

**Zeitschrift:** Plan : Zeitschrift für Planen, Energie, Kommunalwesen und Umwelttechnik = revue suisse d'urbanisme  
**Herausgeber:** Schweizerische Vereinigung für Landesplanung  
**Band:** 32 (1975)  
**Heft:** 5

**Artikel:** Rückgewinnung industrielle Produktionsstoffe aus Abfall  
**Autor:** Braun, Rudolf  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-782366>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Rückgewinnung industrieller Produktionsstoffe aus Abfall

Von Professor Dr. Rudolf Braun, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich

Nichts wird aus nichts,  
Nichts vergeht in nichts.  
(Demokrit, 460–380 v. Chr.)

Der 1. Hauptsatz der Thermodynamik besagt, dass Materie und Energie weder neu geschaffen noch vernichtet, sondern nur umgewandelt werden können. Das gilt folglich auch für die Abfallstoffe aller Aggregatstufen. Abfälle lassen sich nicht vernichten, nicht eigentlich «beseitigen», sondern nur umwandeln, wobei unter Umständen Energie gewonnen werden kann. Leider wird diese Tatsache bei der Behandlung des Abfallproblems oft vergessen.

Wir können es auf zweierlei Arten lösen: Einmal durch die bisher im Umweltschutz allgemein übliche *Symptombehandlung*. Man versucht mehr oder weniger erfolgreich, mit technischen Mitteln die Abfälle umzuwandeln und die Neben- und Endprodukte dem Boden, dem Wasser oder der Luft zu übergeben.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, nicht nur die Symptome, sondern auch die *Ursachen* zu bekämpfen, nämlich dafür zu sorgen, dass wir weniger Abfall produzieren und zur Hauptsache nur solche, die umweltkonform verarbeitet werden können. Diese Kausalbehandlung ist jedoch viel schwieriger als die Symptombehandlung, denn ohne Zwang, ohne gesetzliche Massnahmen lässt sie sich nicht realisieren.

Bevor wir näher auf die Frage der Rückgewinnung von Rohstoffen aus Abfällen eingehen, möchten wir ein paar allgemein bekannte Tatsachen in Erinnerung rufen:

1. Technische Anlagen zur Vorbehandlung und Umwandlung der Abfälle (z.B. Müllverbrennungs- und Kompostanlagen, Kläranlagen, Shredderanlagen usw.) sind keineswegs frei von Emissionen und Immissionen. Ihr Ausmass hängt jedoch von der Konzeption, dem

System und der Betriebsführung ab. *Abfallbehandlung ohne Belastung der Biosphäre* ist undenkbar. Aufgabe der Technik ist es, diese Umwandlung so zu vollziehen, dass die Neben- und Endprodukte weniger schädlich, weniger belastend für die Umwelt sind als die ursprünglichen Abfallstoffe. *Bei Missachtung dieses Grundsatzes verliert die Abfalltechnik ihren Sinn.*

2. Die Erdbevölkerung wächst jährlich um 2–2,2 %, die Industrieproduktion jedoch um mehr als 6 %. In zahlreichen Grossindustrien mit ihrer heterogenen Produktion aus den verschiedensten Rohmaterialien entstehen schätzungsweise ein Drittel erwünschte Verkaufsprodukte, hingegen zwei Drittel unerwünschte Nebenprodukte in Form von Abfällen verschiedenster Aggregatstufen. Sie belasten und schädigen die Biosphäre in wachsendem, beängstigendem Ausmass. In manchen Industriezweigen kann diese Diskrepanz zwischen Verkaufsprodukten und Abfällen noch grösser sein.

Aber auch die Menge der kommunalen Abfälle nimmt von Jahr zu Jahr weiter zu, durchschnittlich um mindestens 2 %. Auch sie belasten und schädigen die Umwelt.

In letzter Zeit ist allerdings eine deutlich feststellbare Verminderung der Abfallmenge, insbesondere der kommunalen Abfälle, festzustellen, offenbar als Folge des allgemeinen Rückgangs der Hochkonjunktur.

3. Die Rohstoffvorräte unseres Planeten sind nicht unerschöpflich. Einige Rohstoffreserven sind in einigen Jahrzehnten erschöpft, wenn die jetzige Abbaurate eingehalten wird.

Aufgrund dieser Tatsachen drängen sich folgende Konsequenzen auf:

## In rohstoffökonomischer Hinsicht

Um die in absehbarer Zeit erschöpften Reserven mancher Rohstoffe zu schonen, sind wir gezwungen, entweder eine Änderung der Produktionsverfahren in dem Sinne vorzusehen, dass diese Rohstoffe durch andere, weniger knapp bemessene Stoffe zu ersetzen oder aber die in den Abfällen enthaltenen Rohstoffe wieder in die Produktion

zurückzuführen sind, nach der Devise «Abfälle sind Rohstoffe am falschen Platz».

## In ökologischer Hinsicht

Damit die Belastung der Biosphäre mit Abfallprodukten nicht auf ein unhaltbares Mass ansteigt, sind wir gezwungen, entweder das exponentielle Wachstum der Industrieproduktion zu verlangsamen oder gar zu stoppen oder durch Rückführung der Abfälle in die Produktion die Abfallmengen zu reduzieren. Anstelle von «entweder – oder» wäre es vielleicht besser, zu sagen «sowohl als auch».

Wir sind der Meinung, dass es höchste Zeit ist, unsere Hefte bezüglich Abfallbeseitigung zu revidieren und ein umfassendes Abfallkonzept zu schaffen, das nicht nur das bisher übliche Kosten-Nutzen-Denken, sondern auch die ökologischen und rohstoffökonomischen Gesichtspunkte berücksichtigt. Es gilt daher, eine Optimierung bzw. eine vernünftige Korrelation zwischen Abfall-Umwandlung, Umweltbelastung, Rohstoffökonomie und Aufwand anzustreben. Das gelingt uns aber nur, wenn wir als Grundkonzept eine *Abfallbewirtschaftung* und nicht eine Beseitigung im bisherigen Sinn ins Auge fassen.

Nach unserer Ansicht sollte eine zukünftige sinnvolle Abfallbewirtschaftung zwei Massnahmen umfassen:

1. den industriellen Rohstoffkreislauf
2. den natürlichen Stoffkreislauf

## 1. Der industrielle Rohstoffkreislauf

(Siehe Abb. 1.)

a) *Materialfluss linear* (schwarze Pfeile)  
Die Rohstoffe in der Natur werden ausgebeutet und für die industrielle Produktion aufbereitet. Dieser erste Schritt im Materialfluss ist verbunden mit dem «Lastpaket» 1, bestehend aus Emissionen und Immissionen (EI) und Energieverbrauch (EV).

Die aufbereiteten Rohstoffe werden in der industriellen Produktion verwendet, die ihrerseits mit Paket 2 (EI + EV) belastet ist. Die Industrieprodukte gelangen zum Verbrauch und Gebrauch und werden schliesslich zum Abfall,

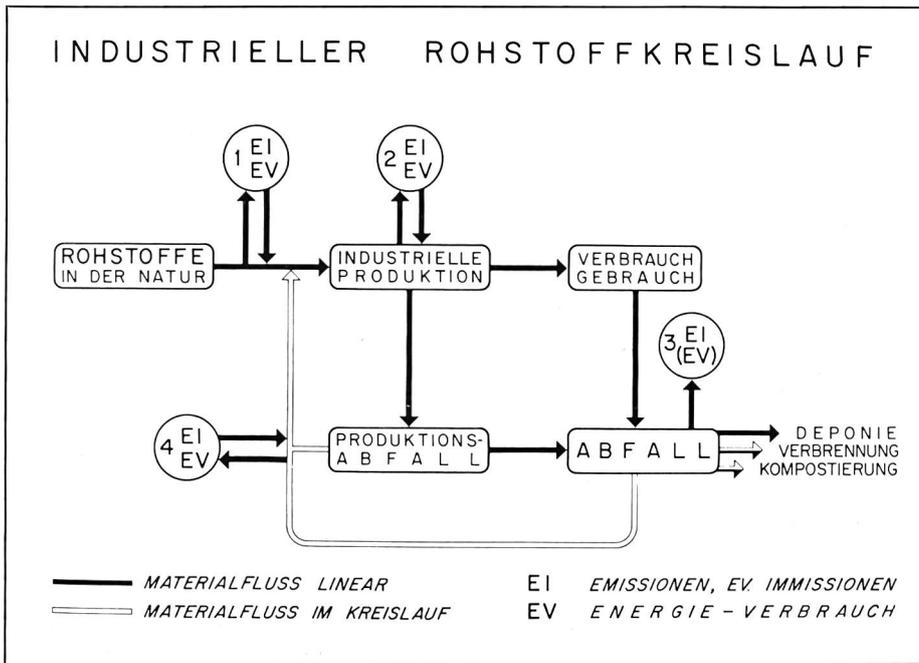


Abb. 1

der entweder im Gelände abgelagert (Deponie), verbrannt oder kompostiert wird. Damit verbunden ist Lastpaket 3. Aber auch bei der industriellen Produktion entstehen Abgänge, die beim linearen Materialfluss in den Abfall gelangen.

Im Falle der Deponie ist der Materialfluss vollkommen linear. Bei der Verbrennung kann, falls die Wärmeenergie ausgenutzt wird und die Verbrennungsrückstände weiterverwendet werden, ein partieller Kreislauf entstehen. Dasselbe gilt für die Kompostierung durch die Rückführung der humifizierten organischen Abfälle in den Boden.

**b) Materialfluss im Kreislauf (weisse Pfeile)**

Manche Produktionsabfälle werden seit jeher ohne weitere Aufbereitung wieder in den Produktionsfluss eingeführt, sei es im gleichen Betrieb (z.B. Glasbruch in Glashütten) oder in andern Industriezweigen (z.B. chemische Industrieabfälle, die von andern Betrieben weiterverwendet werden).

Dieser kurze industrielle Rohstoffkreislauf ist in jeder Beziehung der sinnvollste!

Andere Industrieabfälle, aber auch kommunale Abfälle, können aufbereitet und als Rohstoffe, Rohmaterial oder als neue Produkte wieder einer Verwendung zugeführt werden. Mit der Aufarbeitung verknüpft ist Lastpaket 4. Für die Endproduktion müssen aber auch Absatzmärkte beschaffen werden.

Man ist versucht, generell zu sagen: Je

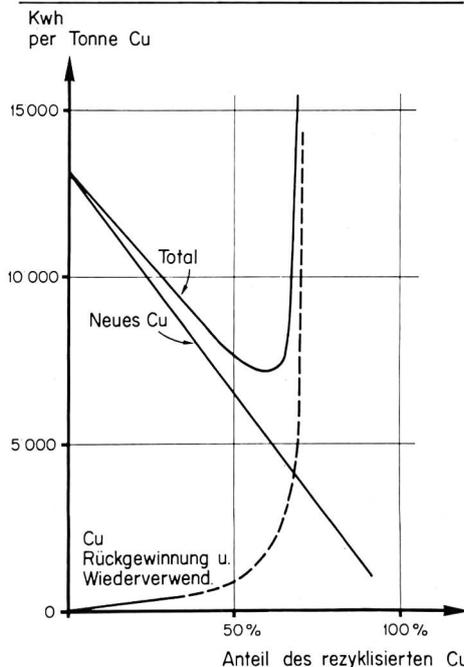


Abb. 2. Energieaufwand für die Herstellung einer Tonne Kupfer in Abhängigkeit des prozentualen Anteils an recyculiertem Kupfer (nach Stumm und Davis 1974)

mehr Abfälle dem Materialfluss im Kreislauf zugeführt werden bzw. je kleiner der lineare Materialfluss, desto geringer die Umweltbelastung und desto grösser die Schonung der Rohstoffressourcen.

Wir warnen vor dieser Verallgemeinerung und Simplifizierung. Massgebend für die Entscheidung, ob ein Recycling-Verfahren sinnvoll ist oder nicht, sind unseres Erachtens die Lastpakete.

Recycling-Massnahmen sind dann sinnvoll und sollten unbedingt realisiert werden, wenn Lastpaket 4 kleiner oder höchstens gleich gross ist wie die Summe von Lastpaket 1 + 3. Ist dies nicht der Fall, so verschieben wir die Umweltbelastung nur auf eine andere Ebene!

Es ist jedoch denkbar, dass in speziell gelagerten Fällen ein grösseres Lastpaket 4 in Kauf genommen werden kann, zum Beispiel wenn es sich um die Schonung äusserst knapp bemessener Ressourcen handelt.

Als praktisches Beispiel (Siehe Abb. 2.) erwähnen wir die Rückgewinnung des Kupfers aus Abfällen (siehe Stumm und Davis 1974).

Die Herstellung einer Tonne Kupfer aus Erz benötigt einen Energieaufwand von etwa 13 000 kWh. Für die Rückgewinnung von Kupfer aus dafür geeigneten Kupferabfällen ist der Energiebedarf etwa 15mal kleiner. Je grösser der Anteil von recyculiertem Kupfer ist, desto mehr nimmt der Gesamtenergieverbrauch bei der Kupferproduktion ab. Dies gilt jedoch nur bis zu einem gewissen Punkt: Leider liegen nur etwa 30 % des gesamten Kupferverbrauchs in Form von leichtrecyculierbaren Kupferabfällen vor (z.B. Kupferschrott, Drähte, Röhren). Andere Kupferabfälle, wie Legierungen, Industrieschlämme, das heisst Abfälle, in denen Kupfer vermischt mit andern Metallen und in kleinen Konzentrationen vorliegt, sind bedeutend schwieriger, das heisst mit höherem Energieaufwand recyculierbar. Ihre Menge wird auf etwa 25-30 % des gesamten Kupferverbrauchs geschätzt.

Es lassen sich also insgesamt höchstens 60 % des Kupferverbrauchs in Form von recyculiertem Kupfer decken. Die restlichen 40 % des Kupfers liegen in derart verdünnter Form in festen und flüssigen Abfällen, in Pigmenten und Farbstoffen oder im Boden und Gewässern vor, dass an eine Rezykulation gar nicht zu denken ist, denn der Energieaufwand wäre unendlich hoch.

Was über Kupfer gesagt wurde, gilt genauso für sämtliche andern Rohstoffe! Der Rückgewinnung von Rohstoffen aus Abfällen sind also deutliche, durch die erwähnten Lastpakete verursachte Grenzen gesetzt!

**2. Der natürliche Stoffkreislauf**

Seit der Mensch Abfälle produziert, gelangen diese in mehr oder weniger grossen Mengen in den natürlichen Stoffkreislauf. In der fernen Vergangenheit waren es Abgänge aus Haus

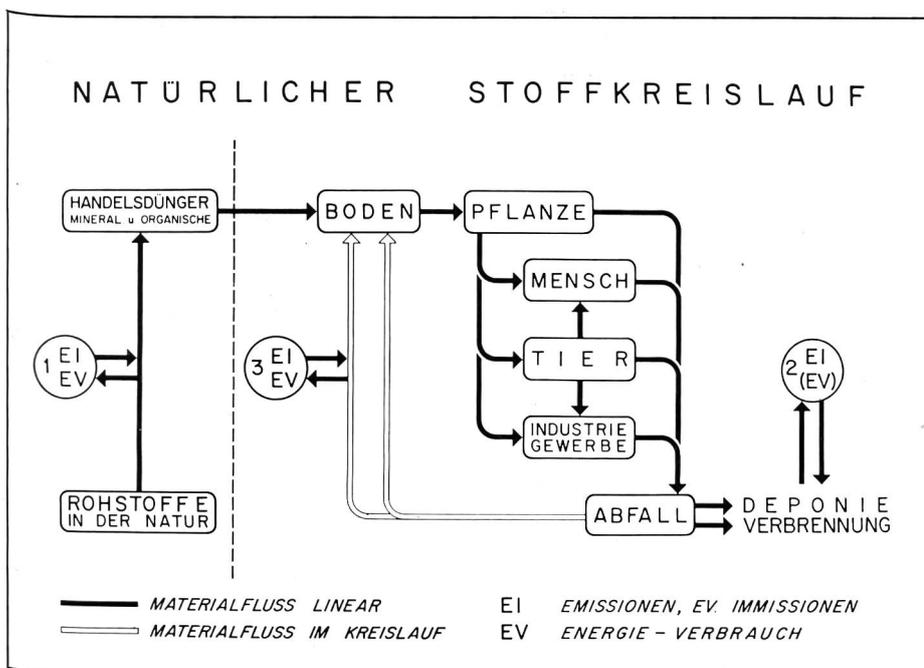


Abb. 3

und Hof, Stoffe, die aus der Natur stammten und wieder in sie zurückgeführt werden konnten. Neben Ausscheidungen von Mensch und Tier waren es pflanzliche und tierische Abfälle, die in langsamen, über viele Zwischenstufen verlaufenden Prozessen in Humus umgewandelt und dem Boden wieder zurückgeführt wurden.

Trotzdem ein beträchtlicher Teil der heute produzierten Siedlungsabfälle aufgrund ihrer Zusammensetzung sich nicht mehr für die Integrierung in den natürlichen Stoffkreislauf eignet, sollten wir bestrebt sein, möglichst viele Abfälle als Dünger und Humuslieferanten dem Boden zurückzuführen, sofern sie sich dazu eignen. Hierfür kommen in Frage:

- Klärschlamm in flüssiger oder aufbereiteter Form
- Müll- bzw. Müllklärschlammkompost, Industrieabfallkomposte
- organische, biologisch abbaubare Abfälle aus Gewerbe und Industrie
- Abfälle aus Massentierhaltungen

Es sind keineswegs etwa idealistische, emotionelle Gründe, sondern folgende reale Tatsachen, die uns dazu zwingen, Abfälle in den natürlichen Stoffkreislauf zu integrieren als eine der Massnahmen zur Verminderung der Umweltbelastung:

1. Durch die in den Stoffkreislauf zurückgeführten Abfälle werden die zu deponierenden Abfallmengen im linearen Materialfluss reduziert.
2. Die zum überwiegenden Teil in

organischer Form in den Boden gelangenden Düngestoffe zeigen gegenüber den Mineraldüngern eine verminderte Auswaschbarkeit, wirken also der Gewässereutrophierung entgegen.

3. Die in Form aufbereiteter Abfälle in den Boden gelangenden Dünger- und Humusstoffe ersetzen zum Teil die Nährstoffe, die sonst anderweitig (z.B. durch Importdünger) beschafft werden müssen.

Betrachten wir kurz die schematische Darstellung in *Abbildung 3*:

In der Zeit vor der Existenz der Handelsdüngerindustrie gestaltete sich dieser Kreislauf relativ einfach (rechts der gestrichelten Linie). Die Produkte des Bodens dienten Mensch und Tier als Nahrung oder dem Gewerbe als Rohstoff. Der grösste Teil der Abgänge aus Haus und Hof gelangte nach einem langdauernden Humifizierungsprozess wieder in den Boden zurück und ergänzte damit die durch die Ernte entzogenen Nähr- und Humusstoffe. Nur ein relativ geringer Teil der Abfälle gelangte in den linearen Materialfluss (schwarzer Pfeil).

Nach dem Siegeszug der Handelsdüngerindustrie veränderte sich der Materialfluss ganz entscheidend. Die zur Düngerherstellung geeigneten Rohstoffe in der Natur werden ausgebeutet und aufbereitet, was mit Lastpaket 1 verbunden ist. Mineralische und organische Handelsdünger gelangen in steigendem Masse in den linearen Materialfluss. Da sie zum Teil bequemer zu handhaben und wirtschaftlicher sind als die natürlichen Dünger, verdrängten sie diese mehr und mehr.

Damit wird der lineare Materialfluss entscheidend verstärkt, zugleich aber auch die Lastpakete 1 und 2 vergrössert und die Ressourcen angegriffen. Wir sollten daher diejenigen Abgänge aus Industrie, Gewerbe und Haushalt, die sich dazu eignen, in die pflanzliche Urproduktion zurückführen. Einige dieser Stoffe können ohne Aufbereitung rezirkuliert werden. Andere hingegen müssen mit Hilfe verfahrenstechnischer Methoden aufbereitet werden, was mit Lastpaket 3 verknüpft ist (z.B. Müllkompostierung, Aufbereitung von Schlammern).

Ähnlich wie beim industriellen Rohstoffkreislauf gilt auch beim Kreislauf der Pflanzennährstoffe: Lastpaket 3 sollte nicht grösser sein als die Summe der Lastpakete 1 + 2.

Die Schwierigkeit besteht nun darin, die Lastpakete als Entscheidungsfaktoren zu *quantifizieren*. Relativ einfach stellt sich diese Wertung beim Energieverbrauch, der berechnet und gemessen werden kann. Auch einige Emissionen und Immissionen lassen sich messen und bewerten. Wenn wir jedoch den Begriff «Immission» als generellen Massstab für Umweltschädigung auffassen, und das wollen wir ausdrücklich, so stehen wir vor sehr grossen Schwierigkeiten. *Langzeitwirkungen* und *synergistische Wirkungen* der verschiedenen emittierten Schadstoffe auf Lebewesen und Materialien, *Degradierung der Natur* und *Zerstörung von Ökosystem* sind Faktoren, die heute noch nicht in ihrer ganzen Tragweite erkennbar, geschweige denn quantifizierbar sind.

Das sollte uns jedoch nicht daran hindern, mit aller Energie an dieser Quantifizierung zu arbeiten, denn davon abhängig sind letzten Endes die Entscheidungskriterien für unsere Recycling-Massnahmen.

#### Literatur

Stumm, W., und Davis, J., Kann Recycling die Umweltbeeinträchtigung vermindern?, Brennpunkte (gdi-topics), Nr. 2, 5. Jahrgang (Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart 1974).