

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 97 (1979)
Heft: 26

Artikel: Abfallwirtschaft, Recycling und Umweltschutz
Autor: Braun, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-85496>

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: 27.01.2026

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

Abfallwirtschaft, Recycling und Umweltschutz

Von R. Braun, Zürich*)

Umweltschutz wurde in den letzten Jahren zum leider manchmal missbrauchten Schlagwort degradiert. Aber auch Recycling ist zum vielverwendeten Modewort geworden, das in engem Zusammenhang mit dem Umweltschutz und der drohenden Rohstoffverknappung genannt wird. Neue Patente für Recyclingverfahren, für Wieder- und Weiterverwendung von Abfällen, schiessen wie Pilze aus dem Boden, viele von ihnen unter dem Deckmantel des Umweltschutzes, vor allem aber im Bestreben, damit Geld zu verdienen. «Abfall wird zum Industrie-Rohstoff! Im Abfall liegt Gold, man muss es nur zu heben wissen!» Solche und ähnliche Schlagzeilen zeugen von der Aktualität der Devise «Abfälle sind Rohstoffe am falschen Platz». Sie bergen in sich die Gefahr, dass die Öffentlichkeit verunsichert wird oder sich falsche Hoffnungen macht und glaubt, mit Recyclingmassnahmen seien die Probleme des Umweltschutzes und der Rohstoffverknappung mit einem Schlag gelöst. Der folgende Beitrag behandelt grundsätzliche Fragen zum Thema und den Stand der Abfallwirtschaft in der Schweiz.

Was ist Abfallwirtschaft?

Auf Grund thermodynamischer Gesetze lassen sich Abfälle nicht im eigentlichen Sinne vernichten, sondern nur umwandeln in andere Stoffe verschiedenster Aggregatsstufen, die irgendwo im Boden, Wasser oder in der Luft «untergebracht» werden müssen. Abfallumwandlung bedeutet aber auch Umweltbelastung. Technische Anlagen, wie Kläranlagen, Müllbehandlungsanlagen, Shredderanlagen usw. sind nicht frei von Emissionen. Ihr Ausmass hängt jedoch weitgehend vom System, von der Konzeption und von der Betriebsweise ab. Die Zielsetzung der Abfalltechnik liegt daher darin, diese Umwandlung so zu vollziehen, dass die Neben- und Endprodukte weniger belastend für die Umwelt sind als die ursprünglichen Abfallstoffe. Bei Missachtung dieses Grundsatzes verliert die Abfalltechnik ihren Sinn! Es stellt sich somit die Aufgabe, Abfallumwandlung, Umweltbelastung, Schonung der Ressourcen und Aufwand zu optimieren. Das führt logischerweise zur Abfallwirtschaft.

Unter dem Begriff Abfallwirtschaft verstehen wir die *Summe aller Massnahmen zur möglichst schadlosen Behandlung, Wieder- und Weiterverwendung und endgültigen Unterbringung von Abfällen aller Art unter Berücksichtigung ökonomischer Gegebenheiten.*

Die Abfallwirtschaft ist somit ein Teil der allgemeinen Wirtschaft, deren

eigentliche Motivation in der Diskrepanz zwischen der Unbegrenztheit der menschlichen Bedürfnisse und der Knappheit der zu ihrer Befriedigung zur Verfügung stehenden Mittel liegt. Zielsetzung der Wirtschaft ist es, auf der Grundlage des Vergleiches von Kosten und Nutzen, von Aufwand und Ertrag die naturgegebene Knappheit an Gütern zu verringern.

Zielsetzung der Abfallwirtschaft ist es, auf der Grundlage des Vergleiches von Kosten und ökologischem Nutzen bei möglichst Schonung der Rohstoffreserven die Umweltbelastung zu minimalisieren. Steigende Belastung von Wasser, Boden und Luft durch feste, flüssige und gasförmige Abfälle einerseits und drohende Verknappung mancher Rohstoffreserven andererseits sind also die eigentlichen Triebfedern der Abfallwirtschaft. Es sind ökologische und rohstoffökonomische Erfordernisse, die den Trend zur Wieder- und Weiterverwendung (Recycling) der Abfälle in neuerer Zeit immer deutlicher werden lassen. Man hofft, durch Rückführung der Abfälle in die Produktion bzw. in den Verbrauch die Menge der umweltbelastenden Abfälle der menschlichen Gesellschaft zu verringern und die Rohstoffreserven zu schonen.

Abfallwirtschaft umfasst jedoch nicht nur Recycling-Massnahmen, sondern auch die endgültige Unterbringung der nicht verwertbaren Abfallstoffe in Form der geordneten Deponie in einem dafür geeigneten Gelände. Wir verstehen darunter die nach bestimmten technischen Gesichtspunkten durchgeführte endgültige Ablagerung von Abfällen,

die sich dadurch auszeichnet, dass bei der Wahl des Standortes, beim Betrieb und beim Abschluss der Deponie den Anforderungen des Gewässerschutzes, des Immissionsschutzes und des Landschaftsschutzes Rechnung getragen wird. Aufgrund sorgfältiger Planung sollten Deponien als neue gestaltende Elemente in bestehende oder neu zu schaffende Nutzungsformen der Landschaft eingegliedert werden.

Als wichtigste Massnahmenpakete der Abfallwirtschaft betrachten wir:

1. die Rückführung der dafür geeigneten Abfallstoffe in industrielle Rohstoffkreisläufe zur Gewinnung von neuen Produkten oder Rohstoffen,
2. die Rückführung biogener Abfallstoffe in natürliche Stoffkreisläufe zur Gewinnung von Humusdüngern und Pflanzennährstoffen,
3. die Integration der Abfalldeponien in die Raumplanung mit dem Ziel, Deponien als neue gestaltende Elemente der Landschaftsplanung zu verwenden,
4. die Kausaltherapie mit dem Ziel, weniger Abfälle zu produzieren und nur solche, die umweltkonform, d. h. mit kleinen Lastpaketen, behandelt werden können.

Kriterien für Recycling-Massnahmen: Die Lastpakete

Seit jeher war der Mensch bestrebt, die in den Abfällen enthaltenen Rohstoffe wieder nutzbar zu machen. Es waren jedoch weder rohstoffökonomische noch ökologische, sondern ausschliesslich wirtschaftliche Beweggründe, die zu Recyclingmassnahmen führten. Ausnahmen bildeten vielleicht Notzeiten, wie Kriege und Wirtschaftskrisen, in denen in einzelnen Ländern Recyclingmassnahmen sogar staatlich gefordert und gefördert wurden.

Es soll versucht werden, anhand einiger Überlegungen aufzuzeigen, unter welchen Bedingungen Recyclingmassnahmen tatsächlich sinnvoll sind, wobei wir der Wirtschaftlichkeit keineswegs die erste Priorität einräumen.

Massgebend für die Frage, ob sich ein Abfallstoff in bezug auf ökologische und rohstoffökonomische Erfordernisse zur Wieder- und Weiterverwendung eignet, sind die «Lastpakete», die mit der Aufbereitung der Abfälle zu neuen Produkten oder Rohstoffen verbunden sind. Unter dem Begriff «Lastpaket» verstehen wir die Summe der mit der Aufbereitung verbundenen Umweltbelastungen, also Emissionen/Immissionen, Energieverbrauch, Schädigung von Ökosystemen, ökologische Risiken usw.

Verursacht ein Abfallstoff bei seiner Aufbereitung zur Wieder- oder Weiter-

*) Vortrag, gehalten im Zürcher Ingenieur und Architektenverein im Februar 1979, leicht gekürzt.

verwendung ein zu grosses Lastpaket, so sind die betreffenden Massnahmen fragwürdig oder gar falsch. *Sinnvoll sind sie dann, wenn durch die Rückführung der Abfälle in industrielle Rohstoffkreisläufe oder natürliche Stoffkreisläufe die Umweltbelastung gesamthaft gesenkt werden kann.*

Rückführung der Abfälle in industrielle Kreisläufe

Die Bedeutung der Lastpakete im linearen Materialfluss bzw. im Rohstoffkreislauf soll anhand eines Schemas (Bild 1) näher erläutert werden. Der Materialfluss beginnt mit der Ausbeutung der Rohstoffe in der Natur. Gewinnung, Abtransport über weite Strecken und Aufbereitung der Rohstoffe für die industrielle Produktion bedeuten: Energieverbrauch, Emissionen/Immissionen verschiedenster Art, Zerstörung von Ökosystemen usw. Wir fassen diese Umweltbelastungen im Lastpaket LP 1 zusammen.

Die aufbereiteten Rohstoffe werden von der Industrie zu Gütern verarbeitet. Diese gelangen zum Gebrauch und Verbrauch und werden schliesslich zum Abfall, der beim linearen Materialfluss entweder in einer Deponie untergebracht oder verbrannt wird. Deponie und Verbrennung verursachen ihrerseits Umweltbelastungen, die in Lastpaket LP 2 zusammengefasst sind.

Die bei der industriellen Produktion entstehenden Abfälle, die eigentlichen Industrieabfälle, gelangen grossenteils ebenfalls in Deponien und verstärken damit den linearen Materialfluss bzw. das Lastpaket LP 2. Im Falle der Deponie ist der Materialfluss vollkommen linear. Bei der Verbrennung kann, falls

die Wärme verwertet und die Verbrennungsrückstände weiter verwendet werden, ein partieller Kreislauf erreicht werden.

Manche Produktionsabfälle werden seit jeher ohne nennenswerte Aufbereitung wieder in den Produktionsfluss eingeführt, wie z.B. Metallschrott, Glasbruch in Glashütten, Altpapier in Kartonfabriken etc. Dieser kurze industrielle Rohstoffkreislauf ist in jeder Beziehung der sinnvollste und verursacht kaum ein Lastpaket. Andere Industrieabfälle, aber auch kommunale Abfälle, können aufbereitet und als Rohstoffe, Rohmaterial oder als neue Produkte wieder einer Verwendung zugeführt werden, wie beispielsweise Reraffination von Altöl zu neuwertigen Schmierölen, Herstellung von Baumaterial aus Müll und Müllschlacken, Schrottgewinnung aus Autowracks in Shredderanlagen, Aufbereitung tierischer Abfälle zu Tierkörpermehl usw. Mit dieser vielfach sehr energieaufwendigen Aufbereitung ist jedoch ebenfalls eine Umweltbelastung, nämlich LP 3 verknüpft. Man ist versucht, generell zu sagen: Je mehr Abfälle dem Materialfluss im Kreislauf zugeführt werden, bzw. je kleiner der lineare Materialfluss, desto geringer die Umweltbelastung und desto wirksamer die Schonung der Ressourcen.

In dieser Verallgemeinerung und Vereinfachung, die leider heute immer wieder anzutreffen ist, wäre die Folgerung ein Trugschluss. *Recycling-Massnahmen sind dann sinnvoll und sollten möglichst intensiviert werden, wenn das mit der Aufbereitung verbundene Lastpaket LP 3 kleiner oder höchstens gleich gross ist wie die Summe von Lastpaket LP 1 und LP 2.* Ist dies nicht der Fall, so verschieben wir die Umweltbelastung nur auf eine andere Ebene.

Als Beispiel aus der Praxis erwähnen wir die Rückgewinnung von Kupfer aus Abfällen:

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

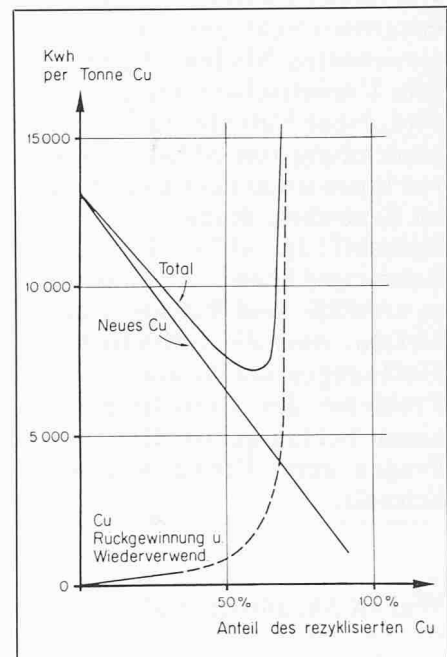


Bild 2. Energieaufwand für die Herstellung einer Tonne Kupfer in Abhängigkeit des prozentualen Anteils an rezykliertem Kupfer (Stumm und Davis 1974, [6])

Anteil an rezykliertem Kupfer ist, desto mehr nimmt der Gesamtenergieverbrauch bei der Kupferproduktion ab, wie dies in Bild 2 ersichtlich ist. Dies gilt jedoch nur bis zu einem gewissen Punkt: Es liegen nur etwa 30% des gesamten Kupferverbrauches in Form von leicht rezyklierbaren Kupferabfällen vor (Kupferschrott, Drähte, Röhren usw.).

Andere Kupferabfälle, wie beispielsweise Legierungen, Industrieschlämme, also Abfälle, in denen Kupfer vermischt mit anderen Metallen und in kleinen Konzentrationen vorliegt, sind bedeutend schwieriger und mit höherem Energieaufwand rezyklierbar. Ihre Menge wird auf etwa 25 bis 30% des gesamten Kupferverbrauches geschätzt. Es lassen sich also insgesamt höchstens 60% des Kupferverbrauches in Form von rezykliertem 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 in Gewässern vor, dass an eine Rezirkulation gar nicht zu denken ist, denn der Energieaufwand wäre unendlich hoch. Was über Kupfer gesagt wurde, gilt genauso für sämtliche andere Rohstoffe! Der Rückgewinnung von Rohstoffen aus Abfällen sind also deutliche, durch

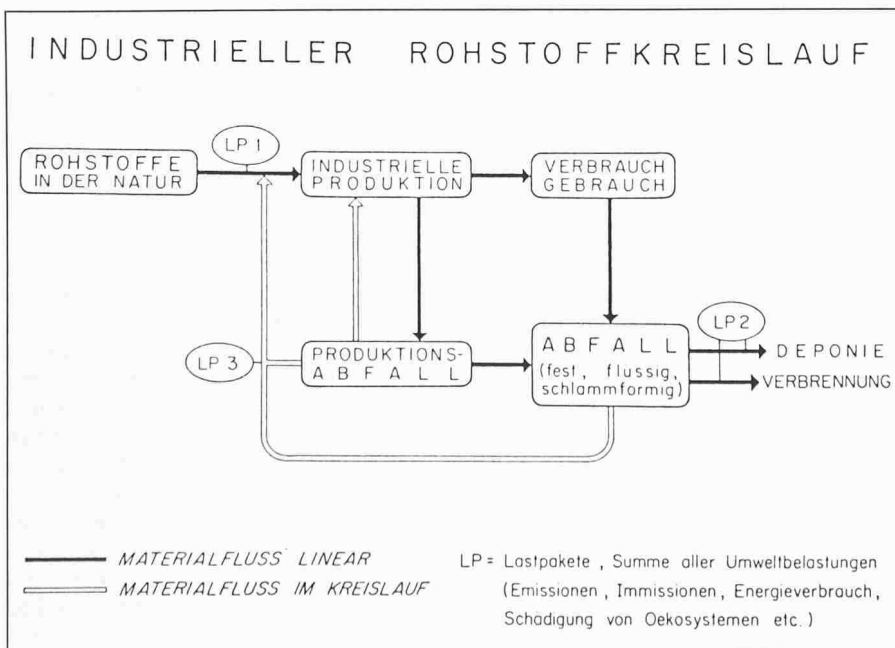


Bild 1. Bedeutung der Lastpakete im linearen Materialfluss bzw. im Rohstoffkreislauf

die erwähnten Lastpakete verursachte Grenzen gesetzt. Die grosse Schwierigkeit besteht nun darin, die Lastpakete zu quantifizieren, denn sie bilden ja die Entscheidungskriterien für alle abfallwirtschaftlichen Massnahmen. Relativ einfach stellt sich diese Wertung beim Energieverbrauch, der gemessen bzw. berechnet werden kann. Hingegen Langzeitwirkungen und Synergismen der verschiedenen emittierten Schadstoffe auf Lebewesen und Materialien, Degradierung der Natur und Schädigung von Ökosystemen sind Teile der Lastpakete, die heute noch nicht in ihrer ganzen Tragweite erkennbar, geschweige denn quantifizierbar sind. Das darf uns jedoch nicht daran hindern, mit aller Kraft an dieser Quantifizierung zu arbeiten, denn davon hängt weitgehend die zukünftige Entwicklung auf dem gesamten Gebiet der Abfallwirtschaft ab.

Rückführung biogener Abfälle in natürliche Stoffkreisläufe

Ähnliche Überlegungen, wie sie für industrielle Rohstoffkreisläufe angestellt wurden, gelten auch für die Rückführung organischer, biologisch abbaubarer Abfälle in den natürlichen Stoffkreislauf. In Bild 3 sind diese Stoffläufe mit den massgebenden Lastpaketen vereinfacht dargestellt. Vor der Existenz der Düngerindustrie gestaltete sich die Rückführung der Abfälle der menschlichen Gesellschaft in natürliche Stoffkreisläufe relativ einfach (rechts der gestrichelten Linie). Die Produkte des Bodens, die Pflanzen, dienen Mensch und Tier als Nahrung und einem einfachen Gewerbe als Rohstoff. Der grösste Teil der durch Pflanze, Mensch, Tier und Gewerbe erzeugten biologischen Abfälle gelangte entweder direkt oder nach einem langdauernden Humifizierungsprozess als natürlicher Dünger wieder in den Boden zurück (weisse Pfeile) und ersetzte damit Nähr- und Humusstoffe. Nur ein relativ geringer Teil der Abfälle gelangte somit in den linearen Materialfluss (schwarze Pfeile), d. h. wurde deponiert oder verbrannt. Nach dem Siegeszug der Düngerindustrie veränderte sich der Materialfluss entscheidend. Die zur Düngerherstellung benötigten Rohstoffe in der Natur werden ausgebeutet, abtransportiert und zu mineralischen und organischen Handelsdüngern aufbereitet. Damit verbunden ist eine Umweltbelastung, ausgedrückt in Lastpaket LP 1. Handelsdünger gelangten in immer steigenden Mengen in den linearen Materialfluss. Da sie bequem zu handhaben und vielfach wirtschaftlicher sind als die natürlichen Dünger, verdrängten sie diese mehr und mehr. Damit wurde der lineare Materialfluss ent-

scheidend verstärkt, zugleich aber auch das dabei erzeugte Lastpaket LP 2 (Schädigung von Wasser, Boden und Luft durch Abfalldeponien resp. durch Verbrennung) und das bereits erwähnte Lastpaket LP 1 vergrössert und die Ressourcen angegriffen.

Die naheliegende Folgerung wäre somit: Je mehr biogene und andere geeignete Abfälle aus Haushalt, Gewerbe, Industrie und Landwirtschaft dem li-

und Humuslieferanten dem Boden zurückzuführen, sofern sie sich dazu eignen.

Hierfür kommen in Frage:

- Klärschlamm in flüssiger oder aufbereiteter Form,
- Müll- und Müllklärschlammkompost,
- Industrieabfall-Komposte,
- Abfälle aus Massentierhaltungen,
- organische Abfälle aus Gewerbe, In-

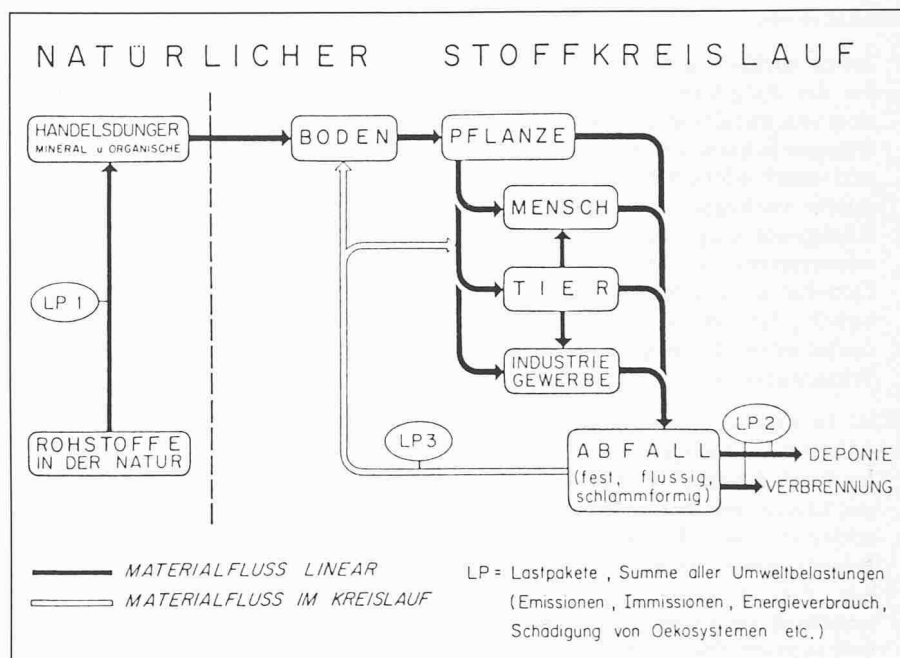


Bild 3. Bedeutung der Lastpakete im linearen Materialfluss bzw. im natürlichen Stoffkreislauf

nearen Materialfluss entzogen und in natürliche Stoffkreisläufe integriert werden, desto geringer die Umweltbelastung und desto wirksamer die Schonung der Ressourcen.

In dieser Form wäre die Folgerung ebenfalls ein Trugschluss. Mit wenigen Ausnahmen bedürfen auch biogene Abfälle einer verfahrenstechnischen Aufbereitung, um sie als Nährstoff- oder Humusdünger im Pflanzenbau einzusetzen, beispielsweise die Müllkompostierung, die Aufbereitung von Klärschlämmen zu streubaren Düngern, die Aufbereitung geeigneter Industrie- und Gewerbeabfälle zu organischen Düngern usw. Diese vielfach energieintensiven Prozesse, die nicht frei von Emissionen sind, verursachen Lastpaket LP 3.

Die Rückführung biogener Abfälle in natürliche Stoffkreisläufe ist nur dann sinnvoll, wenn das mit der Aufbereitung zu Düngern erzeugte Lastpaket LP 3 kleiner oder höchstens gleich gross ist wie die Summe von LP 1 und LP 2.

Trotzdem ein Teil der heute produzierten Siedlungsabfälle auf Grund ihrer Zusammensetzung sich nicht mehr für die Integration in natürliche Stoffkreisläufe eignet, sollten wir bestrebt sein, möglichst viele Abfälle als Dünger

dustrie, Forst- und Landwirtschaft. Das Nährstoff- und Humuspotential, das in den vorwiegend biogenen Abfällen steckt, darf nicht vernachlässigt werden, nicht zuletzt auch aus volkswirtschaftlichen Gründen.

Perspektiven für die Zukunft

Der heutige Stand der Abfallbehandlungstechnik bietet eine grosse Zahl von bewährten Verfahren an, die z. T. schon seit längerer Zeit eingesetzt werden, wie Deponie, thermische und biologische Behandlungsverfahren, Verfahren zur Wieder- und Weiterverwendung. Es ist aber kaum je versucht worden, diese Verfahren von ökologischen Gesichtspunkten aus zu optimieren und entsprechend einer Gesamtbewertung der Umweltbelastung gegeneinander abzuwägen.

Oberste Zielsetzung der Abfallwirtschaft sollte sein, die zivilisatorisch bedingten Stoff- und Energieflüsse so zu gestalten, dass die daraus entstehenden nachteiligen Auswirkungen auf ein Mass reduziert werden, welches einigermaßen optimale Umweltbedingungen

für Mensch, Tier und Pflanze gewährleistet.

Mit der im Umweltschutz bisher allgemein üblichen Symptombehandlung (dies gilt auch für die Abfallbeseitigung) ist dieses Ziel jedoch nicht zu erreichen. Vordringlich erscheint uns daher eine Kausaltherapie in dem Sinne, dass durch Umstellung von Produktionsverfahren weniger Abfälle entstehen und zur Hauptsache nur solche, die mit einem möglichst kleinen Lastpaket verarbeitet werden können. Hier einige Denkanstösse:

1. Ist es wirklich unvermeidlich, dass bei der Entgiftung und Neutralisation von metallhaltigen Industrieabwässern Schlämme entstehen, in denen verschiedene Schwermetalle vermischt vorliegen und dadurch eine Rückgewinnung der Metalle erschweren resp. verunmöglichen? Die Deponie solcher Schlämme ist eine unbefriedigende Notlösung und bedeutet lediglich «Weg des geringsten Widerstandes».
2. Ist es wirklich unvermeidlich, dass schwermetallhaltige Industrieabwässer durch die gemeinsame Reinigung mit häuslichen Abwässern den Klärschlamm unserer kommunalen Kläranlagen soweit belasten und verderben, dass er nicht mehr landwirtschaftlich verwertet und damit auf volkswirtschaftlich optimale Art und Weise untergebracht werden kann?
3. Bedingt durch die im Anstieg begriffene Energieproduktion und durch die chemosynthetische Produktion gelangen immer mehr refraktäre (nicht oder schwer abbaubare), organische Kohlenwasserstoffverbindungen in die Biosphäre, damit aber auch in den Klärschlamm und in andere Abfälle. Quantitativ spielen dabei die Erdölkohlenwasserstoffe die grösste Rolle, gefolgt von den synthetischen Pestiziden und Herbiziden sowie den Tensiden. Über die ökologischen Auswirkungen dieser Substanzen und deren Synergismen auf lange Sicht ist noch sehr wenig bekannt. Die sich daraus ergebende Schlussfolgerung aus kausaltherapeutischer Sicht wäre: Synthetisch-organische Industrie- und Haushaltsprodukte sind grundsätzlich nicht refraktär zu gestalten, sonst nehmen die Schädwirkungen im Ökosystem immer grössere Ausmasse an.
4. Die Kurzlebigkeit der Produkte und Konsumgüter bedingt einen Anstieg der spezifischen Abfallmenge. Im Sinne einer Kausaltherapie wäre daher eine Verlängerung der Lebensdauer (Erhöhung der Qualität) von Gebrauchsgegenständen dringend notwendig. In diesem Zusammenhang drängt sich auch eine Bekämpfung der «Wegwerfmentalität» auf.

Stand der Abfallwirtschaft in der Schweiz

In der Schweiz steht heute die energetische und stoffliche Nutzung der Abfälle im Sinne einer geordneten Abfallwirtschaft im Vordergrund. Im folgenden sei der heutige Stand der Abfallentsorgung in unserem Land dargelegt.

Stand der Abfallentsorgung

Abfallmengen

Die in der Schweiz jährlich anfallenden Abfallmengen sind aus Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1

Schätzung der in der Schweiz jährlich anfallenden Abfallmengen 1978

Siedlungsabfälle (Abfälle, die von der kommunalen Abfuhr erfasst werden)	2 000 000 t
Spezifische Gewerbe- und Industrieabfälle (ohne Produktionsausschuss)	200 000 t
Tierische Abfälle (Kadaver, Konfiskate usw.)	80 000 t
Versch. Abfälle (z. B. Bauschutt, Abfälle aus Land- und Forstwirtschaft)	600 000 t
Klärschlamm (flüssig, anaerob oder aerob stabilisiert)	2 600 000 t
Altpneus	30 000 t
Autowracks (rd. 150 000 Stück)	85 000 t
Altöle	55 000 t

Wie in allen industrialisierten Ländern hat auch in der Schweiz die spezifische Abfallmenge in den letzten Jahren stetig zugenommen. Als typisches Beispiel einer dichtbesiedelten Region im schweizerischen Mittelland erwähnen wir die Entwicklung in der Region KEZO im Zürcher Oberland. Bild 4 zeigt die Einwohnerentwicklung, die Abfallmenge je Einwohner und Jahr und die gesamte Abfallentwicklung von 1963 bis 1976. Die Kurve der Einwohnerentwicklung zeigt nur einen relativ massigen Anstieg von 100 000 im Jahre 1963 auf 150 000 E. im Jahre 1976. Hingegen ist während dieser Zeit die spezifische Abfallmenge von 140 kg/E·a auf fast 300 kg/E·a angestiegen. Charakteristisch für alle grösseren Regionen ist der im Jahre 1974 erfolgte leichte Rückgang der Abfallmenge als Folge der Ölkrise bzw. der beginnenden Rezession. Auch in zahlreichen grossen Städten im Ausland (z. B. Hamburg, New York) ist dieser «Rezessionsknick» feststellbar. In der Region KEZO war dieser Rückgang der Abfallmenge jedoch nur von kurzer Dauer. Seither geht die Kurve, wenn auch etwas weniger steil, ständig aufwärts.

Abfallbehandlung

Siedlungsabfälle. Die Siedlungsabfälle werden zum grössten Teil in regionalen Anlagen (Verbrennungs- und Kompostwerke, geordnete Deponien) behandelt, welche von Gemeinden und Gemeindezweckverbänden betrieben werden. Die Betriebskosten werden durch kostendeckende Gebühren der Wohnungseigentümer abgegolten. Die

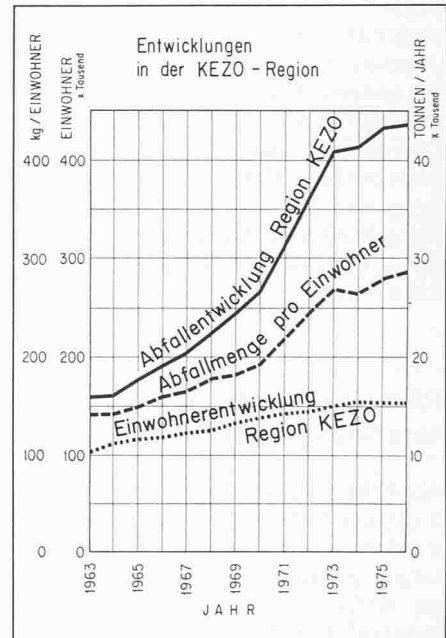


Bild 4. Entwicklung in der KEZO-Region Zürcher Oberland

Investitionskosten (nach Abzug der von Bund und Kantonen geleisteten Subventionen) werden aus Steuergeldern bestritten.

Heute werden in der Schweiz die Siedlungsabfälle von 94% der Gesamtbevölkerung behandelt. Am 1. Januar 1978 standen in Betrieb:

- 18 Verbrennungsanlagen mit Wärmerückgewinnung
- 24 Verbrennungsanlagen ohne Wärmerückgewinnung
- 8 Kombinationsanlagen (Kompostierung + Verbrennung)
- 2 Kompostwerke ohne Zusatzverbrennung
- 25 geordnete regionale Deponien.

Bild 5 zeigt die in den letzten acht Jahren erzielten Fortschritte in der Behandlung der Siedlungsabfälle (Statistik des Eidg. Amtes für Umweltschutz [1]). Im Jahre 1970 waren es erst 54% der Gesamtbevölkerung, die an Müllanlagen angeschlossen waren. Heute sind es 94%. Die Menge der behandelten Abfälle stieg von 0,88 Mio t (1970) auf 1,88 Mio t (1978).

52% der Abfälle werden in Verbrennungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, 18% in Anlagen ohne Wärmerückgewinnung behandelt. Nur ein relativ geringer Anteil der Siedlungsab-

fälle (rd. 10%) werden kompostiert und weitere 14% in geordneten Deponien untergebracht.

Bild 6 zeigt Anzahl der Verbrennungsanlagen (aufgeteilt in drei Grössenklassen), deren Kapazitäten und Auslastungen.[1] Volkswirtschaftlich unerfreulich ist die geringe Auslastung der grossen Verbrennungsanlagen bzw. deren allzu-grosse Reservekapazität. Die acht grössten Verbrennungsanlagen (Grössenklasse 3) sind gesamthaft nur zu 55%, die 16 Verbrennungsanlagen der Grössenklasse 2 zu 60% ausgelastet. Dies bedeutet natürlich eine beträchtliche Erhöhung der Betriebskosten je Tonne behandelten Mülls, wenn der Kapitaldienst mitberücksichtigt wird. Es besteht heute die groteske Situation, dass

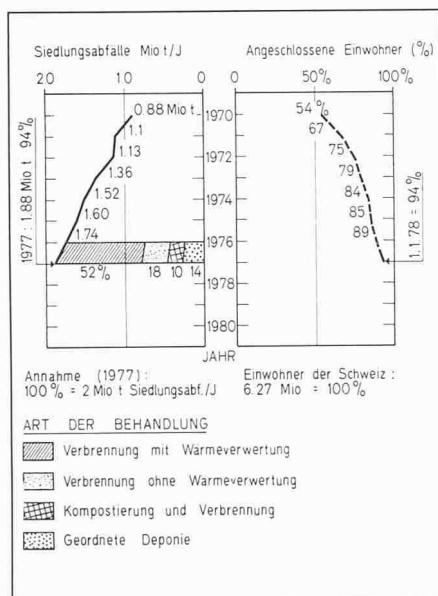


Bild 5. Stand der kommunalen Abfallbeseitigung in der Schweiz am 1. Januar 1978, Mengen/Einwohner/Jahr 1970–1977

sich Regionen gegenseitig zu konkurrieren suchen und den Müll streitig machen, indem sie um die Gunst der Gemeinden bzw. um deren Müll buhlen! Es werden Möglichkeiten gesucht, diese unerfreulichen Verhältnisse zu verbessern. So wird geprüft, ob die beträchtlichen Mengen von Abfallholz unserer Wälder in den unterbelasteten Verbrennungsanlagen verarbeitet und damit energetisch genutzt werden können. Seitdem die Papier- und Celluloseindustrie nicht mehr in der Lage ist, in genügenden Mengen das Abfallholz abzunehmen, besteht auch in der Forstwirtschaft die Schwierigkeit der Abfallbeseitigung!

Fragen wir nach dem Grund dieser unerfreulichen Verhältnisse! Die meisten der grossen Verbrennungsanlagen, die heute so stark unterbelastet sind, wurden in der Zeit einer ausgesprochenen «Wachstums euphorie» geplant und projektiert. Man stellte damals zu kühne Prognosen auf über die jährliche Zunahme der Bevölkerungszahl und der

spezifischen Abfallmenge. Niemand rechnete mit einer Rezession.

Klärschlamm. Die in der Schweiz zurzeit jährlich anfallenden 2,6 Mio m³ Klärschlamm (flüssig, stabilisiert) werden zum grössten Teil, d. h. zu rd. 70%, in der Landwirtschaft verwertet, zu meist in Form des Nassaustrages. Der Rest wird entwässert, z. T. verbrannt und deponiert. In acht Kompostierungsanlagen wird zudem flüssiger oder entwässerter Schlamm dem Müll beigemischt.

Der zunehmende Klärschlamm anfall, insbesondere in Ballungszentren mit geringen Absatzmöglichkeiten für Flüssigschlamm, hat neben der Entwässerung auch zur Entwicklung neuer biologischer Verfahren zur gleichzeitigen Stabilisierung und Hygienisierung geführt, die mit Entwässerungsstufen kombiniert werden können. Solche «Schlammrotteverfahren» sind auch von Schweizer Firmen entwickelt worden, jedoch in der Praxis noch zu wenig erprobt. Bei der sog. «Nassrotte» wird flüssiger Frischschlamm in belüfteten Reaktoren aerob thermophil fermentiert, während bei der «Feuchtrotte» der entwässerte Frischschlamm mit oder ohne Zusatzstoffe in belüfteten Zellen in einer ebenfalls der Selbsterhitzung unterworfenen Rotte behandelt wird [2].

Die 2,6 Mio m³/a Klärschlamm enthalten rd. 65 000 t organische Substanz, 2600 t Stickstoff und 2600 t Phosphor. Von Bedeutung für den Pflanzenbau ist vor allem der Phosphorgehalt. Durch

denn durch die zunehmende Phosphatfällung in den Abwasserreinigungsanlagen steigt der P-Gehalt des Schlammes.

Um eine sinnvolle Verwertung des Klärschlammes auf die Dauer sicherzustellen, sind folgende Voraussetzungen zu erfüllen [3]:

- Der Klärschlamm muss, falls er auf Futterflächen ausgebracht wird, wirksam hygienisiert werden. Bei Düngung von Ackerflächen ist dies nicht notwendig.
- Damit Klärschlamm zur richtigen Zeit auf die richtigen Flächen ausgebracht werden kann, muss er rd. drei Monate gestapelt werden können.
- Der Schlamm muss periodisch auf seinen Gehalt an Schwermetallen untersucht werden. Das ergibt eine zusätzliche Kontrolle der potentiellen Einleiter von Schwermetallen in das Kanalisationsnetz. Bei zu hoher Konzentration sind die Einleiter zu eruieren und die nötigen Sanierungsmassnahmen durchzusetzen.
- Der Schlamm muss periodisch auf seinen Gehalt an Düngestoffen untersucht werden. Damit kann der Landwirt ihn wirksam als Dünger einsetzen und die entsprechenden Handelsdünger einsparen.

Übrige Abfälle. Spezifische Gewerbe- und Industrieabfälle, die nicht von der kommunalen Abfuhr erfasst werden, gelangen entweder in die zwei grösseren Sondermülldeponien oder werden in Sondermüllöfen verbrannt, falls sie nicht von spezialisierten Firmen aufbereitet und verwertet werden können. Tierische Abfälle werden zum grössten Teil in Tierkörpermehlfabriken zu Industriefett und Futtermitteln aufbereitet. Der Rest wird in kleineren Kaderöfen verbrannt. Altöle werden zum Teil in zwei Reraffinationsanlagen zu neuwertigen Schmierölen aufbereitet. Der Rest wird entweder in Müllverbrennungsanlagen oder in Industriefeuerungsanlagen verbrannt. Autowracks gelangen zum grossen Teil in die drei Shredderanlagen zur Schrottgewinnung. Man ist bemüht, die «Autofriedhöfe» langsam abzubauen. Alle übrigen Abfälle, die nicht verwertet oder aufbereitet werden können, gelangen in geordnete Deponien.

Beispiele der energetischen und stofflichen Nutzung der Abfälle

Verbrennung mit Wärmeverwertung

Rund 980 000 t Siedlungsabfälle werden zurzeit jährlich in den 18 Müllverbrennungsanlagen mit Wärmeverwertung verbrannt. In Anlagen, bei denen Dampf oder Heisswasser zu Heizzwecken abgegeben werden kann, liegt der Wirkungsgrad bei 60%. In Anlagen, die nur für die Stromerzeugung eingerichtet sind, beträgt der Wirkungsgrad bloss

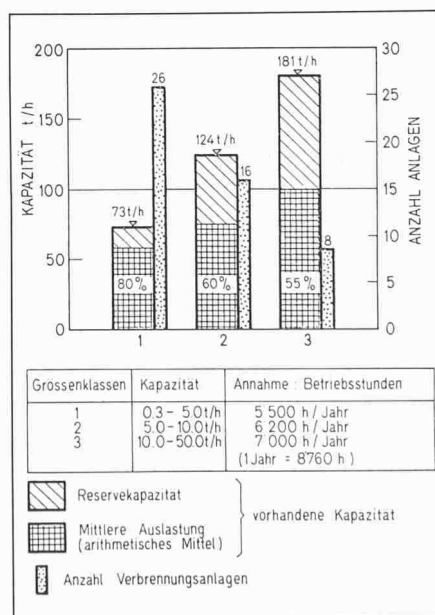


Bild 6. Anzahl Anlagen, Kapazität und Auslastung der kommunalen Abfallverbrennungsanlagen in Betrieb nach Grössenklassen, Stand 1. Januar 1978

die Verwendung von Klärschlamm können heute bereits mehr als 10% der P-Handelsdünger ersetzt werden. In wenigen Jahren werden es rd. 25% sein,

etwa 13%. Nach Huber [3] liegt der mittlere Wirkungsgrad sämtlicher Anlagen bei 30%. Daraus folgt, dass jährlich eine Energiemenge verwertet werden kann, die einer Heizölmenge von rd. 115 000 t entspricht.

Kompostierung

Man ist sich zu wenig bewusst, dass nicht nur die Verbrennung, sondern auch die Kompostierung von Siedlungsabfällen grundsätzlich eine Energieverwertung darstellt.

Vorerst wird die beim aeroben Abbauprozess entwickelte biogene Wärme ausgenutzt für eine wirksame Entseuchung des Abfallmaterials sowie für den Wasserentzug. Beides ist besonders wichtig bei der Mitverarbeitung von Klärschlamm und anderen wasserreichen Abfällen. Aber auch die Anwendung des Kompostes als Nährstoff- und Humusdünger bedeutet eine Nutzung der im Müll enthaltenen Sonnenenergie. Die Produktion von Mineraldüngern erfordert einen beträchtlichen Energieaufwand. Für die Herstellung von 1 kg Stickstoffdünger sind beispielsweise rd. 19 000 kcal notwendig. Bei der Verwendung von Müllkompost kann folglich entsprechend dem spezifischen Düngeräquivalent Energie eingespart werden. A. v. Hirschheydt [4] hat ausgerechnet, dass bei einer Müllkompostierung mit nachgeschalteter Verbrennung der heizwertreichen Siebrückstände mit Wärmenutzung der effektive Energiegewinn etwa in der gleichen Grössenordnung liegt wie bei der reinen Müllverbrennung.

Ähnliche Überlegungen hat v. Hirschheydt auch in bezug auf Düngeräquivalente angestellt und die Gehalte an Stickstoff und Phosphor im Müllkompost mit mineralischen Handelsdüngern und die organische Substanz mit Torf verglichen. Er kommt dabei zu einem totalen Dünger-Torfäquivalent von unterschiedlicher Höhe in Abhängigkeit vom verwendeten Bezugsprodukt. Die Grössenordnung liegt bei 80 Fr.-100 Fr. je Tonne Kompost, gegebenenfalls noch höher. Der volkswirtschaftliche Wert, nur bezogen auf die Dünger-Torfäquivalente, der zurzeit in der Schweiz jährlich produzierten 80 000 t Kompost beträgt folglich 6-8 Mio sFr. ohne Berücksichtigung der Energieeinsparung!

Verwertung der Schlacke aus der Müllverbrennung

Die bei der Müllverbrennung entstehende Schlackenmenge beträgt etwa 30 Gew. % des ursprünglichen Mülls. Bis vor kurzer Zeit musste die gesamte Menge der Verbrennungsrückstände in Deponien untergebracht werden. Das Institut für forstliches Ingenieurwesen der ETH Zürich hat aufgrund umfang-

reicher Untersuchungen [5] festgestellt, dass sich gut ausgebrannte Müllschlacke nach entsprechender Aufbereitung sehr gut als Fundationschichtmaterial für den Strassenbau eignet. Eine solche Fundationsschicht kann bezüglich Tragfähigkeit und sonstige Eigenschaften einem Kies von hoher Qualität gleichgesetzt werden. Bei der Aufbereitung erfolgt (nach einer Zwischenlagerung der Rohschlacke von 1 bis 3 Monaten) eine Abscheidung von Schrott (rd. 10%) und von groben unverbrannten Anteilen (rd. 4%). Bei verschiedenen Müllverbrennungsanlagen wird diese Aufbereitung seit mehreren Jahren vorgenommen und das Endprodukt im Strassenbau, vorwiegend als Koffierung, eingesetzt. In weiteren Anlagen steht diese Schlackenverwertung in Vorbereitung. Wenn sämtliche Werke diese Aufbereitung vornehmen, könnten in der Schweiz jährlich rd. 160 000 m³ Kies und 200 000 m³ Depo-nievolumen eingespart werden. Zusätzlich könnten 25 000 t Schrott gewonnen werden.

Altpapier

Im Jahre 1975 wurden in der Schweiz 326 000 t Altpapier getrennt eingesammelt [3]. Diese Menge entspricht 46% des gesamten Verbrauches an Papier und Karton. Dieser Anteil ist in den letzten Jahren ständig gestiegen, was insbesondere auf ein zunehmendes Abfall- bzw. Rohstoffbewusstsein der Bevölkerung zurückzuführen ist. Altpapier kann entweder als Brennstoff in Verbrennungsanlagen mit Wärmenutzung oder als Rohstoff in der Papier- und Kartonindustrie verwertet werden. Untersuchungen der Eidg. Kommission für Abfallwirtschaft [3] haben ergeben, dass der Energiegewinn meist grösser ist beim Einsatz von Altpapier in der Papier- und Kartonindustrie. Bei Altpapier geringer Qualität (Zeitungspapier), das über Deinkungsanlagen für die Herstellung von Druckpapier eingesetzt wird, ist der Energiegewinn allerdings weniger gross.

Mehrwegglas, Einwegglas, Altglasverwertung

Huber [3] schreibt darüber: «Mehrwegflaschen dominieren auf dem schweizerischen Getränkemarkt deutlich: 1800 Mio jährliche Abfüllungen in Mehrwegflaschen stehen 200 Mio Abfüllungen in Einwegflaschen gegenüber. Die Mehrwegflasche ist nicht nur eine der billigsten, sondern auch eine der umweltfreundlichsten Getränkeverpackungen, während die Einwegflasche aus der Sicht des Umweltschutzes, vor allem wegen dem hohen Energieverbrauch, zu den aufwendigsten zählt. Trotzdem fallen in Haushalten noch rund 24 kg Altglas je Einwohner aus Einwegverpackungen an. Durch Ver-

wertung dieses Altglases in der Glashütte können je kg Glas 160 g Heizöl eingespart werden. Die Beteiligung an Altglassammlungen zeigt deutlich, wie gross die Bereitschaft der Bevölkerung ist, einen persönlichen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten: ohne Vorschriften von Bund und Kantonen haben rund 1000 Gemeinden mit etwa 4 Mio Einwohnern Altglassammlungen eingeführt. 63 000 t Altglas wurden 1976 in den schweizerischen Glashütten verwertet: das bedeutet, dass rund 10 000 t Heizöl eingespart wurden.»

Schlussbemerkung

Abgesehen von den durch die Lastpakete begrenzten Möglichkeiten der Wieder- und Weiterverwendung der Abfälle können selbst die sinnvollsten Recyclingmassnahmen allein weder die Umweltbelastung drastisch reduzieren, noch eine Rohstoffverknappung wirkungsvoll verhindern. Wir können mit diesen Massnahmen aber Zeit gewinnen! Nur in Kombination mit weiteren, vornehmlich kausalthérapeutischen Massnahmen ist dieses Ziel zu erreichen.

Es besteht zwar noch eine andere Alternative, nämlich zuzuwarten, bis eines unschönen Tages die Verknappung fossiler, billiger Energie und die Unmöglichkeit, noch rechtzeitig eine Umstellung auf andere Energiequellen vorzunehmen, die ganze Problematik des Umweltschutzes selber lösen.

Literaturverzeichnis

- [1] Eidg. Amt für Umweltschutz, Bern: «Stand der kommunalen Abfallbeseitigung in der Schweiz». 1. Januar 1978.
- [2] Obrist, W.: «Stand der Abfalltechnik in der Schweiz». (Kommunalwirtschaft, Heft 5, Mai 1978, Düsseldorf)
- [3] Huber, R.: «Möglichkeiten und Grenzen der Abfallbewirtschaftung». (Vortragsband Wasser, Abwasser, Abfälle der PRO AQUA-PRO VIITA 1977, Basel, BAG Brunner Verlag AG, Zürich, 1978)
- [4] v. Hirschheydt, A.: «Über den volkswirtschaftlichen Wert von Siedlungsabfällen». (Müll und Abfall, H. 5, 1977, E. Schmidt Verlag, Berlin)
- [5] Hirt, R.: «Die Verwendung von Müllschlacke als Baustoff für den Strassenbau». (ISWA-Informationbulletin Nr. 17, 1975, Dübendorf)
- [6] Stumm, W. und Davis, J.: «Kann Recycling die Umweltbeeinträchtigung vermindern?» (Brennpunkte, gdi-topics Nr. 2, 5. Jahrg., Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart, 1974)

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. Rudolf Braun, Eidg. Technische Hochschule Zürich