

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 108 (1990)  
**Heft:** 14

**Artikel:** Entwicklungen und Forschungsvorhaben der Umwelttechnik in der Schweiz  
**Autor:** Stücheli, Alexander  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-77398>

#### **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:** 23.01.2026

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

# Entwicklungen und Forschungsvorhaben der Umwelttechnik in der Schweiz

**Umwelttechnik, verstanden als «technische Einrichtungen und Verfahren zu Verminderung und Abbau von umweltschädigenden Stoffströmen und von Lärm», betrachten die meisten Wirtschaftsfachleute als Wachstumsmarkt. Dies ist trügerisch, denn mehrheitlich werden angestammte Produkte und Tätigkeiten, z.B. vom Marktsegment Energie-technik, Wasseraufbereitungstechnik u.a., zur Umwelttechnik umverteilt. Umwelttechnik-Produkte sind nicht nicht vorwiegend ein Fabrikationsprodukt, das einer Aufgabe zu genügen hat, sondern Chemie-Ingenieur-technische Problemlösungen mit mehreren Verfahrens- und Apparateschritten. In den folgenden Ausführungen stehen nicht einzelne Systembeschreibungen im Vordergrund, sondern eher eine Bewertung der verschiedenen Massnahmen und Verfahrenstechniken, die eingesetzt werden. Zum Verständnis der Umwelttechnik ist es unerlässlich, einen umfassenden Überblick über die Umweltbelastungen in der Schweiz zu haben. Über Lärmschutz kann ich nichts beitragen.**

## Übersicht über die Emissionen

Nach offiziellen und halbamtlichen oder Verbandsdarstellungen präsentiert sich die Schattenseite der Schweiz wie folgt:

### Schadstoffbelastung der Luft

Bei den Luftschaudstoffen müssen Stickoxide, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Methan (trägt 15% bei zum globalen Treibhauseffekt) und Kohlenwasserstoffe (HC; ohne Methan) als grösste Problemstoffe betrachtet werden. Atmosphärenphysiker und Lufthygieniker weisen zusätzlich auf die Gefährlichkeit von Aerosolen (Schwebestaub, Russ) und Ozon hin. Die hauptsächlichsten Schadstoffgruppen sind (Tabelle 1a, 1b, 1c, 1984-Werte; für mehr Details siehe BUS-Schriftenreihe Umweltschutz, Nr. 76).

Der zunehmende Trend in den 60er und 70er Jahren konnte bei den meisten Schadstoffen - ausgenommen beim Ammoniak - spätestens bis 1984 gebremst werden. Emissionsmindernde Massnahmen oder die aus andern Gründen erfolgte Substitution von Kohle durch Öl und durch Gas, das Umsteigen von Heizöl «schwer» und «mittel» auf «extraleicht», die Einführung des Katalysators für Personenwagen usw. führen zu einer Abnahme der Emissionen. Die voraussehbare rückläufige Entwicklung wird so lange anhalten, bis die volle Wirksamkeit der

eingeleiteten Massnahmen erreicht sein wird und bis 1995 annähernd das Emissionsniveau der 50er Jahre eintritt. Bei mehreren Schadstoffen ist in den späteren Jahren jedoch wegen des erwarteten Verkehrs- und Wirtschaftswachstums wieder mit einer Zunahme der Gesamtemissionen zu rechnen.

Auf einem andern Blatt der Emissionsbilanz stehen die 45 Mio t CO<sub>2</sub>, die in der Schweiz 1987 aus den Energieträgern Kohle, Holz, Gas, Erdölbrennstoffe und Erdöltreibstoffe sowie Abfällen erzeugt wurden ... Aber bei dieser Zahl dürfte man nicht stehenbleiben, ohne den ganzen Kohlenstoffkreislauf in die Bewertung mit einzubeziehen. Übrigens: Die menschliche Atmung bringt pro Erwachsener und Tag etwa 1 kg CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre für 2600 kcal Nahrung.

### Gewässerbelastungen

Die Gewässerbelastungen sind (trotz über 900 existierender kommunaler und anderer grosser Abwasserbehandlungsanlagen): Trübstoffe, Säuren, Laugen, anorganische Salze, nichtabbaubare chemische Substanzen, pathogene Keime sowie verschiedenste Stoffströme aus Industrie bis hin zu Spitätern. Man weiss bedeutend weniger als bei den Luftschaudstoffen, weil die Kenntnisse über die individuellen Stoffstrom-Einleitungen in die Kanalisation minimal sind. Nachfolgende Zusammenstellung zeigt einen unvollständigen Versuch, basierend auf offiziösen Veröffentlichungen und Statistiken:

- Trinkwassergewinnung für die öffentliche Versorgung (1983)	520 Mio m <sup>3</sup>
Quellwasser	480 Mio m <sup>3</sup>
Grundwasser	200 Mio m <sup>3</sup>
Seewasser	1200 Mio m <sup>3</sup> /Jahr

wobei: ohne Aufbereitung 39% mit einstufiger Aufbereitung 34% mit mehrstufiger Aufbereitung 27% Chemikalienverbrauch: etwa 4000 t

- Abwasseranfall in zentralen ARA (1984):	
1900 Mio m <sup>3</sup> Abwasser	

Es waren 5,31 Mio Einwohner (83%) angeschlossen, entsprechend 11 Mio EGW, d.h. Einwohnergleichwerte (BSB<sub>5</sub>: 72 gr O<sub>2</sub>-Bedarf)

Chemikalienverbrauch: 100 000 t (FeClSO<sub>4</sub>, FeCl<sub>3</sub>, Kalk, usw.)

Herkunft:

- 25% häusliches/kleingewerbliches Abwasser
- 20% Abwasser von Gewerbe und Industrie<sup>1</sup>
- 15% Regenwasser
- 40% (sauberes) Fremdwasser

Trotz oder dank moderner Kläranlagen gelangten 1986 folgende Stoffe z.B. von der Stadt Zürich in die Vorfluter:

Abwassermenge: etwa 110 000 000 m<sup>3</sup>  
Gesamtkohlenstoff (TOC): etwa 900 000 kg  
Ungelöste Stoffe: 480 000 kg  
Gesamt-Phosphor: 120 000 kg  
Ammoniumstickstoff: 200 000 kg  
Biochemischer Sauerstoffbedarf: 300 000 kg

- Gülle- und Mistanfall in der Landwirtschaft:	
--	--

<sup>1</sup> Ausgehend vom Wasserbedarf nach Wirtschaftsgruppen, ist mit folgendem Abwasseranfall zu rechnen, unter der Annahme, dass der Kühlwasserbedarf überall etwa gleich gross sei (etwa 50-55%):

Nahrungsmittelindustrie etwa 12%, Textilindustrie 7%, Papierindustrie 15%, Chemie-, Kunststoff-, Mineralöl-Industrie 30%, Metall- und Maschinenindustrie 23%, Sand, Kies, Zement, Kalk, Gips 5%, andere Branchen 10%, total etwa 100%.

<sup>2</sup> In der Studie «Global 2000», p. 560, wird mit jährlich 2000-3400 · 10<sup>6</sup> t natürlichen Staub- und Aerosol-Depositionen auf unserer Erde gerechnet. Das ergibt 10,4-18,4 kg/km<sup>2</sup>. Tag.

53 000 000 m<sup>3</sup>; 3 000 000 t TS (75% organisch)

- Klärschlammanfall (1987):  
4 200 000 m<sup>3</sup>; 250 000 t TS (= Trockensubstanz)

- Kiesschlammanfall:  
1 500 000 t (140 kg TS pro 1 m<sup>3</sup> Kies)

- Salzanfall:  
Der jährliche Salzanfall in unseren Gewässern ist für die Jahre um 1980 berechnet worden. Es sind 440 000 Tonnen, wobei 45% aus Industrie und Gewerbe, 11% aus der Landwirtschaft, 17% Streusalz, 6,5% Speisesalz, 16% aus Niederschlag und 3,5% durch Erosion anfallen.

### Schadstoffbelastung des Bodens und feste Abfälle

Angaben über die *kontinuierliche* Schadstoffdeposition in der Schweiz kann man nicht machen. Einige vereinfachende Annahmen sind möglich, z.B. erstens ausgehend von den Staubniederschlagsmessungen im Rahmen

des Programms NABEL (Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe) und zweitens den Luftschaadstoffen, die via meist saure Niederschläge schon bald wieder zur Erde zurückkehren. Über das Herkommen der Stäube, also z.B. aus grossräumiger Verfrachtung, kann nichts ausgesagt werden. Rechnet man durchschnittlich mit einer gemessenen Staubniederschlagsmenge von 60 mg/m<sup>2</sup>·Tag (= kg/km<sup>2</sup>·Tag) für Städte, Agglomerationen, ländliche Gebiete und alpine Weidezonen, exklusive hochalpine Regionen, mit 81% der

schweizerischen Gesamtfläche von 41 288 km<sup>2</sup>, so werden pro Jahr 730 000 Tonnen Staub niedergeschlagen... und teilweise wieder aufgewirbelt<sup>2</sup>. In Industriestädten der BRD betrug der Staubpegel in den 70er Jahren 300–1700 mg/m<sup>2</sup>·Tag. Im Vergleich dazu stehen die vom BUS errechneten Staubemissionen von Verkehr, Haushalten und Industrie mit 21 700 Tonnen im Jahre 1984 als prozentual bescheiden da. Die Angaben zu den *festen Abfällen* basieren teilweise auf detaillierten Erhebungen. Diverse Zahlen habe ich selbst

	Hausfeuerung Haushalte	Industrie Gewerbe, Landw.	Verkehr
NO <sub>x</sub> (214 300 t)	4%	22%	74%
SO <sub>2</sub> (95 300 t)	25%	69%	6%
CO (621 200 t)	17%	10%	73%
HC (339 300 t)	13%	60%	27%
CH <sub>4</sub> (239 200 t)	(Anteil in HC)	14% Gasind. 64% Landwirtschaft (Kühe)	(Anteil in HC)

Tabelle 1a

Quellengruppe	Schadstoffe											
	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	HC	CH <sub>4</sub>	Staub/ + Russ	NH <sub>3</sub>	HCl	HF	Pb	Zn	Cd
Verkehr	456 500	5 500	157 800	90 300		850				510		
Haushalte	105 100	23 400	8 500	42 500		4 700		120	14	4,8	5,3	0,35
Industrie und Gewerbe <sup>1</sup>	59 600	66 400	48 000	206 500	239 200	16 100	60 200	11 300	220	170	630	4,3
Total Emissionen 1984	621 200	95 300	214 300	339 300	239 200	21 700	60 200	11 400	230	680	640	4,7

<sup>1</sup> inkl. Landwirtschaft

Tabelle 1b. Luftschaadstoffemissionen 1984 (in Tonnen) nach Quellengruppen

Schadstoffe	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1984	1990	1995	2000	2005	2010
Kohlenmonoxid	493 400	549 500	595 100	718 700	771 100	736 300	711 300	621 200	430 400	311 300	273 300	280 100	288 800
Schwefeldioxid	54 400	72 400	97 100	135 400	125 600	109 400	126 300	95 300	62 600	57 700	60 500	62 100	63 800
Stickoxide	31 400	46 200	67 200	110 300	148 500	162 300	195 800	214 300	183 800	140 900	124 600	122 900	123 700
Kohlenwasserstoffe	83 800	113 100	146 900	207 700	287 900	261 000	311 100	339 300	297 000	264 400	272 500	294 100	318 500
Methan	168 300	170 900	187 500	193 400	229 700	287 300	262 300	239 200	233 500	226 300	221 300	217 300	213 800
Staub/Russ	41 600	49 300	62 500	56 500	41 000	30 300	27 800	21 700	20 500	18 700	19 300	20 300	21 200
Ammoniak	45 600	46 600	51 000	52 800	56 300	59 200	61 800	60 200	61 400	62 300	63 300	64 300	65 500
Chlorwasserstoff	3 200	3 500	3 800	4 100	5 100	6 600	9 600	11 400	4 400	1 500	1 400	1 600	1 800
Fluorwasserstoff	530	570	570	430	410	300	310	230	160	130	130	140	140
Blei	410	610	960	1 400	1 800	1 500	1 500	680	440	260	160	170	190
Zink	730	940	1 300	1 500	2 100	1 300	1 400	640	530	430	460	500	530
Cadmium	3,4	4,1	5,4	6,6	8,3	6,0	6,8	4,7	2,9	1,9	1,6	1,6	1,7

Quelle: BUS-Bericht Nr. 76, Dez. 87

Tabelle 1c. Luftschaadstoffemissionen 1950–2010 (in Tonnen)

Siedlungsabfall Kehricht	2 800 000 t	1988
Kompostierbare Abfälle (separat)	150 000 t	1988
Baustellenabfälle und Abbruch	4 500 000 t	1987
Klärschlamm	4 200 000 m <sup>3</sup>	1987
Kiesschlamm	1 500 000 t	1986
Strassensplitt (separat)	150 000 t	1986
Papier, Karton (separat)	613 000 t	1988
Glas (separat)	155 600 t	1988
Sonderabfälle	380 000 t	1986
Stahlschrott (separat)	822 000 t	1985
Autoshredder		
- Stahlschrott (separat)	175 000 t	1987
- Deponieanteil	50 000 t	1987
- andere Metalle	20 000 t	1987
Fahrzeugreifen	58 000 t	1987
Landwirtschaftliche Ernteabfälle		
Trockensubstanz (wiederverwertet)	2 000 000 t	1980
Forstwirtschafts- und Holzverarbeitungsabfälle	200 000 t	1987
Tierkörper separat	185 000 t	1987
Spitalabfälle	15 000 t	1987
Aluminium (separat)	35 000 t	1988
Aludosen (separat)	560 t	1988
Weissblechdosen (separat)	1500 t	1988
Kunststoffe (separat)	25 000 t	1988
Altkleider (separat)	15 000 t	1988

Tabelle 2 Jährlicher Anfall von Abfall, Sammelstoffe und Wertstoffe in der Schweiz

Aceton	Kohlenwasserstoffe
Acrylnitril	(Methan, Ethan, Propan usw.)
Ammoniak	Kohlendioxid
Ameisensäure	Lösungsmittel allgemein
Bleitetraethyl	MEA, DEA, TEA, MDEA
Blausäure	Methanol
Benzin	Methylethylketon
Benzol	NMP
Brom	Phosgen
Butan	Propan
Butanol	chlorierte Phenol
Chlor	Kohlenwasserstoffe
Chlordioxid	Palmöl
chlorierte Kohlenwasserstoffe	Piperazin
Chlorwasserstoff	Sulfolan
Cumol	Sauerstoff
Dimethylamin	Schwefeldioxid
Dimethyl-formamid	Schwefeltrioxid
Essigsäure	Schwefelwasserstoff
Ethanol	Stickoxide
Ethylenoxid	Styrol
Fettsäuren	Toluol
Fluorwasserstoff	Triethylenglykol
Formaldehyd	Wasser
Hefe	(Trocknung von Erdgas, Chlor)
Hexan	Erdgas, Chlor
Isocyanat	Xylol
Isopropanol	Zucker

Tabelle 3. Auszug von Stoffen, die in mehr als 500 Sulzer-Absorptions- oder Desorptionskolonnen bei Drücken zwischen 1 mbar und 160 bar aufbereitet werden

in konzilianter Zusammenarbeit mit Verwertungsstellen und -firmen, Verbänden, usw. zusammentragen oder berechnen können (Tabelle 2).

ben, Lacken usw. zu reduzieren oder teilweise zu substituieren.

Bestimmt werden von den Entwicklungen in der Schweiz positive Signale in andere Länder übertragen. Man muss sich aber bewusst sein, dass es sich nicht jedes Land volkswirtschaftlich leisten kann, z.B. in der Energieerzeugung auf die schadstoffreiche Kohle zu verzichten!

### Emissionsquellengruppe Verkehr

Bei der Emissionsreduktion im Bereich Verkehr ist der Innovationsbeitrag der schweizerischen Industrie eher bescheiden, denn bekanntlich importieren wir die Motorfahrzeuge fast ausnahmslos, und die  $NO_x$ - und HC-Katalysatoren sind in den USA entwickelt worden. Der Beitrag zur  $NO_x$ - und HC-Reduktion ist bekannt, bei Personen- und Lieferwagen werden über 50% gegenüber den 1984-Werten erwartet.

Der  $CO$ -Austoss ist dank den Motorenbauern schon seit Beginn der 70er Jahre stark rückläufig.

Bedeutende Impulse kamen in jüngster Vergangenheit von der ETH Zürich und IVECO (Saurer) auf dem Gebiete der Messmethodik, so dass für einmal diverse EG-Länder am Stand der schweizerischen Autoabgastechnik gemessen werden können. – Anstehend ist noch immer eine technische Lösung zur Partikelemission von Dieselmotoren, z.B. mittels Partikelfilter-Wechselsystem, Russkatalysator oder katalytischem Russabbrandsystem. Auch ein Schiffsdiessel-Motorenbauer wie die Gebrüder Sulzer muss sich darüber Gedanken machen, denn bekanntlich werden dieselben Motoren in stationäre Anlagen zur Stromerzeugung gebaut.

Entwicklungsanstrengungen (auch auf dem politischen Parkett) werden gemacht, um die etwa 16 000 Jahrestonnen Kohlenwasserstoffe beim Benzinumschlag (entsprechend 5% der gesamten schweizerischen HC-Emissionen oder 0,5% der verbrauchten Benzinmenge) zurückzuhalten. Verfahrenstechnisch sind hierzu keine Entwicklungs- oder gar Forschungsarbeiten zu leisten: Entweder bedient man sich sog. Gasrückführungsleitungen zu den Tanks oder On-board-Systeme (auf Basis-Aktivkohlefilter), bei denen die Gase im Fahrzeug zurückbehalten, während der Fahrt durch die Ansaugluft des Motors regeneriert und mitverbrannt werden.

### Emissionsquellengruppe Gewerbe und Industrie

Industrie und Gewerbe sind sehr heterogen, und es gibt Tausende verschiedener Emissionsquellen (vgl. BUS, Nr. 76, Tab. 16). Man unterscheidet im wesent-

### Umwelttechniken zur Reduktion der Luftschadstoffe

Alle Schadstoffe stammen entweder aus Verunreinigungen im Brenn- und Treibstoff oder aus Prozessprodukten, oder sie entstehen durch unvollständige Verbrennung, chemische Umsetzung oder werden freigesetzt durch Entlüftungen, Leckagen, und dgl. Am wirkungsvollsten sind jene Massnahmen und Verfahren, bei denen weniger Energie und Rohstoffe gebraucht werden und mit denen besonders bei der Verbrennung Schadstoffe vorher aus den Brenn- und Treibstoffen entfernt werden.

### Emissionsquellengruppe Haushalte

Bei den Hausfeuerungen sind schon heute die  $SO_2$ -Werte gegenüber 1984 stark rückläufig, da Heizöl EL seit 1.7. 1987 nur noch 0,2% Schwefel anstelle von 0,3% enthalten darf und, wie Mitte Februar angekündigt, ab 1995 (?) noch 0,1%. Die technische Umstellung für solche Ziele hat in den Raffinerien zu erfolgen, die primär versuchen, schwefelarme Rohöle einzusetzen, und sekundär die Entschwefelung zu verbessern.

Die  $NO_x$ -Fracht, heute bei 160 bis 250 mg/Nm<sup>3</sup> Rauchgas, kann ab Mitte 1992 je nach Feuerungsart für Erdgas auf 80 bis 120 mg/Nm<sup>3</sup> und für Heizöl extraleicht auf 120 mg/Nm<sup>3</sup> reduziert werden, wenn man die verschärften Emissionsgrenzwerte und Sanierungsfristen des Kantons Zürich zum Massstab nimmt. Das Resultat:  $NO_x$ -Reduktion bei Hausfeuerungen um 33% bis 1995 und um 60% bis im Jahre 2000. Sind diese Ziele technisch beurteilt realistisch? – Sicher, der Stand und die Entwicklung der Low- $NO_x$ -Brennertechnik mehrerer schweizerischer Brennerhersteller wird die Einhaltung der «Zürcher Norm» garantieren. Und die beste Entwicklung kommt zur Zeit von der Füllemann Engineering, Bad Ragaz, mit Werten zwischen 50–70 mg/Nm<sup>3</sup> für deren blaubrennende Ölvergasungsbrenner und 30–40 mg/Nm<sup>3</sup> für kalte Erdgasbrenner.

Durch die Low- $NO_x$ -Brennertechnik werden auch die  $CO$ - und Russ-Emissionen drastisch reduziert.

Bei den Kohlenwasserstoffen ist eine Reduktion nur dann zu erreichen, wenn es gelingt, die Lösungsmittelmenge in Far-

lichen die allgemeinen Emissionen aus Feuerungen und der Verdampfung von organischen Stoffen und spezielle Emissionen aus den Branchen Steine und Erden, Chemische Industrie, Mineralöl- und Gasindustrien, Thermische Kraftwerke, Metallindustrie, Landwirtschaft, Lebensmittelindustrie, Abfallentsorgung usw. Dementsprechend vielseitig sind verfahrenstechnische Lösungen zur Vermeidung (Primärmassnahmen) oder Reduktion (Sekundärmassnahmen mittels Umwelttechniken) von Emissionen.

Bei Prozessfeuerungen und Dampferzeugungsanlagen ist, wie bei den Raumheizungen, die  $SO_2$ -Reduktion in den vergangenen Jahren erfolgt durch Umstellung von Heizöl schwer oder mittel auf Heizöl EL oder Erdgas. Bei den heutigen Energiepreisen ist das die billigere Lösung als der Bau einer Rauchgasreinigung mit den zusätzlichen Entsorgungskosten für die Rauchgasreinigungsrückstände.

Für grössere Mengenströme mit *Kohlenwasserstoffen* oder allgemein organische und anorganische, saure und basische Abgase sowie Lösungsmitteldämpfe ist die *Absorptions- oder Gaswaschtechnik* seit Jahrzehnten von der Chemie-Ingenieur-Technik (Tabelle 3) her bekannt. Mit geeigneten Waschflüssigkeiten lassen sich erstaunliche Reingaswerte und verfahrensinterne Recycling-Resultate erzielen, beispielsweise mit dem Attisholz-Sulzer-Verfahren in der Sulfitablaugeverbrennung oder mit dem Sulzer-Abluftreinigungsverfahren für Folienwalzwerke u.ä. Die diskontinuierliche *Adsorption* von vorwiegend wenig mit Schadstoffen beladenen Abluftströmen, die *thermische und katalytische Verbrennung* sind in gewissen Fällen der Absorption überlegen. Eine Entfernung der Schadstoffe aus Abgas- und Abluftströmen ist nur eine halbe Lösung, wenn kein Recycling – mit den geforderten Ausgangsstoff-Reinheiten – möglich ist. Dann bleibt zur Entsorgung organischer Stoffe nur ein radikales Verfahren übrig, die *Oxidation*, volkstümlich «*Verbrennung*» genannt.

*Biologische Verfahren* können leistungsmässig nicht mit rein technischen Prozessen konkurrieren, besonders wenn grössere Schadstoffkonzentrationen und nicht nur reine Kohlenwasserstoffe umzuwandeln sind. Die physikalischen und apparativen Grenzen werden durch die langsamten Stoff-diffusions- und Löslichkeitsvorgängen sowie Druck und Temperatur gesetzt. Geeignete Spezialanwendungen sind aber immer vorhanden.

$NO_x$ -Stickoxide lassen sich eher schlecht absorbieren oder adsorbieren, heute stehen aber eine Vielzahl selekti-

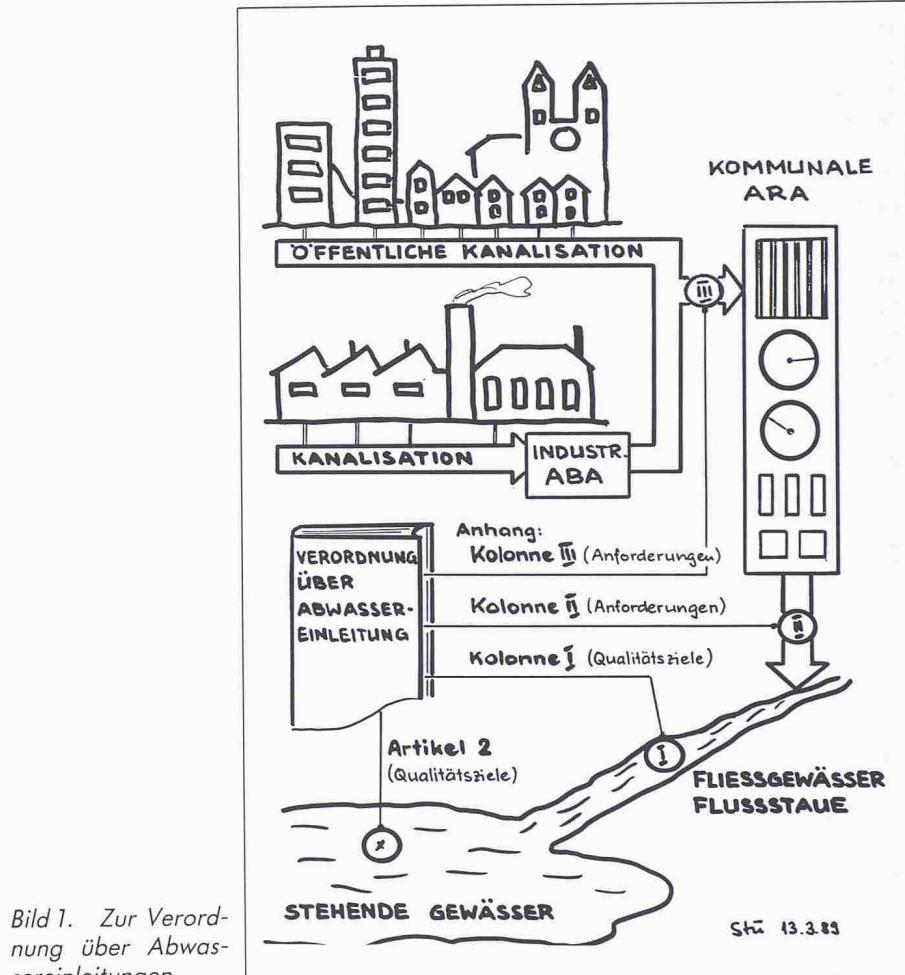


Bild 1. Zur Verordnung über Abwasser-Einleitung

ver Katalysatoren zur Verfügung, die  $NO_x$  mit Reduktionsmitteln wie Ammoniak, Harnstoff u.ä. oder ohne, aber bei sehr hohen Temperaturen ( $T > 800^\circ C$ ), in atmosphärischen Stickstoff und Wasser zerlegen. Ökologisch betrachtet sind solche Verfahren fast perfekt, weil die Entsorgung rückstandsfrei erfolgt: Es entstehen  $H_2O$  und  $N_2$  als Restprodukte. In diese Emissionsquellengruppe gehören auch rund 40 *Kehrichtverbrennungsanlagen*. Der Einbau von erweiterten Rauchgasreinigungen umfasst häufig auch neue Entstaubungsanlagen, fast ausnahmslos Elektrofilter. Die in nicht allen Teilen strenge LRV kann heute um bis 90% unterschritten werden, so dass folgende Werte (alle in mg/Nm<sup>3</sup>) erreichbar sind: Staub: 5-10, HCl: 5-10, HF: 1,  $SO_2$ : 20-50, Pb+Zn: 1; Cd und Hg: je 0,05. Mit dem Einbau einer selektiv-katalytischen Entstoffsstufe hat die Firma Sulzer in einer Demonstrationsanlage  $NO_x$ -Werte weit unter 50 mg/Nm<sup>3</sup> erzielt. Die Entwicklung besonders geeigneter Katalysatoren ist dabei noch nicht abgeschlossen. Eine weitere Entwicklungsaufgabe, die thermische Verbrennung in KVA betreffend, sollte dringend angegangen werden: Der Ausbrand in Flugasche und Schlacke, gemessen als

organischer Gesamtkohlenstoff-Rückstand, sollte verbessert werden im Hinblick auf die Erkenntnisse der Vorgänge in Deponien.

Wie erfolgreich die Umwelttechniken zur Reduktion von *Staubemissionen* sind, lässt sich daraus ersehen, dass 1984 noch 21 700 t Staub und Russ emittiert wurden, 1950 aber 41 600 t. Der Rückgang in Industrie und Gewerbe beträgt 30%, jener der Haushalte 75%. Umstellungen bei Feuerungen und mit Industriefilter-Anlagen haben dazu beigetragen.

### Umwelttechniken zur Reduktion von Gewässerbelastungen

Der Gewässerschutz ist in den letzten 30 Jahren zu einer grossen nationalen Aufgabe geworden. In diese Zeit sind bis heute für Kanalisationen und kommunale und private Kläranlagen mehr als 35 Mia Franken investiert worden. Die erzielten Resultate, sprich Abwasser- und Fließgewässerqualitäten, lassen sich zeigen... aber noch weiter verbessern, besonders durch Reduktion der Belastungen an der Quelle. Warum? – Unter anderem darum, weil die

**Woher kommt das Abwasser?**

In vielen Produktionsprozessen spielt Wasser eine wichtige Rolle als Lösungs- oder Reinigungsmittel, wobei es mehr oder weniger verunreinigt und verschmutzt wird.

Besonders verunreinigte Abwasser entstehen zum Beispiel in:

Galvaniken	Chem. Industrien	Nahrungsmittelindustrie
Beizerien	Pharmaz. Betriebe	Molkereien
Eloxalanlagen	Klebstofffabriken	Getränkeindustrie
Leiterplattenfertigungs- betriebe	Farbenfabriken	Abfüllstationen für Getränke
Verzinkereien	Druckereien	Brauereien
Metalzhütten	Klischeeanstalten	Brennereien
Emaillierwerke	Photografische	Kellereien
Härtereien	Entwicklungsbetriebe	Spitäler und Labors
Akkufabriken	Textildruckereien	Zahnarztpraxen
Maschinenfabriken	Textilwerken	Universitäten, Schulen
Bahn-, Transportbetriebe	Teppichfabriken	Forschungsanstalten
Garagen	Gerbereien	Wäschereien
Verkehrsbetriebe	Lederfabriken	Seifenfabriken
Mineralölindustrie	Färbereien	Waschmittelindustrie
Treibstoff-Umschlagplätze	Filzfabriken	Müllverbrennungsanlagen
		Betonwerken
		Zementindustrie
		Keramikwerke, Ziegeleien

**Wodurch wurde es zum Abwasser?**

In Gewerbe und Industrie können die unterschiedlichsten Chemikalien ins Abwasser gelangen und durch ihre schädliche Wirkung die Umwelt belasten

Die Entfernung folgender Stoffe aus Abwasser ist erforderlich:

Schwermetalle	Lackreste	Fotochemikalien
Cadmium	Latex	Waschmittel
Quecksilber	Lösungsmittel	Spülmittel
Edelmetalle	Feststoffe	Detergentien
Cyanide	Glasschliff	Tenside
Chromate	Kalk	Gelöste Gase
Nitrite	Betonreste	Absorbierte Gase
Barium	Farbstoffe	Bakterien
Säuren	Druckfarben	Organische Stoffe
Laugen	Textilfarben	Öle und Fette
Salze	Dispersionsfarben	Emulsionen
	Klebstoffe	

**Wie wird es wieder Wasser?**

Die Entfernung von Schadstoffen aus dem Abwasser stellt mitunter hohe Ansprüche an die Verfahrenstechnik, vor allem wenn es darum geht, dies mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand durchzuführen. Neben konventionellen Methoden werden neue besonders energiesparende und wirksamere Verfahren angewendet.

Die wichtigsten Behandlungsarten zur Abwasserreinigung sind:

Oxidation	Flockung	Desodorierung
Reduktion	Fällung	Pasteurisierung
Neutralisation	Klärung	Entfärbung
Adsorption	Filtration	Chemische Spaltung
Ionenaustausch	Flotation	Entgiftung
Ultrafiltration	Sedimentation	Entsalzung
Umkehrosmose	Destillation	Enthärtung
	Eindampfung	Wertstoffgewinnung
	Extraktion	

Tabelle 4

Entsorgung der Rückstände der kommunalen Kläranlagen, 4,2 Mio Kubikmeter Klärschlamm, zusehends zu einem nationalen Problem wird. Obwohl die Schwermetallanteile tief sind und eine Ausbringung von Klärschlamm als Düngemittlersatz vertretbar ist, ist die Akzeptanz dieser Art Entsorgung gefährdet. Das Phosphatverbot in Waschmitteln hat zu einer Reduktion des Düngemittelwertes geführt. Phosphor ist in fast allen Klärschlämmen

nämlich der wertbestimmende Hauptnährstoff.

**Die schweizerischen Qualitätsziele für Abwasser und Gewässer**

Die Verordnung über Abwassereinleitungen – zurzeit in Überarbeitung – kennt drei Anforderungen (Bild 1): Erstens Qualitätsziele für Fließgewässer und Flusstause und für stehende Gewässer; diese sollen zweitens erreicht werden durch Anforderungen an Ein-

leitungen in ein Gewässer, wozu Kläranlagen nötig sind, und drittens durch Anforderungen an Einleitungen in eine öffentliche Kanalisation, was eine Vielzahl von Vorbehandlungsanlagen in gewerblichen und industriellen Betrieben erfordert. Wie immer gibt es Ausnahmeregelungen, und die Landwirtschaft erfährt besondere Nachsicht, obschon diese eine dominante Quelle für die Phosphorbelastung in Bächen und Seen sowie die Nitratbelastung im Grund- und Trinkwasser ist.

**Verfahrenstechnische Entwicklungen**

Die Entfernung unterschiedlichster organischer und anorganischer Stoffe, Schwermetalle, Säuren, Laugen, Salze, Lösungsmittel, Lackreste, Schliffreste, Stäube, Druck- und Farbstoffe, Photochemikalien, Wasch- und Spülmittel, Tenside, Emulsionen, Öl und Fette, Bakterien usw. aus dem Abwasser stellt hohe Ansprüche an die Verfahrenstechnik, vor allem wenn es darum geht, dies mit wirtschaftlich sinnvollem Aufwand durchzuführen.

Die moderne *komunale Abwasserbehandlung* begann 1965 mit der einstufigen *Phosphorsimultanfällung*, ab 1975 wurde diese zweistufig durch Kombination mit der Flockungfiltration. Die Realisierung der Phosphorelimination ist heute in den Einzugsgebieten der Seen weitergehend abgeschlossen.

Bereits 1976 wurden für die grösste Abwasserreinigungsanlage der Schweiz (Werdhölzli, Zürich) erstmals Einleitungsbedingungen für den *Ammoniumgehalt* gereinigten Abwassers festgelegt und anschliessend die Nitrifikation in Belebungsanlagen eingeführt. Zur Vorbehandlung von industriell belastetem Abwasser, besonders aus der Nahrungsmittelindustrie, können Tropfkörper eingesetzt werden. Mit modernen Füllmaterialien ausgerüstet oder in Kombination mit Raumfiltern ist die Nitrifikation von  $\text{NH}_4^-$  und  $\text{NO}_2^-$  bis zu niedrigsten Restkonzentrationen möglich. Tauchkörper und Packungen werden neuerdings erfolgreich in grossen technischen Anlagen für nachgeschaltete Nitrifikation eingesetzt.

Während die verfahrenstechnischen Entwicklungen für Nitrifikation und Denitrifikation sowie Phosphorelimination für kommunale Abwasserreinigungsanlagen abgeschlossen sind, bereitet immer wieder die optimale, dem Tagesgang nachfolgende Betriebsführung Schwierigkeiten. Die Zusammenhänge zwischen Wasserchemie, Nitrifikation, pH-Werten, Belüftungssystemen, Belastungsvariationen usw. sind nicht leicht zu durchschauen. Hier liegt ein Entwicklungsschwerpunkt für die

Zukunft: Die Prozessführung muss entscheidend verbessert und das Betriebspersonal besser qualifiziert und geschult werden.

Die *industrielle Abwasserbehandlung* ist äusserst vielfältig und kann nicht ohne spezielle Verursacher-Branchenkenntnisse durchgeführt werden (Tabelle 4). Wie dargestellt, gibt es eine Vielzahl gewährter Behandlungsarten, die der Verfahrensingenieur als sog. Unit Operations oder Unit Processes (Grundverfahren oder -prozesse) versteht und zu einem geeigneten Abwasserreinigungsverfahren zusammensetzt. Sinnvoll und in der Praxis ist es so, dass primär beim abwasserverursachenden Betrieb die Schadstoffe aus einem noch kleinen Mengenstrom herausgenommen werden und vorgereinigtes Abwasser in die Kanalisation, eventuell direkt in den Vorfluter eingeleitet werden können. Die meist noch immer sehr wässrigen, bereits entzogenen Schadstoffe sind einem spezialisierten Entsorgungsbetrieb für Industrieabwasser zuzuführen, wo mittels chemischer Verfahren entgiftet, Sonderabfall aufkonzentriert wird und die Reststoffimmobilisierung bzw. Zuweisung in besondere Deponien wie Salzstock-Kavernen erfolgen.

## Die Situation in der Landwirtschaft

Die Landwirtschaft ist eine dominante Quelle für die verbleibende Phosphor- und Stickstoffbelastung in Grund- und Seewasser, welche zu übermässiger Nährstoff- und Sauerstoffzehrung (Eutrophierung) und zu hohen Nitratkonzentrationen im Trinkwasser führt. Überschlagsmässige Berechnungen ergeben einen jährlichen Vollgülleanfall von über 50 Mio m<sup>3</sup> (Tabelle 5). Gülle (Jauche) ist ein organischer und Stickstoffdünger, aber nur rund 35% der in ihr enthaltenen Wertsubstanz kann von den Pflanzen während der Vegetationsperiode als Nährstoff aufgenommen werden. Der überwiegende Teil vergärt oder gerät durch Auswaschung mit dem versickernden Niederschlagswasser in das Grundwasser. Dasselbe gilt auch für den landwirtschaftlich ausgebrachten Klärschlamm, rund 2 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr.

Die Entwicklung, die einsetzen muss, ist nicht so sehr eine verfahrenstechnische – es gibt zwar einen schweizerischen Hersteller (PBI, Sursee) für Gülletrocknungsanlagen –, sondern eine strukturelle, die landwirtschaftliche Praxis betreffende. Die regionale Belastung pro Hektare Kulturland ist teilweise zu hoch. Darum ist eine Begrenzung der Viehbestände pro verfügbare genutzte Fläche und folglich der Grösse der «Tiersabriken» vorzunehmen; es sind Vorschriften nötig über Ausbrin-

Nutztierbestand (Quelle: Bundesamt für Statistik, 1985)		
Rindvieh	1 857 342 Stück bzw. 1 135 700 DGVE	
Schweine	1 991 176	268 700
Nutzhühner	6 380 149	54 000
Andere	399 116	112 000

(1 DGVE = Düngergrossviehseinheit; Mass für den Düngeranfall einer 600 kg schweren Kuh)

*Gesammelte frische Ausscheidungen* (Quelle: Biogashandbuch)

Mastrindvieh: 850 000 GVE 15 300 000 m<sup>3</sup>, 1 496 000 t TS

Mastschweine: 1 800 000 GVE 27 000 000 m<sup>3</sup>, 1 512 000 t TS

Lege-, Masthennen: 47 000 GVE 296 000 t, 50 300 t TS

Andere: direkt auf Hof und Feld ausgeschieden

*Plus*

Stall-, Tierreinigungswasser	2 500 000 m <sup>3</sup>	-
Rieselkühlung, Milch-Geschirr-Reinigung	8 000 000 m <sup>3</sup>	-
Vollgülle und Mistanfall ohne Einstreu	<u>53 Mio. m<sup>3</sup></u>	<u>3 Mio t TS*</u> (75% org. TS)

1 GVE hat einen BSB<sub>5</sub>-Wert von 960 g O<sub>2</sub> pro Tag, der EWG (Einwohnergleichwert für Abwasser) beträgt 72 g O<sub>2</sub> pro Tag.

→ Gülle- und Mistanfall entspricht	36 Mio. EGW
Alle kommunalen ARA haben	<u>11 Mio. EGW</u>

\* enthaltend: 200 000 t N, 100 000 t P, 230 000 t K, 110 000 t Ca, 125 000 t Ammonium, 40 000 t Mg, 50 000 t Na

Tabelle 5. Jährlicher Anfall von Gülle und Mist in der Landwirtschaft

gen von Gülle, erorderliche Jauchegrubenvolumen, die Düngepraxis in unmittelbarer Nähe von Seen und Bächen, usw.

## Die Deponien

Die sichere Entsorgung von Abfällen aus Industrie, Landwirtschaft und Haushalt sowie von Rückständen aus Umweltunfällen ist die Voraussetzung für die Sicherstellung einer einwandfreien Trinkwasserversorgung. Recycling, Kompostierung, Verbrennung und Wertstoffrückgewinnung reduzieren das Abfallproblem, aber es bleiben immer nicht brennbare Stoffe zurück, die zu deponieren sind.

Die Situation in der Schweiz stellt sich nicht mit der gleichen Schärfe wie in den meisten Industrieländern. Seit Jahrzehnten wird der grösste Teil der Siedlungsabfälle verbrannt (heute etwa 85%), seit 1976 gibt es gesetzliche Deponierichtlinien, und schliesslich ist der Anfall an industriellen Feststoffabfällen viel kleiner als in Ländern mit schmutzigen Grundstoff-, Prozess- und Halbzeugherstellungs-Industrien. Dennoch ist eine Verharmlosung unangebracht. Denn: Ein «Altablagent-Kataster» würde ergeben, dass wir in der Schweiz etwa 1000 nachgewiesene Deponien der Klassen II, III oder IV, etwa 2000 Deponiestellen unbekannten Inhalts, etwa 500 grössere Schadstoffanreicherungen im Bereich von Industrie- und Gewerbebetrieben sowie 400 bis 500 grössere Chemie- und Ölunfälle und noch mehr

rere 1000 unbekannte Ablagerungen näher zu untersuchen haben. Deponien, in denen aufgrund vorhandenen organischen Materials (z.B. aus Siedlungsabfällen stammend), mikrobiologische Abbauprozesse stattfinden, werden als *Reaktordeponie* bezeichnet. Es entsteht ein Gasgemisch mit den Hauptkomponenten Methan und Kohlendioxid und Sickerwasser, reich an gelöstem organischem Kohlenstoff, die nachbehandelt werden müssen. Solche, und das sind heute die meisten unserer Deponien, sind zu Beginn aerob, doch mit der Abnahme von Sauerstoff kommen bakterielle Prozesse in Gang, bei denen Säuren gebildet werden. In dieser sauren anaeroben Phase mit niedrigen pH-Werten werden Metalle mobilisiert und mit anderen löslichen Stoffen ausgewaschen, so dass sie in den Wasserkreislauf gelangen.

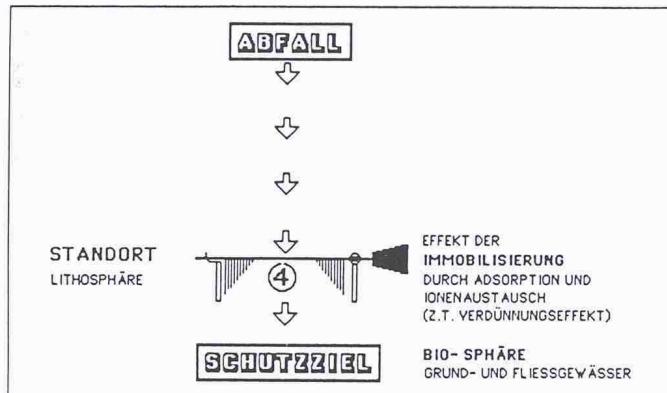
In Bild 2 (vgl. SIA Heft 4/1989) sind Stand und Entwicklung sowie die Philosophie der «Barrieren» ersichtlich. Dabei bedeuten:

### Barriere 4:

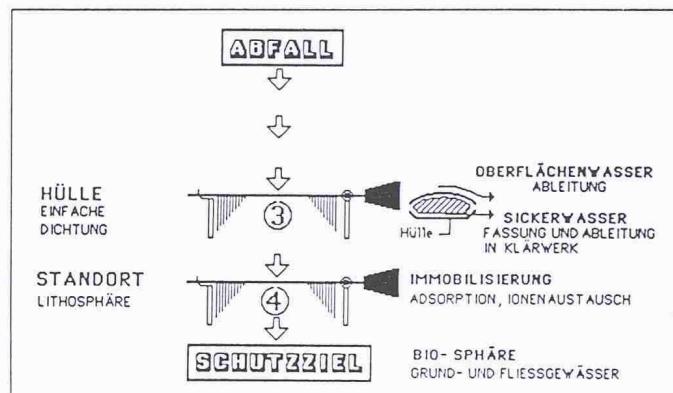
Geologischer Standort als Hindernis gegen den ungehinderten Schadstofftransport ins Grundwasser. – Bis Ende der 60er Jahre stand der Technik, keine weiteren technischen Massnahmen getroffen.

### Barriere 3:

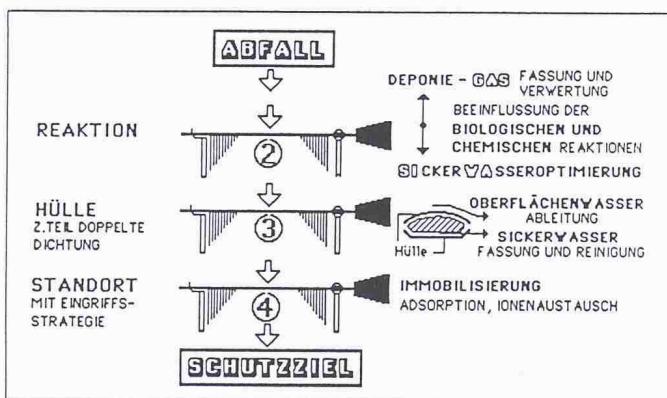
Technische Hülle (Basis und Deckel zwecks Fassung des Sickerwassers und Zuleitung in ein Klärwerk und zwecks Oberflächendichtung zur Trockenle-



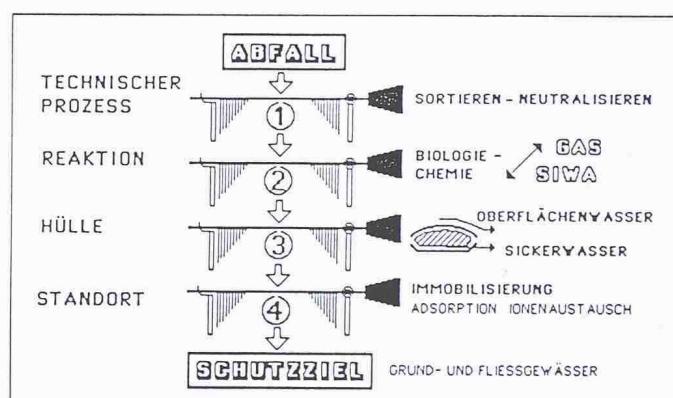
Stand der Deponietechnik bis Ende der 60er Jahre. Mehr oder weniger geeignete Standorte, keine technische Massnahme



Deponietechnik in den 70er Jahren. Konzept der Hülle (Basis und Deckel)



Stand der Deponietechnik Anfang der 80er Jahre. Kontrollierte und z.T. gesteuerte Reaktorphase



Stand der Deponietechnik Anfang der 90er Jahre. Wert- und Schadstoff-Vorabscheidung

Bild 2. Stand der Deponietechnik

gung und Sickerwasserfrachtreduktion der Deponie. – Deponietechnik der 70er Jahre mit aerober Lagerung.

#### Barriere 2:

Spezielle Fassung und Behandlung von Sickerwasser und Gas, gesteuerte biologische und chemische Verrottung in verdichteter Deponie. – Anfang der 80er Jahre.

#### Barriere 1:

Entlastung der Deponie durch technische Wert- und Schadstoffe – Vorabscheidung, Vorbehandlung, Fixierung und Kompartimenteinlagerung von Abfällen und Schadstoffen. – Stand Anfang 90er Jahre.

#### Barriieren Modell 2000:

Durch technische Prozesse sollen endlagerfähige Reststoffprodukte produziert werden, so dass es in der Endlagerung weder zur Nachreaktion kommt noch dafür einer technischen Hülle bedarf. – Stand im Jahre 2000?

Mit dieser Darstellung ist eigentlich gezeigt, dass alle heutigen Verfahren zur Sickerwasseraufarbeitung und Deponeigasfassung nur temporär, z.T. Reparaturlösungen sind. Das Barrieren-Modell 2000 ist bestechend, die Realisierung erfordert aber viel interdisziplinäre Chemie-Ingenieur-Arbeit.

## Umwelttechniken zur Reduktion von Bodenbelastungen

Aus der Zusammenstellung über den jährlichen Anfall an festen Abfällen (Tabelle 2) geht implizit hervor, welche bedeutende Stellung das Recycling von Abfällen und Sammelstoffen einnimmt und aber auch schon immer eingenommen hat. Was heute anders ist gegenüber früher, ist die Erkenntnis, dass Produkte und Materialien so wie sie ausgedient haben, nicht abgelagert werden dürfen... vorwiegend wegen der Verunreinigung von Boden und Gewässern und weniger wegen Geruchsemissionen aus verrottenden Deponien. Setzt man konsequent die wohl beste Strategie zur Verhaltensänderung und Bekämpfung der Umweltbelastung um: «vermeiden – vermindern – verwerten – beseitigen», so verbleiben zwei technische Verfahren, die heute aber von der Bevölkerung am wenigsten Unterstützung finden: *Verbrennen* und *Deponieren*.

### Anorganische Abfall- und Reststoffe

Das 1986 erarbeitete «Leitbild für die Schweizerische Abfallwirtschaft»

strebt klar und eindeutig die vollständige Entsorgung aller anfallenden Abfälle im eigenen Land an. Am Ende der Abfall-Linie sollen nur Stoffe anfallen, die verwertet oder endgültig entweder in *Inertstoff-Deponien* oder in *Reststoff-Deponien* gelagert werden können. Von den jährlich rund 380 000 t Sonderabfällen, deren Menge stark zunehmend wird wegen der zunehmenden Bereitschaft zur Sortierung und korrekten Abfalldeklarierung, sind etwa 60% anorganischer Natur und folglich nicht verbrennbar.

Die Behandlung des anorganischen Abfalls verlangt arteigene chemisch-physikalische Verfahrensstufen. Gemeint sind damit u.a. chemische Stoffumwandlungen mit dem Ziel einer Schadstoff-Aufkonzentrierung und anschliessender Entgiftung zu beispielsweise schwerlöslichen Oxiden oder Hydroxiden. Solche anorganische Reststoffprodukte sind anschliessend mit geeignetem Material zu verfestigen und endgültig zu lagern in einer Reststoffdeponie.

### Reststoffe nach der Verbrennung

Die thermische Behandlung von Abfällen, im besonderen die Verbrennung

von Siedlungsabfällen, ist im schweizerischen Entsorgungssystem von grundlegender Bedeutung und aus dem «Leitbild für die Schweizerische Abfallwirtschaft» nicht wegzudenken. Neben der Minimierung gasförmiger Schadstoffe sind in Zukunft verstärkt auch etwaige Folgebelastungen durch zu deponierende Reststoffe in umweltrelevanten Grenzen zu halten (Bild 3).

Bei der Kehrichtverbrennung (KVA) fallen pro Tonne feste Siedlungsabfälle, die zu einer Bodenbelastung führen, an: 260 bis 280 kg extrem heterogene, mit Blech, Keramikbruchstücken, Eisen- und nicht magnetischen Metallteilen durchsetzte Sinterschlacke, 20 bis 35 kg grob- bis feinstaubige, metall- und schwermetallhaltige Flugasche sowie 5 bis 10 kg stichfester Filterkuchen aus der Abwasserbehandlungsanlage der erweiterten Rauchgasreinigung. Die Rauchgasschadstoffe HC1, HF und SO<sub>2</sub> werden üblicherweise als Chlorid, Fluorid und Sulfat im Abstosswasser aus der Rauchgasreinigung einem Fliessgewässer zugeleitet (150 bis 300 l/t Abfall). Wo dies aus Gewässerbelastungsgründen nicht zulässig ist, müssen durch ein Quasi-trocken- oder Trocken-Rauchgasreinigungsverfahren 15 bis 24 kg Reaktionsprodukte und Additive pro Tonne entsorgt oder das Abwasser aus der Rauchgasreinigung zu einer Salzsole aufkonzentriert oder eingedampft werden. Dann ist eine Wiederverwendung z.B. im Strassenstreudienst möglich.

Problemstoffe für den Boden sind bei der Schlacke deren Feinanteile, an welchen oft schwermetallhaltige Partikel anhaften. In einer sog. Schlackenwäsche lassen sich auch noch Restsalze und andere wasserlösliche Stoffe abstreifen. Dann sind KVA-Schlacken für Gelände aufschüttungen zulässig, da die Eluierbarkeit äusserst tief, die Schlacke «inert» ist. Mit der Filterasche und den Rückständen aus der erweiterten Rauchgasreinigung verhält es sich anders.

### Reststoffimmobilisierung

Die mit Schwermetall angereicherten feinen Filterstäube aus KVA müssen nach den heutigen Erkenntnissen verfahrenstechnisch weiter behandelt werden, weil noch 10 bis 40 g/kg organischer, nicht verbrannter Kohlenstoff vorhanden ist. Damit ist dieser biochemisch Abbau zugänglich wie in einer sog. Reaktordeponie, und die toxisch wirkenden Schwermetalle sind auslaugbar. Bei Kohleasche und -staub stellt sich diese Problematik viel weniger.

Unsere gesetzlichen Verordnungen verbieten eine gemeinsame Deponie von Schlacke und Filterasche und verlan-

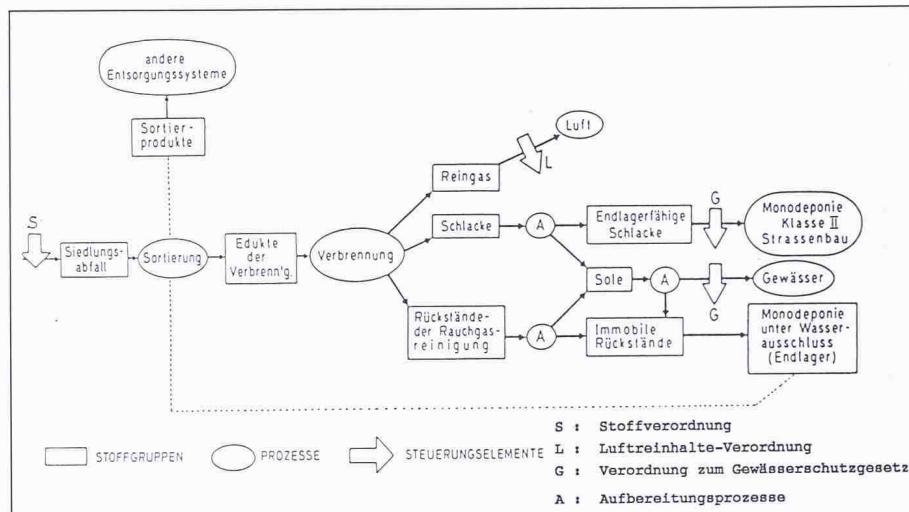


Bild 3. Schematische Darstellung des Stoffflusses durch das Entsorgungssystem Verbrennung

gen nach einer weitergehenden Filterstaub- und Reststoffbehandlung. Mit dem von Sulzer pilotierten FLUPIL-Verfahren (Bild 4) werden die Rückstände so weiterbehandelt, dass sie mit minimalen Zuschlagstoffmengen, das sind Zement und Additive, verfestigt, und Sickerwasser kontrolliert in Reststoffdeponien endgelagert werden können.

### Forschung und Entwicklung

Geeignete chemisch-physikalische Vorbehandlungsverfahren sind heute in der Schweiz bereits entwickelt; der Grad einer chemischen Umsetzung oder physikalischen Abtrennung ist im wesentlichen nur eine Frage des Aufwandes und Einsatzes an Energie und Hilfsstoffen.

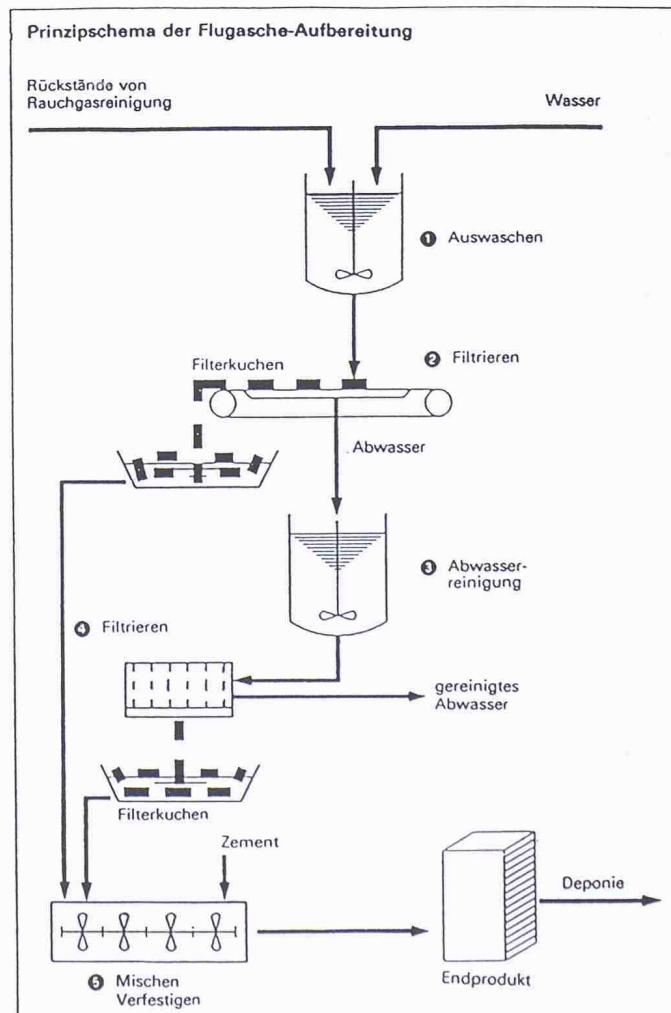


Bild 4. Prinzipschema der Flugasche-Aufbereitung

- 1 Einkapselung
  - Oberflächenabdeckung
  - Seitliche Abschottung durch Dichtwände
  - Sohleabdichtung
- 2 Bodenaustausch mit Verlagerung und kontrollierter Deponierung
- 3 Hydraulische Massnahmen mit Dekontamination des geförderten Wassers
- 4 On-site-Behandlung mit Herausnahme des Bodens
  - Fixieren durch Zugabe von Bindemitteln
  - Auswaschverfahren mit z.B. Wasser und hohem Druck
  - Extraktion mit Lösemittel
  - Thermische Behandlung, Drehrohrofen mit direkter und indirekter Beheizung
- 5 In-situ-Behandlung
  - Absaugen von leichtflüchtigen Stoffen durch Unterdruck
  - Extraktion (Bodenwäsche)
  - Immobilisierung, Reduzierung der Löslichkeit
  - Biologischer Abbau bzw. Oxidation
  - Biologische Elimination von CKWs mittlerer und geringer Konzentration durch bereits vorhandene adaptierte Bakterien
  - Bakterien mit mineralischer Düngung durch Versickerung
  - Einsatz speziell gezüchteter Bakterien

Tabelle 6. Techniken zur Sanierung von Altlasten und Bodenkontaminationen

Entwicklungen sind im Gange, auch bei der Firma Sulzer, für Zuschlagstoffrezepteuren und Immobilisierungsverfahren. Für gewisse Reststoffe ist ebenfalls eine Behandlung in sog. Glasschmelze-Verfahren denkbar; Entwicklungen hierzu sind im Gange bei ABB und andern Firmen. Glasschmelze-Verfahren sind aber äusserst energieaufwendig und können nicht ohne Rauchgasreinigungsanlagen betrieben werden.

Die Forschung hat vor allem die Pilotprojekte und die Endlagerfähigkeit von Reststoffprodukten in Deponien zu verfolgen. Noch wenig entwickelt und technisch behandelt ist der Fragenkomplex der Altlasten-Sanierung. Die Verfahrensvielfalt ist gross, (Tabelle 6), die individuellen Mängel sind es ebenfalls. Kurz einige Probleme:

Ist eine thermische Bodensanierung vertretbar, wenn organische Böden mineralisiert und dadurch biologisch wertlos werden? – Nur dann, wenn die Reduktion des toxischen Potentials die Einbusse an organischer und biologischer Materie aufwiegt.

Ist eine Sanierung chemisch verseuchter Böden auf mikrobiologischer Basis mit Bakterien vertretbar, wenn diese nur Kohlenwasserstoffe abbauen, nie aber Halogene und Schwermetalle zum Verschwinden bringen können? Wenn über die anschliessende Vernichtung der anfänglich willkommenen Giftfresser-Tierchen nur Ungenügendes be-

kannt ist? Eine unkontrollierte Abwanderung und Ausbreitung via Grundwasser wäre nicht zu verantworten! – Befürchtungen und Proteste der Gen-technologie-Gegner lassen grüssen!

## Ausblick

Der Bogen in den obigen Ausführungen wurde bewusst weit gespannt, und dennoch sind die Umwelttechniken nicht detailliert beschrieben worden, besonders keine Lärmschutztechniken. Im Alltag wird aber der Lärm als Umweltproblem Nr. 1 empfunden. Nicht behandelt ist der Stand der Recycling-Technologien, der viel höher ist, als allgemein bekannt. Recycling in der Industrie wurde schon immer praktiziert!

Die Absicht meiner Ausführungen war, einerseits die Vielfalt und Komplexität der Umweltbelastungen aus verschiedensten Lebens- und Wirtschaftsbereichen mit Zahlenangaben zu belegen und anderseits zweitens anzudeuten, wieviele Fachgebiete mitzuberücksichtigen sind, wenn ein industrielles Produkt oder eine Verfahrenslösung auf dem Markt «Umwelttechnik» Erfolg haben will. Die enormen multidisziplinären Anforderungen, der Pilotcharakter vieler Vorhaben und unternehmerische Fehleinschätzungen sind es, die diesen Markt schwierig und teilweise unattraktiv machen.

### 1. Vermeiden

- Produktionsprozess überarbeiten
- Problemstoffe ersetzen

### 2. Vermindern

- Prozessoptimierung, Katalyse
- Geschlossene Prozessführung
- Internes Recycling
- Austritt in Ökosphäre verhindern bzw. auffangen

### 3. Verwerten

- Erfassen an der Quelle
- Sortieren
- Externes/internes Recycling
- Regeneration
- Energierückgewinnung aus Verbrennung

### 4. Beseitigen

- Austritt in Ökosphäre verhindern
- Verbrennung fördern
- Überführung in wenig umweltbelastende Form
- Deponieren

Was tun gegen die Umweltbelastung?

Chancen sind da, und von gesetzgeberischen Anforderungen können bedeutende innovative Impulse ausgehen. Dazu aber eine Bemerkung aus dem eigenen Erfahrungsbereich: Vor zwölf Jahren hatte Sulzer ein Verfahren zur Klärschlamm-Hygienisierung zum Abschluss gebracht und mit grossen Kosten an mehreren Orten in der Schweiz installiert. Dem Verfahren blieb der Durchbruch versagt, weil sich zwei eidgenössische Bundesämter nicht durchringen konnten, die vor fünfzehn Jahren geäusserten, die Entwicklung auslösenden Absichten rechtens verbindlich zu erklären.

Es bleibt zu hoffen, dass nicht nur die Industrie Fortschritte macht, sondern auch die Gesetzgeber; die vielen Gebote und Verbote bedürfen dringend einer Ergänzung durch Lenkungsabgaben. Auch sind Praxisnähe und Stand der Technik bei den Ämtern und eidgenössischen Anstalten nicht immer konkurrenzfähig... aber mit gutem Willen lassen sich gemeinsam gangbare Lösungen finden.

Adresse des Verfassers: Dr. Alexander Stücheli, Gebrüder Sulzer AG, 8401 Winterthur.