

acatech

HORIZONTE

Urban Mining



Was ist Urban Mining und wo stehen wir heute?

Was ist heute schon und in Zukunft noch möglich?

Internationales Schlaglicht:
Amsterdam und das Donut-Modell

Von der Rhetorik zur Umsetzung:
Kreislauf der Akteure

Mit der vorliegenden Publikationsreihe untersucht acatech bedeutende Technikfelder, die sich klar am Horizont abzeichnen, deren Auswirkungen aber noch geklärt werden müssen. Diese Technikfelder werden in acatech HORIZONTE fundiert und anschaulich aufbereitet. In diesen Prozess fließen der aktuelle Stand der internationalen Forschung, Entwicklung und Anwendung sowie die Wertschöpfungspotenziale der Technologien ein. Darüber hinaus nehmen die acatech HORIZONTE ethische, politische und gesellschaftliche Fragen sowie denkbare Entwicklungen und Gestaltungsoptionen in den Blick. Mit den acatech HORIZONTEN möchte die Akademie die Diskussion über neue Technologien anregen, politische Gestaltungsräume aufzeigen und Handlungsoptionen formulieren – und so einen Beitrag für eine vorausschauende Innovationspolitik leisten.

acatech **HORIZONTE**

Urban Mining





Inhalt

Zwölf Kernbotschaften	4
1 Einleitung: Was ist Urban Mining und wo stehen wir heute?	6
2 Was ist heute schon und in Zukunft noch möglich?	12
2.1 Metalle: Aus Abfall wird Gold	13
2.2 Mineralische Materialien: ein neues Haus aus Müll	18
2.3 Kunststoffe: Bio-Recycling mit Bakterien	22
2.4 Neue Geschäftsmodelle: nutzen statt kaufen	28
2.5 Neue Geschäftsmodelle: Wertvolles aus dem Wertstoffhof	29
2.6 Daten-Mining mit dem Materialpass	34
3 Internationales Schlaglicht: Amsterdam und das Donut-Modell	38
4 Von der Rhetorik zur Umsetzung: Kreislauf der Akteure	42
Interviewpartnerinnen und Interviewpartner	46
Mitwirkende	47
Literaturverzeichnis	48

Zwölf Kernbotschaften

- 1.** Deutschland und Europa beziehen einen Großteil ihrer Rohstoffe aus anderen Ländern der Welt, darunter auch kritische Rohstoffe: Diese sind für die Schlüsseltechnologien der Wirtschaft von zentraler Bedeutung, werden aber teilweise unter unzumutbaren Umwelt- und Arbeitsbedingungen abgebaut.
- 2.** Urban Mining kann dazu beitragen, sowohl die Rohstoffabhängigkeit Europas von Drittländern als auch den ökologischen Fußabdruck zu verringern.
- 3.** Statt immer mehr Primärrohstoffe abzubauen, setzt Urban Mining auf die Sekundärrohstoffe, die sich im Laufe der Jahrzehnte in Städten und Siedlungen anhäufen. Das können edle Metalle aus Elektronikteilen, Baumaterialien oder auch Kunststoffe sein.
- 4.** Zu Urban Mining gehört auch Daten-Mining. Daten sind erforderlich, um die einzelnen Materialkomponenten aufzufinden, wiederaufzubereiten und zu recyceln.
- 5.** Ein Schlüssel zu Urban Mining ist, Recycling von Beginn an bereits beim Produktdesign immer mitzudenken. Nur so lassen sich die einzelnen verbauten Rohstoffe später möglichst einfach und sauber voneinander trennen.
- 6.** Das betrifft insbesondere (hoch)toxische Stoffe, die materialübergreifend verbaut sind und für Umwelt und Gesundheit gefährlich sein können. Oft stellt sich erst im Nachhinein heraus, dass diese schädlich sind, etwa im Falle von Gebäudeschadstoffen. Deshalb ist die Sicherheit dieser Materialien zu untersuchen, bevor sie verbaut werden, um nicht Jahre später den Schaden beheben zu müssen.

- 7.** Forschende arbeiten an unterschiedlichen Recycling-Technologien, die darauf warten, es in die Anwendung zu schaffen. Welche dieser Technologien sich durchsetzen, ist noch offen.
- 8.** Wichtig ist vor allem die Umsetzung: Wir brauchen die Erfahrung, dass Urban Mining auch wirtschaftlich erfolgreich sein kann. Dazu muss vieles ausprobiert und auch weitergemacht werden, selbst wenn nicht sofort ein ‚Quick-Win‘ eintritt.
- 9.** Damit Urban Mining flächendeckend gelingt, müssen neue Geschäftsmodelle entstehen, die auch wirtschaftlich interessant sind. Gerade darin liegt die Herausforderung, denn bislang sind Primärrohstoffe meist billiger als recycelte.
- 10.** Einen wichtigen Anreiz kann die Politik liefern, indem sie den Einsatz von Recycling-Materialien fördert. Derartige Ansätze werden bereits im Baubereich in Europa getestet.
- 11.** Urban Mining erfordert ein gemeinsames Denken und Handeln aller Beteiligten, darunter Architekten, Designerinnen, Entwicklungs- und Bauingenieure, Produktherstellerinnen, Städte, Kommunen, Politikerinnen und Politiker, Forschende und nicht zuletzt Konsumierende, die auch in Deutschland das Thema gemeinsam weiter vorantreiben können.
- 12.** Dabei ist für die Wirtschaft besonders interessant: Durch Urban Mining können deutsche und europäische Unternehmen an globaler Wettbewerbsfähigkeit gewinnen, indem sie verstärkt auf nachhaltige Konzepte setzen.

1

Einleitung: Was ist Urban Mining und wo stehen wir heute?

Mit dem Begriff Urban Mining oder städtischer Bergbau können wahrscheinlich nur wenige Menschen etwas anfangen. Was steckt dahinter? Weshalb ist das Thema wichtig und wen betrifft es? Kapitel 1 gibt einen Überblick und zeigt, welche Schätze sich in einem urbanen Lager befinden.



„Jetzt ist der Zeitpunkt, ein Umdenken zu erzielen.“*

Die Verarbeitung von Rohstoffen ist geschätzt für 30 Prozent¹ der globalen Treibhausgasemissionen verantwortlich.³ Deutschland und Europa sind zudem relativ rohstoffarme Regionen, weshalb Rohstoffe meist in anderen Ländern der Welt abgebaut und von Europa importiert werden. Dies hat teilweise gravierende Umweltschäden und Menschenrechtsverletzungen zur Folge.^b Zwar verfügt Deutschland noch über einen einheimischen Bergbau für Baustoffe, Mineralien und Braunkohle, ist aber bei Metallen und Erzen (abgesehen von Ressourcen aus dem Recycling) ausschließlich auf Importe angewiesen.² Es ergibt also wenig Sinn, Gegenstände und damit wertvolle, teure Rohstoffe einfach wegzuworfen.

Urban Mining betrifft uns alle! Alles, was der Mensch je gemacht und genutzt hat, ist Teil eines riesigen Rohstofflagers: ganze Städte, Siedlungen, Ballungsräume oder Produktionsstandorte. Somit stehen wir vor einem Paradigmenwechsel. Brücken, alte Gebäude, Fabriken, ausgediente (langlebige) Konsumgüter und schlichtweg alles, was der Mensch produziert und später weggeworfen hat oder nicht mehr nutzt, sind keine Abfälle mehr, sondern wertvolle (Boden)schätze, die vor unserer Haustür schlummern und darauf warten, gehoben zu werden.

Beim Urban Mining geht es darum, diese Bodenschätze systematisch aufzufinden und qualitativ hochwertig aufzubereiten, sodass sie erneut zum Einsatz kommen. Die Umsetzung steht für viele Rohstoffgruppen noch am Anfang: Insgesamt gesehen sind nur rund 16 Prozent¹ der für die deutsche Wirtschaft verwendeten Rohstoffe Sekundärrohstoffe.^c Technologisch ist bereits vieles möglich; nun gilt es, vom Labor in die Praxis zu gehen und neue Geschäftsmodelle zu testen (siehe Kapitel 2). Pilotprojekte in Europa sind dabei, zu beweisen, dass die Umsetzung machbar ist und erfolgreich sein kann (siehe Kapitel 3). Eines steht aber schon jetzt fest: Es kann nur gut gehen, wenn alle Akteure – Politik, Wirtschaft, Wissenschaft sowie jede und jeder Einzelne – an einem Strang ziehen (siehe Kapitel 4).

Das Schaubild dieses Kapitels präsentiert die wichtigsten Rohstoffgruppen des sogenannten anthropogenen (also menschengemachten) Lagers im Überblick.

Urban Mining und Circular Economy: same same but different (ähnlich, aber nicht gleich)

Wussten Sie, dass Urban Mining in das Konzept der Circular Economy (Deutsch: Kreislaufwirtschaft) eingebettet ist? Allerdings gibt es einen Unterschied: Während es bei Circular Economy um lang- und kurzlebige Konsumgüter wie etwa Verpackungen geht, beschäftigt sich Urban Mining mit der Frage, wie sich langlebige^d Güter wiederverwenden, reparieren, wiederaufbereiten und recyceln lassen, um diese immer wieder im Kreislauf zu halten. Damit geht Urban Mining weit über die klassische Abfall- und Recyclingwirtschaft hinaus.

Wenn Sie mehr zum Thema Circular Economy erfahren wollen, werfen Sie einen Blick in die von acatech mitgegründete Circular Economy Initiative Deutschland! In ihrem Bericht „Circular Business Models: Overcoming Barriers, Unleashing Potentials“³ hat sie einen Fahrplan zur Umsetzung von Kreislaufgeschäftsmodellen entwickelt.



Urban Mining: Ressourcenschonung im Anthropozän

„Wenn das anthropogene, also vom Menschen angelegte Lager immer weiter anwächst, warum es dann nicht verstärkt als Rohstoffquelle nutzen? Warum immer tiefer nach Bodenschätzen schürfen oder die Importe aus fernem Ländern immer weiter steigern, wenn der materielle Reichtum buchstäblich vor der eigenen Tür liegt? Urban Mining betrachtet unseren unmittelbaren Lebensraum selbst als Rohstoffquelle. Es geht im weitesten Sinne um die Gewinnung von Wertstoffen aus all jenen Quellen, die von Menschenhand geschaffen worden sind, also Gebäude, Infrastrukturen, (langlebige) Konsum- und Anlagegüter und anderes mehr. Urban Mining weitet damit das aus der klassischen Recyclingwirtschaft bekannte Diktum ‚Abfall ist Rohstoff‘ aus.“²

„Urban Mining ist einerseits die Aufbereitung unserer ‚Altlasten‘. Andererseits müssen wir uns heute überlegen, wie wir Produkte so herstellen, dass wir sie in Zukunft effizienter finden, sauberer recyceln und wiederverwenden können.“

- a** Auch Recycling benötigt Energie, verursacht aber deutlich weniger Treibhausgase als der Abbau von Primärrohstoffen, der zudem teilweise mit Umweltfolgen einhergeht.¹ In Zukunft könnten Primär- und Sekundärrohstoffe treibhausgasneutral gewonnen und verarbeitet werden, wenn es gelingt, den Energiebedarf durch Erneuerbare Energien zu decken.
 - b** Wohlgemerkt gibt es im Rohstoffsektor auch Fortschritte, die Schäden des Bergbaus zu verringern oder ganz zu vermeiden; Haupthindernisse finden sich meist auf regionaler oder lokaler Ebene. Unabhängig von Urban Mining müsste man sich dafür einsetzen, die heutige Rohstoffgewinnung ausnahmslos unter den höchsten Sicherheits- und Umweltstandards zu gewährleisten. Gleichzeitig ist schon jetzt zu überdenken, wie sich künftig alternative Erwerbsmöglichkeiten für Bergleute in den Förderländern schaffen lassen, zumal derzeit viele Jobs vom Rohstoffabbau abhängen. Hier ist zu erwarten, dass durch die Entwicklung neuer Wirtschaftszweige, etwa im Bereich der Erneuerbaren Energien, auch weltweit neue Jobs entstehen.
 - c** Wie viele Sekundärrohstoffe sich gewinnen lassen, hängt selbstverständlich auch von den Mengen und der zeitlichen Nutzungsdauer der Primärrohstoffe ab, die das urbane Lager, gemessen am Bedarf, hergibt.
 - d** Das Umweltbundesamt bezeichnet als langlebig „all jene Güter, die durchschnittlich ein Jahr oder länger im Nutzungsraum verbleiben und Lagerrelevanter Größe bilden.“² Allerdings ist es manchmal schwierig, trennscharf zwischen langlebigen und kurzlebigen Gütern zu unterscheiden.
- * Einige ausgewählte Kerngedanken der Befragten sind im Text als anonymisierte Zitate aufgeführt.

Das anthropogene Lager: auf der Suche nach dem verborgenen Schatz

In Deutschland leben nahezu 80 Prozent der Menschen in Städten und Ballungsgebieten – Tendenz steigend. Durch das Bauen neuer Häuser und das Anhäufen von immer mehr (langlebigen) Konsumgütern sammeln sich wertvolle Rohstoffe an, die oft ungenutzt herumliegen. So entsteht das anthropogene Lager, ein von Menschen geschaffenes gigantisches Rohstofflager.

Mineralische Materialien



Deutschlandweit sind pro Kopf 317 Tonnen mineralische Materialien verbaut. Darunter fallen Stoffe wie Beton, Sande oder Gestein. Insgesamt liegt der geschätzte Materialwert bei ungefähr 350 Milliarden Euro.

Wohn- und Nichtwohngebäude wie Industriebauten bestehen zu rund 90 Prozent aus mineralischen Materialien. Der häufigste Baustoff ist dabei Beton.

Auch im Tiefbau werden am häufigsten mineralische Baustoffe verwendet. Hierzu zählen zum Beispiel Anlagen für die Infrastruktur wie Kanal- oder Abwassersysteme.

Kunststoffe und Holz



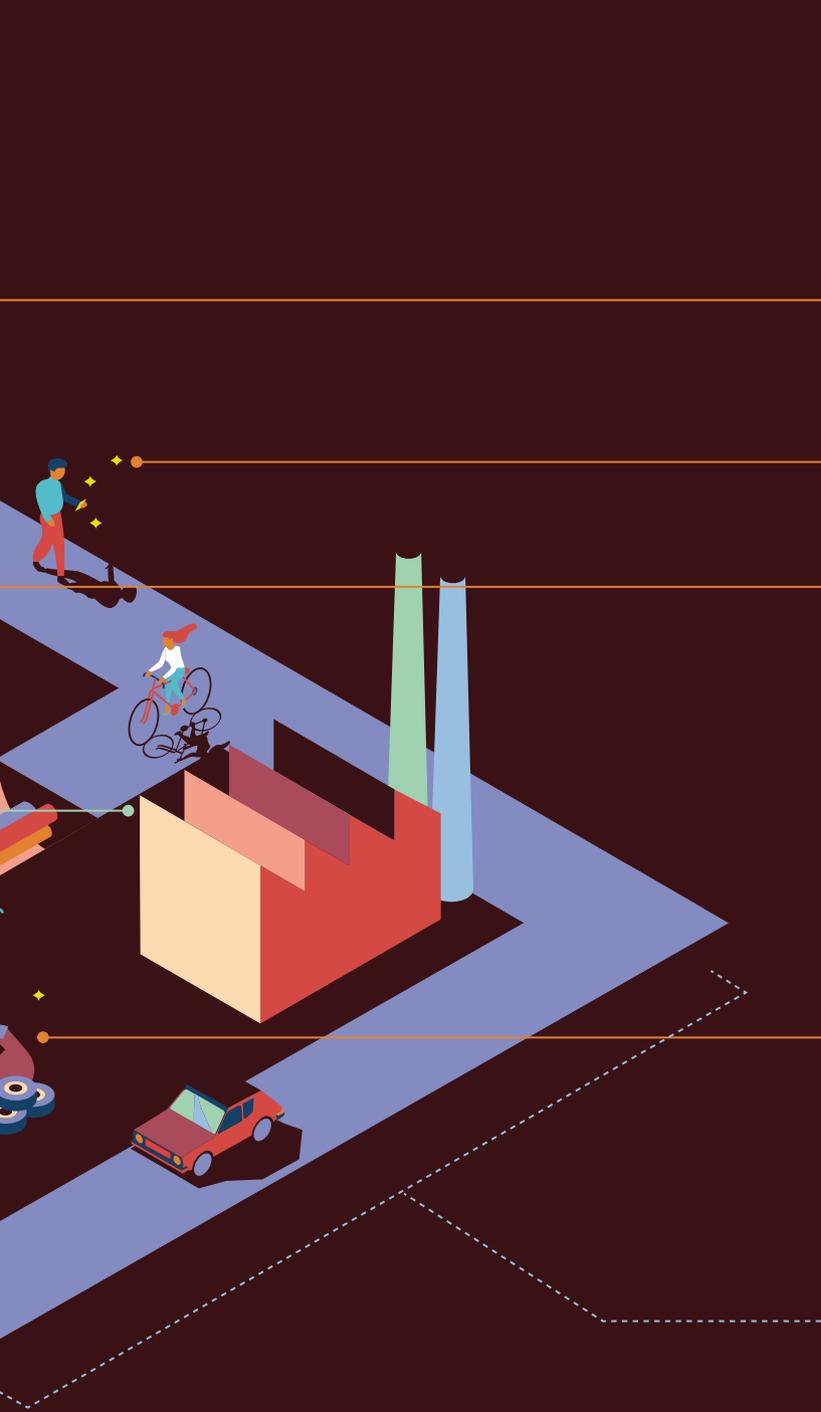
Auf jeden Menschen kommen deutschlandweit über 3 Tonnen Kunststoffe und 4 Tonnen Holz. Diese Vorkommen sind geschätzt 150 Milliarden Euro wert.

Kunststoff findet sich vor allem in Gebäuden, aber auch im Tiefbau, in Fahrzeugen und Elektrogeräten.

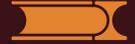
In einem durchschnittlichen Altbaugebäude stecken rund 30 Tonnen Kunststoffe, Abdichtungsmaterialien und Holz.



Quelle: Eigene Darstellung nach Umweltbundesamt 2017² und Zech 2018⁴



Metalle



Pro Person sind in Deutschland 14 Tonnen Metalle verarbeitet, vorrangig Stahl, der größtenteils in Form von Stahlbeton verbaut ist. Viele der Metalle befinden sich in Heizungsanlagen, Rohren oder Konsumgütern. Unter allen Materialsorten sind die verbauten Metalle am wertvollsten: Insgesamt beläuft sich der geschätzte Wert auf 650 Milliarden Euro.

Ein Smartphone enthält so viel Gold wie 16 Kilogramm Gold-Gestein (sogenanntes Golderz), aus dem man den Rohstoff Gold extrahiert.

Ein Meter Kupferleitung aus dem Informations- und Kommunikationsbereich enthält genauso viel Metall wie 2,5 Tonnen Erz, aus dem man den Rohstoff Kupfer gewinnt.

In Mülldeponien haben sich über die Jahre mehrere Millionen Tonnen Kupfer-, Eisen- oder Aluminiumschrott angesammelt. Diese Stoffe sind geschätzt 14 Milliarden Euro wert.

Wo sehen wir nicht hin?



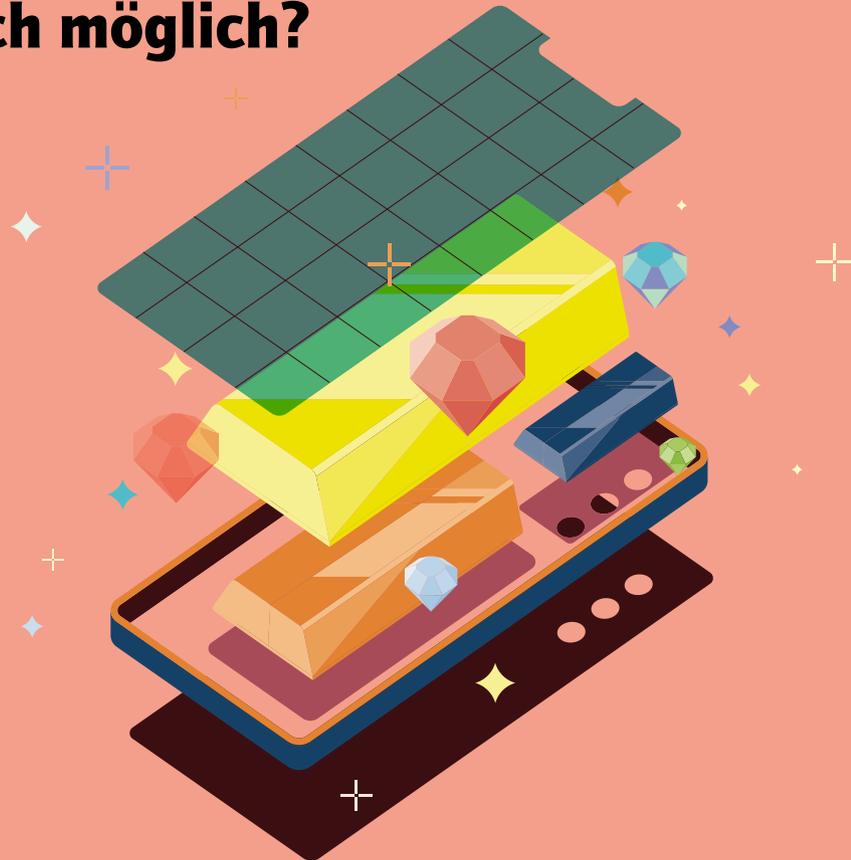
Auch strömen erhebliche Mengen an Materialien in das anthropogene Lager, die oft übersehen werden. Dazu zählen

- langlebige Güter wie Farben, Lacke, Schmier- und Klebstoffe oder Kunststoffadditive sowie
- kurzlebige Güter wie Reifenabrieb, Reinigungs- und Waschmittel, Kosmetika und Pflegeprodukte.

Der allergrößte Teil landet im Hausmüll, im häuslichen Abwasser oder direkt in der Umwelt.

2

Was ist heute schon und in Zukunft noch möglich?



Wertvolle Rohstoffe befinden sich in Smartphones, Wohngebäuden, Batterien, Autos, textilen Produkten und vielem mehr. Doch wie lassen sich diese Materialien wiedergewinnen, was ist heute schon und in Zukunft möglich? Welche Technologien erforscht die Wissenschaft bereits im Labor und welche neuen Geschäftsmodelle ergeben sich potenziell? Warum werden diese noch nicht flächendeckend eingesetzt und welche Hürden stehen noch im Weg?

2.1 Metalle: Aus Abfall wird Gold

„Kritische Metalle werden in großen Mengen verwendet und kommen meistens aus dem Ausland.“

Deutschland produziert jährlich 1,6 Millionen Tonnen Elektroschrott.⁵ Dabei gehen wertvolle Metalle verloren, die in vielen Ländern der Welt ressourcen- und energieaufwändig abgebaut wurden. Sogar Gold wird in Laptops und Smartphones verbaut, denn es hat eine hohe Leitfähigkeit und schützt die Verbindung der Bauelemente. Das erste Schaubild in diesem Kapitel zeigt, welche Rohstoffe sich in einem Smartphone befinden. Das zweite Schaubild illustriert, wie die Wissenschaft über neue Technologien, etwa biotechnologische Verfahren, wertvolle Metalle aus Smartphones rückgewinnen kann. Im Labor ist dies bereits möglich; in Zukunft kann diese Technologie nicht nur für mehr Nachhaltigkeit sorgen, sondern der Industrie auch neue Geschäftsfelder eröffnen.

Und warum wird es noch nicht gemacht?

Das im Schaubild dargestellte biotechnologische Verfahren⁶ ist eines unter mehreren Recycling-Verfahren, die zunächst diverse Institutionen, Firmen und Länder parallel im Labor testen. Ob sich eine dieser Technologien auf industrieller Skala erfolgreich durchsetzt, ist noch offen. Der biotechnologische Ansatz ist zwar im Vergleich zu chemischen Verfahren viel umweltschonender. Allerdings ist die Anfangsinvestition, die mit der Einführung einer neuen Technologie einhergeht, immer eine Hürde für Unternehmen. Die Investition lohnt sich eventuell erst nach Jahren, wenn große Mengen an Gold aus sehr vielen Smartphones extrahiert werden. Ein möglicher Ansatz ist ein Pfandsystem, das Anreize schafft, um sogenannte Schubladenhandys zurückzubringen, die in deutschen Haushalten ungenutzt herumliegen. Laut Umfragen aus dem Jahr 2018 waren das 124 Millionen Handys.⁷ Ein solches Pfandsystem gibt es in Deutschland bereits,⁸ allerdings funktioniert es noch nicht auf großer Skala.

„Die Produktionsphase kann mit höheren Umweltauswirkungen verbunden sein als die Nutzungsphase. Dann müssen wir die Nutzung unbedingt verlängern. Einen Laptop müsste ich Jahrzehnte nutzen, damit sich der Energieaufwand in der Produktion rechnet.“



Was steckt alles in einem Smartphone?

Kaum jemand kann sich ein Leben ohne Smartphone vorstellen. Doch die wenigsten wissen, dass ein einziges Mobiltelefon aus 60 verschiedenen Baustoffen von rund 270 Zulieferfirmen besteht! Dementsprechend schwierig ist es, globale Lieferketten nachzuvollziehen und Arbeits- und Umweltbedingungen überall zu kontrollieren.

SIM-Karte

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

Schrauben

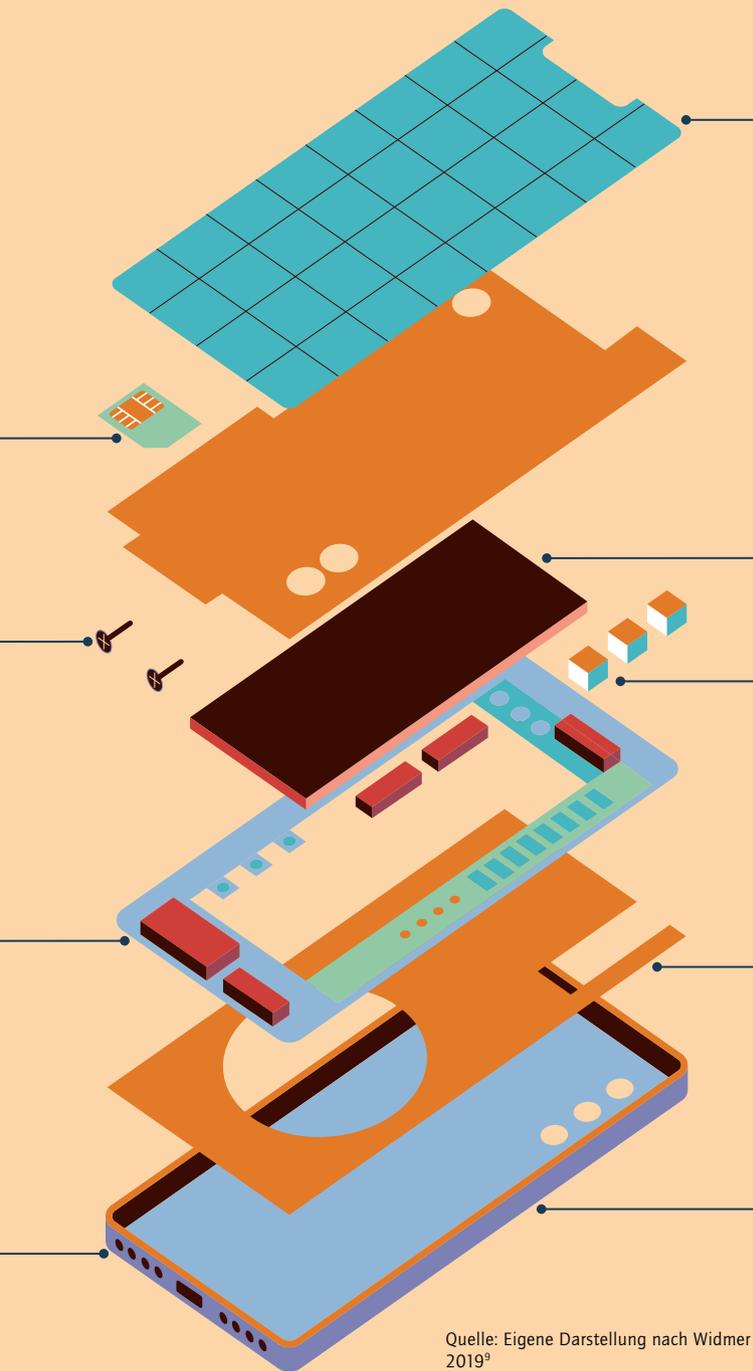
- **Eisen** wird in China, Australien, Brasilien, Indien und Russland abgebaut.

Leiterplatte

- **Kupfer** leitet den Strom und wird aus 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 Konfliktminerale 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.



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

Quelle: Eigene Darstellung nach Widmer 2019⁹

Ein Blick in das alte Smartphone: Aus Abfall wird Gold

Smartphones, Ladegeräte und andere Elektronikgüter enthalten wertvolle Metalle wie Gold, Silber, Platin oder Palladium. Diese sind gefragter denn je, werden sie doch für High-Tech-Produkte benötigt. Ein großer Teil der Elektronik landet aber im Restmüll und wird in **Deponien** verbrannt.

In der Müllverbrennungsasche tauchen die Wertmetalle in Form von Partikeln auf. Diese sind so klein, dass man sie nur sehr mühsam sortieren kann. So gehen in einer einzigen **Deponie** bis zu 20 Kilogramm Gold im Jahr verloren.

Der verbrannte Müll wird in den Straßen verbaut. Somit „vergoldet“ Deutschland jährlich seine Autobahnen mit drei Tonnen Gold.

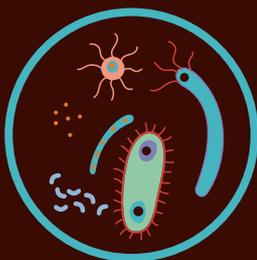
Die fiktive Stadt Silberstedt zeigt, was heute und in Zukunft möglich ist.

Eine **Wissenschaftlerin**, die an der Universität der Stadt Silberstedt arbeitet, hat ein biotechnologisches Verfahren erfunden: Aus dem verbrannten Müll lassen sich damit kleinste Partikel an Wertmetallen schürfen.

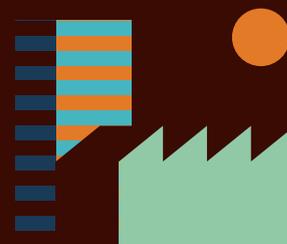


Quelle: Eigene Darstellung

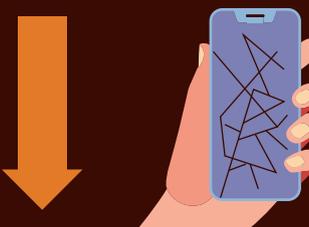
Dabei kommen ganz besondere Mikroorganismen ins Spiel: Bakterien, die in alten Bergwerken leben. Sie sind deshalb besonders, weil sie auf natürliche, umweltschonende Weise Metalle auflösen. Aus Abfall machen sie nun pures Gold.



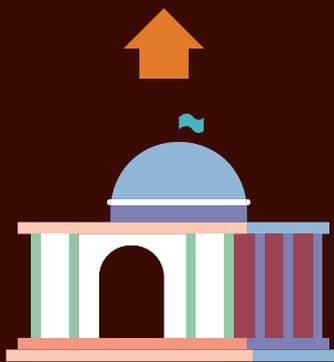
Ein globaler **Smartphone-Hersteller** erkennt die Chance und will die Technologie vom Labor in die Praxis bringen. Zunächst baut er in Silberstedt eine Pilotanlage.



Konsumierende haben durch die neue Technologie die Wahl, nachhaltigere Produkte zu kaufen. Hat das Smartphone ausgedient, kann es erneut recycelt werden.



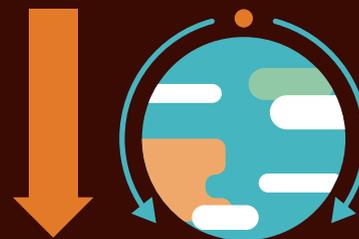
Über Anreize überzeugt er die **Kundschaft**, alte Schubladen-Smartphones zu recyceln. So gewinnt er wertvolle Rohstoffe zurück und ist unabhängiger von Rohstoffimporten.



Selbst sogenannte „wertlose“ Metalle wie Eisen lassen sich mit diesem Ansatz recyceln. Auch wenn dies für die Wirtschaft zunächst nicht rentabel ist, setzt die **Politik** Anreize, um möglichst viele Stoffe im Kreislauf zu halten und mehr nachhaltige Elektronikprodukte zu fördern.



Auch das **Recycling-Unternehmen** springt auf den Zug und schürft in alten Elektrogütern nach Gold und wertvollen Rohstoffen.

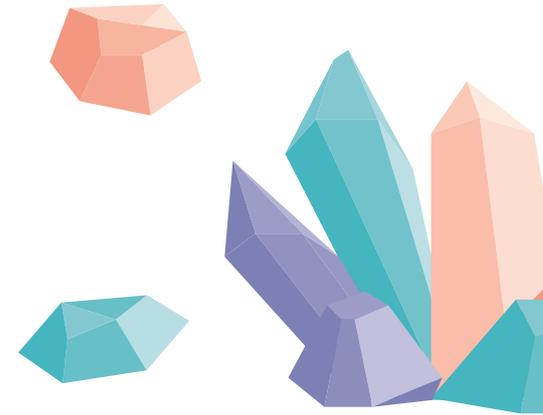


Zudem gewinnt er neue Kundschaft, indem er nachhaltiger produziert. Die Pilotanlage in Silberstedt läuft so gut, dass der Smartphone-Hersteller das neue Geschäftsmodell auf seine globale Produktion überträgt.

2.2 Mineralische Materialien: ein neues Haus aus Müll

„Ressourcen, darunter auch Sand, sind endlich und sehr begehrt. Sogenannte Sand-Piraten sollen in Indonesien schon zwei Inseln verschwinden haben lassen.“

Jährlich werden weltweit 40 Milliarden Tonnen Sand¹⁰ verbaut. Mit Sand lassen sich Seifen, Glas, Reinigungsmittel und sogar Computer herstellen, vor allem aber Beton für den Bau. Beton aus Wüstensand ist allerdings nicht geeignet, weil er nicht die notwendige Festigkeit aufweist. Das führt zur skurrilen Situation, dass zum Beispiel der Wüstenstaat Dubai Sand aus Australien importiert. Bereits in zehn Jahren könnte deshalb der Sand auf der Welt knapp werden. Selbst wenn diese Situation nur mittelbar mit der Sandversorgung in Deutschland zusammenhängt, liegt es nahe, diese wertvolle Ressource zu recyceln. Schließlich gehen der Sandabbau und die teils weiten Transportwege mit erheblichen Umwelteffekten einher. Aktuell landet aber ein Großteil des hiesigen Alt-Betons im Straßenbau.^e Die Wissenschaft hat hier einen neuen Weg gefunden. Das nächste Schaubild zeigt exemplarisch, was heute schon im Labor und künftig in der Praxis möglich ist, wenn sich alle Akteure beteiligen.



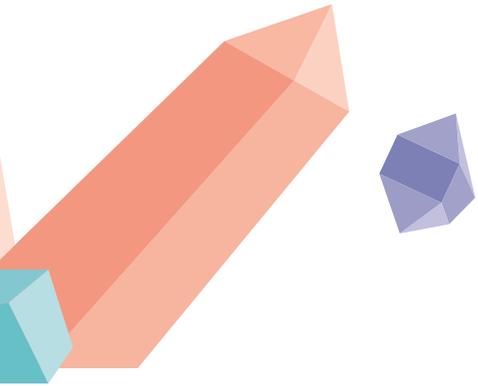
- e Am sinnvollsten wäre es, Beton im geschlossenen Kreislauf zu halten. Bevor man jedoch für den Straßenbau Primärmaterial verwenden muss, ist es natürlich sinnvoller, Alt-Beton zu verwenden. Auf jeden Fall zu vermeiden ist das Deponieren von Alt-Beton. Darüber hinaus ist das Verhältnis von verfügbaren Rezyklaten zum benötigten Bedarf zu beachten. Nach jetziger Datenlage werden wir nicht ohne mineralische Primärrohstoffe auskommen.¹¹
- f Für das Schaubild wurde exemplarisch der Baustoff Beton gewählt, zumal dieser unter den mineralischen Baustoffen am häufigsten vorkommt. Aber auch andere mineralische Stoffe, etwa Gips oder Ziegel, haben das Potenzial zur Wiederverwendung und zum Recycling.

Und warum wird es noch nicht gemacht?

Das im Schaubild dargestellte Recycling-Verfahren funktioniert zwar schon in deutschen Laboren, muss aber noch den Weg in die Industrie finden. In einzelnen Pilotprojekten kommt Recycling-Beton schon deutschlandweit zum Einsatz; in der Baupraxis sieht es allerdings anders aus. Das liegt zum einen an den Kosten: Primärrohstoffe sind (noch) so günstig, dass Recycling finanziell noch nicht rentabel ist. Zum anderen schreiben die meisten deutschen Städte und Kommunen den Rück- und Neubau von Gebäuden nach preislichen Kriterien und nicht nach Nachhaltigkeit aus, sodass Recycling-Beton kaum eine Chance hat. Expertinnen und Experten schlagen daher vor, die Ausschreibungskriterien so zu ändern, dass Recycling-Material zum Zuge kommt. Manche sehen zudem die Möglichkeit, eine Rohstoffsteuer auf Sand und Kies ein-

zuführen. Das würde die Herstellung von Primärbeton teurer machen und das Recycling finanziell profitabler. Die Rohstoffsteuer wird übrigens schon in den Niederlanden getestet (siehe Schaubild in Kapitel 3).

Die Schweiz ist in Sachen Betonrecycling einen Schritt voraus: In einer Pilotanlage eines Schweizer Betonwerks testet ein Start-up ein Verfahren, das aus Betonbruch und Kohlendioxid ein Gestein herstellt, welches als Basis für Primärbeton dient.¹² Die Stadt Zürich schafft dafür Anreize: Seit 2005 werden, städtischen Vorgaben entsprechend, sämtliche öffentliche Gebäude in Zürich mit Recyclingbeton gebaut.¹³ So sind zahlreiche Bauten, darunter Wohnungen und Schulen, aus wiederverwendetem Beton aus der Region entstanden. Die Schweiz vermeidet so weite Transportwege, was zusätzlich gut für die Umwelt ist.



„Es wird parallele Recycling-Technologien geben. Fahrlässig wäre, eine Technologie wegzulassen. Keiner weiß, wer das Rennen gewinnt.“

Es grünt so grün: mit Gebäudezertifizierung für mehr Nachhaltigkeit

Wussten Sie, dass man ein Gebäude zertifizieren lassen kann? Damit soll die Nachhaltigkeit von Gebäuden messbar, vergleichbar und bewertbar werden. Die Zertifizierung möchte so Anreize schaffen, über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes hinweg – von der Planung und Konstruktion über den Betrieb und die Sanierung bis hin zum Rückbau – auf Wirtschaftlichkeit, mehr Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit zu achten. Derartige Initiativen gibt es auch in Deutschland;^{16 17} allerdings fehlen noch allgemeingültige Bewertungskriterien.

Safe-by-Design: better safe than sorry (besser vorsorgen als heilen)

Nahezu alle Materialien und Produkte in unserer heutigen Gesellschaft enthalten chemische Zusatzstoffe, darunter auch toxische Stoffe. Diese sind in Baumaterialien, in Kunststoffen oder Elektronik materialübergreifend verbaut, um bestimmte Funktionen zu erfüllen. Jedoch bergen diese Stoffe auch Risiken: So treten etwa beim Rückbau eines Gebäudes aus dem Brechsand Schad- und Störstoffe aus. Deshalb wird Brechsand auch als „Niere“ der Kreislaufwirtschaft bezeichnet. Ein weiteres Beispiel sind toxische Brandschutzmittel, die in Polystyrol-Dämmungen verbaut sind. Äußerst gefährlich sind die besonders besorgniserregenden Stoffe (SVHC: „Substances of Very High Concern“),¹⁴ die schwerwiegende Folgen für die menschliche Gesundheit und Umwelt haben können. Diese sind zwar auf EU-Ebene gesetzlich dokumentiert, dürfen aber weiterhin in bestimmten Produkten enthalten sein, weil es bislang keine besseren Alternativen gibt.

Beim Recycling müssen diese und weitere Schadstoffe unbedingt abgetrennt und sicher entsorgt werden. Gerade das ist

ein Hindernis für ein schadloses Recycling und folglich für die Kreislauffähigkeit von Gebäuden und Produkten, zumal Abfälle selten sortenrein anfallen. Meist handelt es sich um ein Gemisch von Materialien, wie etwa beim Bauschutt. Deshalb gibt es bereits die Getrennterfassungsgebote, beispielsweise für die Bauabfälle in der Gewerbeabfallverordnung. Auch Betonbruch, Ziegel und Keramik sind – soweit verhältnismäßig – separat zu erfassen. Allerdings fehlen oft die Informationen zur Materialzusammensetzung (siehe Kapitel 2.6). Auch wenn eine hundertprozentige Schadstofffreiheit das erwünschte Ziel ist, gibt es sie heute noch nicht. Damit ist die Verbrennung eines Teils des Abfalls noch unverzichtbar, um die ausgeschleusten Schadstoffe sicher zu zerstören und die Rückstände sicher zu deponieren.

Mit Blick in die Zukunft forscht die Wissenschaft an einem neuen Konzept: Safe-by-Design. Dieses hat zum Ziel, von Anfang an beim Design und der Entwicklung neuer Produkte und Materialien die Frage der Sicherheit mitzudenken, bevor der Schaden entsteht. Unter dem Motto „besser vorsorgen als heilen“ wird nach nicht toxischen Alternativen zu schädlichen Substanzen gesucht.¹⁵

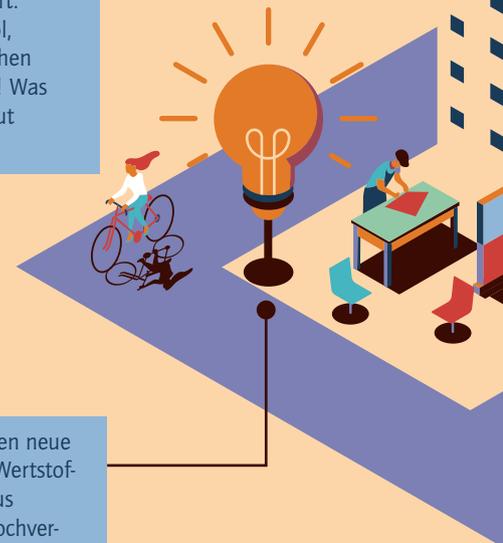
Recycling-Beton: endlich ein Leben im Müll

Bau- und Abbruchabfälle machen über die Hälfte des deutschen Mülls aus. Der Großteil des Altbetons landet im Straßenbau. Dabei wäre Beton dank neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse recyclebar. Es gibt sogar Pilotprojekte, wie sich aus Recycling-Materialien ganze Häuser bauen lassen. Die fiktive Stadt Silberstedt zeigt, was heute und in Zukunft möglich ist.

Das alte Gebäude muss weg. Die **Stadt Silberstedt**, die für den Abriss (auch Rückbau genannt) zuständig ist, denkt innovativ: Sie schaut bei der Ausschreibung auf **Schnelligkeit, Preis und Nachhaltigkeit**. So haben auch **recycelte Materialien** eine Chance.

Hauseigentümer, Mieterinnen und Mieter sind begeistert: Recycling ist nicht nur cool, sondern dank der städtischen Förderung auch preiswert! Was ausgedient hat, wird erneut recycelt.

In der Umgebung entstehen neue **Start-ups**, die aus alten Wertstoffen auch Möbel bauen: Aus Altkleidern entsteht ein hochverdichtetes textiles Plattenmaterial, das als Hocker oder Raumteiler dient; aus Lebensmittelverpackungen und DVD-Hüllen entstehen schicke Designer-Stühle. Anstelle von chemischen Klebern kommen natürliche Klebstoffe zum Einsatz, die aus Wurzeln von Pilzen stammen.



Beton ist hartnäckig: Einmal ausgehärtet, lässt er sich nicht mehr zerlegen und landet deshalb nach dem Rückbau im Straßenbau; er wird also nicht hochwertig recycelt und geht der Wirtschaft verloren. Dabei ist der Rohstoff Sand knapp und sehr begehrt – es gibt sogar Sandpiraten!

Nach jahrzehntelanger Forschung haben **Forschende** endlich eine Lösung: Durch extrem kurze Unterwasser-Blitze gelingt es, den Beton auseinanderzusprennen und in seine Originalbestandteile Sand, Kies, Zement und Wasser sauber zu zerlegen. Das Verfahren wird mit erneuerbarer Energie betrieben.

Die Technik ist so weit ausgereift, dass Recycling-Beton die gleiche Festigkeit erreicht wie Originalbeton. Das klappt nicht nur im Labor: Erstmals sind skalierbare Projekte für die **Industrie** denkbar.

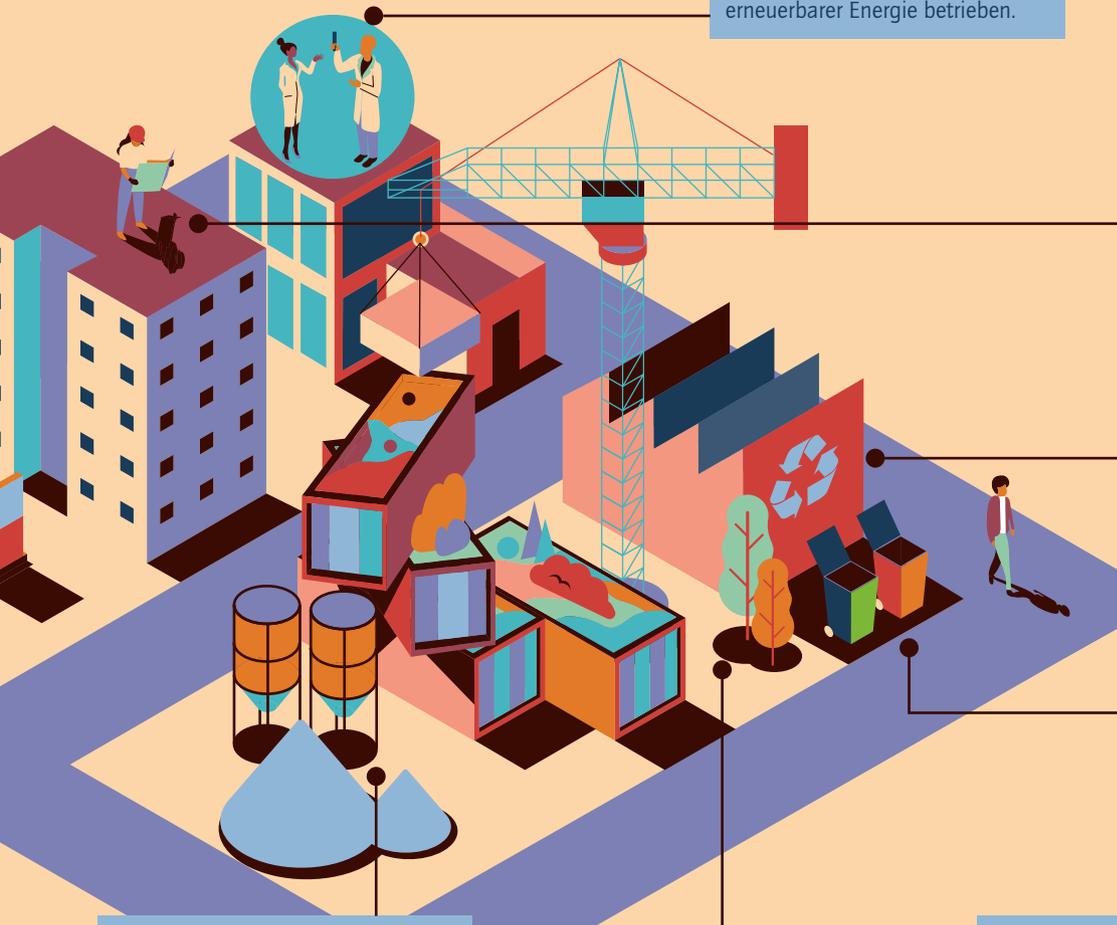
Die Stadt Silberstedt erkennt das Potenzial und wird zur Vorreiterin: Zunächst beauftragt sie eine **Abbruchmanagerin**, die in alten Gebäuden nach wiederverwendbaren Materialien sucht. Den Job hat die Stadt neu geschaffen!

Im Idealfall werden beim Rückbau sämtliche Wertstoffe wiederverwendet und zu einer **Recycling-Plattform** gebracht, über die man alte Materialien abgeben, austauschen und recyceln kann, darunter Beton.

Die Idee der Plattform finden die **Recycling-Unternehmen** großartig: So sparen sie nämlich Deponiekosten.

Als Nächstes beauftragt Silberstedt ein **Bauunternehmen** mit dem Bau eines Wohngebäudes aus Recycling-Beton. Ein hipbes **Architektenteam** kommt auf ein neues Wohnkonzept: flexible Bau-Module, die sich vom Büro zur Wohnung bis zum Raum für kulturelle Angebote anpassen lassen.

Auch das städtische **Kieswerk** ist auf ein neues Geschäftsmodell gekommen: Beton-Leasing. So geht Altbeton immer wieder ans Kieswerk und wird dort permanent recycelt und im Kreis gehalten.



2.3 Kunststoffe: Bio-Recycling mit Bakterien

„Die Herstellung von Neuware im Kunststoffbereich ist günstiger als Altware. Deshalb ist die Recycling-Technologie seit den 80er Jahren stehen geblieben.“

In den vergangenen zwanzig Jahren hat sich der Plastikverbrauch pro Kopf in deutschen Haushalten verdoppelt. Obwohl Deutschland oft als Recycling-Weltmeister wahrgenommen wird, gibt es beim Kunststoff noch Luft nach oben: Zwar wird ein Teil des deutschen Plastikabfalls^g in deutschen Anlagen oder im Ausland recycelt; über die Hälfte wird jedoch energetisch verwertet, also verbrannt²⁰ (siehe Kasten „Recycling ist nicht gleich Recycling“).

Die Herausforderungen sind groß: Zum einen ist neuer Kunststoff günstiger als Recycling-Kunststoff. Während der Corona-Pandemie ist außerdem der Preis für Erdöl, also die Rohstoffquelle von Plastik, gesunken, womit die Plastikproduktion noch billiger wird. Zum anderen hat jeder Kunststoffhersteller eine unterschiedliche Kunststoffzusammensetzung, die er auf dem Markt anbietet und wodurch er sich vom Wettbewerb abgrenzt. So gibt es allein für den Kunststoff Polypropylen, der als Standardplastik gilt, über 1.500 Varianten,²¹ die durch Additive noch zahlreicher werden. Diese Vielfalt an Kunststoffen ist für Recycling-Unternehmen ein Problem, da sich nur sortenreine Kunststoffe gut recyceln lassen. Das zweite Schaubild dieses Abschnitts illustriert, wie aus schwierigen Situationen innovative Ideen entstehen.

„Erst wenn aus dem Recycling hochwertige Produkte entstehen, haben diese einen wirtschaftlichen Wert und sind so für Unternehmen und Konsumierende interessant.“

Recycling ist nicht gleich Recycling

Der einfachste Weg, Kunststoff wiederzuverwerten, ist ihn zu verbrennen. Das ist zweifelsohne besser, als ihn zu deponieren oder gar in die Flüsse und Meere zu werfen. Auch entsteht bei der Verbrennung Energie, zum Beispiel zur Erzeugung von elektrischem Strom oder Heizwärme. Allerdings bleibt der Rohstoff dabei nicht im Kreislauf, sondern „verschwindet“ nach der Verbrennung, was zusätzlich große Mengen an Treibhausgasen freisetzt. Fachleute plädieren deshalb dafür, Plastik hochwertig zu recyceln. Das hieße beispielsweise aus einem alten Polyester-Kleidungsstück ein neues zu machen oder alte Fensterrahmen aus Polyvinylchlorid (PVC) für neue Fenster zu verwenden. So fließen Wertstoffe immer wieder in die gleiche Anwendung und bleiben im Kreislauf. Außerdem gelingt dies, wenn man Kunststoff in seine ursprünglichen Bausteine zerlegt und dadurch immer wieder neuen, hochwertigen Kunststoff herstellen kann (siehe Schaubild). Um diesem Ziel näher zu kommen, ist Recycling nicht nur an Quoten und Mengen zu messen, wie es derzeit der Fall ist. Vielmehr ist auch die Qualität zu bewerten, also wie hochwertig recycelt wird.^h Auch Verbraucherinnen und Verbraucher profitierten von einem Umweltsiegel, das die Qualität eines Recycling-Produktes widerspiegelt.¹

- g** Hierzu zählen sowohl langlebige als auch kurzlebige Plastikabfälle. Streng genommen gehören zwar kurzlebige Kunststoffe wie Verpackungen oder Flaschen nicht zu Urban Mining. Aufgrund des großen Umwelt-Impacts von Kunststoffabfällen allgemein wird in diesem Kapitel nicht trennscharf zwischen langlebigen und kurzlebigen Produkten unterschieden, um die Brisanz des Themas verständlich zu machen.
- h** Nützlich sind auch sogenannte Substitutionsquoten, also der Anteil an Sekundärmaterial am Gesamtmaterial. Natürlich muss auch hier die Qualität stimmen.

CO₂ und Klimaschutz - zwei Paar Schuhe?

Wussten Sie, dass sich CO₂ auch als Rohstoff nutzen lässt? Forschende arbeiten derzeit daran, in Zukunft Treibhausgase abzufangen, wiederzuverwerten oder im tiefen Untergrund zu speichern und gegebenenfalls später wieder als Rohstoff zu nutzen. Diese sogenannten CCUS-Technologien (Carbon Capture, Usage and Storage) könnten dazu beitragen, die Emissionsminderungsziele für die Industrie in Deutschland bis zum Jahr 2045 zu erreichen. Wenn Sie mehr dazu erfahren möchten, werfen Sie einen Blick in die acatech POSITION „CCU und CCS – Bausteine für den Klimaschutz in der Industrie“.²³



Und warum wird es noch nicht gemacht?

Das Schaubild zu Bio-Recycling orientiert sich an einem neuen biotechnologischen Ansatz, der noch in den Kinderschuhen steckt und von Start-ups und Unternehmen erforscht wird. Das Verfahren setzt allerdings voraus, dass der Kunststoffabfall aus reinem Polyethylenterephthalat (PET) besteht und nicht mit anderen Kunststoffsorten vermischt ist. In der Realität ist Plastikabfall jedoch zu heterogen. Dieses Verfahren kann ihn daher nicht komplett zersetzen, sodass ein Teil des Abfalls weiterhin verbrannt wird oder auf der Deponie landet. Darüber hinaus fehlen beim Kunststoff-Recycling bislang ökonomische Anreize, die das Recycling belohnen und die Produktion von neuem Plastik benachteiligen oder zumindest nicht über Subventionen fördern. Die neue EU-„Plastiksteuer“ auf nicht recycelte Kunststoffe,²² die ab 2021 vorgesehen ist, soll offenbar einen solchen Anreiz setzen.

„Wird Verschwendung bestraft, führt das zu mehr Innovation in nachhaltigere Produkte.“

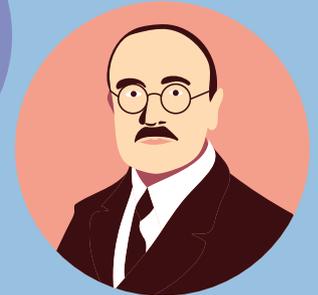
Kunststoff: Daten und Fakten



Plastik wird überwiegend aus fossilen Brennstoffen wie Kohle, Öl und Gas hergestellt.



Alexander Parkes



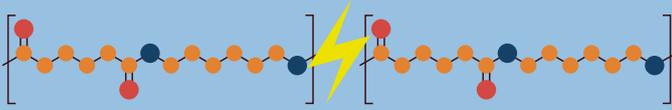
Leo Hendrik Baekeland

Wer hat's erfunden?

Der erste Kunststoff war das sogenannte Parkesine, das 1856 von dem Engländer **Alexander Parkes** entwickelt wurde. Dafür nutzte er als Ausgangsmaterial Cellulose aus Pflanzen. Der erste wirklich komplett synthetische Kunststoff wurde von dem belgisch-amerikanischen Chemiker **Leo Hendrik Baekeland** 1907 hergestellt: das sogenannte Bakelit.

*Anteile verschiedener Kunststofftypen und deren Kennzeichnung mit Recyclingcodes in Deutschland 2017

Quelle: Eigene Darstellung nach Heinrich-Böll-Stiftung 2019²⁴ und Fraunhofer UMSICHT 2020²⁵



Kunststoffe sind **Polymere**. Das sind Moleküle, die aus vielen Einzelbausteinen bestehen, die man auch Monomere nennt. Diese Monomere werden in einer chemischen Reaktion, der Polymerisation, verbunden. Polymere kommen auch in der Natur und in unserem Körper vor. Unsere Erbinformation, die DNA, ist beispielsweise auch ein Polymer, genauso wie die Cellulose, die etwa 50 Prozent des Holzes in Bäumen ausmacht.

Plastik ist nicht gleich Plastik – Kunststoffe werden unter anderem auf Basis ihrer Eigenschaften klassifiziert:

- **Thermoplaste:** werden beim Erhitzen weich und nach Absenken der Temperatur wieder hart, recyclebar (z.B. Lego-Steine)
- **Duroplaste:** einmal ausgehärtet behalten sie ihre Form und können nicht wieder eingeschmolzen werden, nicht recyclebar, langlebig (z.B. Autokarosserie, Elektronikgehäuse)
- **Elastomere:** elastisch verformbar, schlecht recyclebar (z.B. Autoreifen, Sohlen)

Das Kunststoff Einmaleins:

Polymere + Additive = Kunststoff

Die meisten Kunststoffe enthalten neben den Polymeren zusätzliche Bestandteile, die auch Additive genannt werden und ihnen bestimmte Eigenschaften verleihen. Häufig verwendete Additive sind beispielsweise Weichmacher, Füllstoffe, Stabilisatoren, Flammschutzmittel und Färbemittel. Manche dieser chemischen Zusätze machen Plastik zwar flexibel oder langlebig, können aber auch der Umwelt und Gesundheit schaden.



Plastik kommt aus dem Griechischen von plastikós (πλαστικός) 'zum Formen geeignet'. Der Begriff ist eine umgangssprachliche Bezeichnung für Kunststoffe.



Polyethylenterephthalat (PET) (6 %):

Lebensmittelverpackungen und Getränkeflaschen für Einmalgebrauch, auch in Sportbekleidung; Problem beim Recycling: nimmt Gerüche und Aromen auf, Nutzung gefährlicher Chemikalien zum Reinigen



Polyethylen hoher Dichte (13 %): Reinigungsmittelbehälter, Rohre für Gas- und Trinkwasser, Shampoo-Flaschen; relativ sicher und gut zum Recycling geeignet



Polyvinylchlorid (13 %): Duschvorhänge, Fensterrahmen, Bodenbeläge, Elektrokabel, Kunstleder; enthält schädliche Chemikalien, muss speziell recycelt werden



Polyethylen niedriger Dichte (15 %):

Plastiktüten, Frischhaltefolien, Müllsäcke, Tuben, Milchkarton-Beschichtungen; sicher, sauber und wiederverwendbar, aber nicht gut recyclebar



Polypropylen (17 %): Lebensmittelcontainer, Strohhalme, Windeln, DVD-Hüllen, Stoßstangen, Kindersitze; sicher und hitzebeständig, zum Recycling geeignet



Polystyrol (5 %): Einweg-Geschirr, Styroporverpackungen, Dämmstoff; gefährlich für die Gesundheit vor allem bei Erhitzung, gut recyclebar zu neuem Kunststoff, Hindernis: Verschmutzungen und Vermischungen



Weitere (31 %): z.B. Acryl, Nylon, Polycarbonat für Koffer, CDs, Bekleidung, Seile, Fallschirme, Borsten von Zahnbürsten, Spielzeug, Gehäuse von Elektrogeräten



Bio-Recycling: Bakterien zerlegen Plastik

Weltweit werden pro Jahr rund 360 Millionen Tonnen Plastik produziert. Davon landet etwa die Hälfte auf den Deponien oder in der Umwelt.

Polyethylenterephthalat, kurz PET, gehört zu den wichtigsten Kunststoffen. Pro Jahr werden weltweit rund 70 Millionen Tonnen PET produziert – für kurzlebige Güter wie Flaschen, Lebensmittelbehälter oder Verpackungen und auch für langlebige Güter wie Textilfasern für Sportbekleidung, Teppiche, Behälter im Labor oder Prothesen in der Medizin.

Beim herkömmlichen *mechanischen* Recycling wird der Kunststoff gewaschen, zerkleinert und geschmolzen. Das ist allerdings nicht unendlich oft möglich: Nach mehreren Recycling-Zyklen ist der Kunststoff nicht mehr gut genug und daher wegzuerwerfen.

Ein Start-up aus der fiktiven Stadt Silberstedt hat ein neues *biotechnologisches* Recycling-Verfahren entwickelt, das dieses Problem lösen könnte.

Zwei **Wissenschaftlerinnen** aus Silberstedt, die kürzlich ein **Start-up** gegründet haben, untersuchen zunächst Bakterien auf einer Mülldeponie. Dabei entdecken sie eine neue Bakteriensorte, welche Enzyme entwickelt hat, die PET-Kunststoff zerlegen!



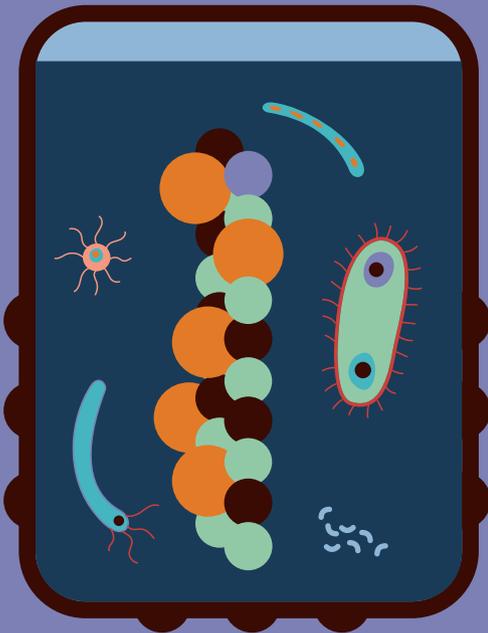
Da allerdings Kunststoffabfall meist nicht sortenrein, sondern mit anderen Kunststoffarten vermischt anfällt, funktioniert das Verfahren derzeit nur mit (vorsortiertem) PET-Abfall. Der restliche Kunststoffabfall wird daher weiterhin verbrannt oder landet auf der Deponie. Ob und wann sich das Verfahren auch auf weitere Kunststoffabfälle ausweiten lässt, ist noch offen.

In einem Bioreaktor züchten sie dieses neuartige bakterielle Enzym, das PET in seine ursprünglichen Bausteine – die sogenannten Monomere – zerlegt. Diese Bausteine sind der Schlüssel zum hochwertigen Recycling. Damit lässt sich nun ein neues, hochwertiges Kunststoffgranulat herstellen, das die gleiche Qualität wie Primärkunststoff hat. Hier spricht man von biotechnologischem Recycling – kurz Bio-Recycling.

Das Verfahren wird zunächst in einem sogenannten **Reallabor** getestet, das die Stadt Silberstedt fördert. Hier können Forschende aus **Universitäten**, kleinen **Firmen** und **Start-ups** ihre Innovationen ausprobieren, bevor es in die Anwendung geht. Das fördert die Kreativität und den Erfindergeist und bietet gleichzeitig jungen Unternehmen finanzielle Unterstützung.

Das Kunststoffgranulat wird über die neu gegründete **Recycling-Plattform** der Stadt angeboten. Das ist eine Art Online-Marktplatz, über den man das Plastikgranulat und Kunststoffabfälle online kaufen und verkaufen kann. So entsteht erstmalig eine Infrastruktur, um wertvolle Sekundärrohstoffe, die im urbanen Lager schlummern, zu sammeln und wiederzuverwenden.

Ein **Hersteller** von **Outdoor-Bekleidung** erkennt darin ein neues Geschäftsmodell, über das er Rohstoffe spart und neue Kundschaft gewinnt: Über das Bio-Recyclingverfahren stellt er aus alten Kleidungsstücken neuwertige her. Aus einer PET-Skihose wird immer wieder eine neue Skihose, ohne an Qualität zu verlieren. Der Kleidungszyklus wird so zu einem geschlossenen Kreislaufsystem.



2.4 Neue Geschäftsmodelle: nutzen statt kaufen

„Menschen wollen Sachen besitzen und nicht mit anderen teilen; Autos haben einen sozialen Stellenwert. Die Werbung nutzt das aus.“

Bis zum Jahr 2025 werden Schätzungen zufolge alleine in Deutschland zwei bis drei Millionen Elektroautos zugelassen sein.²⁷ E-Batterien zählen zu den sogenannten Schlüsseltechnologien, die für die deutsche und europäische Wirtschaft ausschlaggebend sind. Für ihre Herstellung sind teure, teils kritische Rohstoffe nötig, darunter Kobalt, Lithium, Nickel und Kupfer. Diese muss die EU zumeist aus dem Ausland einkaufen und ist dadurch von Drittländern abhängig. Die Frage des Recyclings wird daher immer drängender – aus strategischer, ökonomischer und ökologischer Sicht. Das Recycling steckt noch in den Kinderschuhen, zumal E-Batterien komplex aufgebaut und nur sehr schwierig wieder zerlegbar sind. Hier arbeitet die Wissenschaft intensiv daran, neue Methoden zu entwickeln, die es für herkömmliche Autobatterien bereits gibt. Auch die Wirtschaft ist auf ein neues Geschäftsmodell gestoßen, das für mehr Nachhaltigkeit sorgen kann. Das Schaubild gibt einen ersten Einblick.

„Oft sind wir noch bei den ‚low-hanging fruits‘: Das Elektroauto erfüllt die Recycling-Quote, wenn nur die Autoschale recycelt wird, aber nicht die Autobatterie.“

Und warum wird es noch nicht gemacht?

Das Schaubild orientiert sich an einem europäischen Herstell-Unternehmen, welches das Batterie-Leasing von Elektroautos pilotweise eingeführt hat. Das ist allerdings ein Pionierprojekt und kommt nicht flächendeckend zum Einsatz. Zudem ist das Batterierecycling derart komplex, dass die Wissenschaft weltweit an neuen Lösungen forscht. Die Hürden sind nicht nur technisch, sondern vor allem ökonomisch: Recycling bietet bisher kein großes Umsatzpotenzial. Das europäische Pionierunternehmen hat allerdings im Batterie-Recycling einen Nutzen erkannt: Es bietet einen zusätzlichen Service und grenzt sich durch mehr Nachhaltigkeit von der Konkurrenz ab. Punktet es damit bei der Kundschaft, entscheiden sich also Endverbraucherinnen und -verbraucher verstärkt für nachhaltige, recycelte Produkte, könnte dieser Druck auch weitere Autobauer motivieren, in Sachen Nachhaltigkeit innovativer zu werden.

Noch schnell die Kurve kratzen?

Wussten Sie, dass der Reifenabrieb von Fahrzeugen eine Hauptursache für Mikroplastik ist? Jedes Mal, wenn wir beschleunigen, abrupt bremsen oder schnell in die Kurve fahren, lösen sich Gummipartikel ab. Diese Partikel sind meist mikroskopisch klein, weshalb man von Mikroplastik spricht. Allein auf europäischen Straßen entsteht jährlich eine halbe Million Tonnen Reifenabrieb!²⁸ Noch gravierender für das Urban Mining ist, dass alte Autoreifen kaum wiederverwendet werden: Nur ein verschwindend geringer Prozentsatz der Reifenprofile wird runderneuert.

2.5 Neue Geschäftsmodelle: Wertvolles aus dem Wertstoffhof

In der Steinzeit jagten und sammelten die Menschen Nahrung und Gegenstände, die zum Überleben wichtig waren. Heutige Schnäppchenjäger sammeln oft Sachen, die sie kaum oder nicht lange nutzen. So liegen in deutschen Haushalten durchschnittlich weit über 1.000 Euro an nicht genutzten Gegenständen herum.

Das nachfolgende Schaubild basiert auf einem Geschäftsmodell, das in Deutschland getestet wird und mit einem neuen Ansatz dieser Problematik entgegenwirken will. Dabei geht es auch um eine sinnvolle Wiederverwendung nicht mehr benutzter Gegenstände. Das Geschäftsmodell soll aber vor allem bewirken, dass sich die Menschen damit auseinandersetzen, wie und warum sie heute konsumieren, und wie es vielleicht anders geht.

„Urban Mining ist nicht nur Recycling, sondern auch Repair (Reparieren) und Re-use (Wiederverwenden).ⁱ

Oft wird übersehen, dass wir bei der Wiederverwendung von Produkten den größten Hebel haben: Gerade dort könnten wir am meisten Energie und Ressourcen einsparen.“

ⁱ Wie viel und wo etwas repariert oder wiederaufbereitet werden kann, hängt dabei ganz entscheidend von den örtlichen Arbeitskosten ab.

„Als Konsument habe ich eine Marktmacht. Sonst gäbe es auch keine Biosupermärkte.“

Nutzen statt kaufen: Batterie im Elektroauto

Eine E-Batterie wiegt rund 700 Kilogramm und ist extrem teuer: In ihre Herstellung fließen 40 Prozent des weltweit abgebauten Kobalts; der Preis hat sich in zwei Jahren vervierfacht. Auch Lithium ist für die Batterie nötig und kommt meist aus Bolivien und Chile.

Haben sie ausgedient, landen die bisher eingesetzten Bleibatterien von herkömmlichen Autos oft in Afrika. Dort werden sie unter dubiosen Bedingungen „recycelt“ und kehren nach Europa als sogenannte Recycling-Batterien zurück.

Ein umwelt- und menschenwürdiges Recycling ist nötig, aber schwierig: E-Batterien sind so komplex, dass sie kaum in ihre Einzelbestandteile zerlegbar sind.

Auch hier verfolgt die fiktive Stadt Silberstedt einen innovativen Ansatz.



Eine **Autoherstellerin** aus Silberstedt hat eine Idee: Sie will ihre E-Batterien nicht mehr verkaufen, sondern zum Leasing anbieten.



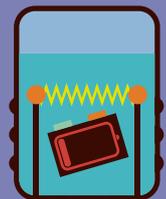
So kann sie auch bei der **Kundschaft** punkten: Sie fährt ihr Auto stets mit der optimalen Batterieleistung und muss sich um nichts kümmern.



Die rückgewonnenen Rohstoffe fließen wieder in den Kreislauf. Die Autoherstellerin behält stets den Überblick über ihre E-Batterien und trägt die Verantwortung für einen nachhaltigen Rohstoffumgang, womit **Endverbraucher** überfordert wären.



Hier forscht die **Wissenschaft** an neuen Lösungen wie der elektrohydraulischen Zerkleinerung: Dafür legt man die Batterien in einen Reaktor mit Wasser. Dort produzieren Elektroden Schockwellen, welche die Bestandteile der Batterien sauber trennen, sodass sie sich wiederverwenden lassen.



Zunächst überwacht sie den Batteriezustand eines E-Autos in Echtzeit, also „on the road“. Das funktioniert über eine Software.

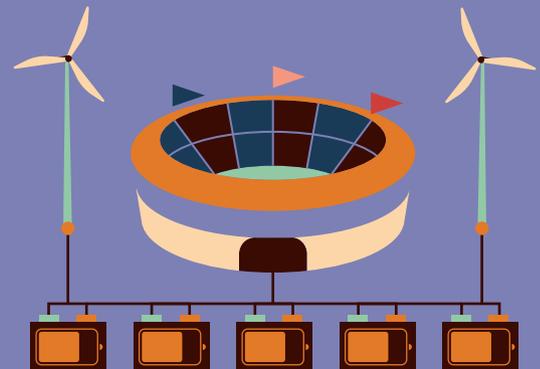
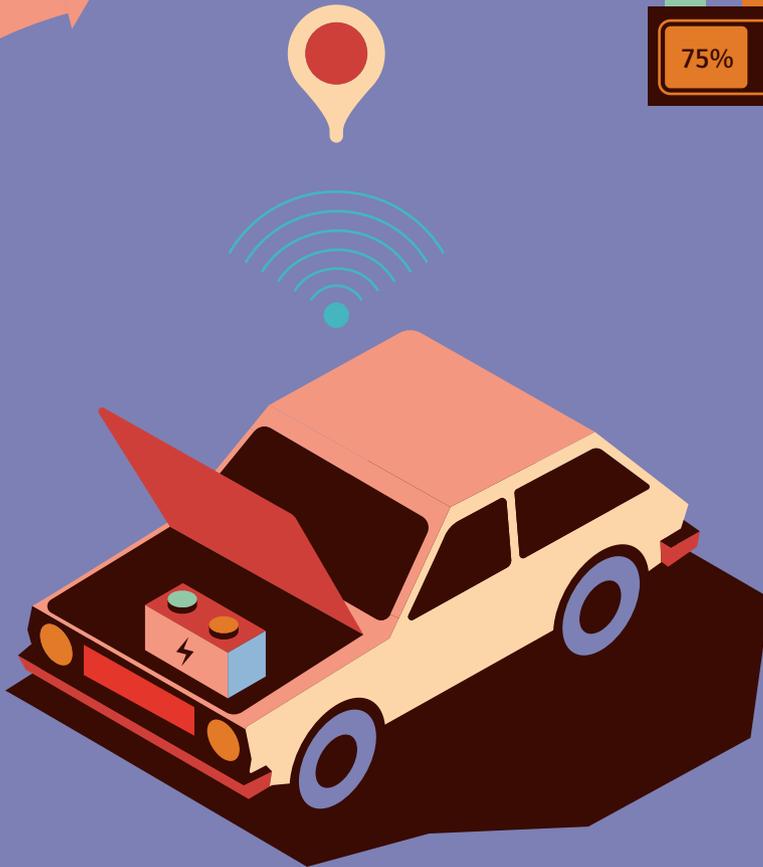
Sobald die Batterie weniger als 75 Prozent ihrer ursprünglichen Kapazität hat, erfüllt sie die Anforderungen des Fahrzeugs nicht mehr. Die Software schickt eine Meldung: Die Batterie ist nicht mehr für das E-Auto geeignet.

Die **Autobesitzerin** fährt nun zur nächsten Ladestation und tauscht die alte Batterie gegen eine neue Batterie aus.

Die Altbatterie ist aber noch lange nicht wertlos: Sie geht nun in ihre zweite Lebensphase über und wird in einen sogenannten stationären Energiespeicher eines Fußballstadions gebracht.

Dieser hat zum Ziel, das Stadion mit ausreichend Strom aus erneuerbaren Energien zu versorgen, wie etwa Solar- oder Windenergie. Wenn bei Wetterschwankungen Wind und Sonne nicht mitspielen oder wenn es bei einem Fußballspiel eine Bedarfsspitze gibt, springt die E-Batterie ein und gleicht die Stromversorgung aus.

Hat die E-Batterie nach insgesamt 20 Jahren Lebensdauer ausgedient, steht das Recycling an.

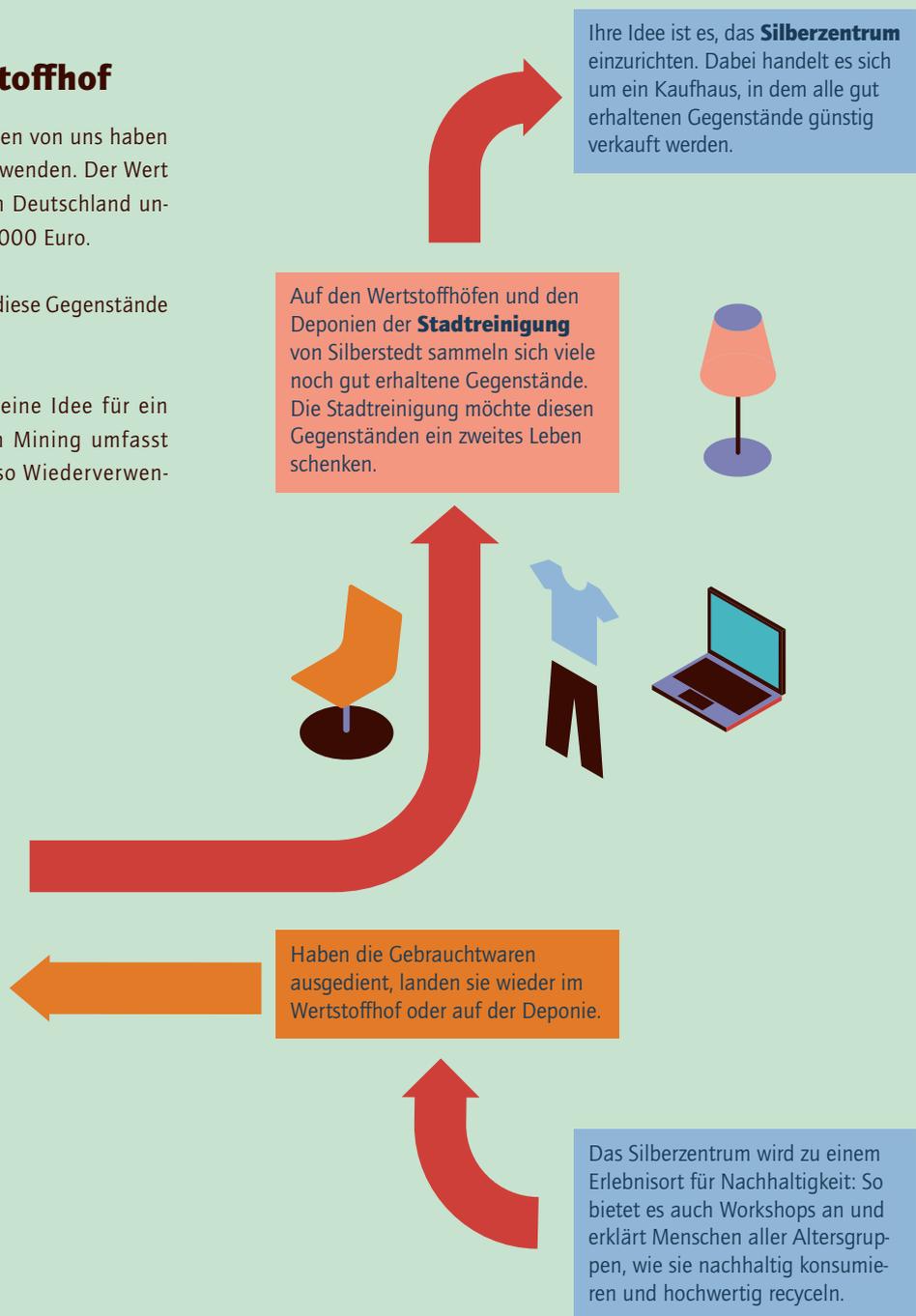


Neue Geschäftsmodelle: Wertvolles aus dem Wertstoffhof

Klamotten, Bücher oder Werkzeug – die meisten von uns haben Gegenstände zu Hause, die sie nicht mehr verwenden. Der Wert dieser Gegenstände, die in jedem Haushalt in Deutschland unbenutzt herumliegen, beläuft sich auf rund 1.000 Euro.

Beim Frühjahrsputz oder bei Umzügen werden diese Gegenstände häufig einfach entsorgt und landen im Müll.

Auch hier hat die fiktive Stadt Silberstedt eine Idee für ein nachhaltiges Geschäftsmodell. Denn Urban Mining umfasst neben Recycling auch Re-use und Repair, also Wiederverwenden und Reparieren.



Das Silberzentrum wird in einem leerstehenden Industriegebäude errichtet. Für die Renovierung setzt es, so gut es geht, Recyclingmaterialien ein. So schafft die Stadt auch neue Arbeitsplätze in der Region.

Als nächstes stellt das Silberzentrum sogenannte **Kreislauf-Manager** ein. Diese entscheiden sich für die beste Kreislaufstrategie: Reparieren, Recyceln oder Wiederverwenden. Dabei achten sie darauf, möglichst wenig Materialien und Energie aufzuwenden, um den Impact auf die Umwelt gering zu halten.

Im Kaufhaus können Ortsansässige die aufbereiteten Produkte kaufen. Das Angebot reicht von Kleidungsstücken über Möbel bis hin zu Elektrogeräten.

Im **Repair-Café** reparieren handwerkliche Fachkräfte vor Ort kaputte Gegenstände der Stadtbevölkerung, die sich die Wartezeit mit einem Fair-Trade-Kaffee und Kuchen aus der Region versüßt.

Start-ups stellen neue Projektideen vor. So machen sie aus alten Gegenständen aus dem Wertstoffhof neue Möbelstücke oder sogar Kunstwerke.

Quelle: Eigene Darstellung nach Berliner Stadtreinigung BSR 2020³²

2.6 Daten-Mining mit dem Materialpass

Ohne Daten-Mining gibt es kein Urban Mining. Ohne die Informationen, welche Rohstoffe wo zu finden sind, wird Recycling schwierig. In einem Gebäude, Elektrogerät oder Auto stecken unzählige viele verschiedene Rohstoffe, die unterschiedliche Hersteller aus unterschiedlichen Ländern zuliefern; die Informationen darüber gehen im Laufe der Jahre verloren. Die Konsequenz: Am Ende der Lebensdauer landen Produkte als Abfall im besten Fall beim Recycling-Unternehmen oder in der Deponie – ohne jegliche Rohstoffdaten. Dabei ist die Zerlegung einer E-Batterie sogar umwelt- und gesundheitsgefährdend, wenn die Zusammensetzung der Materialien unbekannt ist. Deshalb wäre es sinnvoll, wenn Hersteller die Verantwortung für das Recycling tragen (siehe Kapitel 2.4). Auch im Baubereich wäre es wichtig, zu dokumentieren, was alles in einem Gebäude steckt; so ließen sich beim Recycling schädliche Stoffe, wie etwa toxische Brandschutzmittel in der Gebäudedämmung, entfernen (siehe Kapitel 2.2). Expertinnen und Experten schlagen deshalb vor, einen sogenannten Materialpass einzuführen. Das Schaubild zeigt am Beispiel eines Autos, wie das in Zukunft aussehen könnte.

Vom europäischen Green Deal zum Materialpass

Schon mal vom europäischen Green Deal gehört? Das ist eine Art Fahrplan für eine nachhaltige EU-Wirtschaft. Dabei geht es um eine neue Strategie, die Europa zu einem umweltschonenden, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaftsmodell verhelfen soll. Einer unter vielen Vorschlägen der Europäischen Kommission ist die Schaffung eines Materialpasses: Dieser soll Informationen über die „Herkunft, Zusammensetzung, Reparatur- und Demontage-möglichkeiten eines Produkts sowie über die Handhabung am Ende seiner Lebensdauer liefern.“³³ Auch Deutschland könnte sich diesem anschließen und sich darüber hinaus dafür einsetzen, dass im Materialpass Informationen zu kritischen Schadstoffen einsehbar sind.

„Analog zur Kreislaufwirtschaft, bei der sich Verpackungsdesigner mit der Abfallwirtschaft im Vorfeld abstimmen, um zirkuläre Verpackungen zu entwickeln, könnten auch beim Urban Mining Designverantwortliche und Recycling-Unternehmen von Anfang an zusammenarbeiten und (langlebige) Produkte so gestalten, dass sie am Ende recycelt werden können. Ein Auto wird allerdings nicht nach diesen Gesichtspunkten gebaut.“

Der Blick in die Zukunft: Recycling-by-Design

Bei der Herstellung eines Produktes oder beim Bau eines Hauses wird oft nicht daran gedacht, was in zwei, zehn oder dreißig Jahren damit passiert, sobald Reparaturen anstehen oder es ausgedient hat. Es liegt also nahe, sich jetzt zu überlegen, wie wir es in Zukunft besser machen können. Hier setzt das sogenannte Recycling-by-Design an: Architekten, Designerinnen, Entwickler und Ingenieurinnen setzen sich hierbei von Beginn an damit auseinander, wie wir die Rohstoffe Jahre und Jahrzehnte später am effizientesten sortieren, auseinanderlegen, also rückbauen¹, recyceln und wiederverwenden können. Gerade bei High-Tech-Produkten und Materialien, die neu auf den Markt kommen, besteht jetzt die Chance, schon vor dem Verbauen das Recycling zu berücksichtigen.

Und warum wird es noch nicht gemacht?

Die einfache Antwort lautet: Bisher gab es keinerlei Anreize, Materialdaten zu sammeln, zentral zu speichern und für unterschiedliche Akteure transparent zur Verfügung zu stellen. Daran lässt sich erkennen, dass die Idee des Urban Mining noch am Anfang steht. Wie aufwendig Datenerfassung und -pflege sind, zeigt die Größe der anthropogenen Lager (siehe Schaubild Kapitel 1). Diese Mammutaufgabe hat sich das Umweltbundesamt vorgenommen, das bereits an einer Kartierung des anthropogenen Lagers für ganz Deutschland arbeitet. Dazu soll in den kommenden Jahren eine Datenbank entstehen, im Grunde eine Art riesiger Materialpass mit über 300 Güter-Kategorien. Allerdings ist die Arbeit damit noch lange nicht getan: Bauunternehmen, Städte, Kommunen und Produzierende sollten schon jetzt damit beginnen, bei der Herstellung neuer Produkte und Infrastrukturen Materialpässe einzuführen.

„Recycling-Firmen haben keine Daten zu den Produkten, etwa über ein Auto. Die Angst der Autobauer, dass die Daten in falsche Hände geraten, ist zu groß. Ohne Daten über die einzelnen Materialienzusammensetzungen, die im Auto stecken, kann man jedoch nicht effizient recyceln.“

„Das Produkt von heute ist der Rohstoff von morgen.“

j Die sogenannte Rückbaubarkeit eines Produktes, also die Möglichkeit, dieses wieder in die einzelnen Bestandteile zu zerlegen, ist eine wichtige Voraussetzung für das Recycling.

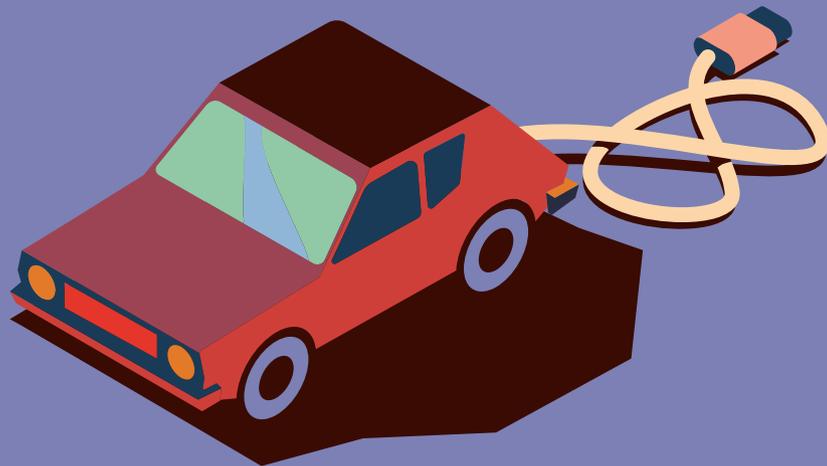
Urban Mining ist auch Data Mining: der Materialpass

In einem Auto sind mehrere Tausend Einzelteile von Zulieferern aus unterschiedlichen Ländern verbaut. Von der Elektronik über die Karosserie bis hin zum Motor – überall stecken viele wertvolle Rohstoffe.

Bislang wird bei der Herstellung wenig darüber nachgedacht, was in zehn oder zwanzig Jahren mit diesen Rohstoffen passiert. Autohersteller teilen ungerne ihre Materialdaten. Das führt dazu, dass Recycling-Unternehmen die Rohstoffdaten fehlen. So können sie aber nicht effizient recyceln.

Zudem verschwinden jährlich mehr als vier Millionen Altfahrzeuge aus Europa. Somit gehen Jahr für Jahr Millionen von Tonnen Kunststoffe, Stahl und Aluminium aus Europa verloren.

Die fiktive Stadt Silberstedt hat sich auch hier was Neues einfallen lassen.



Die **Autoherstellerin** aus Silberstedt möchte effizienter recyceln. Sie hat eine Idee: Jedes Auto soll einen Materialpass haben. Dort sind sämtliche Materialien, die bei der Herstellung und späteren Reparaturen verbaut werden, von Anfang an dokumentiert und transparent einsehbar.

Wird das Auto am Ende seines Lebenszyklus recycelt, kommt es zusammen mit dem Materialpass zur **Recyclingfirma**. Sortierroboter lesen die Informationen ein und wissen nun, welche Materialien wo im Auto verbaut sind. So lässt sich das Auto sehr effizient recyceln; die Rohstoffe fließen zurück in den Kreis.

Sobald **Autobesitzer** ihr Auto reparieren oder Teile austauschen, wandern diese Informationen automatisch in den Materialpass. So bleiben die Daten für die gesamte Nutzung des Autos aktuell.



Das beginnt beim sogenannten Recycling-by-Design: Schon bevor das Auto produziert wird, bedenken **Entwicklerinnen** und **Designer**, wie sich die einzelnen Bestandteile zum späteren Recycling-Zeitpunkt am besten trennen lassen. All diese Informationen fließen in eine digitale Datenbank – den Materialpass.



Auch der gesamte Herstellungsprozess ist digitalisiert. Das bedeutet: Jedes einzelne eingebaute Materialteil aller globalen **Zulieferfirmen** fließt in die Datenbank des Materialpasses ein.



Beim Verkauf des Autos erhält auch der Autobesitzer Zugriff auf die Datenbank des Materialpasses, zumindest auf einen Teil der Informationen.



Wichtig ist die Geheimhaltung sensibler Informationen, also der einzelnen Produktteile und deren Zusammensetzung. Geschäftsgeheimnisse dürfen nicht in falsche Hände geraten.



Hier kommt eine unabhängige Institution ins Spiel, der **Informations-Treuhänder**. Er verwaltet die vertraulichen, wettbewerbskritischen Daten des Materialpasses und sorgt dafür, dass die Daten geschützt sind. Alle weiteren Informationen des Materialpasses sind für die betroffenen Akteure einsehbar.

3

Internationales Schlaglicht: Amsterdam und das Donut-Modell



Weltweit gibt es bereits mehrere Pilotprojekte, die versuchen zu beweisen, dass Urban Mining nicht nur ein schönes Konzept auf dem Papier ist, sondern in der Realität zu spannenden Geschäftsideen führt. Die Niederlande haben eines davon entwickelt.

Amsterdam verfolgt das Ziel, als erste Stadt der Welt bis zum Jahr 2050 zu 100 Prozent zirkulär zu werden.³⁶ Die Inspiration dafür stammt von der britischen Ökonomin Kate Raworth aus Oxford und nennt sich Donut-Modell. Nicht nur die Wirtschaftsleistung, sondern Lebensqualität und Nachhaltigkeit rücken dabei in den Mittelpunkt. Das Modell lässt sich an einem Donut veranschaulichen: Im inneren Donut-Ring sind die Mindestbedürfnisse der Gesellschaft, die sich an den Nachhaltigkeitszielen der Vereinen Nationen orientieren, darunter Nahrung, sauberes Wasser, Obdach, Hygiene, Energie, Bildung, Gesundheit, Gendergleichheit, Einkommen und politische Mitbestimmung. Menschen, die unterhalb dieser Mindeststandards leben, befinden sich im leeren Loch in der Mitte des Donuts. Der äußere Ring zeigt die ökologischen Grenzen, also Ressourcen, Klima, Böden, Meere, Ozonschicht, Wasser und Biodiversität. Der Donut-Teig zwischen dem äußeren und dem inneren Ring symbolisiert das Ziel: Das ist der Ort, an dem sich die Bedürfnisse von Gesellschaft und Natur treffen und im Einklang miteinander leben.

So abstrakt dieses Modell klingen mag, die Stadtverwaltung Amsterdam hat seit vorigem Jahr das Donut-Modell formell als Ausgangspunkt für politische Entscheidungen übernommen. Sie ist somit die erste Stadt der Welt, die sich zu einer solchen Verpflichtung bekennt. „Ich denke, dass es uns helfen kann, die Effekte der [Corona-] Krise zu überwinden“, erklärt Amsterdams stellvertretende Bürgermeisterin Marieke van Doornick.³⁷ Die Corona-Pandemie war für Amsterdam der Weckruf: Die Stadt sah sich gezwungen, sich mit den Problemen Klima, Gesundheit, Jobs, Wohnen und Pflege auseinanderzusetzen und machte sich auf die Suche nach neuen Lösungen, die bei der Bewältigung dieser Probleme helfen können.

Dass es sich nicht um eine – in van Doornicks Worten – Hippie-Theorie handelt, hat Amsterdam bereits mit der neulichen Errichtung eines Businessparks bewiesen. Dieser zeugt davon, dass ein Wirtschaftsmodell, das auf Wachstum, Nachhaltigkeit und Zirkularität basiert, auch in der Praxis – zumindest in Ansätzen – realisierbar ist. Das nachfolgende Schaubild^k illustriert, wie es funktionieren könnte.

Regulierung und Innovation: ziemlich beste Freunde?

Bereits seit dem 19. Jahrhundert machen Schadstoffe aus der Industrie den Menschen zu schaffen. Der Dringlichkeit, die Umwelt zu schützen, stand schon damals die Befürchtung entgegen, dass (strenge) Umweltregulierung die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen erstickt. In den 1980er Jahren unternahm der Ökonom Michael Porter den Versuch, dieses Paradigma von *Ökologie versus Ökonomie* zu durchbrechen: Anhand von empirischen Studien schlussfolgerte er, dass umweltpolitische Regulierungen Innovation sogar anregen können!

Ein Beispiel: Die holländische Blumenindustrie versuchte vor Jahren durch Pestizide, Herbizide und Düngemittel Böden und Grundwasser. Die Politik beschloss daraufhin, die Nutzung von Chemikalien zu regulieren. Dieser regulatorische Druck zwang die Blumenindustrie, sich ein neues Geschäftsmodell zu überlegen: Sie pflanzte Blumen nicht mehr in Böden, sondern in Wasser und Steinwolle. Das minimiert den Schädlingsbefall und somit den Einsatz von Chemikalien, die zudem im Wasser transportiert werden und immer wieder zum Einsatz kommen. Sie bleiben also im geschlossenen, sicheren Kreislauf. Das Ergebnis: Umwelt-Impact und Kosten sinken; Qualität, Kundenzufriedenheit und globale Wettbewerbsfähigkeit steigen.³⁸

k Das Schaubild orientiert sich zwar am neulich errichteten Businesspark in Amsterdam, stellt allerdings noch einen Idealfall dar. Tatsächlich gibt es zahlreiche Herausforderungen, die einer kompletten Kreislaufumführung noch im Wege stehen. Das betrifft insbesondere den Kreislauf von Gebäuden (siehe Kapitel 2.2).

Silver Valley – der nachhaltige Business Park

Die Baubranche ist in Europa für ein Drittel der CO₂-Emissionen verantwortlich und produziert die meisten Abfälle. Die fiktive Stadt Silberstedt hat sich gemeinsam mit privaten Investoren ein zirkuläres Geschäftsmodell für einen neuen Business Park überlegt: Ziel ist es, Wertstoffe so lange es geht zu nutzen und wo möglich geschlossene Kreisläufe für Materialien, Energie und Wasser zu schaffen. Dieses Konzept wird bereits in den Niederlanden in Ansätzen getestet.

Wiederverwendung, Renovierung und Recycling

Der Businesspark organisiert die Wiederverwendung und Renovierung alter Möbel, anstatt sie auf der Deponie zu entsorgen.

In einer Datenbank ist vermerkt, welches Material sich wo im Gebäude befindet. Dazu gibt es für jedes Gebäude einen Materialpass.

Die Materialien sind größtenteils so konzipiert, dass sie sich beim Recycling leicht in ihre Einzelbaustoffe zerlegen lassen.

Umwelt- und gesundheitsfreundliche Materialien

Bei der Behandlung der Holzmöbel verzichtet man auf schädliche Chemikalien und verwendet natürliche Stoffen wie Essig. Dadurch kann man das Holz wieder sicher in die Natur zurückführen.

Die Ausschreibungen für neue Bauwerke richten sich nicht nach dem günstigsten Preis, sondern nach bestimmten Qualitätsmerkmalen. So kommen Stoffe zum Einsatz, die für Gesundheit und Umwelt weniger schädlich sind.





Verantwortungsvoller Umgang mit Wasser und Natur

Ein System für Regenwasser liefert Wasser für Toiletten und ermöglicht die Bewässerung der Grünflächen.

In Gewächshäusern bauen Landwirte Lebensmittel an und beliefern die Restaurants im Silver Valley mit frischem Obst und Gemüse. Das deckt zumindest einen Teil des Nahrungsbedarfs im Silver Valley. Die Gewächshäuser beheizt man mit erneuerbaren Energien, nämlich mit Gas aus der Abwasseranlage.

Im Garten des Businessparks gibt es Grünpflanzen, frisches Gemüse und Obst. Dadurch entsteht eine biologische Vielfalt.

Die Landschaftsplanung und die Pflanzen im Park bieten Nahrung und Brutstätten für kritisch bedrohte Schmetterlingsarten und Bienen. Dies fördert die Biodiversität.

Soziale Gerechtigkeit

Hersteller und Lieferanten von Baumaterialien verkaufen ihre Ware nicht mehr, sondern vermieten diese. Nach dem Rückbau eines Gebäudes tragen sie so die Verantwortung für ein sauberes Recycling. Das hält die Anschaffungskosten – und damit den Preis – von Gebäuden niedrig.

Eine wichtige Voraussetzung für das Recycling ist die Besteuerung von Primärrohstoffen; im Gegenzug sinkt dafür die Arbeitsbesteuerung. Das macht den Abbau von neuen Rohstoffen teuer; gleichzeitig wird Recycling für Hersteller und Lieferanten finanziell attraktiver.

Erneuerbare Energien

In den Fenstern der verglasten Bürogebäude sind integrierte Solarzellen verbaut. Sie erzeugen Solarenergie und bieten im Sommer ausreichend Schatten für die Gebäude.

Auf dem gesamten Gelände erzeugen Solaranlagen und Windräder Strom aus erneuerbaren Energien, sodass zumindest ein Teil des Strombedarfs gedeckt ist.

Quelle: Eigene Darstellung nach BetterWorldSolutions³⁹

4

Von der Rhetorik zur Umsetzung: Kreislauf der Akteure



Was muss jetzt noch passieren? Die vorherigen Kapitel beleuchteten bereits konkrete Aktionen einiger Vorreiter. Das abschließende Schaubild fasst die Möglichkeiten von Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft zusammen. Denn nur wenn alle Akteure an einem Strang ziehen, kann Urban Mining flächendeckend gelingen.

„Schwierig ist vor allem die Umsetzung: Die Leute müssen sehen, dass Urban Mining auch wirtschaftlich erfolgreich sein kann. Wir müssten es einfach testen und auch weitermachen, wenn nicht sofort ein ‚Quick-Win‘ eintritt.“

Wie gut Urban Mining gelingt, hängt vor allem von den Menschen ab, die das Thema vorantreiben. Denn die beste Studie und die neueste Recyclingtechnologie bringen nichts, wenn sie in der Schublade einer Forschungsinstitution landen. Die innovativste Start-up-Idee für ein nachhaltiges Geschäftsmodell verpufft, wenn kein Investor daran glaubt. Das umweltschonendste Produkt schafft es nicht auf den Markt, wenn der politische Rahmen fehlt.

Das nachfolgende Schaubild zeigt zusammenfassend, was Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Konsumierende konkret tun können. Analog zur Metapher eines Kreislaufs, bei dem Rohstoffe immer wieder zum Einsatz kommen, befinden sich auch die einzelnen Akteure in einem Kreislauf.

Urban Mining funktioniert nur, wenn alle Beteiligten gemeinsam denken, handeln und auf ihr Ziel zugehen: den Ausgleich zwischen Mensch, Technik und Natur.

„Das, was nicht zirkulär ist, ist die Zeit.“

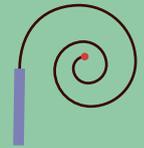
Kreislauf der Akteure

Politik als Rahmengestalter

Ökonomische Anreize (Zuckerbrot): Innovationskraft von Unternehmen fördern, Einsatz von Recycling-Ware belohnen, Anreize für Unternehmen schaffen, damit sie Personal für Kreislauf-tätigkeiten einstellen (unter anderem Recycling, Reparieren)

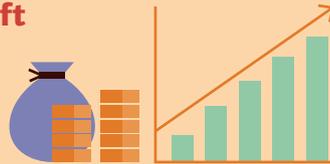


Druckmittel (Peitsche): Rohstoffsteuer einführen, zunächst bei Sand und Kies, damit Recycling-Beton finanziell attraktiv wird (das wird in Holland getestet, siehe Schaubild Kapitel 3); EU-„Plastiksteuer“ auf nicht recycelte Kunststoffe (vorgesehen ab 2021)



Materialpass mit Informationen zu Materialkomponenten für sämtliche Produkte einführen. Ein unabhängiger Treuhänder verwaltet die Daten vertraulich und gewährleistet den Datenschutz.

Wirtschaft



Safe-by-Design: Schadstoffe so weit es geht vermeiden und durch abbaubare Materialien ersetzen, die in die Natur zurückgeführt werden können

Langer Atem: Keine raschen Gewinne, da die Anschaffungskosten hoch sind

Release the Tiger: Risiko eingehen und auf disruptive Recycling-Technologien setzen, in enger Abstimmung mit der Wissenschaft; gesunder Wettbewerb, um die nachhaltigsten Produkte herzustellen

Recycling-by-Design: Recycling von Anfang an mitdenken, um ausnahmslos alle Produkte nach der Lebensdauer besser zu sortieren, zu recyceln und zu reparieren

Neue Geschäftsmodelle entwickeln: Darunter fallen neue Recycling-Plattformen, die mit Rezyklaten handeln, sowie mehr Leasing-Modelle. Beim Leasing als Herstellfirma stets die Verantwortung für ein sauberes Recycling tragen

Globale Wettbewerbsfähigkeit durch **verantwortungsbewusstes Unternehmertum:** Deutsche und europäische Unternehmen grenzen sich von internationalen Konkurrenten ab, indem sie umwelt- und gesundheitsfreundlich Produkte unter menschenwürdigen Arbeitsbedingungen herstellen

Das Fundament: Wissenschaft und Forschung

Erforschen von **neuen, umweltfreundlichen Materialien** und neuen **Recycling-Technologien**



Quelle: Eigene Darstellung

Sensibilisierung und Bildung:

Interdisziplinäres Mindset in diversen Studienfächern fördern; Konstrukteure, Materialforscherinnen, BWLer, Entwickler so ausbilden, dass sie Urban Mining und Recycling verstehen



Materialpass:

für sämtliche Gebäude und Infrastrukturen einführen, um jederzeit zu sehen, wo sich welche Rohstoffe befinden



Gesellschaft

Öko-Siegel: Als Konsument*in verstärkt auf Öko-Siegel mit Informationen zu umweltfreundlichen, recycelten Materialien achten. Einzelne (freiwillige) Initiativen gibt es bereits, etwa die RAL-Gütesiegel zu Recycling-Kunststoffen und Recycling-Baustoffen, Blauer Engel oder Gebäudezertifizierungen, die die Nachhaltigkeit von Gebäuden bewerten.



Mindset: Anders konsumieren, nutzen statt kaufen, mehr reparieren, wiederverwenden und recyceln; mehr Bewusstsein für Umweltverträglichkeit und Arbeitsbedingungen, unter denen Produkte hergestellt werden



Kaufverhalten als Marktmacht: Als Konsument*in mehr Wert auf Nachhaltigkeit legen und so Druck auf Unternehmen ausüben. Nachhaltigere Produkte verdrängen die weniger nachhaltigen immer mehr vom Markt.

Vom **Labor raus in die Praxis:** enge Abstimmung mit Unternehmen, um Recycling-Technologien in Pilotprojekten zu testen



Sensibilisieren von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Ergebnisse in die Öffentlichkeit tragen, dabei transparent und realistisch kommunizieren



Interviewpartnerinnen und Interviewpartner

Die Projektgruppe (Seite 47) legte die Inhalte dieser Publikation fest. acatech hat telefonisch insgesamt 18 Experteninterviews mit Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft geführt. Die Gespräche fanden zwischen Juni und November 2020 statt. Einige Kerngedanken der Befragten sind im Text als anonymisierte Zitate aufgeführt.

Das acatech Präsidium dankt allen Expertinnen und Experten sehr herzlich für ihre Teilnahme an den Interviews! Im Einzelnen waren das:

Dr. rer. nat. Katrin Bokelmann, Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS

Prof. Dr. Magnus Fröhling, Lehrstuhlinhaber Circular Economy, Technische Universität München

Dr.-Ing. Andrea Gassmann, Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS

Prof. Dr. Kathrin Greiff, Institut für Anthropogene Stoffkreisläufe, RWTH Aachen

Prof. Dr. Erik Hansen, Leiter Endowed Institute for Integrated Quality Design (gestiftet von Quality Austria – Trainings, Zertifizierungs und Begutachtungs GmbH und Land Oberösterreich), Johannes-Kepler-Universität Linz

Benjamin Hein, Leiter Geschäftsfeldentwicklung Circular Economy, DIN e. V.

Prof. Dr. Manfred Hennecke (Projektgruppenleiter), Präsident a. D., Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Hermann Keßler, Leiter des Fachgebiets Ressourcenschonung, Stoffkreisläufe, Mineral- und Metallindustrie, Umweltbundesamt

Prof. Dr. Hans-Joachim Kümpel, Präsident a. D., Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Ehrenmitglied im Verband Bergbau, Geologie und Umwelt

Dr. Christine Lemaitre, Geschäftsführende Vorständin, Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.

Dr. Guido Meurer, Mitglied der Geschäftsleitung, BRAIN AG

Prof. Dr. Frank Mücklich, Lehrstuhl für Funktionswerkstoffe, Universität des Saarlandes

Stephanie Otto, Vorstandsvorsitzende, Berliner Stadtreinigung

Dr. Carsten Polenz, Vice President, SAP SE

Dr. Bettina Rechenberg, Leiterin Fachbereich III, Nachhaltige Produkte und Produktion, Kreislaufwirtschaft, Umweltbundesamt

Christian Schiller, Co-Founder und CEO, cirplus GmbH

Prof. Dr. Franz-Georg Simon, Schadstofftransfer und Umwelttechnologien, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Dr. Volker Thome, Abteilungsleiter Mineralische Werkstoffe und Baustoffrecycling, Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Mitwirkende

Gesamtleitung acatech HORIZONTE:

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Vizepräsident acatech, Seniorprofessor Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn

Leitung Innovationsforum:

Prof. Dr. Martina Schraudner, Vorstandsmitglied acatech, Leiterin Fraunhofer Center for Responsible Research and Innovation

Projektgruppe Urban Mining:

Dr. rer. nat. Katrin Bokelmann, Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS

Prof. Dr. Magnus Fröhling, Lehrstuhlinhaber Circular Economy, Technische Universität München

Dr.-Ing. Andrea Gassmann, Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS

Prof. Dr. Erik Hansen, Leiter Endowed Institute for Integrated Quality Design (gestiftet von Quality Austria – Trainings, Zertifizierungs und Begutachtungs GmbH und Land Oberösterreich), Johannes-Kepler-Universität Linz

Prof. Dr. Manfred Hennecke (Projektgruppenleiter), Präsident a. D., Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Prof. Dr. Hans-Joachim Kümpel, Präsident a. D., Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Ehrenmitglied im Verband Bergbau, Geologie und Umwelt

Dr. Christine Lemaitre, Geschäftsführende Vorständin, Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V.

Dr. Guido Meurer, Mitglied der Geschäftsleitung, BRAIN AG

Stephanie Otto, Vorstandsvorsitzende, Berliner Stadtreinigung

Dr. Bettina Rechenberg, Leiterin Fachbereich III, Nachhaltige Produkte und Produktion, Kreislaufwirtschaft, Umweltbundesamt

Christian Schiller, Co-Founder und CEO, cirplus GmbH

Dr. Volker Thome, Abteilungsleiter Mineralische Werkstoffe und Baustoffrecycling, Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Inhaltliche Konzeption, Erstellung Text und Grafiken:

Christina Müller-Markus, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE (federführende Autorin)

Mit Unterstützung durch:

Dr. Alexandra Heimisch-Röcker, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Annette Wiedemann, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE (Kommunikation)

Iris Michalik, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Vivian Würf, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Sebastian Grünwald, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Literaturverzeichnis

- 1 Hornberg, C. (2020): *Umweltgutachten 2020: Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa*. Online verfügbar unter https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Entschlossene_Umweltpolitik.pdf, zuletzt geprüft am 28.08.2020.
- 2 Müller, F., Lehmann, C., Kosmol, J., Keßler, H., Bollan, T. (2017): *Urban Mining*. Ressourcenschonung im Anthropozän. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/uba_broschue-re_urbanmining_rz_screen_0.pdf, zuletzt geprüft am 04.09.2020.
- 3 Hansen, E., Wiedemann, P., Fichter, K., Lüdeke-Freund, F., Jäger-Erben, M., Schomerus, T., Alcayaga, A., Blomsma, F., Tischner, U., Ahle, U., Büchle, D., Denker, A., Fiolka, K., Fröhling, M., Häge, A., Hoffmann, V., Kohl, H., Nitz, T., Schiller, C., Tauer, R., Vollkommer, D., Wilhelm, D., Zefferer, H., Akinci, S., Hofmann, F., Kobus, J., Kuhl, P., Lettgen, J., Rakowski, M., von Wittken, R. and Kadner, S. (2020): *Circular Business Models: Overcoming Barriers, Unleashing Potentials*. acatech/Circular Economy Initiative Deutschland/SYSTEMIQ. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/circular-business-models-overcoming-barriers-unleashing-potentials/>, zuletzt geprüft am 09.11.2020.
- 4 Zech, T. (2018): *Stadt und Land: eine Beziehungsgeschichte*. deutschland.de. Online verfügbar unter <https://www.deutschland.de/de/topic/leben/stadt-und-land-fakten-zu-urbanisierung-und-landflucht>, zuletzt geprüft am 09.09.2020.
- 5 Forti, V., Baldé, C., Kuehr, R., Bel, G. (2020): *The Global E-waste Monitor 2020*. Quantities, flows, and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) - co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA). Online verfügbar unter http://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/07/GEM_2020_def_july1_low.pdf, zuletzt geprüft am 12.10.2020.
- 6 BRAIN AG: *BRAIN BioXtractor*. Nachhaltige Metallgewinnung in der Kreislaufwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.brain-biotech.com/de/bioxtractor>, zuletzt geprüft am 09.09.2020.
- 7 Bitkom (2018): *124 Millionen Alt-Handys liegen ungenutzt herum*. Bitkom. Online verfügbar unter <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/124-Millionen-Alt-Handys-liegen-ungenutzt-herum.html>, zuletzt geprüft am 11.09.2020.
- 8 Hansen, E. G., Revellio, F. (2020): *Circular value creation architectures: Make, ally, buy, or laissez-faire*. Journal of Industrial Ecology, 24(6):1250–1273.
- 9 Widmer, C. (2019): *Das steckt in einem Smartphone*. Swisscom Magazin. Online verfügbar unter <https://www.swisscom.ch/de/magazin/digitalisierung-im-alltag/gold-rohstoffe-smartphone/>, zuletzt geprüft am 09.09.2020.
- 10 Fraunhofer Gesellschaft (2018): *Neuartiges Recycling von Bauschutt*. Fraunhofer Gesellschaft. Online verfügbar unter <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2018/oktober/neuartiges-recycling-von-bauschutt.html>, zuletzt geprüft am 21.10.2020.
- 11 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020): *Rohstoffstrategie der Bundesregierung*. Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nichtenergetischen mineralischen Rohstoffen. Online verfügbar unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffstrategie-der-bundesregierung.pdf>, zuletzt geprüft am 18.11.2020.
- 12 Schipper, O. (2020): *Beton aufwerten und das Klima schonen*. ETH Zürich. Online verfügbar unter <https://ethz.ch/content/main/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2020/08/kohlendioxid-binden-mit-betonbruch.html>, zuletzt geprüft am 08.09.2020.
- 13 Stadt Zürich Hochbaudepartement (2019): *Stadt Zürich erhält den ersten Preis für nachhaltiges Bauen*. Online verfügbar unter

https://www.stadt-zuerich.ch/hbd/de/index/ueber_das_departement/medien/medienmitteilungen/2019/september/190925a.html, zuletzt geprüft am 06.10.2020.

14 European Chemicals Agency ECHA: *Candidate List of substances of very high concern for Authorisation*. Online verfügbar unter <https://www.echa.europa.eu/candidate-list-table>, zuletzt geprüft am 08.10.2020.

15 Safe by Design: *A safe future starts now*. Chemicals. Online verfügbar unter <https://safe-by-design-nl.nl/home+english/chemicals/default.aspx>, zuletzt geprüft am 11.09.2020.

16 Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. (2019): *Gebäudekonzepte und Zertifizierungen: Es grünt so grün im Label*. Online verfügbar unter https://www.dgnb.de/de/aktuell/presse/?we_objectID=47664, zuletzt geprüft am 20.10.2020.

17 Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2018): *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB)*. Online verfügbar unter <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem.html>, zuletzt geprüft am 01.12.2020.

18 Astor, M., Klaus, C., Grünwald, C. (2020): *Foresight-Prozess III im Auftrag des BMBF*. Zukunftsbüro des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Online verfügbar unter https://www.vorausschau.de/files/Foresight2020_50_Themenblaetter.pdf, zuletzt geprüft am 09.09.2020.

19 ambista, Koelnmesse GmbH (2020): *Nachhaltiges Design: Möbel aus Müll*. Online verfügbar unter <https://www.ambista.com/de/magazin/nachhaltiges-design-moebel-aus-muell>, zuletzt geprüft am 06.10.2020.

20 Busse, L., Rechenberg, B. (2019): *Kunststoffe in der Umwelt*. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/190515_uba_fb_kunststoffe_bf.pdf, zuletzt geprüft am 07.10.2020.

21 Schiller, C.: *A Closer Look at the Circular Plastics Economy – Episode #1*. Will the petrochemicals embrace the change or fight it? Medium. Online verfügbar unter <https://medium.com/@christian.schiller/a-closer-look-at-the-circular-plastics-economy-episode-01-229711245e03>, zuletzt geprüft am 31.08.2020.

22 Europäischer Rat (2020): Außerordentliche Tagung des Europäischen Rates (17., 18., 19., 20. und 21. Juli 2020)–Schlussfolgerungen. Online verfügbar unter: <https://www.consilium.europa.eu/media/45136/210720-euco-final-conclusions-de.pdf>, zuletzt geprüft am 01.04.2021

23 acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. (2018): *CCU und CCS – Bausteine für den Klimaschutz in der Industrie*. acatech POSITION. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/ccu-und-ccs-bausteine-fuer-den-klimaschutz-in-der-industrie-analyse-handlungsoptionen-und-empfehlungen/>, zuletzt geprüft am 12.11.2020.

24 Fuhr, L., Buschmann, R., Freund, J. (2019): *Plastikatlas*. Daten und Fakten über eine Welt voller Kunststoff / 4. Auflage. Heinrich Böll Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND). Online verfügbar unter https://www.boell.de/de/2019/05/14/plastikatlas?dimension1=ds_plastikatlas, zuletzt geprüft am 09.09.2020.

25 Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (2020): *Grundlagen zu Polymeren und Kunststoff*. Online verfügbar unter <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/ueber-fraunhofer-umsicht/nachhaltigkeit/nationale-informationsstelle-nachhaltige-kunststoffe/polymere-kunststoff/grundlagen.html>, zuletzt geprüft am 09.09.2020.

26 Tournier, V., Topham, C.M., Gilles, A. et al. (2020): *An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles*. Nature, (580):216–219.

27 Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS (2019): *Kreisläufe in der Elektromobili-*

tät schließen. Batterierecycling in der Elektromobilität. Online verfügbar unter <https://www.iwks.fraunhofer.de/de/iwks-abteilungen/Energiematerialien/Batterien-und-PV-Module/batterierecycling.html>, zuletzt geprüft am 28.08.2020.

28 James Dyson Foundation (2020): *The Tyre Collective - capturing micro-plastic pollution from tyre wear*. Online verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=ZFreX8pJiG4>, zuletzt geprüft am 24.09.2020.

29 Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS (2018): *Verbundprojekt »AutoBatRec2020« gestartet*. Online verfügbar unter <https://www.iwks.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/pressemitteilungen-2017/autobatrec2020-altbatterien-aus-e-fahrzeugen-intelligent-wiederverwerten.html>, zuletzt geprüft am 10.09.2020.

30 recyclingnews, ALBA Group plc & Co. KG (2020): *Mieten statt kaufen: Renault schließt den Batteriekreislauf*. Renault-Vorstandsmitglied Martin Zimmermann im Interview. Online verfügbar unter <https://www.recyclingnews.de/rohstoffe/mieten-statt-kaufen-renault-schliesst-den-batteriekreislauf/>, zuletzt geprüft am 04.11.2020.

31 Seibt, T. (2019): *Neue Techniken sind nötig*. auto motor sport. Online verfügbar unter <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/fraunhofer-positionspapier-elektroauto-batterie-recycling/>, zuletzt geprüft am 10.09.2020.

32 Berliner Stadtreinigung BSR (2020): *BSR-Gebrauchtwarenkaufhaus „NochMall“ eröffnet*. Kombination aus Second-hand-Kaufhaus und Nachhaltigkeits-Zentrum. Online verfügbar unter <https://www.bsr.de/bsr-gebrauchtwarenkaufhaus-nochmall-eroffnet-27982.php>, zuletzt geprüft am 10.09.2020.

33 Europäische Kommission (2019): *MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN EUROPÄISCHEN RAT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS-UND*

SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN. Der europäische Grüne Deal. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 16.10.2020.

34 Hansen, E. G., Schmitt, J.C. (2020): *Orchestrating Cradle-to-Cradle Innovation Across the Value Chain: Overcoming Barriers through Innovation Communities, Collaboration Mechanisms, and Intermediation*. Journal of Industrial Ecology, 1-21, doi: <https://doi.org/10.1111/jiec.13081>.

35 Buildings as Material Banks (BAMB) (2020): *Materials Passports*. Online verfügbar unter <https://www.bamb2020.eu/topics/materials-passports/>, zuletzt geprüft am 11.09.2020.

36 StoneCycling (2020): *Amsterdam to Become First Circular City in the World*. Online verfügbar unter <https://www.stonecycling.com/news/amsterdam-circular-city>, zuletzt geprüft am 08.09.2020.

37 Boffey, D. (2020): *Amsterdam to embrace 'doughnut' model to mend post-coronavirus economy*. Dutch officials and British economist to use guide to help city thrive in balance with planet. the Guardian. Online verfügbar unter <https://www.theguardian.com/world/2020/apr/08/amsterdam-doughnut-model-mend-post-coronavirus-economy>, zuletzt geprüft am 08.09.2020.

38 Porter, M., van der Linde, C. (1995): *Green and Competitive: Ending the Stalemate*. Harvard Business Review. Online verfügbar unter <https://hbr.org/1995/09/green-and-competitive-ending-the-stalemate>, zuletzt geprüft am 03.09.2020.

39 BetterWorldSolutions: *First Cradle-To-Cradle Business Park In The Netherlands*. BetterWorldSolutions. Online verfügbar unter <https://www.betterworldsolutions.eu/first-cradle-to-cradle-business-park-in-the-netherlands/>, zuletzt geprüft am 10.09.2020.

acatech –

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

acatech berät Politik und Gesellschaft, unterstützt die innovationspolitische Willensbildung und vertritt die Technikwissenschaften international. Ihren von Bund und Ländern erteilten Beratungsauftrag erfüllt die Akademie unabhängig, wissenschaftsbasiert und gemeinwohlorientiert. acatech verdeutlicht Chancen und Risiken technologischer Entwicklungen und setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen. acatech bringt Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Die Mitglieder der Akademie sind herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften, der Medizin sowie aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Die Senatorinnen und Senatoren sind Persönlichkeiten aus technologieorientierten Unternehmen und Vereinigungen sowie den großen Wissenschaftsorganisationen. Neben dem acatech FORUM in München als Hauptsitz unterhält acatech Büros in Berlin und Brüssel.

Weitere Informationen unter www.acatech.de.

HERAUSGEBER:

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

ADRESSEN STANDORTE**Geschäftsstelle**

Karolinenplatz 4
80333 München
T +49(0)89 / 520309-0
F +49(0)89 / 520309-900

Hauptstadtbüro

Pariser Platz 4a
10117 Berlin
T +49(0)30 / 2063096-0
F +49(0)30 / 2063096-11

Brüssel-Büro

Rue d'Egmont / Egmontstraat 13
B-1000 Brüssel
T +32(0)2 / 2 13 81-80
F +32(0)2 / 2 1381-89

horizonte@acatech.de

<https://www.acatech.de/horizonte>

Empfohlene Zitierweise:

acatech (Hrsg.): Urban Mining (acatech HORIZONTE), München 2021

Redaktionelle Bearbeitung:

Elisabeth Grenzebach

Lektorat:

Lektorat Berlin

Layout, Satz und Illustrationen:

Joseph & Sebastian – Grafikdesign, München

Druck:

Kern GmbH, Bexbach

Vorstand i. S. v. § 26 BGB:

Karl-Heinz Streibich, Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl (Amt ruht derzeit), Dr. Stefan Oschmann, Dr. Reinhard Ploss, Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Manfred Rauhmeier, Prof. Dr. Martina Schraudner

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
• 2021

Mehr zu acatech HORIZONTE Urban Mining, inklusive der Grafiken, finden Sie auch unter:

<https://www.acatech.de/projekt/acatech-horizonte-urban-mining/>



München 2021

acatech HORIZONTE ISSN 2625-9605



Die Ressourcen der Erde sind endlich. Gehen wir mit ihnen verschwenderisch um, werden sie die Menschheit nicht dauerhaft tragen können. Dennoch landet heute all das, was ausgedient hat, nach kurzer Zeit oft im Müll. Genau hier setzt das Urban Mining an: Anstatt immer mehr Primärstoffe abzubauen, sollen die bestehenden Sekundärstoffe, die in den Städten und Siedlungen bislang ungenutzt bleiben, konsequent wiederverwendet werden. Diese reichen von Baumaterialien über edle Metalle aus Elektronikteilen bis hin zu Plastik, die bislang oft weggeworfen werden. Dies liegt unter anderem auch an fehlenden Daten, die man zum Auffinden, Wiederaufarbeiten und Recyceln benötigt. Doch welche Barrieren gibt es dabei und wie können diese überwunden werden? Wo stehen wir heute und was ist in Zukunft alles möglich? Diesen und weiteren spannenden Fragen widmet sich die vorliegende HORIZONTE-Ausgabe.