

**Das Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC** besteht aus drei Fachgruppen: Recycling und Verfahrenstechnik, Wasser und Abwassertechnik sowie Advanced Materials&Processes. Rund 15 Wissenschaftler und Ingenieure aus den Bereichen Maschinen und Verfahrenstechnik, Umweltwissenschaften und Chemie betreuen Forschungs- und Entwicklungsprojekte.

Die **Fachgruppe Recycling und Verfahrenstechnik** beschäftigt sich vor allem mit der mechanischen Aufbereitung von Sekundärrohstoffen. In einem einzigartig ausgestatteten Verfahrenstechniklabor entwickeln wir Verfahren und Geräte zur Separation von Schüttgütern und zur Phasentrennung. Wir greifen auf eine langjährige Erfahrung aus zahlreichen Projekten mit Industrieunternehmungen und Umweltämtern zurück. Rund 40 Patentanmeldungen belegen unser Innovationspotenzial.

Unsere acht Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Bereich Recycling und Verfahrenstechnik sind überwiegend Ingenieure/innen von der OST und der ETH Zürich. Sie werden durch Zivildienstleistende, Praktikanten und Studierende unterstützt.

[www.umtec.ch](http://www.umtec.ch) / [www.ost.ch](http://www.ost.ch)

„Wir erforschen technische Probleme nicht.  
Wir lösen sie!“ UMTEC

## Metenviro

### Grenzen des Metallrecyclings

#### Hintergrund

Zur Bereitstellung von Metallen gilt als Faustregel, dass das Recycling umweltschonender ist als der Primärerzabbau. Unsere Studien haben allerdings ergeben, dass diese Faustregel vor allem auf die Abfälle von Low-Tech Produkten beschränkt ist, denn Low-Tech Produkte zeichnen sich durch einen hohen Metallgehalt aus (Beispiel Dachrinne aus Kupfer). Anders sieht dies bei High-Tech Produkten aus, bei denen typischerweise der Metallgehalt gering ist und zudem noch die Metalle dispers verteilt vorliegen (Beispiel Kupfer und Gold im Smartphone). Beim Recycling dieser Produkte sind nicht nur die Kosten je gewonnenem Kilogramm Metall hoch, sondern es kann sogar passieren, dass der ökologische Aufwand für das Recycling grösser wird als der ökologische Aufwand für die Metallgewinnung durch Primärerzabbau. In diesen Fällen wäre also das Recycling ökologisch schlechter als der Erzabbau. Wird die Umweltbelastung pro Kilogramm Rohstoff betrachtet, ist die Gewinnung seltener Metalle wie Rhodium, Palladium, Platin oder Gold aus den entsprechenden Erzen mit besonders hohen Umweltbelastungen behaftet. Wird allerdings die spezifische Umweltbelastung mit der jährlich produzierten Metallmenge multipliziert, sind es jedoch die Massenmetalle, welche den weitaus grössten Beitrag zur globalen Umweltbelastung verursachen.

Allein drei Metalle sind bereits für 75 % der globalen Umweltbelastung durch den Erzbergbau verantwortlich: Eisen, Kupfer, Aluminium. Weitere 15 % der Umweltbelastung entfallen auf die Metalle Zink, Gold und Chrom. Bei unseren Untersuchungen zu den Grenzen des Metallrecyclings haben wir daher auf die in Abb. 1 markierten Metalle fokussiert.

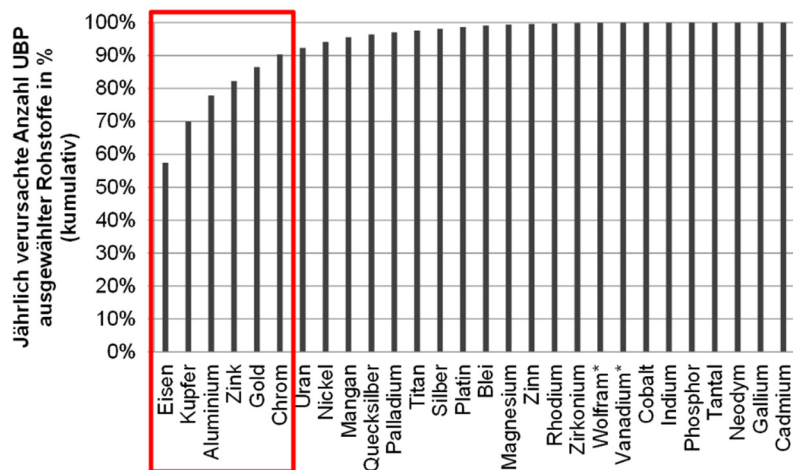


Abb. 1: Globale Umweltbelastung durch die Produktion ausgewählter Metalle in % (kumulativ). Nur sechs Metalle sind bereits für 90 % der globalen Umweltauswirkungen des Erzbergbaus verantwortlich.

## Modell zur Kosten-Nutzen-Analyse des Recyclings

Die Abb. 2 zeigt das Vorgehen zur Bestimmung des ökologisch optimalen Metall-Rückgewinnungsgrads. Die x-Achse bezeichnet den Rückgewinnungsgrad eines Metalls, z.B. Kupfer aus Elektro- und Elektronikgeräten, von 0 % bis 100 %. Auf der y-Achse ist die mit dem Recycling verbundene Umweltbelastung in Umweltbelastungspunkten (UBP) aufgetragen. Mit zunehmendem Rückgewinnungsgrad steigt die Umweltbelastung der Metallerkennung aus dem Recyclinggut überproportional stark an (rote Kurve), weil pro Kilogramm extrahiertem Wertstoff immer mehr Energie und Chemikalien aufgewendet werden müssen. Die durch das Recycling vermiedene Umweltbelastung gegenüber dem Erzbergbau kann als „ökologischer Ertrag“ von der Umwelteinwirkung des Recyclingprozesses abgezogen werden. Weil pro Kilogramm recyceltes Metall eine entsprechende Anzahl UBP gutgeschrieben wird, steigt die Kurve der gesparten UBP linear an (blaue Gerade). Der Punkt, an dem die Differenz zwischen den durch die Vermeidung des Primärerzabbaus eingesparten UBP und den durch den Recyclingprozess generierten UBP am grössten ist, beschreibt das ökologische Maximum (grüne Kurve). Es ist ökologisch unsinnig, Metalle über diesen optimalen Rückgewinnungsgrad hinaus zu extrahieren, denn die Umweltbelastung durch die Bereitstellung des Metalls aus dem Erzbergbau wäre in diesem Fall geringer als die durch das Recycling.

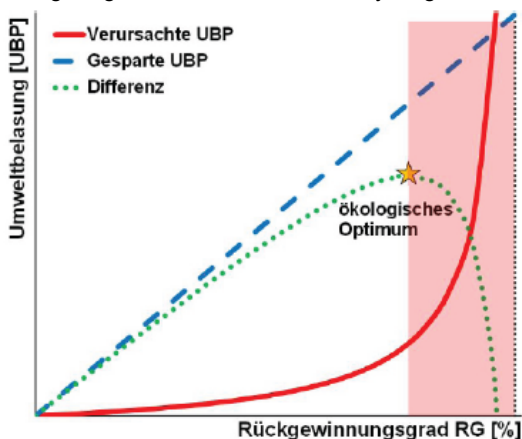


Abb. 2: Schematische Darstellung zur Bestimmung des optimalen Metall-Rückgewinnungsgrads aus metallhaltigen Abfällen. Die Umweltbelastung wird durch UBP (Umweltbelastungspunkte) ausgedrückt.

Der Erlös für recycelte Metalle ist der globale Marktpreis und damit unabhängig vom Standort der Recyclinganlage. Anders bei den Kosten: Infolge höherer Umweltauflagen sind die Recyclingkosten in der Schweiz höher als z.B. in Schwellenländern (wo z.B. die Abfälle aus dem Recycling nicht umweltgerecht entsorgt werden). Recyclingprozesse von High-Tech Produkten sind daher in der Schweiz nur durchführbar, wenn sie durch Massnahmen wie eine vorgezogene Recyclinggebühr (VRG) unterstützt werden. Durch die VRG wird ein Teil der externen Kosten (Vermeidung von Umweltverschmutzung) internalisiert. Grundsätzlich wäre es sinnvoll, die VRG so hoch zu wählen, dass der von den Metallrecyclern realisierte Metall-Rückgewinnungsgrad gerade im ökologischen Optimum liegt.

## Fallbeispiel: Recycling von Elektronikschrott

In der Regel werden durch das Recycling von E-Schrott mehrere Metalle erfasst, insbesondere Eisen, Kupfer, Aluminium, Gold und Chromnickel (Edelstahl). Die durch Recycling vermeidbaren UBP sind proportional zur Masse der rückgewonnenen Metalle, bewertet mit ihren Umwelteinwirkungen (in UBP). Würden z.B. alle in einem Laptop enthaltenen Metalle recycelt (Rückgewinnungsgrad 100 %) und würde der Recyclingprozess selbst keine UBP verursachen, liessen sich gegenüber dem Erzbergbau knapp 32'000 UBP einsparen ( $UBP_{max}$ ).

Beim Laptoprecycling werden in der Schweiz etwa 78 % der durch die Metallrückgewinnung potenziell vermeidbaren UBP tatsächlich eingespart. Dieser Recyclinggrad entspricht gemäss unseren Abschätzungen ungefähr gerade dem ökologischen Optimum wie in Abb. 3 dargestellt.

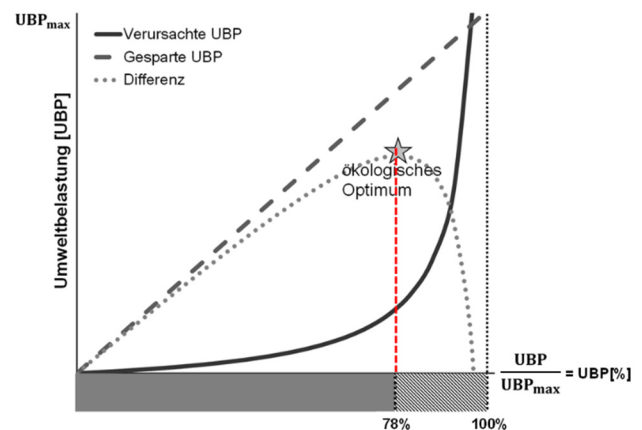


Abb. 3: Von den durch Laptop-Recycling potentiell vermeidbaren UBP werden nach dem Stand der Technik und unter Berücksichtigung der Höhe der VRG effektiv 78 % eingespart.

Ausgehend von der Überlegung, dass trotz forciertem Recycling noch über mehrere Jahrzehnte der überwiegende Anteil des globalen Metallbedarfs aus dem Erzbergbau gedeckt werden muss, ist auch noch folgende Erkenntnis interessant. Bis aus Rohstoffen ein Produkt wird, z.B. ein Smartphone, durchlaufen die Rohstoffe über eine lange Kette von Zwischenprodukten zahlreiche Verarbeitungsstufen. Die spezifische Umweltbelastung (UBP pro kg Zwischenprodukt) nimmt entlang dieser Produktionskette ab, d.h. die höchste spezifische Umweltbelastung fällt am Anfang der Kette an (Abbau und Aufbereitung des Rohstoffes). Gegenläufig verhält sich hingegen die Wertschöpfung je kg Zwischenprodukt: Sie nimmt mit jeder Verarbeitungsstufe zu. Ein Grossteil der Umweltbelastung lässt sich also mit einem relativ geringen finanziellen Aufwand am Anfang der Wertschöpfungskette vermeiden, denn hier ist der ökologische Nutzen je eingesetzten CHF am höchsten. Vor diesem Hintergrund wäre es möglicherweise kosteneffizienter den Rohstoffabbau in den Erzeugerländern ökologisch zu verbessern als zu versuchen, die Umweltschädigung in den späteren Stadien der Produktionskette zu minimieren, also in den Fabriken der Industrienationen.

## Kontakt

Prof. Dr. Rainer Bunge, Tel. 058 257 48 60 (Sekretariat)

OST Ostschweizer Fachhochschule ■ UMTEC Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik ■ Oberseestrasse 10 ■ CH-8640 Rapperswil