

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 107 (1989)  
**Heft:** 49

**Artikel:** Die ökologische Rückzahldauer: ein Instrument der Umwelttechnik  
**Autor:** Suter, Peter / Hofstetter, Peter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-77219>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 30.01.2025

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

**Literatur**

- [1] *Bellmann, H.*: Leben in Bach und Teich. Steinbachs Naturführer, Mosaik-Verlag, 1988.
- [2] *Bundi, U. et. al.*: Ökologische Aspekte des mengenmässigen Gewässerschutzes. EAWAG-NEWS 18: 20-23, 1984.
- [3] *Engelhardt, W.*: Was lebt in Tümpel, Bach und Weiher? KOSMOS Naturführer, 1987.
- [4] *Frutiger, A.*: Gefährdete Mikrofauna der Fliessgewässer. Neue Zürcher Zeitung Nr. 169: 41-42, 1985.
- [5] *Ris, F.*: Die schweizerischen Libellen. Fauna insectorum helvetiae. Mitt. Schweiz. Ent. Ges. 7: 1-50, 1886.
- [6] *Sauer, F.*: Wasserinsekten. Sauer's Naturführer, Fauna-Verlag, 1988.

und Blätter wachsen nicht selten noch ins Wasser hinein. Im Frühling leuchtet schon von weitem die Sumpfdotterblume, die an Bächen meist vereinzelt, in angrenzenden Sumpfgebieten aber oft zahlreich auftritt. An langsam fliessenden Bächen sind insbesondere die Gelbe Iris und der Igelkolben auffällig, und auch Rohrglanzgras und Spierstaude findet man entlang der Ufer. Das Mosaik der Pflanzen ist oft ausserordentlich vielfältig. Bedeutend sind auch die verschiedenen Seggen und Binsen, die ebenfalls am Ufer wachsen. An der Böschung stellen sich zahlreiche Blütenpflanzen ein, wie Margerite, Wiesen-Flockenblume, Salbei, Wiesen-Knautie, Hornklee. Es können reichgegliederte Fluren entstehen, die einem Heer von Kleinlebewesen Unterschlupf bieten. Gerade die Böschungen grösserer Bäche sind deshalb aus naturschützerischer Sicht wichtige Lebensräume, die je nach Lage und Feuchtigkeitsverhält-

nissen eine unterschiedliche Ausprägung zeigen. An trockenen, sonnigen Böschungen findet man zum Beispiel Blumen der Magerwiesen und viele Insekten wie Heuschrecken, Grillen, Hummeln und Wildbienen sowie da und dort Zauneidechsen.

**Folgerungen für den Wasserbau**

Die meisten Mittellandbäche entsprechen nicht dem Ideal aus biologischer Sicht. Viele sind nur nach technischen Gesichtspunkten verbaut worden, ihr biologischer Wert ist deshalb oft gering. Für den Ausbau von Bächen lassen sich jedoch Lösungen finden, die sowohl in biologischer wie in wasserbaulicher Hinsicht überzeugen. Allerdings sind Bäche recht komplexe Lebensräume. Es genügt deshalb nicht, da und dort ein paar Weiden zu pflanzen oder an einzelnen Stellen einen Fischgumpen einzubauen. Vielmehr gilt es, alle biologischen Möglichkeiten auszunutzen. Deshalb ist es unerlässlich, dass sich der Wasserbauer für die Projektierung einen kompetenten Partner sucht, der die Biologie der Gewässer kennt. Weitere Kontaktpersonen sind:

- Kantonale Naturschutzfachstelle
- Fischerei- und Jagdverwaltung
- lokale Naturschutzsachverständige.

Für den naturnahen Wasserbau kann man aus dieser Sicht folgende Grundregeln aufstellen:

- Unverbaute Naturbäche sind höchst schutzwürdig und sollten wenn immer möglich in ihrem natürlichen Zustand erhalten bleiben. Falls ein Eingriff unvermeidlich ist, muss vermieden werden, dass aus Unkenntnis beim Bachausbau oder -unterhalt eine Verarmung

eintritt oder biologisch wertvolle Abschnitte beeinträchtigt werden. Schon der Ausbau einer Strecke von 100 Metern kann seltene Pflanzen oder Tiere verdrängen. Mit einer Vorabklärung des gegenwärtigen Naturwerts können Probleme erkannt und bei der Projektierung berücksichtigt werden.

Beim Ausbau eines Bachs soll der Naturwert mindestens keine Beeinträchtigung, nach Möglichkeit aber eine Aufwertung erfahren. Das wird wiederum am besten durch ein interdisziplinäres Vorgehen bei der Projektierung erreicht. Hier können einengende Randbedingungen auftreten wie etwa

- Landbedarf bei Projekten in Siedlungen oder im Kulturland,
- zu schützende Anlagen,
- Hochwassergefahren,
- enge Verhältnisse.

Wichtig ist, dass man auch bei nicht optimalen Verhältnissen versucht, eine ökologische Aufwertung zu erreichen. Besonders erwünscht ist eine Aufwertung von hydrologisch genügenden, aber biologisch unbefriedigenden Abschnitten (Wiederbelebung). Hier bietet sich dem initiativen Ingenieur ein weites Betätigungsfeld.

Dieser Artikel wurde verfasst von der Arbeitsgruppe «Kleine Bäche»:

*Christian Göldi*, dipl. Bauing. ETH, *André Chervet*, dipl. Bauing. ETH, *Dr. André Hofmann*, dipl. Zoologe, *Claude Meier*, dipl. Zoologe, *Heiner Niederer*, dipl. Zoologe, *Dr. Heinz W. Weiss*, dipl. Bauing. ETH

Kontaktadresse für diesen Artikel: Amt für Raumplanung, Fachstelle Naturschutz, Dr. A. Hofmann, 8090 Zürich

## Die ökologische Rückzahldauer

### Ein Instrument der Umwelttechnik

Beim Einsatz von umweltschonenden neuen Technologien und bei der Erstellung von Anlagen der Entsorgungstechnik

VON PETER SUTER UND  
PETER HOFSTETTER,  
ZÜRICH

werden Bauteile verwendet, bei deren Herstellung schon gewisse Schadstoffe frei wurden. Dasselbe gilt beim letzten Abbruch der Anlage. Es

wird also eine gewisse Umweltbelastung investiert in der Absicht, durch den Betrieb der Anlage eine Verbesserung der Umweltbelastung zu erzielen. Man kann nun eine *ökologische Rückzahldauer ORZ* definieren, welche aussagt, nach welcher Zeit die durch den Betrieb der Anlage erzielte Umweltentlastung gleich ist der investierten Umweltbelastung:

$$ORZ = \frac{\text{Investierte Umweltbelastung}}{\text{Verbesserte Belastung im Betrieb pro Jahr}}$$

Dies entspricht der «Pay-back-time» bei Kapitalinvestitionen.

Diese Rückzahldauer hat ihr *Analogon* in der Energietechnik, wo die *energetische Rückzahldauer ERZ* bei der Beurteilung von Massnahmen zum Energiesparen oder zur Energieträgersubstitution verwendet wird, indem sie angibt, nach welcher Zeit die im Betrieb eingesparte oder substituierte Energie die in die Anlage vorinvestierte Energie «zurückgezahlt» hat:

$$ERZ = \frac{\text{Investierte Energie}}{\text{Gesparte oder substituierte Energie im Betrieb pro Jahr}}$$

Natürlich muss die Lebensdauer der Anlage grösser als die ERZ sein, soll das

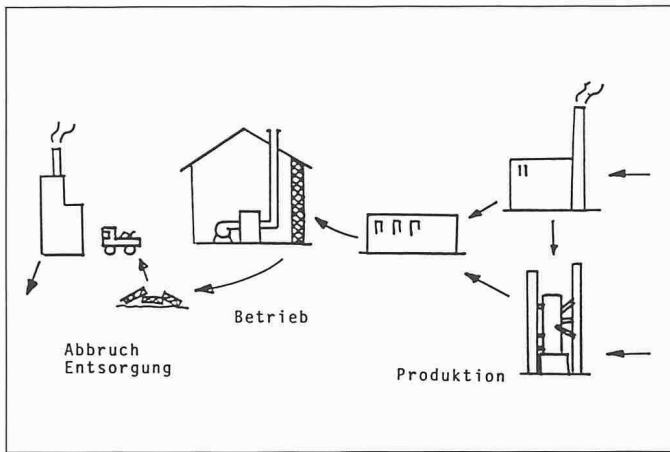


Bild 1. Isolation eines Gebäudes; in Herstellung und Entsorgung werden Energie und Umweltbelastung investiert

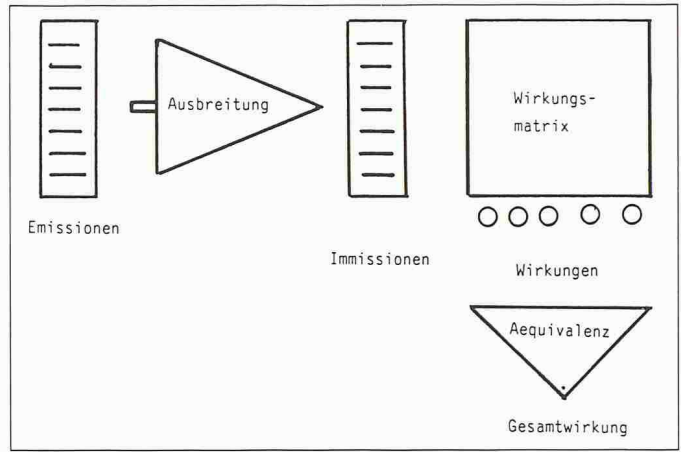


Bild 2. Schema der Zusammenhänge von Emission, Immission und Wirkung

Ganze einen Sinn haben; man nennt dieses Verhältnis auch den Erntefaktor.

Betrachten wir in Bild 1 das Beispiel einer zusätzlichen Wärmedämmung einer Gebäudefassade. Im Betrieb wird weniger Heizöl verbrannt, dafür aber benötigt die Herstellung des Isolationsmaterials selbst wieder Energie, aber auch Halbfabrikate, für welche ihrerseits schon Energie aufgewendet worden war. Ebenso kann auch der Abbruch wieder Energie für Transporte usw. benötigen, wobei andererseits auch eine Energie-Gutschrift in einer Kehrichtverbrennungsanstalt gewonnen werden kann, siehe [5].

Zur Bestimmung der ERZ muss die in die Herstellung und den Abbruch der Anlage zu investierende Energie ermittelt werden, wozu die Summe aller vor- oder nachgelagerten Arbeitsgänge ermittelt werden muss, also von den Primärenergien und Rohstoffen an bis zur Entsorgung der Abfälle. Dabei spielen Energieflussbilanzen (Input-Output-Betrachtungen) von Produktelinien und Industrie-Teilbranchen eine entscheidende Rolle. Wenn auch die Datenlage noch mangelhaft ist, und wenn auch hier noch sehr viel Arbeit zu leisten ist, können doch Anhaltswerte der ERZ für die interessierenden Massnahmen der Energietechnik ermittelt werden (siehe Tabelle 1).

Für die ökologische Rückzahldauer ORZ stellen Stoffflussbilanzen das entsprechende wichtige Werkzeug dar, doch ist die Aufgabe wesentlich schwieriger:

- Es gibt nicht nur den einen Begriff «Energie», sondern es sind bei jedem technischen Prozess eine Vielzahl von umweltrelevanten Stoffen vorhanden.
- Diese Stoffe können auf verschiedene Teile dessen, was wir «Umwelt» nennen, wirken (Flora, Fauna, menschliche Gesundheit, Wasser, Boden, Luft, Klima), und diese Wirkungen können

lokale, regionale und globale Masstäbe haben.

Deshalb treten zwei grundsätzliche zusätzliche Schwierigkeiten auf:

- Es muss der Zusammenhang zwischen Emission und Wirkung bekannt und quantifiziert sein, wobei zwei Teilschritte zu betrachten sind, erstens der Transfer von Emission zu Immission, also das *Ausbreitungsproblem*, bei welchem die physikalischen Transportvorgänge auch von chemischen und biologischen Umwandlungen begleitet sein können (als Beispiel sei die Ozonbildung unter Sonnenstrahlungseinfluss während der Verfrachtung von Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen aufgeführt), siehe Bild 2.
- Ferner der Zusammenhang *Immission-Wirkung*, bei welchem auch Quereinflüsse auftreten können, denn die Umwelt ist ein stark vernetztes System, wobei die einzelnen Akteure in einem scharfen Wettbewerb stehen. Umweltbelastungen können, ohne toxisch zu sein, schon durch die Änderung der Konkurrenzbedingungen starke Veränderungen bewirken. (Als Beispiel mag die Eutrophierung der Seen im Gefolge der Phosphateinleitung dienen.) Es stellt sich in aller Schärfe die *Äquivalenzfrage*, d.h. die Gewichtung verschiedenartiger Umweltbelastungen; wie sollen z.B. Stickoxide, Lärm, Cadmium und Treibhausgase gegenseitig verrechnet werden?

Die hier angewandten Methoden sind drei Hauptgruppen zuzuordnen:

*Erstens* die Gewichtung anhand der verursachten *Kosten* (Heilungskosten, wirtschaftlicher Ausfall, Wiederherstellung der «Umwelt», Entsorgungskosten usw.).

Man betrachtet also für den Zähler und den Nenner im Ausdruck für die ORZ

die Summe der Kosten über alle auftretenden Schadstoffe K:

$$\sum_k \text{Emission } (k) \cdot \text{spezif. Umweltfolgekosten } (k)$$

Während für manche Belastungen Abschätzungen dieser Kosten vorliegen (z.B. [7]), sind offensichtlich für manche Umweltbeeinträchtigungen die Kosten nur sehr schwierig zu definieren, z.B. für Lärmbelästigung, Aussterben von Pflanzenarten usw.

*Zweitens* die Bewertung entsprechend der Inanspruchnahme einer «Ressource Umwelt». Diese kann dargestellt werden durch eine bestimmte Menge von jedem Schadstoff, welche von der Umwelt noch ertragen wird, z.B. Tonnen Stickoxide pro Jahr, oder kg Schwermetalle pro Jahr im Rhein oder Lärmleistung. Eine Emission wird also um so gravierender bewertet, je geringer die Marge zwischen der Ressource und dem davon durch die Gesamtemission aller Emittenten bereits in Anspruch genommenen Teil noch ist; Schwierigkeiten ergeben sich, wenn diese Marge bereits Null oder sogar negativ ist, wenn also bereits eine Überbelastung zu verzeichnen ist (z.B. zu starke Gewässerbelastung), da dann der Gewichtungsfaktor unendlich oder negativ würde; es sind deshalb von verschiedenen Autoren (z.B. [2], [3]) Korrekturen des einfachsten Ansatzes vorgeschlagen worden, so dass die Äquivalenz sich bestimmt zu

$$\sum_k \frac{\text{Emission } (k) \cdot g}{[\text{Ressource } (k) - F(\text{Totalemission } (k))]}$$

	ERZ Jahre
Isolation eines Hauses	1,5
Photovoltaik	4
Nachtabsenkung Heizung	0,1

Tabelle 1. Beispiele zur Energie-Rückzahldauer ERZ

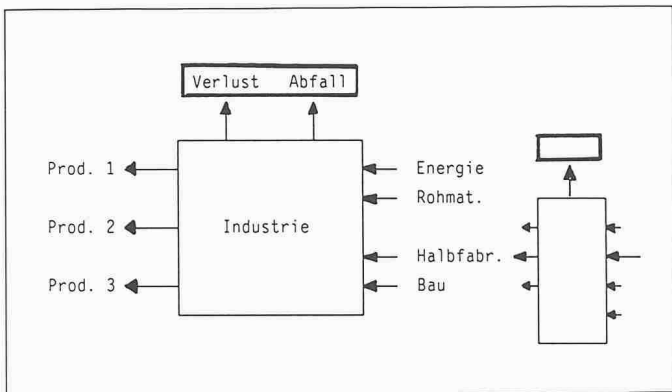


Bild 3. Die Stoffflussbilanz eines Industriesektors (schematisch) zeigt Umweltemissionen an; sie ist für jeden Stoff K zu erstellen

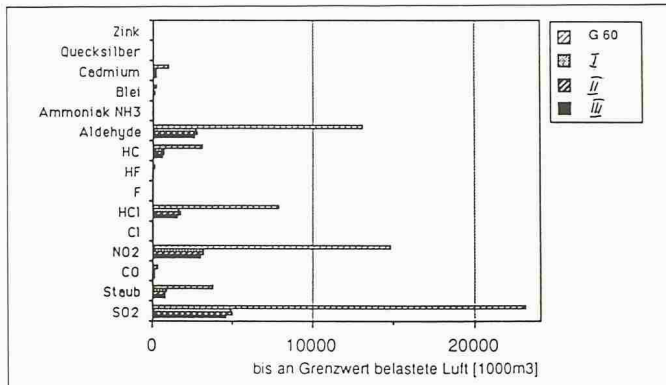


Bild 4. Luftvolumen, welches zur Verdünnung der Luftschadstoffe auf die Grenzwerte benötigt wird, für die Energiesparlampen I bis III und für die normale Glühlampe G, für total 8000 Betriebsstunden und Elektrizitätsvariante V 1

wo F und g die Korrektur-Faktoren darstellen.

Eine dritte, verwandte Bewertungsart vergleicht die im konkreten Fall auftretende Zusatzimmission mit einem Grenzimmissionswert für die betreffende Belastungsgrösse, also z.B. Mikrogramm Ozon pro Kubikmeter Luft, Dezibel Lärmpegel oder Cadmiumgehalt im Boden.

Da für denselben Schadstoff (K) noch verschiedene Grenzimmissionen je nach Umweltfaktor (F) (Boden, Wasser, Luft) gelten, muss der Eintragungsanteil e berücksichtigt werden; somit gilt der Ausdruck, der über alle Faktoren zu erstrecken ist:

$$K \sum \frac{\text{Emission } (K) \cdot e_{FK}}{\text{Grenzimmission } (K) \cdot \text{Betroffenes Volumen von } (F)}$$

Der Teilausdruck

$$\frac{\text{Emission } (K) \cdot e_{FK}}{\text{Grenzimmission } (K)}$$

hat, weil die Grenzimmission die Dimension einer Konzentration, d.h. Menge pro Volumen besitzt (z.B. für

SO<sub>2</sub> in Luft 30 µg/m<sup>3</sup>), die Dimension eines Volumens und kann gedeutet werden als diejenige Menge Boden, Wasser, Luft, welche nötig ist, um die emittierten Schadstoffe auf die Grenzimmission zu verdünnen. Das betroffene Volumen kann z.B. die Niederschlagsmenge in der Region, die verseuchbare Boden- oder Luftschicht darstellen. Dieses Bewertungsverfahren ist nur dann vernünftig, wenn für die Definition der Grenzimmissionen der verschiedensten Belastungsarten analoge, an den Wirkungen orientierte Kriterien berücksichtigt wurden. Liegen hingegen ALARA-Prinzipien (As Low As Reasonably Attainable) zugrunde, so können schwere Verzerrungen entstehen, indem gut messbare oder gut reduzierbare Umweltfaktoren schärfer gewichtet werden, obwohl ihre Wirkung eventuell harmloser ist. Die starke Verunsicherung der Öffentlichkeit durch das Grenzimmissionsgewirr hat teilweise hierin ihre Ursache.

Sowohl für die Quantifizierung der investierten Umweltbelastung als auch für die empirische Bestimmung von

Immission-Wirkung-Zusammenhängen ist offensichtlich die Kenntnis der entsprechenden Stoffflüsse fundamental; hierbei ist noch sehr viel Grundlagenarbeit, aber auch viel Fleissarbeit nötig (siehe Bild 3). Diese Stoffflussbetrachtungen müssen je nach Auswirkung der Belastung regional oder lokal sein. Auch in methodischer Hinsicht sind noch grundlegende Probleme zu lösen; so ist es notwendig, die Stoffflussbilanzen mit einem dynamischen Ansatz zu ermitteln, wegen der Zwischenspeicherung der Schadstoffe, aber auch wegen der ständigen Evolution der Produktionstechnik und der Materialzusammensetzung. Wesentliche Aufgaben sind auch der Messtechnik gestellt, denken wir nur an die Detektion der Altlasten, d.h. der in alten Depo-nien vorhandenen Problemstoffe. Die praktische Hauptschwierigkeit liegt aber bei der Ermittlung der Men-

Schadstoff	Grenzimmission µg/m <sup>3</sup>	Verdünnungsmenge Luft in 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>		
		Bau	Material	Betrieb pro Jahr
CO <sub>2</sub>	785 000 *	0,018	0,01	0,022
CO	1 000	0,32	0,03	0,02
SO <sub>2</sub>	30	0,84 (4,2)	0,43 (0,22)	1,15** (0,57)
HCOX	150	2,0	0,51	0,065
NOX	30	2,1	0,32	0,46
Chloride	50	0,1	0,03	-
Aldehyde	12	0,42	0,07	0,20
Partikel	50	0,48	0,20	0,17
Blei	0,7	0,86	-	-
Total		6,14 (5,72)	1,60 (1,39)	1,60 (1,02)
		7,74	(7,11)	

\* Grenzimmission 400 ppm gesetzt

\*\* mit Schwefelgehalt im Heizöl von 0,36%; in ( ) Werte bei Schwefelgehalt von 0,18%

Tabelle 2. Zusatzisolation einer Aussenwand: Luftmenge zur Verdünnung der Luftschadstoffe auf die Grenzwerte; die Schadstoffe fallen einerseits an bei der Materialherstellung und beim Bauprozess für die Zusatzisolation; andererseits werden sie im verbesserten Betrieb eingespart

Literatur

- [1] D.T. Spreng: Stromsparen und graue Energie, Infel Info Nr. 3, Zürich (1988)
- [2] A. Braunschweig: Ökologische Buchhaltung als Instrument der Umweltpolitik, Chur (1988)
- [3] P. Ringeisen: Möglichkeiten und Grenzen der Berücksichtigung ökologischer Gesichtspunkte bei der Produktgestaltung. Verlag Peter Lang, Bern (1988)
- [4] ATAL, Kanton Zürich: Fakten + Meinungen zu Sonnenenergieanlagen, Zürich (1988)
- [5] N.A. Kohler: Analyse énergétique de la construction, utilisation et démolition de bâtiments. Diss. No. 623 (1986), EPFL, Lausanne
- [6] Elektrowatt: Die Umweltbelastung im Energiebereich, Eidg. Kommission für Gesamtenergiekonzeption Nr. 24 (1978)
- [7] D. Teufel: Gesellschaftliche Kosten des Strassengüterverkehrs, Umwelt+Prognose Institut, Heidelberg (1988)

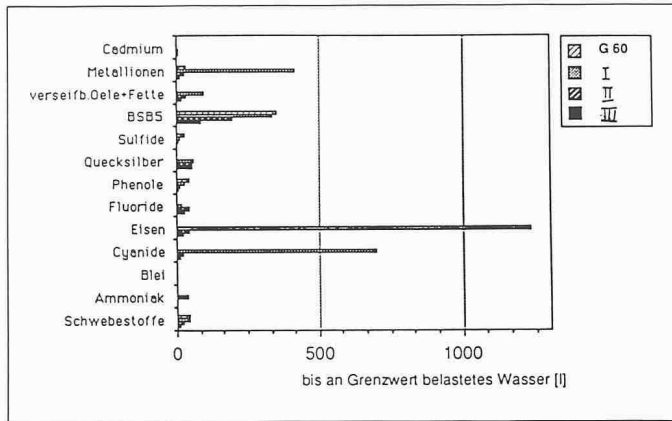


Bild 5. Wasservolumen, welches zur Verdünnung der Wasser-schadstoffe benötigt wird, für die Energiesparlampen I bis III und für die normale Glühlampe G, für total 8000 Betriebsstunden und Elektrizitätsvariante V1

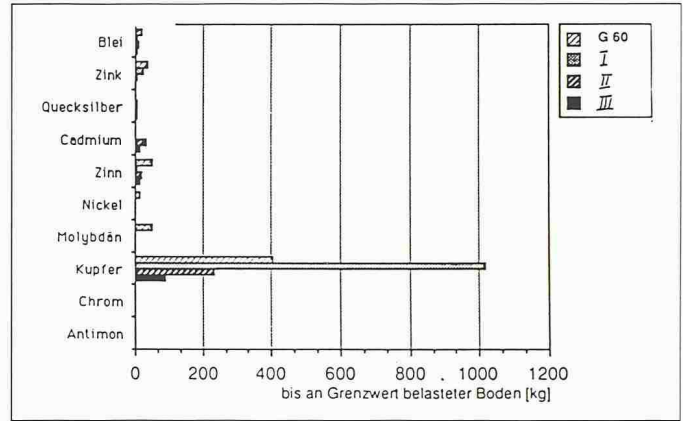


Bild 6. Bodenmasse, welche zur Verdünnung der Bodenschadstoffe benötigt wird, für die Energiesparlampen I bis III und für die normale Glühlampe G, für total 8000 Betriebsstunden und Elektrizitätsvariante V1

gen der Produktions-Hilfsstoffe, z.B. der Reinigungs- und Lösungsmittel. Diese spielen dabei durchaus keine Nebenrolle, wie man zunächst denken könnte, sondern stellen einen sehr ernst zu nehmenden Teil der Umweltproblematik dar.

Eine so durchgeführte Betrachtung der ökologischen Rückzahldauer ORZ wird es erlauben, Irrwege im Umweltschutz zu vermeiden. Sie kann Antwort auf Fragen geben, welche momentan noch im Raume stehen, wie zum Beispiel:

- Sind wiederaufladbare Batterien besser als Wegwerfbatterien?
- Ist die Isolation eines Hauses mit Schaumstoffen günstig?
- Sind Energiesparlampen umweltschonend?
- Wie steht es mit Katalysatoren für Automotoren?

**Beispiele**

Zwei Beispiele, welche mit der dritten Äquivalenzmethode behandelt werden, sollen der Illustration dienen; angesichts der oben erwähnten Wissenslücken sind sie nur Demonstrationsbeispiele, während die Zahlenwerte mit grösster Vorsicht zu betrachten sind. Wir führen sie trotz all diesen Vorbehalte auf, da rein abstrakte Darlegungen wenig anschaulich sind.

Beispiel A: Eine Aussenwand vom k-Wert 0,8 W/m²K werde durch eine Mineralwolle-Isolation auf den k-Wert 0,3 W/m²K verbessert. Das Gebäude werde mit Heizöl EL beheizt. Dabei werden der Einfachheit halber nur die Luftschadstoffe betrachtet.

Es werden im Betrieb 3500 Gradtage und eine Ölheizung mit 80% Wirkungsgrad, bezogen auf den oberen Heizwert, eingesetzt, so dass in der Heizperiode

eine Ersparnis an Endenergie von 53 kWh/m² resultiert, oder (mit 15% Verlusten in Ölförderung und Raffinerie) von 62 kWh/m² an Primärenergie. Die benötigte Isoliermaterialmenge betrage 8,3 kg/m². Wird für die Herstellung des Isoliermaterials ein Primärenergieeinsatz von 4 kWh/kg [4] angenommen und wird für das Anbringen der Isolation (Bauprozess) mit Kosten von Fr. 50.-/m² (ohne Material) und einem für das Baugewerbe typischen Primärenergiegehalt von 1,7 kWh/Kostenfranken gerechnet [1], so resultiert für Material und Bauprozess eine investierte Primärenergie von 118 kWh/m². Damit wird die *Energierückzahldauer ERZ = 1,9 Jahre*.

Für die investierten Energien müssen Annahmen gemacht werden über die Anteile an Elektrizität (hydraulisch und nuklear), an Transporten mit Diesel- und Benzinmotor und an industriellen Gas- und Ölfeuerungen, weil je nach Energieprozesskette unterschiedliche Emissionen resultieren [6]. Bei den Luftschadstoffen ergeben sich dann die in Tabelle 2 angegebenen Verdünnungsmengen.

Daraus errechnet sich eine ökologische Rückzahldauer

- für alle betrachteten Luftbelastungen bei 0,36% Schwefel im Heizöl ORZ = 4,8 Jahre (bei 0,18% Schwefel)

- im Heizöl ORZ = 7,0 Jahre)
- nur für Stickoxide, SO<sub>2</sub> und Kohlenwasserstoffe (Smogproblem) ORZ = 3,1 Jahre

Es ist schon aus diesem Rechenbeispiel klar ersichtlich, dass die ökologische Betrachtung eine viel feinere Berücksichtigung der Verhältnisse erlaubt; man sieht aber auch, dass es zu Irrtümern führen kann, wenn etwa nur ein Schadstoff allein berücksichtigt wird, und schliesslich kann man zeigen, dass eine gewisse Massnahme (hier die Zusatzisolation) ökologisch an Interesse verliert, wenn eine andere vorher getroffen wird (z.B. die Entschwefelung des Brennstoffs), auch wenn der energetische Nutzen gleich geblieben ist.

Beispiel B: Anstatt normaler Glühlampen soll dieselbe Lichtstärke durch 3 verschiedene Typen von Energiesparlampen I, II und III erzeugt werden. Hier werden Wasser-, Boden- und Luftbelastung betrachtet; die verschiedene Lebensdauer wird berücksichtigt.

Die Bodenbelastung stammt hauptsächlich von der Entsorgung, die Wasserbelastung von der Herstellung, die Luftbelastung von der Herstellung und Betrieb (Elektrizitätsversorgung). Beispiele der notwendigen Verdünnungsmengen finden sich in Bild 4 bis 6. Es werden nun einander folgende Verdünnungsmengen gleichwertig gesetzt:

Energiesparlampentyp	I	II	III	
ERZ in Stunden	für Varianten V 1, V 2	14	54	60
	für Variante V 3	15	56	62
ORZ in Stunden	für Elektrizitätsvariante V 1	60	170	240
	V 2	100	280	480
	V 3	610	1700	2900

Tabelle 3. Vergleich verschiedener Energiesparlampen bezüglich der energetischen und der ökologischen Rückzahldauer

- 1000 m<sup>3</sup> Luft (entspricht 1000 m Luftsäule über 1 m<sup>2</sup>)
- 1000 l Wasser (entspricht Jahresniederschlag pro 1 m<sup>2</sup>)
- 1000 kg Boden (entspricht 0,5 m Bodenschicht pro 1 m<sup>2</sup>)

Es ist natürlich wichtig, auf welche Weise die Elektrizität erzeugt wird. Deshalb werden drei Varianten betrachtet:

V 1: Blockkraftwerk mit Gasdieselmotor mit Katalysator

V 2: Erdgaskraftwerk

V 3: 60% aus Wasserkraft, 40% aus Kernenergie, wie es der gegenwärtigen schweizerischen Situation entspricht.

Die Resultate sind in Tabelle 3 zusammengestellt, wobei die Anzahl der nacheinander zu verwendenden Lampen bei allen Typen so gewählt wurde, dass sich eine totale Betriebsdauer von 8000 Stunden ergibt. Energiesparlampen sind energetisch bei jeder Variante sehr vorteilhaft, da ERZ viel kleiner als die Betriebsdauer von 8000 Stunden ist. Die Erhöhung von ERZ bei Variante V 3 beruht auf dem Einfluss der höhe-

ren investierten Energie bei Kern- und Wasserkraftanlagen im Vergleich zu fossilen Kraftwerken; die Auswirkung auf ERZ ist aber offensichtlich gering.

Bei der Elektrizitätserzeugung aus fossilen Brennstoffen (Variante V 1 und V 2) ergeben sich die Energiesparlampen nach unseren Beispielannahmen als auch ökologisch sehr sinnvoll; bei der gegenwärtigen, sehr emissionsarmen schweizerischen Erzeugung (Variante V 3) ist der ökologische Erntefaktor (Betriebsdauer 8000 Stunden geteilt durch ORZ) zwar geringer, aber immer noch grösser als 3.

### Schlussbemerkung

Es sei nochmals betont, dass diese Beispiele nur demonstrieren sollen, zu welcher Art von Folgerungen derartige Betrachtungen führen können; beim heutigen Stand der Arbeit sind die Zahlen selbst aber noch sehr unsicher.

Die Erarbeitung der für die verlässliche ORZ-Ermittlung erforderlichen Me-

Umgearbeitete Fassung eines Vortrags am Symposium: «Umwelttechnik in der Schweiz» an der Industriemesse Hannover vom 10. April 1989

thoden und Kenntnisse ist eine grosse und wichtige wissenschaftlich-technische Herausforderung, denn sie hilft, ökologische Irrwege in Technik oder Politik zu vermeiden, Schwachstellen zu erkennen und den Kunden durch verständliche Information zu umweltgerechterem Verhalten einzuladen. Als Nebeneffekt wird sie dazu beitragen, dass jeweils bei Einzelentscheiden in der Umwelttechnik der ganze Zyklus, das ganze «System Umwelt» mitbedacht wird, dass also das notwendige ganzheitliche und vernetzte Denken gefördert wird.

Adresse der Verfasser: Dr. P. Suter, Professor für Energiesysteme, und P. Hofstetter, dipl. Ing., Laboratorium für Energiesysteme, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.

## Forschung in Umwelt- und Systemanalyse

Forschungsarbeiten an einem neu gegründeten Labor des Paul Scherrer Institutes

**Bei der Zusammenlegung der ehemaligen Institute EIR und SIN zum Paul Scherrer Institut (PSI) seit dem 1.1.88 wurde vermehrt Gewicht auf umweltbezogene Forschungsarbeiten gelegt, die zum grössten Teil im expandierenden Labor für Umwelt- und Systemanalyse zusammengefasst wurden. Die hier behandelten Forschungsschwerpunkte sind die Ausbreitung und Umwandlung von Luftschadstoffen, die Untersuchung komplexer Systeme, die Analyse von Messdaten sowie die Berücksichtigung von Umwelt-Folgekosten im Spannungsfeld Energie-Ökonomie. Im folgenden seien zwei kürzlich durchgeführte Arbeiten beschrieben.**

### Einfluss des Geländes auf Windfelder und Schadstofftransport

#### Entwicklung der quantitativen Meteorologie

Die Geschichte der quantitativen Meteorologie begann erst in den sechziger Jahren mit dem Aufkommen einiger-massen schneller Rechenmaschinen, die auch ansehnliche Speicherkapazitäten zur Verfügung stellen konnten. Erstmals in der Geschichte der Menschheit konnten die Jahrtausende

alten Versuche, die Wetter- und Klimaentwicklung vorherzusagen, auf einer exakten Basis aufgebaut werden, was einen wesentlichen Schritt von den

VON F. GASSMANN,  
W. GRABER UND  
S. KYPREOS,  
VILLIGEN-PSI

stark subjektiv gefärbten Wetterregeln zu einer objektiven Prognose darstellte. Es ist klar, dass die ersten brauchbaren Computerprogramme aus Gründen der

Rechengeschwindigkeit und Speichergrösse auf sehr weitmaschigen Gittern basierten, die keine Beschreibung der Geländeform zulassen. In den siebziger Jahren begannen sich aber ganz andere Fragestellungen in den Vordergrund zu schieben. Wetter und Klima wurden immer stärker als durch menschliche Aktivitäten beeinflusst verstanden, so dass die passive Beobachtung des Geschehens allmählich der Erkenntnis einer aktiven Veränderung des Systems durch den Menschen Platz machen musste. Gleichzeitig zu dieser Entwicklung wurde auch ein fundamentaler Durchbruch auf theoretischem Gebiet erzielt, indem erkannt wurde, dass die in den physikalischen Grundgleichungen zur Beschreibung atmosphärischer Strömungen enthaltenen Nichtlinearitäten bewirken, dass sich kleine Veränderungen des Strömungsfeldes innerhalb weniger Tage zu wesentlichen Effekten in einem viel grösseren Massstab aufschaukeln können. Dank der Einführung einer neuen Generation von schnellen Vektorrechnern mit enormen Speicherkapazitäten konnte dieses sogenannte Fehlerwachstum auch direkt simuliert werden. Damit setzte sich die Erkenntnis endgültig durch, dass auch grossräumige Phänomene, wie beispielsweise Hoch- oder