



FOTO: © DIDIER MARTI/GETTY IMAGES

Urban Mining: Städte als Rohstofflieferanten

Um wertvolle Rohstoffe zurückzugewinnen, werden passende Recycling-Methoden gesucht. Nachhaltige Verfahren sind jedoch rar. Forscher wollen nun an eine Schatzkammer ran, die aus allen Nähten platzt: unsere Städte

VON MONIQUE OPETZ

Seit dem 2. August ist unser Rohstoff-Dispo im Keller. Wir verbrauchen seit dem natürliche Ressourcen der Erde, die bis zum Ende des Jahres eigentlich nicht mehr zur Verfügung stehen, wie das Global Footprint Network berechnet hat. Stattdessen übersteigt die globale Nachfrage nach Holz, Gesteinen oder Metallen ab diesem weltweiten „Erdüberlastungstag“ das natürliche Angebot. Dass diese Rechnung auf Dauer nicht aufgeht, versteht sich von selbst.

Warum also nicht auf bereits Vorhandenes zurückgreifen? Gemeint sind die Milliarden Tonnen an Materialien, die in alten Gebäuden und Infrastrukturen, ausrangierten Kühlschränken, Fahrzeugen, Computern oder Windrädern stecken. In

ihnen schlummern Beton, Stahl, Kupfer, Kobalt oder Kunststoffe, sogenannte Sekundärrohstoffe. Zehn Tonnen Material pro Einwohner kommen laut Umweltbun-

desamt in Deutschland jährlich dazu. Dieses von Menschen gemachte Rohstofflager nennt man anthropogenes Lager.

Im Unterschied zum klassischen Recycling, das sich um kurzlebige Güter wie Verpackungen dreht, konzentriert sich das sogenannte Urban Mining auf Materialien, die erst nach vielen Jahren zur Verfügung stehen; etwa, wenn ein Haus baufällig oder der Geschirrspüler kaputt ist. Diese Sekundärmaterialien zurückzugewinnen und in einer ressourcenschonenden Kreislaufwirtschaft zu nutzen, ist das Ziel des städtischen Bergbaus.

Zwei Bereiche stehen dabei besonders im Fokus: „Die sehr CO₂-intensive Baubranche, bei der es um die mineralischen Rohstoffe, Beton und das Baustoffrecyc-



GREEN CHIPS

Neue Technologien für eine klimaneutrale Zukunft

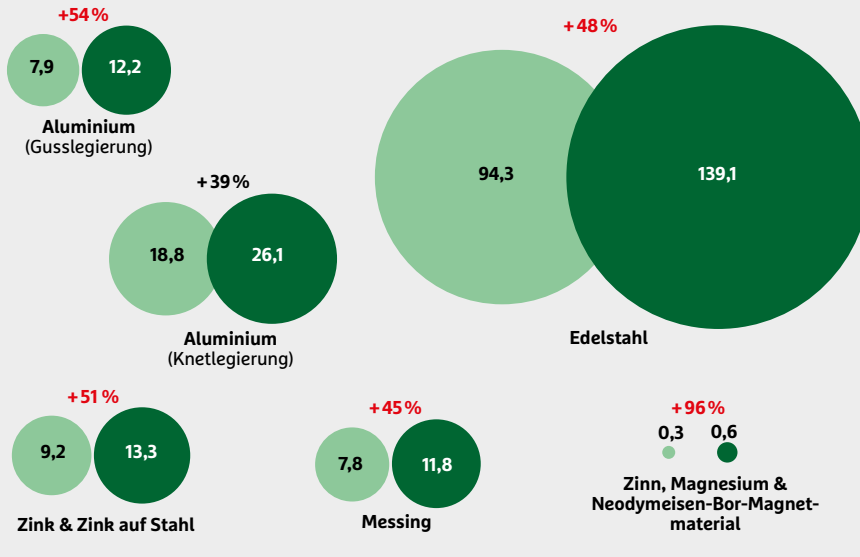
Forschungseinrichtungen, Unternehmen, soziale Initiativen, Tüftler oder Erfinder versuchen, den Klimawandel zu stoppen. Sie alle haben eines gemeinsam: Sie sind getrieben von modernsten Technologien. CHIP stellt sie in dieser Rubrik vor

Rohstoffquelle der Zukunft?

Das menschengemachte Metalllager in den Städten wird bis 2040 weiter anwachsen.

Angaben in Mio. Tonnen

■ 2015 ■ 2040



QUELLE: ÖKO-INSTITUT 2022

ling gehen wird. Und der Bereich Elektronik und Metalle, da sie sehr werthaltig sind“, sagt Prof. Christine Minke vom Institut für Aufbereitung, Recycling und Kreislaufwirtschaftssysteme der Technischen Universität Clausthal.

„In einem Handy steckt so viel Gold wie in 16 Kilogramm Erz, und in Kupferkabeln steckt reines Kupfer“, betont sie. Es sei viel sinnvoller aus einem Meter Kupferkabel das Kupfer zurückzugewinnen – als zwei Tonnen Erz aufzubereiten. Im Stahlsektor funktioniert das bereits sehr gut. Hier gibt es etablierte Kreisläufe; auch Aluminium ist ein zirkuläres Produkt mit einer Recyclingquote von 99 Prozent. Bei

anderen Materialien sieht es dagegen mau aus. Damit das nicht so bleibt, arbeiten Forscherteams mit Hochdruck an Methoden und Verfahren, um die wertvollen Stoffe zu extrahieren – doch Herausforderungen gibt es viele.

Störstoffe verhindern Recycling

Bei Metall- oder Kunststoff-Recycling gibt es Störstoffe – Verunreinigungen – die zum Downcycling führen. Bei pyrometallurgischen Vorgängen werden Materialien beispielsweise auf 2.000 Grad erhitzt. Das Problem: Diese Störstoffe werden mit eingeschmolzen und verunreinigen das flüssige Metall. Die zurückgewonnenen

Materialien können dabei ihre ursprünglichen Eigenschaften verlieren und nicht wiederverwendet werden. „Damit beschäftigt sich die Forschung intensiv – vor allen Dingen in der Hydrometallurgie“, sagt Minke. Ein vielversprechender Bereich, laut der Professorin. Es werde an zahlreichen effektiven Verfahren geforscht, die gezielt Stoffe zurückgewinnen können, die bisher mit anderen Methoden nicht extrahiert werden konnten.

Toxisch und teuer

Das Problem sei aber, dass die zur Rohstoffrückgewinnung eingesetzten Stoffe sehr aggressiv oder toxisch sind. Zum Einsatz kommen etwa Cyanide, hochkonzentrierte Schwefelsäure oder Chlorwasserstoff. Das heißt, hydrometallurgische Verfahren sind momentan noch ressourcenintensiv, toxisch und teuer – und sie haben eine schlechte Klimabilanz. „An diesen Stellen müssen die Prozesse noch deutlich verbessert werden, damit sie auch wirklich durchführbar sind“, so Minke.

Dass dies zunehmend gelingt, zeigen einzelne Pilotlinien von Start-ups wie Cylib oder Tozero. Sie arbeiten an nachhaltigen mechanisch-hydrometallurgischen Recycling-Verfahren für Lithium-Ionen-Batterien, um Bestandteile wie Lithium, Nickel oder Kobalt zurückzugewinnen und wiederzuverwenden. Cylib nutzt dafür kaum chemische Additive und setzt bei den hydrometallurgischen Prozessen stattdessen auf Wasser. „Bei Tozero haben wir die Kapazität, alle wichtigen Rohstoffmaterialien zurückzugewinnen, um sie nahtlos in die Lieferkette für die Herstellung nachhaltiger Batterien einzuführen“,



FOTO: MONTY RAKUSEN/GETTY IMAGES

Städtisches Wertstofflager

In kaputten Schienen, alten Gebäuden oder ausrangierten Elektrogeräten schlummern wertvolle Rohstoffe



FOTO: HOLLENDERZ/GETTY IMAGES

Gut sortiert ist halb gewonnen

Je reiner die Materialien, desto besser lassen sie sich wiederverwerten



FOTO: KOKOJUJGETTY IMAGES

Schrottwirtschaft

Alte Fahrräder, Blechregale oder elektronische Geräte: In ihnen verbergen sich verschiedenste Metalle und andere Materialien

sagt CEO Sarah Fleischer. Außerdem erfüllen ihre Technologie heute schon die Recyclinganforderungen der Europäischen Kommission, die ab 2031 für Lithium eine Rückgewinnungsrate von über 80 Prozent vorschreibt.

Bakterielles Plastikrecycling

Neben hydrometallurgischen Verfahren könnten biotechnologische Recycling-Methoden ein weiterer Schlüssel zum Urban Mining sein. Dabei kommen biologische Substanzen zum Einsatz, die ähnlich wie Enzyme oder Antikörper wirken und gezielt Stoffe erkennen.

Gelungen ist das kürzlich am Institut für Biochemie der Universität Greifswald mit Wissenschaftlern der Covestro AG. Das Team rund um Prof. Dr. Uwe Bornscheuer hat es geschafft, mit Enzymen als Biokatalysatoren Plastikabfall umweltschonend abzubauen. Dabei werden die Plastikmoleküle zurückgewonnen, um neue Kunststoffe herzustellen – ohne chemische Reagenzien und bei höchstens 40 Grad Celsius. Bisherige chemische Verfahren funktionieren nur mit einem erheblich größeren Energieeinsatz, da hohe Temperaturen notwendig sind.

„Die Suche nach diesen speziellen Biokatalysatoren war sehr aufwendig und wir mussten circa zwei Millionen Kandidaten durchmustern“, berichtet Doktorand Yannick Branson von der Universität Greifswald. Mit dieser Entdeckung habe man die Voraussetzungen geschaffen, diese Biokatalysatoren mit Protein-Engineering wei-

16 Kilogramm Golderz entspricht der Goldanteil in einem Smartphone

ter zu verbessern und sie für industrielles Recycling des Kunststoffs Polyurethan maßzuschneidern. „Mithilfe der neu identifizierten Enzyme kommen wir unserem Ziel einer vollständigen Kreislaufwirtschaft in der Kunststoffindustrie ein Stück näher“, sagt Dr. Gernot Jäger vom Kompetenzzentrum für Biotechnologie der Covestro.

Auf ein Industrieverfahren, mit dem Plastikmüll im großen Maßstab recycelt werden kann, werde man jedoch noch ei-



FOTO: RAPIDEVE/GETTY IMAGES

Aus Alt mach Neu

Damit die verwendeten Rohstoffe und Materialien in Gebäuden wiederverwendet werden können, müssen sie trenn- und ausbaubar sein

nige Jahre warten müssen, so die Prognose aus Greifswald. Wenn es klappt, hieße das: Es ist weniger Erdöl zur Herstellung von Kunststoffen notwendig. Außerdem würde weniger CO₂ ausgestoßen werden, denn der Kunststoffabfall müsste nicht länger umweltschädlich verbrannt werden.

Produktdesign mitdenken

Um eine tatsächliche Kreislaufwirtschaft zu etablieren und die Sekundärrohstoffe verfügbar zu machen, ist es wichtig, sie von Beginn an mitzudenken. Hier kommt das Thema Produktdesign ins Spiel. „Es wäre sehr hilfreich, wenn Produkte so geplant werden, dass beispielsweise der Akku herausnehmbar ist“, sagt Christine Minke von der TU Clausthal.

So sei eine sachgerechte Trennung zur Vorbereitung für weitere Verfahren gewährleistet. Eine Ladung Handys ließe sich gut recyceln. „Wenn sie aber noch mit Staubsaugern und anderen Elektrogeräten gemischt sind, wird es sehr viel aufwendiger, die besonders wertvollen Stoffe zurückzugewinnen.“ Das gleiche gilt für die Bauindustrie: Wichtig sind Lösungen, um Gebäude sinnvoll rückbauen zu können. Abrissbirne und Komplettzerstörung am Ende sind wenig hilfreich, um an einzelne Rohstoffe zu gelangen.

Dämmen mit Pilzen

Um herauszufinden, wie solche Lösungen aussehen könnten, läuft seit 2018 ein Pilotprojekt in der Nähe von Zürich. Dort gibt es eine Wohneinheit, die ausschließlich aus wiederverwendbaren, wiederverwertbaren oder kompostierbaren Materialien besteht. Diese „Urban Mining & Recycling“-Unit ist eine 125 Quadrat-



FOTO: GEORGECLERY/GETTY IMAGES



FOTO: WOLFGANG ZAWARSKI

Wohn-Experiment
Zu 100 Prozent rückbaubar ist die Testwohnung in der Nähe von Zürich

meter große Dreizimmerwohnung, in der zwei Studierende testwohnen. Sie befindet sich in dem Versuchsgebäude NEST auf dem Campus der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa. Die dafür verwendeten Backsteine bestehen aus Bauschutt. Die Dämmplatten sind aus Pilzgewebe und Sägespänen. Altglas und Getränkekartons kommen für die Wandverkleidungen zum Einsatz; die Türklinken sind aus einer alten Brüsseler Bank. Und die Fassade enthält wiederverwendete Kupferplatten, die aus einge-

schmolzenem Kupfer bestehen und von einem ehemaligen Hotel stammen.

Das Konzept für das Wohnmodul entwarfen der Architekt Werner Sobek von der Universität Stuttgart und Dirk E. Hebel sowie Felix Heisel vom Karlsruher Institut für Technologie. „Wir wollen beweisen, dass es schon heute möglich ist, so zu bauen, dass sämtliche Ressourcen zu hundert Prozent und sortenrein wieder ausbaubar sind“, sagt Hebel.

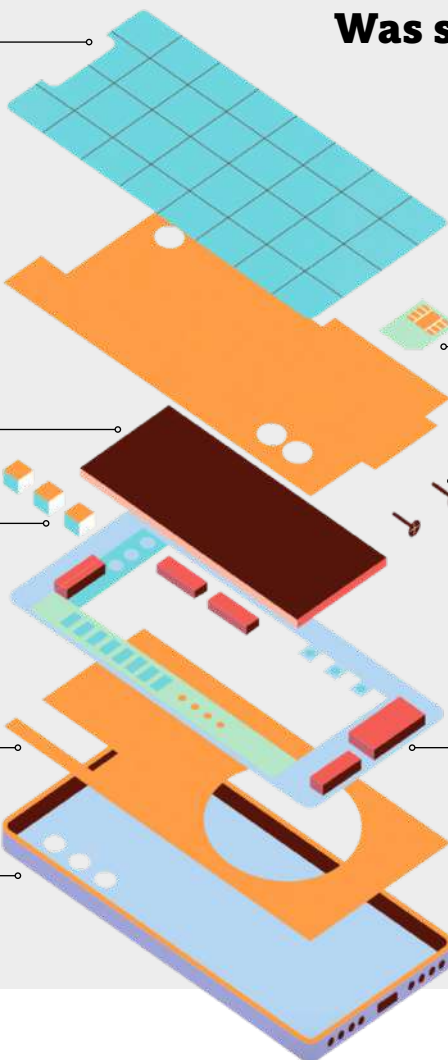
Um die verwendeten Materialien problemlos rückbauen zu können, wurden die

Backsteine ohne Mörtel eingesetzt. Das Tragwerk und große Teile der Dreizimmerwohnung bestehen aus unbehandeltem Holz. Das ermöglicht eine sortenreine Wiederverwertung – oder eine biologische Kompostierung. Dabei können sämtliche Verbindungen rückgängig gemacht werden, denn das Holz ist nicht verklebt oder ausgeschäumt, sondern gesteckt, geklemmt oder verschraubt. Die Vision ist klar: Zukünftig sollen Gebäude nicht nur Wohnraum sein, sondern auch Materiallager für kommende Generationen.

Die Realität sieht indes anders aus: Gemessen am gesamten Rohstoffverbrauch in Deutschland machen die Sekundärrohstoffe nur etwa 13 Prozent aus. Um das zu ändern, möchte die Bundesregierung das Konzept der Kreislaufwirtschaft ankurzeln. Sie ist dabei, eine Nationale Kreislaufstrategie zu erarbeiten, die sie Anfang 2024 beschließen will. Das Ziel ist, strategische Maßnahmen zur Ressourcenschonung zu definieren. Die urbanen Rohstofflager jedenfalls sind prall gefüllt.

redaktion@chip.de

Was steckt im Smartphone?



- Display**
 - Aluminium
 - Gallium
 - Indium
 - Zinn kommt aus China, Indonesien und Myanmar.
 - Dysprosium und Yttrium zählen zu den Metallen der Seltenen Erden.
- Akku**
 - Lithium
 - Kobalt ist für die Lithium-Ionen-Akkus unersetzlich und stammt aus den Minen des Kongo. Teilweise arbeiten hier Minderjährige unter schwierigsten Bedingungen. Es zählt daher zu den sogenannten Konfliktmetallen.
 - Gold gehört ebenso zu den Konfliktmetallen und wird unter anderem in China, Australien, Russland, USA und Kanada gewonnen.
- Kamera**
 - Gallium lässt sich nur mit hohem Energieaufwand gewinnen. Wichtigster Lieferant ist China.
- Abschirmung**
 - Aluminium wird in Australien, China, Guinea und Brasilien gewonnen.
- Gehäuse**
 - Kunststoffe
 - Nickel
 - Glas und Keramik
 - Aluminium

Mini-Mine: Ein Mobiltelefon besteht aus 60 verschiedenen Baustoffen von rund 270 Zulieferfirmen. Doch mehr als 200 Millionen alte Handys liegen ungenutzt in den Schubladen – allein in Deutschland.

SIM-Karte

- Gold hat eine hohe Leitfähigkeit und schützt die Verbindung der Bauelemente.

Schrauben

- Eisen wird in China, Australien, Brasilien, Indien und Russland abgebaut.

Leiterplatte

- Kupfer leitet den Strom und wird aus den Minen in Chile, Peru und China gewonnen. Die Folge sind oft verseuchte Böden und Gewässer.
- Silber
- Zinn dient zum Lötten der Bauteile, Tantal zum Speichern der Energie. Beide Konfliktmetalle gehören zu den Schlüsselmetallen der Elektronikbranche. Tantal wird in Kriegs- und Krisengebieten abgebaut, darunter Kongo, Ruanda und Nigeria.
- Palladium

Lautsprecher

- Neodym zählt zu den Metallen der Seltenen Erden. Diese werden heutzutage so gut wie nicht recycelt.

ILLUSTRATION & QUELLE: ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN / ACATECH HORIZONTE