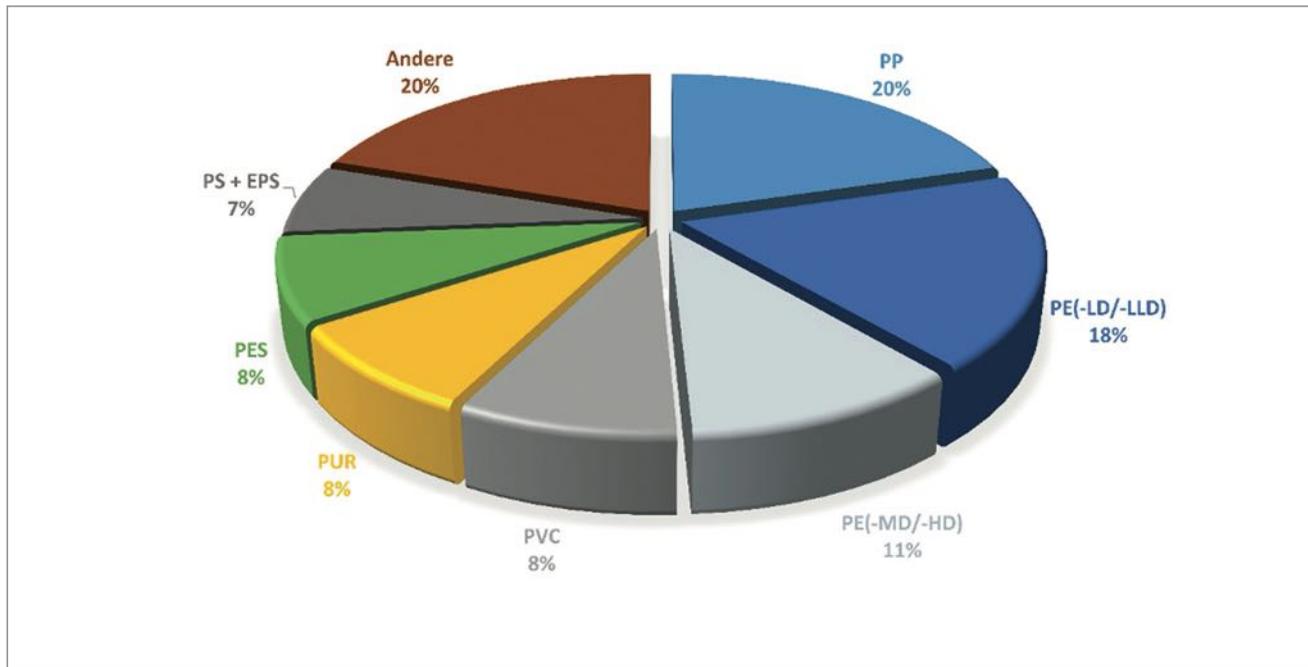
Das Verhalten von Mikroplastik tut sein Übriges dazu, dass dieses Problem in der Kläranlage derzeit nicht vollständig gelöst werden kann. Das Problem wächst weiterhin an, wenn bereits überlastete Kläranlagen mit Starkregenereignissen konfrontiert werden und das Abwasser ungereinigt abgelassen werden muss. Am Auslauf kommunaler Kläranlagen wurden bereits mehrfach erhöhte Belastungen mit Mikroplastik festgestellt.

Seit einigen Jahren werden unterschiedliche Verfahren erprobt, um Mikroplastik aus Wasser zu entfernen. Das Erste, woran man dabei denkt, ist wohl Filtration. Leistungsfähige Verfahren wie Mikro-, Nano- und Ultrafiltration werden aktu-

ell ebenso wie Umkehrosmose zur Entfernung von Mikroplastik aus Wasser erprobt, insbesondere in der Aufbereitung von Grund- und Oberflächenwasser für die Trinkwassernutzung. Doch diese sind alles andere als einfach. Umso kleiner die Partikel werden, die aus dem Wasser gefiltert werden sollen, umso höher ist der technische Aufwand. Es wird mehr Druck benötigt, um das Wasser durch die kleinen Poren zu pressen und ein Verstopfen zu verhindern. Die Energiekosten steigen. Auch ein Bakterienbewuchs, die Ausbildung eines sogenannten Biofilms, wird bei langanhaltendem Betrieb zum Problem. Diese Verfahren sind daher derart wartungs-, energie- und kostenintensiv, dass ihr Einsatz im Abwasserbereich schlicht ineffizient ist.

Verfahren, die im Rahmen der vierten Reinigungsstufe auf Kläranlagen zur Mikroschadstoffentfrachtung aus Abwasser eingesetzt werden, wie Ozonierung und Aktivkohleverfahren, sind wiederum nur bedingt für die Mikroplastik-Entfernung geeignet. Grund hierfür ist, dass es sich aus chemischer Sicht bei Kunststoffen um Kohlenwasserstoffverbindungen mit sehr geringer Reaktivität handelt, die weder zur Adsorption an Aktivkohlen neigen noch durch Ozon oder andere Oxidationsmittel innerhalb kurzer Zeit abgebaut werden.

Eine Möglichkeit bei der Filtration von Feststoffen die Effizienz zu erhöhen, ist die Zugabe von Flockungsmitteln. Diese interagieren mit der Oberfläche der abzutrennenden Partikel, und führen dazu, dass sich diese zusammenlagern, so ihre Größe erhöhen und dadurch einfacher abzutrennen sind. Jedoch hat Mikroplastik das Problem, dass es unzählige Plastiksor-



Plastiknutzung nach Polymertyp 2019 in Europa. (Quelle: »PlasticsEurope, Plastics – the Facts 2020«, Brüssel 2020; www.plasticseurope.org/de/resources/publications/196-plastics-facts-2013, Zugriff 31.07.2021).

mit unzähligen Stoffeigenschaften und somit auch stark variierender Oberflächenchemie gibt (siehe Grafik oben). Hier ein geeignetes Flockungsmittel zu finden, das für alle Plastikarten funktioniert, ist schwierig und bis dato nicht gelungen. Die meisten Flockungsmittel sind eisen- oder aluminiumbasiert und daher in ihrer Anpassbarkeit begrenzt. Polyelektrolyt-basierte Flockungsmittel sind variabler, haben aber das Problem, dass sie durch ihre Wasserlöslichkeit in die Umwelt eingetragen werden und dort schädliche Effekte zeigen können.

Ökotoxikologisch unbedenkliche Hybridkieselgele liefern einen neuen Ansatz, um Mikroplastik aus Abwasser zu entfernen. Sie können an unterschiedlichste Polymertypen – so wie andere Mikroschadstoffe wie Pharmazeutika, Pestizide oder Schwermetalle – angepasst werden. Basierend auf einer Agglomerations-Fixierungsreaktion werden aus vielen kleinen unterschiedlichen Mikroplastikpartikeln im Wasser tischtennisballgroße Agglomerate. Der Clou des Verfahrens ist, dass diese Mikroplastik-Agglomerate an die Oberfläche schwimmen und somit sehr einfach abgetrennt werden können. Die Mikroplastik-Agglomerate können dann kreislaufwirtschaftlich weiterverwendet werden. Anwendungen im Bausektor sind möglich. Durch diesen Schritt können industrielle und kommunale Kläranlagen nicht nur das Abwasser effizient und einfach reinigen, sondern gleichzeitig auch Abfallströme weiter nutzen.

Wissenschaft und Technologie sind entscheidend, um die Mikroplastikbelastungen unserer Gewässer zu verringern. Um wirksam gegen Mikroplastik im (Ab-)Wasser vorzugehen, müssen darüber hinaus jedoch mit gesamtgesellschaftlicher und globaler Perspektive sinnvolle Hebel identifiziert und wirksam in Bewegung gesetzt werden. Es gilt, Einträge von Mikroplastik durch den überbordenden Gebrauch und Verbrauch von Konsumgütern und die unsachgemäße Entsorgung von Müll

zu vermeiden. Vorsorgendes und verantwortungsbewusstes Handeln seitens der ProduzentInnen und KonsumentInnen muss gefördert und unterstützt werden durch transparente, nachvollziehbare und verbindliche politische Handlungsempfehlungen und gesetzliche Regularien. Mit europäischen Rahmenwerken wie *Kunststoffstrategie*, *Wasserrahmenrichtlinie*, *Trinkwasserverordnung* und nicht zuletzt dem *European Green Deal* und seinem Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft gibt es richtungsweisende Dokumente. Mit der Umsetzung der Einwegplastikrichtlinie und der bevorstehenden Entscheidung zur Aufnahme von primärem Mikroplastik in die *REACH-Verordnung* sind die ersten konkreten Schritte gemacht, unseren Umgang mit Kunststoffen und Mikroplastik umweltverträglicher und zukunftsfähig zu gestalten. Mit diesem Ziel vor Augen heißt es jetzt weitergehen. ■■

Silke Haubensak, Michael Sturm, Dennis Schober und

Dr. Katrin Schuhen sind das Gründungsteam von Wasser 3.0.

Sie vereinen interdisziplinäres ExpertInnen-Wissen in Chemie, Umweltwissenschaften, Abwassertechnik und Kommunikation mit lösungsorientiertem Forschungsdrang und leidenschaftlicher Tatkraft für Wasser ohne Mikroplastik und Mikroschadstoffe.

Zum Unternehmen: Die Wasser 3.0 gGmbH ist ein im Jahr 2020 gegründetes GreenTech-Unternehmen aus Karlsruhe, das an der Schnittstelle von Materialwissenschaften, Wasserwirtschaft und Wassertechnologie agiert. Wasser 3.0 handelt als Sustainability Entrepreneur gemeinnützig, sektorübergreifend und mit dem Ziel, messbare Beiträge zu den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen in den Bereichen sauberes Wasser, grüne Innovation, Klimaschutz und verantwortungsvolle Produktion zu leisten.

FINDE DEINEN RAHMEN!

Ein Rahmen ist Skulptur, ein Körper im Raum, der mit anderen Dingen in Beziehung tritt. Den richtigen Rahmen finden heißt aktiv Räume zu gestalten. Den richtigen Rahmen finden heißt auch: Zusammenhänge herstellen und Übergänge schaffen.

Bilderrahmen sind nicht nur Abgrenzungen, vielmehr schaffen sie Verbindungen: Kommunikation im Raum, Dialoge mit Wänden und Stühlen, mit Linien und Stoffen, Farben und Materialien. Vor allem treten sie in Kontakt mit den Menschen, die sich mit Werken umgeben, die ihnen etwas bedeuten. Egal ob Zeichnungen, Fotos, Gemälde, Erinnerungsstücke oder Objekte. Der richtige Bilderrahmen setzt Werke in Szene und verleiht ihnen die Wertschätzung, die sie verdienen.

Bei boesner gibt es maßgefertigte Rahmen aus den hauseigenen boesner Rahmenwerkstätten sowie ein riesiges Angebot an Fertigrahmen in vielen verschiedenen Formaten und Ausführungen – entwickelt von boesner und gefertigt in Europa. Zur Bild- und Objekt-Präsentation ist sämtliches Zubehör vorrätig: von Passepartouts, Galerieschienen, Bilderhaken, Präsentationssockeln bis hin zu Beleuchtungssystemen. Umfassende Beratung gibt es in allen boesner Niederlassungen.

Besonders praktisch bei boesner in Forstinning: Die Abteilung für FINE ART PRINT in der attraktiven Rahmenabteilung. Bilder werden vor Ort eingescannt, bearbeitet, gedruckt und direkt eingerahmt. Alles aus einer Hand!

boesner

FORSTINNING | MÜNCHEN
AUGSBURG | KOLBERMOOR
BAD REICHENHALL



Profis kaufen bei boesner ...

... **Kreative und Kunstbegeisterte auch.** Das Sortiment an Künstlerbedarf ist daher nicht nur für Profikünstler die **erste Adresse, wenn es um hochwertiges Künstlermaterial geht.** Als größter Anbieter von **Künstlermaterial, Einrahmung und Büchern** in Europa bietet boesner eine umfassende Auswahl an Künstlerfarben, Pinseln, Leinwänden, Papeterie, Schreibwaren sowie Zubehör und Werkzeuge fürs Bildhauerische Gestalten und viele weitere Disziplinen der Kunst. Mit dabei das erlesene Sortiment an Kunstbüchern in den boesner Buchabteilungen. Für die ersten Werke des Kleinkindes bis zum Bedarf für ambitionierte Kreative und Künstler gibt es bei boesner alles, was Kunst braucht.

boesner in Bayern:

Seit über 30 Jahren Partner von Museen, Galerien, Sammlern, Unternehmen und allen, die Wert auf individuell präsentierte Werke in den eigenen Räumen legen.

boesner, der Spezialist für Künstlermaterial, Einrahmung und Bücher in Forstinning, München, Augsburg, Bad Reichenhall und Kolbermoor.

www.boesner-bayern.de
Tel. +49 / 8121 / 9304-0



#boesner_bayern

FINDE
DEINEN
RAHMEN !



Flussdelta: Hier spült die Tiroler Achen nach starken Regenfällen große Mengen Sand und Geröll in den Chiemsee.

Zerstörer, Schöpfer, Gestalter

Mit großformatigen Luftbildern zeigt der Fotograf Bernhard Edmaier, wie Wasser die Erde formt. Zu sehen sind diese noch bis 28. November in der Flugwerft Schleißheim.

Zerstörung, Schöpfung, Gestaltung: Eis sprengt ganze Felsen auf, Wolken verdunkeln den Himmel und machen mit ihren Tropfen neues Wachstum möglich, Strömungen und Ströme tragen Sand und Steine kilometerweit. Wasser ist der Quell allen Lebens und eine wichtige landschaftsgestaltende Kraft auf diesem Planeten.

Der Geologe und Fotograf Bernhard Edmaier zeigt beeindruckende Ergebnisse dieser destruktiven wie kreativen Wirkung in 47 großformatigen Aufnahmen, großteils Luftbilder, die in den unterschiedlichsten Regionen der Welt entstanden sind.

Der blaue Planet: Von ganz weit oben, aus dem All betrachtet, wird sofort sichtbar, wie bedeutsam das Wasser auf der Erde ist. Aus ein paar Tausend Meter tiefer werden dann auch die Spuren deutlich, die das Wasser in die Erdoberfläche gezeichnet hat, wo sie nicht von den Ozeanen bedeckt ist. Diesen Spuren widmet sich der Fotograf und Geologe Bernhard Edmaier in seiner Ausstellung.

Die Aufnahmen wirken auf den ersten Blick wie abstrakte Gemälde, wenn sich die beigesandigen Arme der Tiroler Achen am Delta über das dunkle Grün des Chiemsees legen. Oder der wellige Meeresboden helle Schlieren ins Blau der flachen Gewässer der Bahamas zieht. Zu sehen sind Bilder von Gezeitenkanälen, Flussdeltas, Gebirgen, Gletschern oder Wüstenlandschaften, fotografiert aus bis zu 4000 Meter Höhe. »Um ein Flussdelta mit all seinen Wasserarmen zu fotografieren braucht man Abstand. Dazu muss man in die Luft gehen«, sagt Bernhard Edmaier. »Und manche große geologische Strukturen kann man vom Boden aus gar nicht erkennen.«

Was den Geologen und Fotografen bei der Zusammenstellung der Ausstellung selbst erstaunt hat war, »wie viele Motive bereits den Klimawandel widerspiegeln – sogar im hohen Norden, in Ostgrönland, ziehen sich die Gletscher sichtbar zurück und die intensiv blauen Schmelzwasserflüsse und -seen auf dem Inlandeis, die wunderschön anzusehen sind, aber den fortwährenden Eisschwund und damit auch den Meeresspiegelanstieg bezeugen, werden von Jahr zu Jahr zahlreicher.«

»Wasser – und der Klimawandel« ist denn auch neben »flüssig, fest und gasförmig« sowie »destruktiv, transportierend und konstruktiv« ein eigenes Kapitel in Edmaiers Ausstellung. Die Wissenschaftspublizistin Angelika Jung-Hüttl hat die Begleittexte zu den Bildern verfasst, mit ausführlichen geografischen und geologischen Informationen.

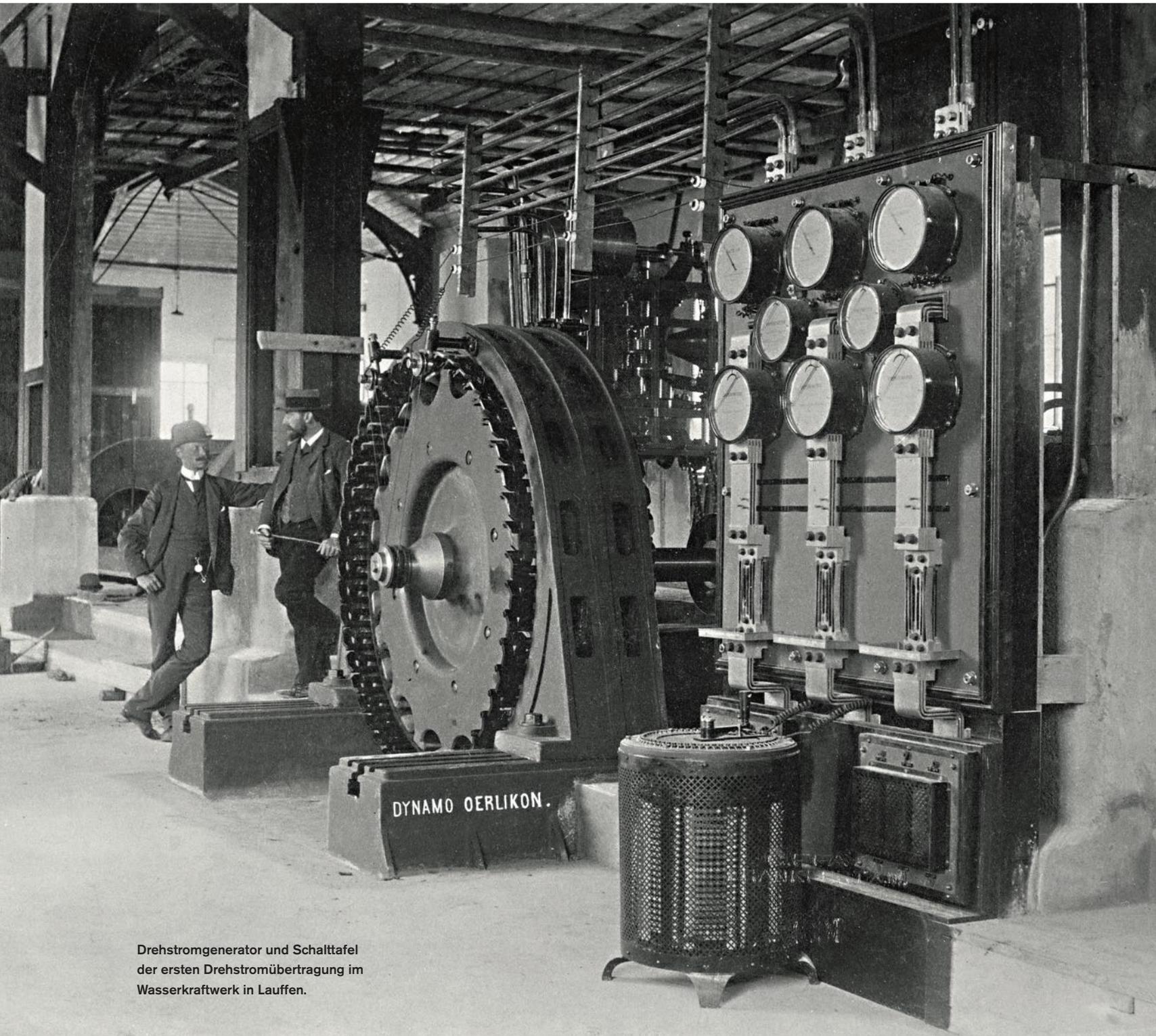
Zusätzliche Exponate, hergestellt am Museum Mensch und Natur, machen z. B. die Verteilung des Wassers auf der Erde oder seine unterschiedlichen Aggregatzustände in der Natur sichtbar.

»Gerade erst hatten wir vom Menschen geprägte Lebensräume auf den Luftbildern der HABITAT-Ausstellung, sagt Gerhard Filchner, »jetzt steht mit Wasser eine Urkraft der Natur als Gestalterin im Fokus. Allerdings sind im Ausstellungsbezug zum Klimawandel die menschlichen Einflüsse auch hier unübersehbar.«

Das Bewusstsein für dieses brandaktuelle Thema zu schärfen ist dem Leiter der Flugwerft Schleißheim ein Anliegen. »Luftaufnahmen haben diese besondere Eigenschaft, automatisch einen Perspektivwechsel zu erzeugen – und ganz nebenbei bieten sie auch immer eine großartige Ästhetik.« ■



Flachmeer bei Eleuthera, Bahamas.



Drehstromgenerator und Schalttafel
der ersten Drehstromübertragung im
Wasserkraftwerk in Laufen.

Strom kann wandern

Ein bedeutender Meilenstein zur Entstehung der heutigen Stromnetze war die weltweit erste Drehstromübertragung, die vor 130 Jahren am 24. August 1891 während der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt am Main stattfand. Von Franziska Schwiersch

Ein Leben ohne elektrische Energie ist heute nur noch schwer vorstellbar. Ganz selbstverständlich beziehen wir unseren Strom aus der Steckdose: Wir kochen Kaffee mit der elektrischen Kaffeemaschine, laden das Smartphone am Netz und putzen die Zähne mit der elektrischen Zahnbürste. Dabei ist die Geschichte der Nutzung elektrischer Energie noch relativ jung. Voraussetzung für die Entstehung der Stromnetze, die heute große Teile unserer Erde umspannen, war die Übertragung von Elektrizität über weite Entfernungen. Sie gelang erstmals vor 130 Jahren mit der Drehstromübertragung von Lauffen nach Frankfurt.

Vom Gleichstrom zum Wechselstrom

Ist man heute außerhalb der Städte unterwegs, so durchziehen Hochspannungsleitungen die Landschaft. Sie transportieren unseren Strom über hohe Masten bis in die Siedlungen und Industriegebiete. Am Stadtrand wird die elektrische Energie heruntergespannt, die Leitungen verschwinden im Untergrund und der Strom gelangt über Erdkabel zum Verbraucher.

Ende des 19. Jahrhunderts sah die Welt noch ganz anders aus. In der Frühzeit der Nutzung von elektrischer Energie gab es noch keine Leitungen zur Fernübertragung von Strom. Elektrizität war Luxusgut und nur einem kleinen Kreis von VerbraucherInnen vorbehalten. Man nutzte Gleichstrom, der damals nur mit einer relativ geringen Spannung erzeugt und nur mit hohen Verlusten über größere Entfernungen übertragen werden konnte. Die ersten Netze zur Stromverteilung waren daher räumlich stark begrenzt. Es handelte sich um lokale Inselnetze, die einzelne Stadtbezirke mit elektrischer Energie versorgten. Sie bestanden aus einem Elektrizitätswerk, der sogenannten »Zentralstation«, welches im Zentrum errichtet wurde. Von dort aus wurde die Elektrizität über unter der Straße verlegte Kabel zu den Verbrauchern geleitet, wo sie hauptsächlich zur Beleuchtung eingesetzt wurde. Teilweise betrieb man auch bereits verfügbare Gleichstrommotoren.

Die mitten in den Wohngebieten errichteten Elektrizitätszentralen brachten Lärm, Rauch und Staub mit sich, was zu Konflikten mit AnwohnerInnen führte. Darüber hinaus konnten die räumlich begrenzten Gleichstromnetze den Anforderungen der rasant wachsenden Städte mit ihrem zunehmenden Kreis von Stromverbrauchern bald nicht mehr gerecht werden. Um die Elektrizitätswerke an Orte außerhalb der Städte zu verlagern und die Wasserkraft auf dem Land als Energiequelle für die Städte zu nutzen, kam der Ruf nach einer Technik zur Übertragung von elektrischer Energie über weite Entfernungen auf.

Es wurde damit begonnen, die Möglichkeiten einer Übertragung mit Wechselstrom, dessen Richtung sich in regelmäßiger Wiederholung ändert, zu erproben. Mit den ersten Transformatoren war bereits seit Mitte der 1880er Jahre eine Technik vorhanden, um Wechselstrom hochzuspannen. Darüber hinaus wurde an der Konstruktion von Wechselstrommotoren gearbeitet, um diese Art von Energie auch zum Betrieb von Kraftmaschinen einzusetzen. Die erste Übertragung mit Wechselstrom wurde bereits 1884 auf der Elektrizitätsausstellung in Turin ge-



100-PS Drehstrommotor auf der »Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung« 1891 in Frankfurt.

zeigt. Es folgten weitere Versuche, woraufhin der Wechselstrom als Konkurrenz zur bisher genutzten Gleichstromtechnik in Fachkreisen schon bald zu einer heftigen Kontroverse führte.

Die Debatte erreichte in Deutschland ihren Höhepunkt, als in Frankfurt am Main 1887 ein Stromsystem für ein neues Elektrizitätswerk ausgewählt werden sollte. Es entbrannte eine jahrelang öffentlich geführte Diskussion, die als »Frankfurter Systemstreit« in die Geschichte der Elektrotechnik eingegangen ist. Die Stadt ließ sich von einer Kommission aus weltweit renommierten Experten beraten, was aber zu keinem eindeutigen Ergebnis führte.

Die Idee für eine Ausstellung als öffentliche Leistungsschau kam schließlich von keinem Techniker, sondern von dem Politiker und Herausgeber der Frankfurter Zeitung Leopold Sonnemann (1831–1909). Die Organisation und Ausstellungsleitung übernahm Oskar von Miller (1855–1934), der spätere Gründer des Deutschen Museums. Für ihn stand fest »[...] , daß [sic] es die Hauptaufgabe dieser Ausstellung sei, das Problem der elektrischen Kraftübertragung und Kraftverteilung auf weite Entfernung einer Klärung zuzuführen.«

Damit griff er eine Idee auf, die er bereits 1882 auf der Elektrizitätsausstellung im Münchner Glaspalast verfolgt hatte. Damals wurde eine Fernübertragung mit hochgespanntem Gleichstrom von 1500 bis 2000 Volt über 57 Kilometer von Miesbach nach München gebaut. Sie zeigte zwar, dass die Übertragung elektrischer Energie technisch realisierbar war, erreichte aber lediglich einen geringen Wirkungsgrad von 22 Prozent.

Auf dem Weg zur ersten Drehstromübertragung

Neun Jahre nach der ersten Fernübertragung von Miesbach nach München fand Oskar von Miller in der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin (AEG) und der Schweizer Maschinenfabrik Oerlikon innovationsfreudige Partner für den Bau einer ersten Fernübertragung mit Wechselstrom. Man entschied sich dafür, das von Michael von Dolivo-Dobrowolsky (1862–1919), dem Chefingenieur der AEG, entwickelte Drehstromsystem einzusetzen. Drehstrom besteht aus drei Wechselströmen gleicher Frequenz, die zueinander jeweils 120° phasenverschoben sind. Diese entstehen in drei am Umfang des Generators räumlich um 120° versetzten Spulen und werden über drei voneinander getrennte Leitungen übertragen.

Der Drehstromgenerator und zwei der Transformatoren wurden von der Maschinenfabrik Oerlikon gebaut. Die AEG konstruierte weitere Transformatoren, die während des Betriebs im Wechsel mit denen von Oerlikon eingesetzt werden sollten, und einen Drehstrommotor, der auf der Frankfurter Ausstellung die Pumpe eines 10 Meter hohen künstlichen Wasserfalls betreiben sollte. Den Bau der Leitung übernahm die Kaiserliche Reichspostverwaltung und die württembergische Telegrafendirektion. Man entschied sich für die Strecke von Lauffen am Neckar nach Frankfurt, weil das Ingenieurbüro Oskar von Millers kurz zuvor den Auftrag bekommen hatte, eine Übertragungsanlage von Lauffen nach Heilbronn zu bauen. Auftraggeber war das Württembergische Portland-Zementwerk, das mit der Anlage überschüssige Leistung des Wasserkraftwerks in Lauffen in die 10 Kilometer entfernte Stadt Heilbronn transportieren wollte. Von Miller konnte den Vorstand davon überzeugen, die zu der Zeit noch neue Drehstromtechnik einzusetzen und die Anlage noch vor der geplanten Inbetriebnahme im Frühjahr 1892 fertigzustellen, um den Strom über eine temporäre Fernleitung zur internationalen Elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt zu übertragen.

Am 04. Juli 1890 wurde das Vorhaben der Errichtung einer Hochspannungsleitung schließlich öffentlich bekanntgegeben. Der im Wasserkraftwerk in Lauffen produzierte Drehstrom sollte mit Hilfe eines Transformators zunächst auf 15 000 Volt, später versuchsweise sogar auf 25 000 Volt, hochgespannt und über eine Freileitung entlang der Eisenbahnstrecke Heidelberg Hanau zum Frankfurter Ausstellungsgelände übertragen werden. Dafür sollte ein nur 4 Millimeter dicker Kupferdraht in 8 bis 17 Metern Höhe über mehr als 3000 mit Porzellanisolatoren versehene Holzmasten verlegt werden.

Bis zur Ausstellung hatten die Pioniere der Drehstromtechnik noch einen schweren Weg vor sich. Nach Bekanntgabe des Projekts werteten angesehene Experten aus dem Gebiet der Elektrotechnik das Vorhaben als unmöglich. Nie zuvor hatte man versucht, Elektrizität mit einer derart hohen Spannung zu übertragen. Insbesondere die Konstruktion geeigneter Transformatoren, die einer Spannung von bis zu 25 000 Volt standhielten, und die Isolation der Leitung zur sicheren Übertragung über eine Strecke von 175 Kilometern bis zum Ausstel-

lungsgelände wurde kritisch gesehen. Als öffentlich bekannt wurde, dass man beabsichtigte, eine derart hohe Spannung über einen blanken Draht zu übertragen, schalteten sich auch die Landesbehörden ein. Man fürchtete sowohl eine Gefährdung der Menschen, die sich in der Nähe der Leitung aufhielten, als auch Störungen der parallel laufenden Telegrafenableitung. Um ein System von Sicherungen, Isolatoren und die für die Übertragung konstruierten ölisierten Transformatoren im Vorfeld zu prüfen, wurde eine Testleitung gebaut. Die Tests bewiesen, dass die Leitung keine Gefahr für die Umgebung darstellte, woraufhin mit dem Bau begonnen werden konnte.

Bevor man mit den Arbeiten an der Übertragungsstrecke starten konnte, mussten diverse behördliche Hürden überwunden und konstruktive Herausforderungen gelöst werden. Die Leitung führte durch Preußen, Bayern, Hessen, Baden und Württemberg, so dass sich die Konstrukteure im Vorfeld die Genehmigungen von unterschiedlichen Landes- und Bahnbehörden einholen mussten. Insbesondere Vorbehalte der badischen Regierungsstelle gefährdeten das gesamte Projekt.

Auf Teilstrecken, auf denen die Bahnlinie durch Tunnel verlief, musste die Leitung über Berge geführt werden und dort, wo Siedlungen und Straßen den Weg kreuzten, mussten besondere Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden. Das führte dazu, dass sich die Planung derart in die Länge zog, dass man erst Mitte Juli 1891 mit den Bauarbeiten beginnen konnte. Trotz der Verspätung war die Leitung nach nur sechs Wochen Bauzeit fertiggestellt und konnte für den Großversuch freigegeben werden.

Wirksamer Protest

Die Genehmigung der badischen Behörden stand noch bis zur geplanten Inbetriebnahme aus, woraufhin sich eine Gruppe um Oskar von Miller am 24. August 1891 am Bahnhof des kleinen Städtchens Eberbach an der badischen Grenze versammelte, um öffentlichkeitswirksam den dringend erforderlichen Zusammenschluss der Leitung zu fordern. Trotz des Protests der badischen Regierungsstelle wurde die Leitung noch am selben Tag durchgeschaltet. Am 24. August abends gegen 20 Uhr, wurde zum ersten Mal Strom erfolgreich von Lauffen nach Frankfurt geschickt. In Eberbach war es Michael von Dolivo-Dobrowolsky, der einen Mast erkletterte und mit dem Ausruf »Der Strom ist in Frankfurt!« stolz das Gelingen der Stromübertragung verkündete.

Auf der Frankfurter Ausstellung versorgte der Strom aus Lauffen neben dem künstlichen Wasserfall, auch ein Tableau mit 1000 Glühlampen, das die Fernübertragung pries. Der gute Wirkungsgrad von 75 Prozent zeigte, dass elektrische Energie wirtschaftlich über große Entfernungen übertragen werden kann. Eine Errichtung von Elektrizitätswerken zur Versorgung der Städte außerhalb der besiedelten Gebiete, beispielsweise direkt an Orten mit Primärenergiequellen, wie Kohlegruben und Wasserläufe, war also möglich.

Nach Ausstellungsende wurde der Strom wie geplant nach Heilbronn geleitet, das damit zur weltweit ersten Stadt avan-

Auf der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt betrieb man mit Strom aus dem 175 Kilometer weit entfernten Lauffen einen künstlichen Wasserfall.



cierte, die bereits im Januar 1892 die regelmäßige Fernversorgung mit elektrischer Energie aufnehmen konnte.

In Frankfurt entschied man sich trotz der erfolgreichen Drehstromübertragung für ein System mit einphasigem Wechselstrom. Es sollte bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts dauern, bis sich der Drehstrom langsam durchsetzte und die heutigen hauptsächlich auf Drehstrom basierenden Stromversorgungsnetze entstanden.

Der Generator und das obere Ende eines der Holzmasten der ersten Drehstromübertragung von Lauffen nach Frankfurt befinden sich heute in der Sammlung des Deutschen Museums und sind noch bis Ende 2021 in den Ausstellungen »Museums-geschichte« und »Starkstromtechnik« zu sehen. Nach Fertigstellung der Sanierung dieses Teils des Museums werden sie in der neuen Dauerausstellung »Energie – Strom« ausgestellt. ■

Zum Weiterlesen

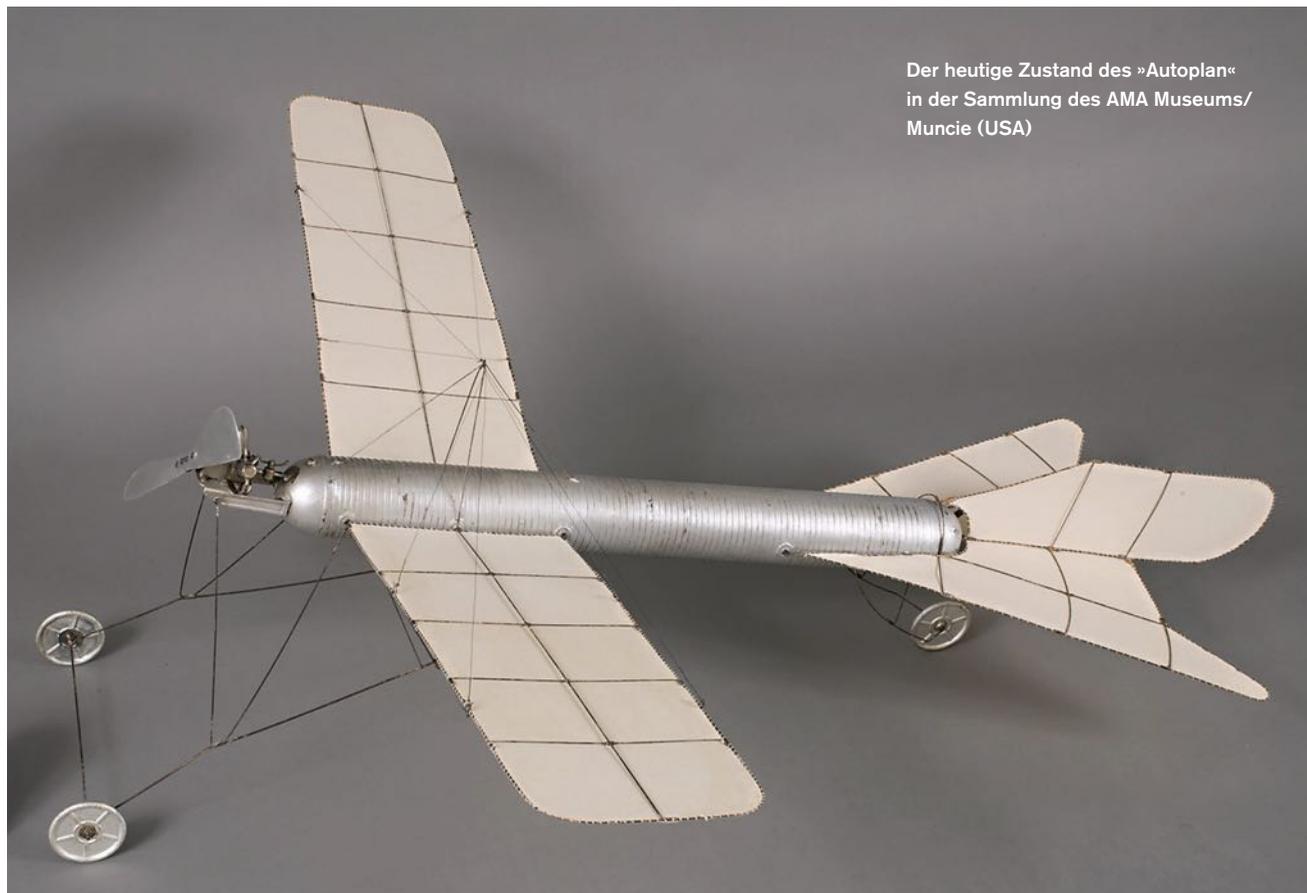
Jürgen Steen (Hg.), »Eine neue Zeit...!«. *Die Internationale Elektrotechnische Ausstellung 1891*, Ausst.-Kat. Historisches Museum Frankfurt am Main, Frankfurt am Main 1991.

Gerhard Neidhöfer, *Michael von Dolivo-Dobrowolsky und der Drehstrom. Anfänge der modernen Antriebstechnik und Stromversorgung*, Berlin/Offenbach 2004.

Horst A. Wessel (Hg.), *Moderne Energie für eine neue Zeit*, Düsseldorf 1991.



Franziska Schwiersch ist wissenschaftliche Mitarbeiterin für die neue Ausstellung »Energie – Strom« am Deutschen Museum.



Der heutige Zustand des »Autoplan«
in der Sammlung des AMA Museums/
Muncie (USA)

Mit Pressluft fliegen

Der »Bing Autoplan«-Flieger war ein beeindruckendes Spielzeug. Das kleine Propellerflugzeug brachte es auf eine Spannweite von immerhin 1,24 Meter. Aber die eigentliche Sensation war: Dank Pressluftantrieb flog der »Bing Autoplan« 25 Meter hoch und 300 Meter weit. Von Heinrich Eder

Die Gebrüder Bing AG in Nürnberg war bis zum ersten Weltkrieg der weltweit führende Spielwarenhersteller. Die Bing-Brüder beschäftigten 1911 in mehreren Fabriken über 4000 Mitarbeiter. Fast die gesamte Welt der Technik wurde als Bing-Spielzeug nachgebaut: Eisenbahnen, Automobile, Dampfmaschinen, physikalische Experimente mit Strom, Magnetismus, statischer Elektrizität bis hin zu kompletten Spieltelegrafstationen mit Funkensendern, die eine Reichweite bis 200 Meter besaßen. Vieles wurde auch ins Ausland exportiert.

Da die Entwicklung der Flugtechnik zu dieser Zeit in vollem Gang war, wünschte sich auch mancher Knabe ein wirklich fliegendes Modell, wie den »Bing Autoplan«. Benzinmotore für Flugmodelle waren damals noch sehr schwer und teuer. Gummimotore konnten nur für kleinere Modelle eingesetzt werden. Die Lösung lautete: Pressluft. Für ein mit Pressluft betriebenes Modell wurden von Bing einige Reichspatente angemeldet.

Der Bing Autoplan hatte 1,24 Meter Spannweite und flog mit 8 bar Anfangsdruck, die mit einer Luftpumpe in den Druckbehälter gedrückt wurden, immerhin 25 Meter hoch und 300 Meter weit – was damals einer Sensation gleichkam! Der Preis war laut Firmenkatalog von 1914 mit 50 Mark wohl nur für reichere Väter erschwinglich (das entspräche heute etwa 250 Euro).

Wegen des 1914 beginnenden Krieges wurde der Autoplan nur in geringer Stückzahl produziert. Nur wenige Exemplare überlebten die beiden Weltkriege – vorwiegend im Ausland. Eines wurde 2013 für 14 000 Euro versteigert.

Zufallsfund und Restauration

Das Museum der Academy of Model Aeronautics (AMA) in Muncie/USA erhielt 2013 eine Anfrage, was es wohl mit einem Konvolut aus Drahtteilen und einem Druckluftbehälter mit angebautem Motor auf sich haben könnte. Es ist ein Verdienst des

Museums, sofort Recherchen angestellt zu haben, mit dem Ergebnis: Es handelt sich um die Teile eines Bing »Autoplan« (»Selbstflieger«). Es waren im Wesentlichen das vollständige Drahtskelett mit Fahrwerk und die gut erhaltene Druckluftflasche mit dem 3-Zylinder-Pressluftmotor und Propeller.

Das Museum beauftragte ein Spezialstudio mit der Restauration, die schließlich zu einem hervorragenden zeitgetreuen Exponat führte. Der Druckbehälter aus dünnem Messingblech mit diversen aufgelöteten Lagerpunkten für Fahrgestell, Spannturm usw. ist zur Verstärkung mit einer Drahtwicklung versehen. Er wurde ursprünglich mit einer silber-glänzenden Farbe überzogen und erweckt den Eindruck eines Aluminium-Tanks. Der Propeller mit 37,5 cm Durchmesser und die Räder des Fahrwerkes sind aus Aluminium hergestellt und bestens erhalten.

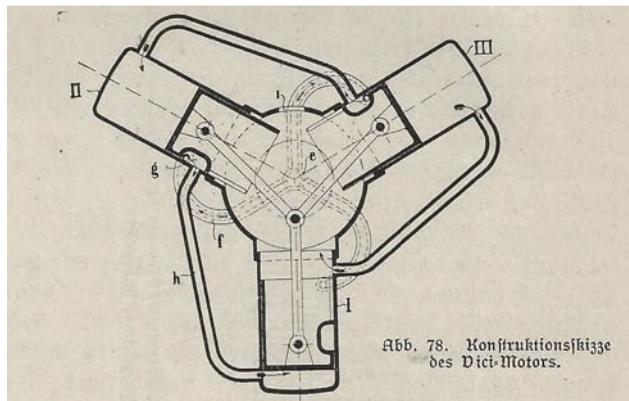
Der Pressluftmotor

Es handelt sich um eine ventillose Konstruktion: Die 3 Zylinder werden über getrennte Zuleitungen mit Druckluft beschickt und zwar so, dass der Kolben zugleich die Wirkung eines Ventils übernimmt. Eine Vertiefung verbindet die zugeleitete Luft mit dem nächsten Zylinder, dessen Kolben sich gerade im oberen Totpunkt (OT) befindet und das reihum (siehe Skizze unten). Die Luft strömt nach geleisteter Arbeit jeweils in das Kurbelgehäuse aus. Eine äußerst effektive Motorkonstruktion, die mit wenig Material auskam und nur 80 Gramm wog!

Der Motor wurde unter dem Namen »Vici-Motor« auch von anderen Firmen in Deutschland, wie Saran in Berlin, vertrieben. Aus den zur Verfügung stehenden Quellen¹ konnte nicht eindeutig geklärt werden, wer genau der Hersteller des Motors war. Die Bespannung des unrestaurierten Modells fehlte gänzlich und wurde mit beschichtetem dünnen Gewebe (früher: Gummi-Batist) ergänzt.

Das Bing-Modell besitzt nach Restauration die Sammlungsnummer #2013.36.01. Vom AMA-Museum ist ein 1:1 Plan

Das Prinzip des Vici-Motors



Die Modelldaten:

Spannweite 1,24 m
Länge 1,15 m
Druckbehälter 3 Liter
Dreizylinder-Pressluftmotor ca. 1/25 PS
Druck bis 8,5 Atm.
Drehzahl 3000/Min.
Gewicht 650 g

Eine begeisterte Kinderschar winkt dem hochfliegenden Autoplan zu. (Bing Katalog 2014)

erhältlich. Das Modell stellt heute ein einmaliges Zeugnis der Spielzeugtechnik vor dem ersten Weltkrieg dar und ist für jeden Besucher zugänglich. Abschließend sei noch bemerkt, dass Druckluft in der modernen Automobiltechnik als Energiespeicher wieder zur Diskussion steht. Neuere Versuchsfahrzeuge erreichen mit einem Fülldruck von 300 bar Reichweiten bis über 200 km – Batterien unnötig! ■

¹ Flugmaschinenbuch für Jungen. Franck'sche Verlagshandlung 1917 sowie Bing Katalog 2014



Dr. Heinrich Eder ist Physiker mit Interesse an der Bionik des Fliegens, Historische Grundlagen des Fliegens, Fliegen mit Muskelkraft. Er war 9 Jahre Jurymitglied beim Landeswettbewerb Jugend forscht und hat zahlreiche Jugend-Workshops beim Deutschen Museum gehalten.



Mitglieder des Freundes- und Förderkreises Deutsches Museum durften bereits einen Blick in die neue Ausstellung »Medien« werfen.

Berechtigte Vorfreude

Wieder einmal konnte der Freundes- und Förderkreis des Deutschen Museum in einer Führung durch die ab 2022 zu sehende Ausstellung »Bild Schrift Codes« wertvolle Einblicke in die komplexe Arbeit der Neugestaltung unseres Museums gewinnen. Der Blick hinter die Kulissen erzeugte allgemeine Begeisterung und Anerkennung für die Herausforderungen des Museums-Teams. Von Monika Czernin

Mit Baustellenhelmen und Baustellenschuhen, gelben Warnwesten und – der Wiedererkennung einzelner Mitglieder wenig förderlichen aber dennoch notwendigen - FFP2-Masken durften 20 Mitglieder des Freundes- und Förderkreises, sachkundig geführt von den beiden Kuratorinnen Sonja Neumann (Foto- und Filmtechnik, Drucktechnik, Papiertechnik, Bürotechnik) und Carola Dahlke (Informatik, Kryptologie) sich ein Bild von der in Aufbau befindlichen Ausstellung rund um Bild und Schrift, traditionsreiche Drucktechniken bis zur kniffligen Kryptologie machen. Es geht also knapp gesagt um »Medien in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft und den damit verbundenen technischen Wandlungsprozessen«, wie es in der Präsentation der neuen Ausstellung heißt. Dabei sind die unterschiedlichen Ausstellungsbereiche durch den Begriff »Codes« mit einer 30 Meter langen Setzkastenwand verbunden.

Die Kuratorinnen und ihre Fachberater haben die alte Abteilung Drucktechnik derart gründlich verändert, dass so mancher in der Freundesrunde die alte Aneinanderreihung von Druckmaschinen und anderen Museumsobjekten dann doch vermiss-



Neben Objekten werden auch berühmte Erfinder vorgestellt. Rechts im Bild die Totenmaske von Alois Senefelder.



te. Doch das Team um Sonja Neumann hat das Thema einfach nur vom Kopf auf die Füße gestellt, indem sie die kostbaren Ausstellungsstücke rigoros nach ihrem Erzählwert für die Ausgangsfrage abgeklopft haben, wie wir Schrift und Zeichen und – zu ihrer Vermittlung – unterschiedliche Medien nutzen.

Marshall McLuhan, der Gründervater der modernen Medienwissenschaft und Hohepriester der Popkultur geht davon aus,

dass die Menschheit vor allem durch Medien beeinflusst wird. Medien prägen Wahrnehmung, Denken und Kommunikation, letztlich unser ganzes Bewusstsein. »Das Medium ist die Botschaft«. Nur wer sich das vergegenwärtigt – was dank der wirklich bewundernswert verständlich und auf das Wesentliche reduzierten Ausstellung leicht gelingt – kann ermessen, welche ungeheure Entwicklung die Nutzung der Medien seit dem 17. Jahrhundert genommen hat. Auf 1060 Quadratmetern Ausstellungsfläche gelingt es den Ausstellungsmachern vom Erfinder der Lithografie, Alois Senefelder, bis zum Unicode der Computer und der Blockchain-Technologie einen inhaltlichen Bogen zu schlagen. Abgerundet wird das Ganze noch durch eine

Vielzahl an Demonstrationen, die in jahrelanger Arbeit in den Museumswerkstätten rund um das Thema »Bild Schrift Codes« erarbeitet wurden.

Der Freundeskreis hat durch seine Mitgliedschaft in der Zukunftsinitiative nach Kräften mit dafür gesorgt, dass die Ausstellung in der nun präsentierten Weise in die Realität umgesetzt werden konnte. Umso schöner ist es, dass die Kuratoren durch diese Hintergrund-Führung unseren Spendern ganz unmittelbar und persönlich ihr Werk vorführen konnten. Der Austausch mit dem Museum und seinen Mitarbeitern und die Diskussion über die präsentierten Inhalte ist ein wesentlicher Bestandteil des Freundeskreises.

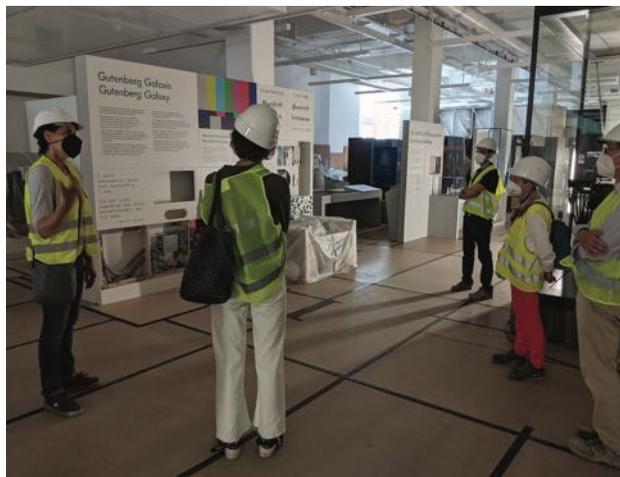
Wie gut diese Mittel eingesetzt sind, beweist einmal mehr die Kryptologie, der gewissermaßen zweite Teil der großartig gemachten Ausstellung. Wer ob der Komplexität des Themas bisher meinte, dies sei nur ein Thema für mathematische Superhirne und Computernerds wird gleich am Anfang eines Besseren belehrt (wiewohl auch Themen wie etwa Quantenkryptografie abgehandelt werden). Denn es geht los mit den Römern und mittels welcher Geheimsprachen sie ihre Nachrichten in ihr Riesenreich transportiert haben. Und – man hätte es sich denken können – wie der Vatikan schon immer zu den besten Mitteln der Geheimhaltung griff. Und so schwant es den Besucher ziemlich schnell, dass auch die Geheimsprachen, die wir als Kind erfanden, in der Ausstellung bestens aufgehoben wären. Schon gehen die Erinnerungen zurück, während im nächsten Ausstellungsabschnitt ein anderer Schwerpunkt und eine andere Art von Ernsthaftigkeit wartet. Die Enigma, der Siemens-Geheimschreiber und weitere Chiffriermaschinen, mit denen die Wehrmacht im Zweiten Weltkrieg ihre Nachrichten verschlüsselte. Wieder einmal hat der Krieg technische Sprünge erzeugt: zum einen, damit über die offenen Kommunikationswege Funk und Telegrafie trotzdem geheime Nachrichten transportiert werden konnten. Zum anderen trugen die Entzifferungserfolge der Alliierten – mit zum Teil weitreichenden Folgen für den Verlauf des Krieges – zur Entstehungsgeschichte der heutigen Computer bei.

Dann, im letzten Teil der Ausstellung, geht es um unsere unmittelbare Gegenwart, um Kryptologie im digitalen Zeitalter und die Tatsache, dass wir heutzutage ohne Kryptologie im Alltag überhaupt nicht mehr auskommen. Datenschutz, Verschlüsselung, Blockchain (ein meisterlich einfaches Schaubild erklärt diese Technologie so anschaulich als handle es sich um einen alten Stromverteilerkasten) sorgen heute für Sicherheit im weltweiten Datennetz – zumindest versprechen sie das.

Nach zwei Stunden Parcours de Force schwirrt der Kopf. Was für eine Leistung! Während noch die Bauarbeiten am Haus, also an der Hülle, im Gange sind, werden im Deutschen Museum 19 Dauerausstellungen und zwei Sciencelabs aufgebaut, teils logistisch derart eng verzahnt mit den Baumaßnahmen, dass die Objekte, kaum in ihrem neuen Leben angekommen, auch schon wieder Christo-mäßig verpackt werden müssen, weil es noch zu sehr staubt. Was für eine Herausforderung, denn die Konzeption der Ausstellung musste schon 2016 fertig sein, und trotzdem



19 Dauerausstellungen und 2 Sciencelabs sollen bis 2022 fertiggestellt werden. Hüllen schützen die Objekte vor Baustaub.



Sonja Neumann und Carola Dahlke führten die Besucherinnen und Besucher durch die neue Medienaussstellung.

dem technisch rasanten Wandel gerecht bleiben. Was für eine enorme intellektuelle Leistung schließlich, eine so leichtfüßige, auch für den eiligen Besucher konsumierbare und dennoch tiefgründige, vor allem nachdenklich stimmende Ausstellung zu schaffen! Ein großer Wurf. Ein bewunderndes Bravo! ■■

Werden Sie Mitglied im Freundes- und Förderkreis 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
<https://www.ffk-deutsches-museum.de/de>

Ihre Ansprechpartnerin:

Nicole Waldburger-Wickel
Tel. 089 / 28 74 84 21 • info@ffk-deutsches-museum.de
www.ffk-deutsches-museum.de

Neu erschienen im Verlag des Deutschen Museum:

Ersatzstoffe im Zeitalter der Weltkriege

Deutsches Museum Studies, Band 9

Das Thema dieses Buchs ist hochaktuell. Denn die Auffindung und Nutzung von Ersatzstoffen, die aus heimischen, erneuerbaren und nachhaltigen Ressourcen hergestellt werden können, wird angesichts der limitierten Rohstoffvorkommen auf unserem Planeten, der wachsenden Weltbevölkerung und des Klimawandels weiter an Bedeutung gewinnen. Umso lohnenswerter ist der Blick auf Konjunkturen und Kulturen der Erforschung, Wahrnehmung

und Nutzung von Ersatzstoffen in Deutschland in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, als Ersatzstoffe unter den Bedingungen von Aufrüstung und Krieg von besonders großer politischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Bedeutung waren.

Die Autorinnen und Autoren dieses Bandes zeichnen ein breites Tableau von Ersatzstoffen, die nicht selten auch heute noch im Gebrauch sind. Sie zeigen, dass die bis weit in das 19. Jahrhundert zurückreichende Tradition der Ersatzstoffforschung, die die Machthaber sowohl im Ersten wie auch im Zweiten Weltkrieg zu nutzen wussten, langfristig zwar selten zu spektakulären Neuerungen führte, aber dennoch immer wieder zu etlichen keinschrittigen Innovationen und bemerkenswerten Erkenntnissen. So prägte die Kultur der Ersatzstoffe auf vielfältige Weise Politik und Wirtschaft, Konsum und Gesellschaft. *Andrea Lucas*

Elisabeth Vaupel (Hrsg.):

Ersatzstoffe im Zeitalter der Weltkriege.

Geschichte, Bedeutung, Perspektiven. München 2021.

348 Seiten, 70 Abb.

ISBN 978-3-948808-02-0

Buchhandelspreis 39,50 Euro

ISSN 2365-9149

Die Tugend aus der Not

Im Corona-Lockdown erprobt, jetzt bewährt: exklusive Online-Angebote für unsere Mitglieder. Kaum waren die Museumstüren geschlossen, hat der Mitgliederservice seine digitalen Pforten geöffnet: Das Konzept der exklusiven Online-Führungen wird nun sukzessive ausgebaut.

Von Angelika Hofstetter, Mitgliederservice

An erster Stelle steht hier ein großes Dankeschön! Ein Dankeschön an die knapp 90 Prozent unsere Mitglieder, die uns auch in Zeiten des Lockdowns die Treue gehalten haben. Und unsere Mitglieder sind nicht nur besonders treu, sondern auch sehr großzügig: Allein im vergangenen Jahr kamen von ihnen mehr als 100 000 Euro an Spenden für das Deutsche Museum zusammen. Ein Grund für den großen Zuspruch waren auch die zahlreichen exklusiven und zum Teil interaktiven Online-Veranstaltungen, die mit großem Engagement quasi über Nacht aus der Taufe gehoben wurden.

Wir haben schon sehr früh – sowohl inhaltlich als auch technisch – verschiedene Möglichkeiten getestet, mit unseren Mitgliedern in Kontakt zu bleiben. Dadurch haben wir jetzt ein ganzes Bündel verschiedener Angebote zur Hand, das sich bereits bewährt hat. Und je nachdem, wie sich die Pandemie entwickelt, können wir die Angebote jederzeit ausbauen und den Gegebenheiten und Anforderungen anpassen. Die Schwierigkeit bestand zum einen darin, den Erlebnischarakter des Deutschen Museums bestmöglich über die räumliche Trennung hinweg zu transportieren, die ZuschauerInnen also an ihrem PC, Tablet oder auch am Smartphone aktiv miteinzubeziehen. Andererseits musste ausschließlich mit vorhandenen Möglichkeiten und Budgets gearbeitet werden, um keine zusätzlichen Kosten zu verursachen.

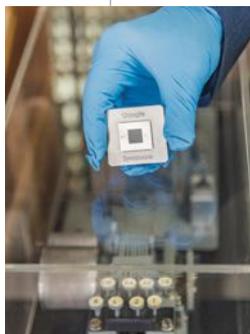
Neben den 360°-Rundgängen (gesponsert vom Freundes- und Förderkreis des Deutschen Museums e.V.), die offen für alle Online-BesucherInnen sind, haben wir für die Mitglieder eine Führungsreihe mit unseren Museums Communicators etabliert: Die M.Com-Kaffeepause und die M.Com-Feierabendführung. Die Premieren dieser gefilmten Führungen ohne Publikum finden auf YouTube statt, wo sie zu einem Termin live gestreamt werden, der nur unseren Mitgliedern bekannt gegeben wird. Danach sind die Filme bzw. Führungen im museumseigenen YouTube-Kanal für alle zugänglich.



Zur »M.Com-Kaffeepause lädt das Deutsche Museum regelmäßig seine Mitglieder ein. Im Bild eine Liveführung mit Anna-Lena Kemper.

Auch die exklusiven Live-Führungen, die nun getestet und einsatzbereit sind wollen wir weiterentwickeln. Technisch basieren diese auf einem Video-Konferenztool, über das die BesucherInnen jederzeit mit dem Guide in einen Dialog treten und Fragen oder Wünsche äußern können.

Unsere Mitglieder leben nicht ausschließlich im Einzugsbereich eines unserer fünf Häuser. Viele bleiben uns auch über Grenzen hinweg verbunden, leben in anderen Ländern Europas, in Asien oder in den USA. Vor diesem Hintergrund sind auch ganz andere Einsatzmöglichkeiten unserer coronabedingten Maßnahmen denkbar. Besonders geeignet sind sie auch für Führungen »hinter den Kulissen«: Eine Führungs- und eine Kameraperson sind deutlich einfacher beispielsweise durch die Werkstätten zu manövrieren als eine große Besuchergruppe. Es wird also in Zukunft nicht ein Entweder/Oder geben, sondern Live-Vor-Ort- und Live-Online-Formate nebeneinander. ■■



Superrechner im Miniformat

Im Jahr 2019 geschah in den Laboren von Google etwas, wovon Physiker und Computerspezialisten lange geträumt hatten: die erste Rechenoperation mit einem Quantencomputer. 200 Sekunden habe der Quantencomputer für eine Operation gebraucht, für die ein herkömmlicher Supercomputer 10000 Jahre gebraucht hätte. Das Herz dieses Computers: ein Quantenprozessor

namens Sycamore. Ein Exemplar dieses Prozessors wurde von Google an das Deutsche Museum übergeben – als Symbol dieser technologischen Revolution, eines bedeutenden Meilensteins in der Entwicklung der Computertechnologie. Ab Ende des Jahres kann der Prozessor in der neuen Ausstellung Elektronik im modernisierten Teil des Museums besichtigt werden.

Abbildungen: Deutsches Museum

Mitglieder sehen mehr

Führungen und Videos (nicht nur) für Mitglieder im Corona-Jahr

März 2020 bis jetzt

360°-Führungen auf YouTube

Mai 2020 bis jetzt

Videos auf YouTube mit der Reihe M*Vlog Meisterwerke, M*Vlog: Einblicke und M*Vlog: Klein & Groß

Juli – November 2020

Testpiloten-Onlineführungen (mit Zoom/Jitsi) zum Beispiel durch den Kosmos Kaffee oder in der Altamira-Höhle

November 2020 – April 2021

M.Com-Kaffeepausenführung und M.Com-Feierabendführung im Livestream auf YouTube

Mai 2021

Verlosung von Vor-Ort-Führungen exklusiv für Mitglieder für jeweils einen Haushalt

Unsere M.Coms haben sich gefreut endlich wieder Besucher im Haus zu begrüßen und die Gewinner haben sich gefreut, wieder ins Museum kommen zu können und haben die individuelle Führung sehr genossen.

Juni – September 2021

Science Summer: M.Coms stehen live auf der Bühne im Museumshof

Ab September 2021

Unsere Mitgliederführungen starten wieder. Jeden dritten Mittwoch im Monat. Voraussichtlich um 11.00 Uhr und 15.00 Uhr. Bevorzugt im Vor-Ort-Format mit Museum Communicators und Experten, aber auch Blicke hinter die Kulissen im Online-Livestream stehen auf dem Plan.

Zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses für dieses Heft war nicht klar, ob Führungen live vor Ort überhaupt stattfinden. Deshalb können wir hier keine verbindlichen Termine ankündigen.

Informieren Sie sich bitte immer aktuell beim Mitgliederservice (per E-Mail mitgliederinfo@deutsches-museum.de oder Tel. 089 / 21 79-310) und auf unserer Homepage



www.deutsches-museum.de/museum/engagement/mitgliedschaft-jahreskarte/programm-mitgliederfuehrungen

Besser noch, Sie melden sich über den Mitgliederservice zum monatlichen Newsletter an, dann bleiben Sie immer auf dem Laufenden!

Das digitale Modell für die Ausstellung »Chemie«.

Die Almhütte konnte als eines der ersten Objekte wieder aufgestellt werden.



So soll es in der Ausstellung Robotik aussehen.

Ein Blick hinter die Kulissen

Vor ziemlich genau 15 Jahren fiel der Startschuss zur Zukunftsinitiative Deutsches Museum. Mitte des kommenden Jahres 2022 können die neuen und neu gestalteten Ausstellungen in den komplett renovierten Gebäudeteilen endlich wieder eröffnet werden. Unseren verehrten Mitgliedern gewähren wir allerdings bereits vorab spannende Einblicke hinter die Kulissen. Für Sie durften wir einen ersten (fotografischen) Blick in einige der noch gesperrten Räume werfen. Kuratorinnen und Kuratoren berichten Ihnen über ihre Konzepte und stellen Ihnen ihre Lieblingsobjekte vor.

Bis dahin wünscht Ihnen alles Gute,
Ihre Sabrina Landes

Impressum

Das Magazin
aus dem Deutschen Museum

45. Jahrgang

Herausgeber: Deutsches Museum München
Prof. Dr. Wolfgang M. Heckl
Museumsinsel 1, 80538 München
Postfach 80306 München
Telefon (089) 21 79-1
www.deutsches-museum.de

Gesamtleitung: Dr. Kathrin Mönch (Deutsches Museum)
Dr. Stefan Bollmann (Verlag C.H.Beck, verantw.)
Wissenschaftliche Beratung: Prof. Dr. Elisabeth Vaupel

Redaktionsleitung: Sabrina Landes | publishNET,
Grafik: Birgit Schwintek, Redaktion: Hannah Schnorbusch,
redaktion@publishnet.org, www.publishnet.org

Verlag: Verlag C.H.Beck oHG, Wilhelmstraße 9, 80801 München; Postfach 400340, 80703 München, Telefon (089) 3 81 89-0, Telefax (089) 3 81 89-398, www.chbeck.de

Redaktioneller Beirat: Dr. Frank Dittmann (Kurator Energietechnik, Starkstromtechnik, Automation), Gerrit Faust (Leiter Presse- und Öffentlichkeitsarbeit), Melanie Jahreis, Dr. Kathrin Mönch (Verlagsleitung), Dr. Christian Sicka (Kurator Astronomie, Planetarium, Atomphysik, Zeitmessung), Prof. Dr. Elisabeth Vaupel (Forschungsinstitut)

Herstellung: Bettina Seng, Verlag C.H.Beck oHG

Anzeigen: Bertram Mehling (verantw.), Verlag C.H.Beck oHG, Anzeigenabteilung, Wilhelmstr. 9, 80801 München; Postfach 400340, 80703 München; Disposition, Herstellung, Anzeigen, technische Daten: Telefon (089) 3 81 89-609, Telefax (089) 3 81 89-589. Zurzeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 37.

Repro: Rehbrand Medienservice GmbH, Hauptstraße 1, 82008 Unterhaching

Druck, Bindung und Versand: Holzmann Druck GmbH & Co. KG, Gewerbestraße 2, 86825 Bad Wörishofen

Bezugspreis 2021: Jährlich 29,- Euro
Einzelheft 8,90 Euro, jeweils zuzüglich Versandkosten

Weitere Informationen: Deutsches Museum, Mitgliederservice, Museumsinsel 1, 80538 München, Telefon (089) 21 79-310, mitgliederinfo@deutsches-museum.de, www.deutsches-museum.de/mitgliederservice

Für Mitglieder der Georg-Agricola-Gesellschaft zur Förderung der Geschichte der Naturwissenschaften 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) 39 34 06

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

Abo-Service: Telefon (089) 3 81 89-679

Die Zeitschrift erscheint drei Mal im Jahr. Sie und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich 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 Manuskripte zu prüfen und ggf. abzulehnen. Ein Recht auf Abdruck besteht nicht. Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben nicht die Meinung der Redaktion wieder.
ISSN 0344-5690

myclimate klimaneutral produziert
www.chbeck.de/nachhaltig

LEINFELDER UHREN · MÜNCHEN



DIE MAGIE DES MONDES

Der Anziehungskraft des Mondes kann sich niemand entziehen. Als Ort utopischer Sehnsucht inspiriert er die Menschen seit Urzeiten. Alte Kulturen nutzen den Mond für die Einteilung des Jahres. Noch heute spiegelt sich seine historische Bedeutung für den Kalender in unserem Wort „Monat“ wider. Was aber hat es mit diesem Licht auf sich, das in stets wechselnder Gestalt über das Firmament zieht? Schon früh entdecken die griechischen Naturphilosophen den Mond als Gegenstand ihrer Forschung: So berechnet Hipparchos seine Entfernung, während Pytheas auf einer Reise zu den britischen Inseln den Zusammenhang von Mondphasen und dem Spiel der Gezeiten erkennt. Diese Attraktion auf das Wasser lässt noch heute viele Menschen glauben, der Mond wirke in mystischer Weise auf die irdische Natur – ja auf sie selbst.

Und genau dieser Zauber hat Leinfelder Uhren München zu dem neuesten Modell inspiriert. Klassisch, edel und elegant ist die Leinfelder Luna 1 sowohl in Rosé- als auch in Weißgold erhältlich. Ihr Herzstück ist das hochpräzise Manufaktur-Handaufzugskaliber L-H01 der Uhren-Werke-Dresden – mit einer Fertigungstiefe von über 95%.

HILSCHER

IHR JUWELIER IN MÜNCHEN
FLUGHAFEN & SCHWABING

Juwelier Hilscher
Stammhaus Schwabing
Nordendstr. 50
80801 München
Telefon: +49 89 27275178
servus@juwelier-hilscher.de



LEINFELDER UHREN · MÜNCHEN

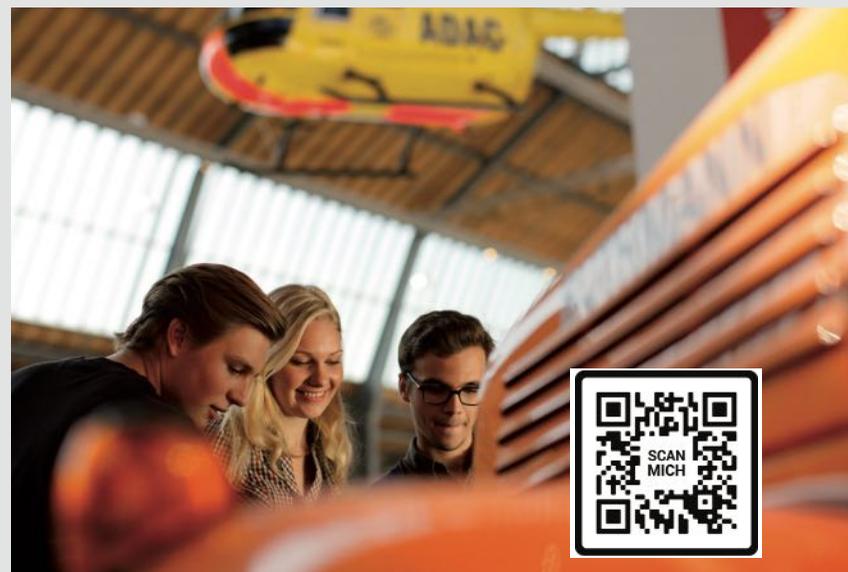
Leinfelder Uhren München GmbH & Co. KG
Pacellistraße 4, Pacellipassage 1. OG
80333 München
Tel. +49 89 - 24 20 39 40
info@leinfelder-uhren.de
www.leinfelder-uhren.de



Verschenken Sie ein Museum!

Sie sind auf der Suche nach einem besonderen Präsent?
Mit einer Geschenkmitgliedschaft verschenken Sie
ein ganzes Museum.

Das Anmeldeformular sowie weitere Informationen erhalten Sie unter
www.deutsches-museum.de/mitgliederservice
oder direkt beim Mitgliederservice: 089/ 2179-310, mitgliederinfo@deutsches-museum.de



Deutsches Museum



Museumsinsel 1, München · Tel. 089/ 2179-1 · täglich 9–17 Uhr · www.deutsches-museum.de