© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Der Einfluß von Abwässern und Sickerwässern aus Mülldeponien auf das Grundwasser

K. H. HARTKORN

A. Feste Abfallstoffe aus Haushalt, Gewerbe und Industrie, Probleme der Ablagerung, Gefahren der Wasserverseuchung.

B. Maßnahmen zur schadlosen Beseitigung von Abwässern und Sickerwässern.

In der Bundesrepublik Deutschland wurde nach REIMER (1) für das Jahr 1970 ein Müllaufkommen von 18 Millionen Tonnen Hausmüll, 18 Millionen Tonnen Industriemüll, 0,9 Millionen Tonnen mineralölhaltigem Müll, 48 Millionen Tonnen Klärschlämme und 0,6 Millionen Tonnen Autoschrott =

85,5 Millionen Tonnen/a

errechnet. Pro Kopf der Bevölkerung sind dies 1.425 kg/E/a bzw. 3 m^3/E/a.

Das Volumen wird mit rd. 200 Millionen m^3/a angegeben. Dabei wurde der Schlamm mit 95% Wassergehalt angegeben, er ist demnach entsprechend reduziert anzusetzen.

Das Statistische Bundesamt hat für das Jahr 1969 für Haus- und Industriemüll = Zivilisationsabfälle 39,7 Millionen Tonnen angegeben.

Die Vorschau auf das Jahr 1980 weist

eine Steigerung von rd. 26%, bezogen auf das Gewicht, und eine Steigerung von 30%, bezogen auf das Volumen,

aus. Im Vergleich zur Bevölkerung machen die Steigerungsraten 30 bzw. 36,5% aus.

Noch im Jahr 1962, also vor neun Jahren, wurden von FERBER (2) auf Grund langjähriger Erfahrungen in Westdeutschland 180 bis 220 kg/E/a, bei 60 Millionen Einwohnern also im arithmetischen Mittel 12 Millionen/to/a Hausmüll angesetzt.

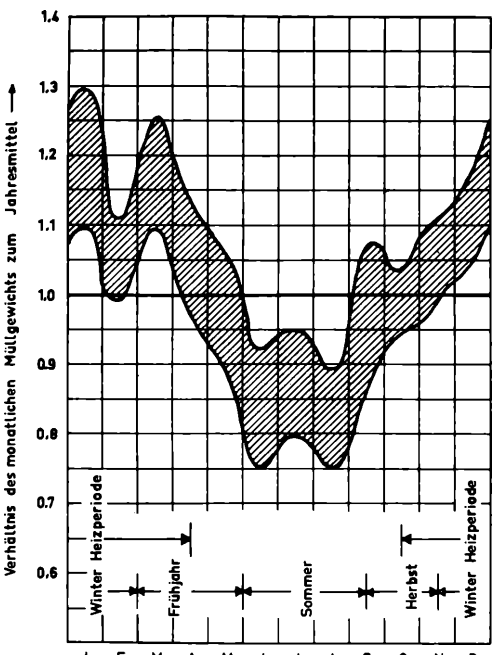
© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Es wird dort festgestellt, daß „es für die weitverbreitete Meinung, daß die Müllmenge ständig anwachse, noch keine allgemeingültigen Beweise gibt".

Weiter wird ausgeführt, daß die „Zunahme wohl 15 bis 20% in 10 Jahren kaum überschreiten dürfte"

Die Entwicklung hat die Vorschau also bereits überholt. Es ist anzunehmen, daß die Tendenzen in Europa ähnlich wie in den USA verlaufen werden.

Zumindest lassen sich beim Müll Zuwachsraten in der gleichen Steigerung errechnen, wie sie CLODIUS (3) in seiner Vorschau für den Wasserverbrauch für die nächsten 30 Jahre angibt.



Hüllkurven der jahreszeitlichen Schwankungen des Müllanfalls in Westeuropa

Abbildung 1

Müll- u. Abfallbeseitigung, E. Schmidt-Verlag, Berlin, Abschnitt 1740, S. 10

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Hier wird mit einer jährlichen Steigerung von durchschnittlich 3% des häuslichen Wasserverbrauches gerechnet.

Verglichen mit den Erhebungen von REIMERS (1) kann für die letzten 10 Jahre Deckungsgleichheit unterstellt werden.

Müll weist in Abhängigkeit von den Jahreszeiten Schwankungen im Volumen, Gewicht — gemessen an der Trockensubstanz — und Wassergehalt auf.

In Abbildung 1 ist die Hüllkurve der jahreszeitlichen Schwankungen des Müllanfalles in Westeuropa dargestellt. Man kann daraus entnehmen, daß nur drei Monate eines Jahres niedrige Gewichte ausweisen, während bei 7 Monaten das Gewicht erheblich über dem Durchschnitt und bei 2 Monaten in der Nähe des Mittelwertes liegt.

JÄGER (4) stellte an Hand von Erhebungen über einen Zeitraum von 5 Jahren in acht deutschen Städten den Wassergehalt des Mülls zusammen.

Das Ergebnis ist in Abbildung 2 zu sehen. Aus den Angaben läßt sich ein durchschnittlicher Wassergehalt von

34 bis 35% im Sommermüll und
17 bis 28% im Wintermüll

ermitteln.

	— Schwankungsbereiche —		
		Sommermüll	Wintermüll
Baden-Baden (8)	1959/60	35—45	20—35
Stuttgart (9)	1960	35—50	17—30
Bielefeld (3)	1961	30—52	18—30
Gütersloh (3)	1961	25—35	17—25
Herford (3)	1961	35—49	13—35
Krefeld (1)	1962/63	35—45	20—25
Pinneberg (2)	1963/64	25—37	15—25
Emshorn (2)	1963/64	25—36	18—25

Im Durchschnitt können folgende Bereiche angenommen werden:
Wassergehalt von Sommermüll: 34—45%
Wassergehalt von Wintermüll: 17—20%

Abbildung 2
Wassergehalt im deutschen Müll
aus: Müll- u. Abfallbeseitigung, E. Schmidt-Verlag, Berlin, Abschnitt 1760, S. 11

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Vergleicht man repräsentative Jahresganglinien des Wassergehaltes — hier nach JÄGER als Beispiel die des Untersuchungsgebietes Pinneberg 1963/64 — so ergibt sich das Diagramm (Abbildung 3).

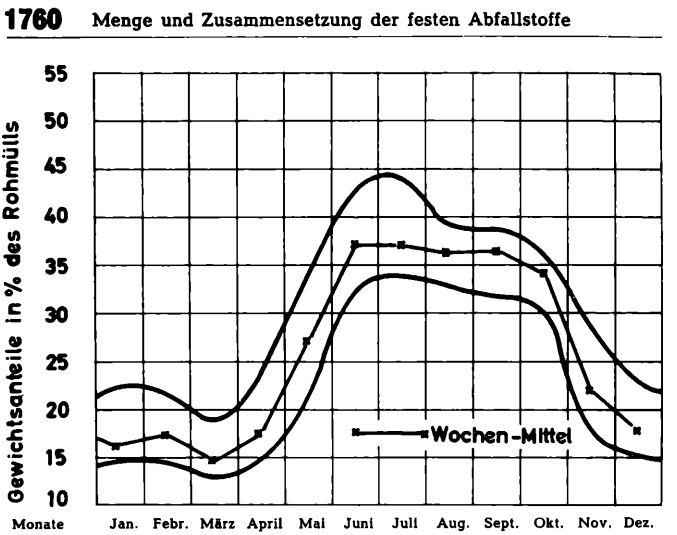


Abbildung 3
Müll- u. Abfallbeseitigung, E. Schmidt-Verlag, Berlin, Abschnitt 1760, S. 12

Die Auswertung läßt den Schluß zu, daß die Monate

Dezember, Jänner, Februar, März und April	mit 18%
der Mai	mit 28%
der November	mit 23%
der Oktober	mit 34%
und die Monate Juni, Juli, August und September	mit 37%

Wassergehalt angesetzt werden können.

Daraus läßt sich im Vergleich zur Hüllkurve des Müllanfalles in Westeuropa — bei Ansatz eines mittleren Raumgewichtes von 300 kg/m³ — die monatliche Wassermenge je m³/Müll errechnen. Sie ist in Abbildung 4 wiedergegeben.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Januar
Faktor 1,19 × 300 = 357 kg/m³ × 18% = 64,26 l Wasser/m³ Müll
Februar
Faktor 1,06 × 300 = 318 kg/m³ × 18% = 57,24 l Wasser/m³ Müll
März
Faktor 1,17 × 300 = 351 kg/m³ × 18% = 63,18 l Wasser/m³ Müll
April
Faktor 1,05 × 300 = 315 kg/m³ × 18% = 56,70 l Wasser/m³ Müll
Mai
Faktor 0,96 × 300 = 294 kg/m³ × 28% = 82,32 l Wasser/m³ Müll
Juni
Faktor 0,84 × 300 = 252 kg/m³ × 37% = 93,24 l Wasser/m³ Müll
Juli
Faktor 0,87 × 300 = 261 kg/m³ × 37% = 96,57 l Wasser/m³ Müll
August
Faktor 0,83 × 300 = 249 kg/m³ × 37% = 92,13 l Wasser/m³ Müll
September
Faktor 0,97 × 300 = 291 kg/m³ × 37% = 107,67 l Wasser/m³ Müll
Oktober
Faktor 0,99 × 300 = 297 kg/m³ × 34% = 100,98 l Wasser/m³ Müll
November
Faktor 1,06 × 300 = 318 kg/m³ × 23% = 73,14 l Wasser/m³ Müll
Dezember
Faktor 1,08 × 300 = 324 kg/m³ × 18% = 58,32 l Wasser/m³ Müll
— Erstellt nach der Hüllkurve (1) und dem Diagramm (3).

Abbildung 4
Die Errechnung des Wassergehaltes in einem Raummeter Müll in jahreszeitlicher Abhängigkeit
Grundlage: Müll- und Abfallbeseitigung, E. Schmidt-Verlag, Berlin

Rechnerisch ergeben sich daraus für das Jahr 1970
4 591.750 m³
Flüssigkeitsmenge im bundesdeutschen Hausmüll.

Über den Industriemüll liegen hinsichtlich des Wassergehaltes keine brauchbaren Angaben vor. Man kann jedoch nach Meinung mehrerer

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Autoren ohne weiteres davon ausgehen, daß im Industriemüll mindestens die gleiche Flüssigkeitsmenge wie im Hausmüll enthalten ist.

Per Anno ist also die Flüssigkeitsmenge im deutschen Müll für das Jahr 1969 mit

rd. 9,000.000 m^3

anzunehmen.

Es ist erforderlich, die Gesamt-Flüssigkeitsmenge anzusetzen, denn auch bei der Verbrennung fallen die Flüssigkeitsmengen entweder durch Verdampfen (Emission) oder in Form der Brüden wieder an und belasten den Wasserhaushalt.

Glücklicherweise können die Brüden als kontrollierbar angesprochen werden. In den weitaus meisten Fällen werden sie aus Verbrennungsanlagen auch bereits erfaßt, d. h. in entsprechende Abwasser-Reinigungs-Anlagen eingeleitet.

Ein anderer Abwasserfaktor im Müll ist weitaus kritischer; die Niederschläge, die auf die Oberflächen der Müllhalden fallen und das eigentliche Mengenproblem der Sickerwässer verursachen.

Bleibt man bei der vorgenannten Rechengrundlage von 19 Mill. to/a Hausmüll und unterstellt man, daß bereits 50% des Industriemülls anderweitig vernichtet werden (Verbrennung, Wiederverwendung in der Produktion, Verfrachten in das Meer), dann sind für die Ablagerung immer noch rd. 9 Mill. to/a anzusetzen. Die Zahl ist mit Sicherheit zu niedrig, soll jedoch für die Rechnung beibehalten werden, da auch eine entsprechende Menge Hausmüll bereits verbrannt wird.

Insgesamt sind also 27 Mill. to/a bei einem Raumgewicht von 300 kg/m^3 in Ansatz zu bringen, woraus sich ein Jahres-Müll-Volumen von

90,000 000 m^3

ergibt. In dieser Menge sind die Anteile der Schlämme aus Abwasser-Reinigungs-Anlagen nicht enthalten.

IMHOFF (5) gibt in der Liste der Schlamm-Mengen eine Reihe von Werten für die Schlämme aus einzelnen Verfahren an. Sie werden als Grundlagen für die Errechnung der nachstehenden Mengen verwendet.

Da die Mengen von der Art der Reinigungsverfahren abhängig sind, wird die Unterteilung nach den Angaben des Bundesministeriums für Gesundheitswesen (6) vorgenommen.

Demnach errechnet sich folgende Situation aus kommunalen Abwasser-Reinigungs-Anlagen:

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Summe aller Abwasseranfälle	100%	Einwohner
1. Abgänge ungereinigt	26%	15,600.000
2. Abgänge mechanisch gereinigt	40%	24,000.000
3. Abgänge teilbiologisch gereinigt	11%	6,600.000
4. Abgänge vollbiologisch gereinigt	23%	13,800.000
		60,000.000

Die Unterteilung läßt es zu, Rückschlüsse auf die Schlamm-Mengen in Abhängigkeit von den Reinigungsverfahren zu ziehen. Die Ergebnisse sind in der Tabelle (Abbildung 5) wiedergegeben.

	1/E/T	Wasser-gehalt %	Schlamm-Menge m^3/a	Trocken-substanz to/a	Restmenge nach Trocknung bei 5 WG to/a
mech.	1,08	95	9,460.800	473.000	1,051.000
teilbiol.	1,48	95	3,565.320	178.266	396.146
vollbiol.	1,87	95,5	9,419.190	423.864	941.920
Gesamt			22,445.310	1,075.130	2,389.066

Abbildung 5

Klärschlammengen in Abhängigkeit von den Behandlungsverfahren und der anteiligen Bevölkerung

Unterstellt man, daß alle kommunalen Schlämme
mindestens über Erdbecken,
zu $^2/_5$ über Faultürme und
zu max. 10% über sonstige Behandlungsanlagen
gelangen und insgesamt alle Schlämme mindestens der Trocknung über Trockenbeete unterzogen werden, so sind rd. 20 Mill. m^3 Wasser aus diesen Schlämmen unter Kontrolle, vorausgesetzt, daß die Drainage-abläufe der Trockenbeete wieder dem Einlauf von Kläranlagen zugeführt werden.

Immerhin läßt sich danach eine Jahres-Trocken-Schlamm-Menge von

2.389 066 to aus kommunalen Abwasser-Reinigungs-Anlagen

errechnen.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Verschiedene Autoren sind sich einig darüber, daß mindestens die 1,3fache Menge für industrielle Schlämme = rd. 3,106.000 to/a anzusetzen ist, so daß mit Sicherheit mit

rd. 5,500 000 to/a Schlamm bei 55% Wassergehalt

gerechnet werden muß.

HAENERT (7) berichtet über 30 Müll- und Schlamm-Verbrennungs-Anlagen in Deutschland.

Im Bereich des Landes Hessen existieren bei rd. 5 Mill. Einwohnern nur drei derartige Verbrennungsanlagen für die Städte Frankfurt, Darmstadt und Offenbach.

Über die Anzahl industrieller Müllverbrennungsanlagen können keine Unterlagen herangezogen werden. Man kann jedoch unterstellen, daß rd. 40 bis 50% des industriellen Mülls von der Industrie verbrannt werden, da vielfach in den Industrie-Unternehmungen in vorhandenen Kraftwerken und Heizkesselanlagen die Verbrennung mit erfolgt.

Mit einiger Wahrscheinlichkeit kann man daher annehmen, daß von den errechneten Schlammengen rd. $^2/_5$ durch Verbrennen beseitigt werden, so daß per Anno noch ein Schlammanfall von 3,3 Mill. Tonnen verbleibt.

Da zahlreiche Abwasser-Reinigungs-Anlagen relativ klein sind und sich in teilweise ländlicher Gegend befinden, dürfte die Annahme zutreffen, daß rd. 50% der verbliebenen Schlämme zusammen mit dem Müll in wilden oder geordneten Deponien abgelagert werden.

Ein spez. Gewicht von 1 zugrunde gelegt, ergibt dies ein Volumen von nochmals 1,650.000 m³, die dem errechneten Gesamtmüll hinzuzuzählen sind, so daß insgesamt ein Müllaufkommen von

rd. 91,65 Millionen m³/a

für das Jahr 1969 angesetzt werden muß.

Für die geordnete Deponie wird allgemein mit einer Schichthöhe von 2 m gerechnet. Vielfach ist die Auflagerung wesentlich niedriger. Bleibt man jedoch bei 2 m Schichtung, dann ergibt sich hieraus eine Müllfläche von

rd. 45,825 000 m² = rd. 46 km².

Das Bundesministerium für Gesundheitswesen (8) gibt als mittlere Niederschlagsmenge 803 mm/a an. Das sind, bezogen auf die errechnete Müllfläche,

rd. 36,800 000 m³ Niederschlag/a.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Die bisherigen Zahlen erlauben es, eine Wasserbilanz der Müllplätze in der Bundesrepublik Deutschland zu erstellen. Sie baut sich nach Tabelle (Abbildung 6) auf.

Flüssigkeitsmenge	
im Hausmüll	4,591.750 m^3
plus 100% für Industriemüll	4,591.750 m^3
Wassermenge im Schlamm nach Tabelle (5)	1,300.000 m^3
Niederschlagsmenge aus einer Müllfläche von rd. 46 km^2	36,800.000 m^3
Gesamt-Wassermenge	47,283.500 m^3
abzüglich Verdunstung 1/6	7,880.000 m^3
	39,403.500 m^3
abzüglich Wasserhaltevermögen des Mülls = 30%	11,821.500 m^3
Abwasser und Sickerwasser aus Mülldeponien	ca. 27,000.000 m^3/a

Abbildung 6
Wasserbilanz der Müllplätze in der Bundesrepublik Deutschland auf Grund der Zahlen des Jahres 1969

Pro Tag entspricht diese Menge rd. 73.000 m^3 oder bei 120 l/E/T dem Abwasseranfall von rd. 600.000 Einwohnern.

Leider entspricht dieses Abwasser weder organisch noch chemisch den Belastungen kommunalen Abwassers, so daß für dessen schadlose Beseitigung besondere Maßnahmen erforderlich sind, gerade, weil sich viele Autoren in der Beurteilung dieser Abwässer nicht einig sind.

KLOTTER und HANTGE (9) widersprechen in einer Abhandlung dem Nachweis der Grundwasserschäden durch Müll, den die VDG (10) erbracht hat und legen für Rheinland-Pfalz die Zahlen eigener Erhebungen zugrunde. In Tabelle (Abbildung 7) sind die Werte dieser Autoren wiedergegeben und entsprechend ergänzt.

GOLWER, MATTHES und SCHNEIDER (11) haben an mehreren hessischen Mülldeponien eine Reihe von Kontroll-Brunnen untersucht; die Analysen der Sickerwässer beim Objekt „B" weisen bei 10 niedergebrachten Brunnen folgende besonders herausgegriffene Werte aus:

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

fest. gel. Bestandteile zwischen	532	—4.224	mg/l
Gesamteisen Bestandteile zwischen	0,08	— 99	mg/l
BSB_5 Bestandteile zwischen	1,00	— 465	mg/l
Phenole Bestandteile zwischen (bei Spitzenwerten bis zu 12,2 mg/l)	0,05	— 1,9	mg/l

Art	Menge je 1.000 m^3 Müll	bei 90,000.000 m^3
Chlorid (Cl^-)	12,00 kg	1,080.000 to
Sulfat (SO^{--}_4)	3,90 kg	351.000 to
Nitrat (NO^-_3)	7,40 kg	666.000 to
Eisen (Fe II)	0,02 kg	1.800 to*)
o-u. hydrol. Phos. (P_2O_5)	0,02 kg	1.800 to
Natrium (Na*)	6,10 kg	549.000 to
Kalium (K*)	3,50 kg	315.000 to
Calcium (Ca**)	1,40 kg	126.000 to
BSB_5	1,40 kg	126.000 to

*) Mit Sicherheit liegen die Durchschnittswerte erheblich höher. Cu, Pb, Sn, Zn sind ebenso enthalten, nur nicht erfaßt.

Abbildung 7
In Lösung gehende Inhaltsstoffe aus Mülldeponien
nach KLOTTER und HANTGE, mit Umrechnung auf die Gesamt-Müll-Menge und Ergänzungen
Verfasser, Grundlage: Müll und Abfall, 1. Jahrg. 1969

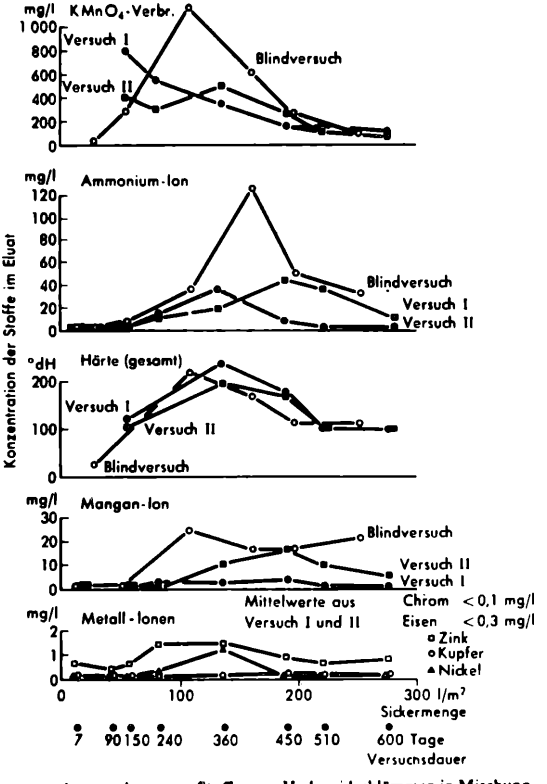
BUCKSTEEG (12) hat unter dem Eindruck der immer größer werdenden Abfallmengen aus der Metallindustrie spezielle Versuche mit Hydroxidschlämmen aus galvanischen Abwässern durchgeführt und im Modellversuch, der natürlichen Vorgängen angepaßt war, gravierende Ergebnisse gefunden.

Im Modellversuch wurden 5,5 l Müll mit 2,8 l Metallhydroxidschlamm vermischt und über 600 Versuchstage der Auswascheffekt bei 300 l Sickermenge/m^2 untersucht.

Das Diagramm (Abbildung 8) gibt Bild 4 der Bucksteeg'schen Ergebnisse wieder. Anmerkungen sind hierzu nicht notwendig.

REIMER (1) veröffentlichte eine Analyse des Hamburger Hausmülls. Neben den von anderen Autoren ebenfalls gefundenen Mengen an Stickstoff, Phosphaten, Kalium, Natrium usw., die im Vergleich zu den land-

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at



Auswaschung von Stoffen aus Hydroxidschlämmen in Mischung mit Müll.

Modellversuch unter Regeneinfluß.
Gesamtniederschlag während des Versuchs 1775 l/m², CO_2-Gehalt im Niederschlag 5 mg/l, Verhältnis Niederschlag : Sickerwasser 6,5 : 1.

Abbildung 8
BUCKSTEEG, gwf 110. Jahrgang, Heft 20, Mai 1969

wirtschaftlich freiwerdenden Mengen geradezu lächerlich anmuten — was viele Autoren veranlaßt hat, das Problem zu negieren — führt er aus fünf Untersuchungsreihen beispielsweise folgende Mengen an Cu, Pb und Sn an, die prozentual in 1 m³ Hamburger Müll enthalten sind:

0,14% — 0,18% — 0,24% — 0,07% — 0,51%!

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Es gibt wohl noch nirgends eine Mülldeponie, Kompost- oder Müllverbrennungsanlage, bei der auch NE-Metalle — von der oberflächlichen Handauslesung abgesehen — entfernt werden.

Es ist bekannt, daß in den Bodenschichten unterhalb der Deponien und in deren Umgebung eine Anzahl die Reinigung der Sickerwässer bewirkender Vorgänge erfolgen. Sie sind anaerob und aerob bzw. reduktiv und oxydativ.

Aus der Abwassertechnik ist aber auch bekannt, daß — gleichgültig, bei welchen Vorgängen — Abbauprodukte entstehen. Also fallen sie

auch im für die Reinigung der Sickerwässer vergewaltigten Boden an und bleiben dort als Ablagerungen

enthalten bzw. werden durch nachfolgende Sickerwässer neuen Reaktionen unterworfen, weiter ausgewaschen usw. und gelangen teilweise wieder in das Grundwasser.

Daß außer Eisen auch Mangan, Chrom, Zink, Kupfer und Nickel in teilweise erheblichen Mengen registriert werden, sei nur beiläufig erwähnt.

Immerhin kann unterstellt werden, daß rd. 50% des Gesamt-Müllaufkommens aus industriellen Bereichen kommen und darin sind aus einer der stärksten Industriegruppen — den metallverarbeitenden Betrieben — einfach auch deren Müll- und Abfallmengen enthalten.

GOLWER und MATTHES (13) berichten, daß im Jahre 1967 46% der gesamten Müllmengen des Rhein-Main-Gebietes in den Verbrennungsanlagen Frankfurt und Darmstadt verbrannt und eine Volumensreduzierung von 90% erzielt wurde. An Verbrennungsrückständen seien ca. 93.000 m^3 übriggeblieben.

Im Hinblick auf die in Deponien anfallenden Abwässer und Sickerwässer erscheint es daher notwendig, sich mit der Zusammensetzung der zur Ablagerung kommenden Verbrennungsrückstände aus Müllverbrennungsanlagen zu beschäftigen.

Auf Grund der Erfahrungen mit vorhandenen Verbrennungsanlagen kann man davon ausgehen, daß üblicherweise ein nicht klassierter Müll verbrannt wird. In die Verbrennungszonen gelangen sämtliche Unterschiede des Materials, von

der leichtesten bis zur schwersten Packung,
vom leichtentzündbaren bis zum schwer verbrennenden Material.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Die Brennstoffschichten sind extrem inhomogen. Selbst bei modernsten Rosten ist eine Homogenisierung des Materials nicht möglich.

So erklärt es sich, daß in Müllaschen erhebliche Anteile unverbrannten Materials enthalten sind, die zwischen 6 bis 26% betragen können.

In den Verbrennungsrückständen sind auch die Flugaschen aus den Elektrofilteranlagen enthalten.

BAUMANN (14) berichtet über die chemische Zusammensetzung der Flugasche aus der Frankfurter Verbrennungsanlage. In der Tabelle (Abbildung 9) sind die Werte wiedergegeben. Die Asche finden wir wieder in den Mülldeponien!

Glühverlust	9,8%	
davon Wasser		0,9%
davon Karbonat		0,6%
Kieselsäure	40,5%	
Tonerde	10,0%	
Titandioxyd	1,6%	
Eisen (III) Oxyd	13,1%	
Kupferoxyd	Spuren	
Manganoxyd	0,2%	
Kalk	10,4%	
Magnesia	0,1%	
Bariumoxyd	0,8%	
Kaliumoxyd	3,3%	
Natriumoxyd	2,4%	
Sulfate	6,9%	
davon unlöslich		1,6%
Phosphat	0,9%	
Sulfidschwefel	Spuren	

Abbildung 9
Zusammensetzung der Flugasche der Frankfurter Verbrennungsanlage nach BAUMANN
Müll- Abfallbeseitigung, E. Schmidt-Verlag, Berlin, Abschnitt 7550, S. 8

Zweifellos verringert die Verbrennung die Gefahren der Grundwasserverseuchung hinsichtlich organischer Inhaltsstoffe. Über die hygienische Gefährdung braucht man bei der Verbrennung nicht mehr zu sprechen, wenn ein vollkommener Ausbrand erzielt wird.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Die Konzentrationen an auswaschbaren Stoffen in den Verbrennungsrückständen liegen jedoch — um nur einmal die Chloride und Metalle zu nennen — häufig um mehr als eine Zehnerpotenz höher als beim Rohmüll, so daß man vielfach nur von einer Problemverlagerung sprechen kann.

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Betrachtung der Abwässer und Sickerwässer aus Mülldeponien ist die seuchenhygienische Gefährdung.

Eine Reihe von Autoren erbringen den schlüssigen Nachweis, daß durch die anaeroben und aeroben Vorgänge im Untergrund von Deponien eine weitgehende bzw. restlose Vernichtung von Bakterien und Viren erfolgt.

KNOLL (15) berichtet, daß „Aus Müll allein, mit oder ohne Vorzerkleinerung oder in Mischung mit Frisch- oder Faulschlamm über GÄRZELLEN gelaufene Schnellkomposte, MIETENKOMPOSTE oder durch PRESSHEISS-Trocknung gewonnene Produkte

bei optimaler Einhaltung von Wassergehalt, Temperatur und Gasaustausch

je nach Verfahren innerhalb 8 bis 21 Tagen mit einem seuchenhygienisch völlig einwandfreien Material gerechnet werden kann" und daß sogar Milzbrandzellen, die sonst im Ackerboden z. B. über 70 Jahre lebensfähig bleiben können, danach vernichtet sind.

STRAUCH (16) zählt in einer Abhandlung auf, welche seuchenhygienisch gefährlichen Abfallstoffe auf Müllhalden gelangen und untergliedert dabei in

gewerbliche und industrielle Schlämme
sowie den Rohmüll.

Bei den gewerblichen und industriellen Schlämmen führt er zunächst alle direkt aus den Abfällen von Schlacht- und Viehhöfen, Metzgereien, Fleisch- und Wurstfabriken kommenden Gruppen auf und vergißt dabei nicht die in der Stufe danach folgenden Gruppen, nämlich die Abfälle aus Abdeckereien, Fischmehlfabriken, Gerbereien, Darmsaitenfabriken sowie Molkereien, Käsereien usw.

Wichtig erscheint aus dieser Abhandlung eine Bemerkung, derzufolge „bei der Verfütterung von Küchenabfällen an Schweine in den USA Trichinose aufgetreten ist und in den USA Mäuse und Ratten in Müllhalden zu 77% mit Trichinen infiziert waren" Im Müll haben wir Küchenabfälle.

Im Stubenkehricht mit Ofenrückständen wurden Typhus- und Paratyphusbakterien mit einer Lebensfähigkeit von 15 bis 136 Tagen nach-

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

gewiesen. Man kann auch unterstellen, daß andere Krankheitserreger mit alten Wundverbänden, Eiter und Sputum in den Müll gelangen.

Erwiesen ist, daß Fliegen von infizierten Küchenabfällen Krankheitserreger über ihre Beine und den Kot weitertragen und die Anwesenheit von Krähen, Möwen und anderen Vögeln an Müllhalden für eine mehr oder weniger gleichmäßige Verteilung von Krankheitserregern im Müll sorgen.

Eigene Feststellungen bestätigen, daß auf Mülldeponien zulässig, d. h. im Einverständnis mit den Betreibern von Müllhalden, abgelagert werden:

Abfälle aus Metzgereien,
Abfälle aus Konservenfabriken,
Faulschlamm aus Abwasser-Reinigungs-Anlagen,
Rechengut aus Abwasser-Reinigungs-Anlagen,

alles Stoffe, die konzentriert Keime enthalten.

Nur unter ganz spezifischen Voraussetzungen kann unterstellt werden, daß im Inneren von Müllkompostierungsanlagen, Rotten oder geordneten Deponien Bakterien vernichtet werden.

Man kann auch davon ausgehen, daß durch die anaeroben und aeroben Vorgänge im Untergrund von Mülldeponien mindestens die gleichen Keimzahlreduzierungen wie in Abwasser-Reinigungs-Anlagen und durch die Filtrationswirkung des Untergrundes die gleichen Wirkungen wie in Trinkwasser-Filter-Anlagen erfolgen.

In erheblichem Umfange wird Müll jedoch noch wild oder „geordnet" abgelagert.

Eine Mülldeponie bietet also eine große Oberfläche an, und mindestens für Zeiträume von mehreren Tagen werden diese Oberflächen nicht mit inertem Material abgedeckt. Als Beweis dienen die Abbildungen 10, 11 und 12 einer geordneten Deponie.

Regnet es auf derartige Oberflächen, dann wird das Wasser durch den relativ locker geschichteten Müll treten und bei Auftreffen auf die darunterliegenden inerten Schichten solange gestaut, bis sich hydraulisch die Möglichkeit eines Abflusses der Wassermengen ergibt.

Die Folge davon ist, daß „Abwasser" aus derartigen Müllhalden tritt, sich in den Senken der Halden sammelt und dann einfach dem nächsten Oberflächengewässer zugeleitet wird.

Hier finden sich mit Sicherheit gefährliche Konzentrationen von Bakterien und Viren, die über das Oberflächenwasser wieder der Kreislaufverseuchung von Wild und Weidevieh und nicht zuletzt zu Infektionen von Menschen führen können.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

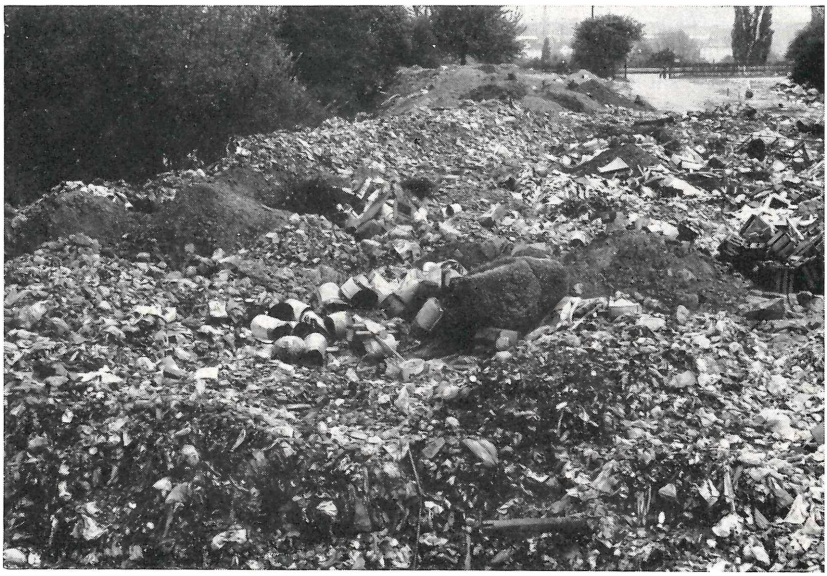


Abbildung 10
Halbgeleerte Farbtöpfe in der Deponie.
Die restliche Ölfarbe versickert in den Untergrund.

Bakterien haben eine Größe von 1 µ und Viren von 0,25 µ. Dem Verfasser sind keine wasserdurchlässigen Bodenarten bekannt, die so feinporig sind, daß derartige „Korngrößen" zurückgehalten werden. Die Untersuchungen von GOLWER und MATTHES weisen daher auch im Grundwasser noch Keime aus.

Sie haben in einer Abhandlung (13) anläßlich der deutschen gewässerkundlichen Tagung in Wiesbaden 1968 drei Gefahrenkategorien für die Ablagerung von Abfallstoffen gefordert.

Die drei Kategorien weisen folgende Merkmale auf:

Kategorie A

Die Lagerplätze erfordern eine natürliche oder künstliche Dichtung gegen die Umwelt und die Abfallstoffe in der Regel eine besondere Behandlung vor dem Ablagern.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Abbildung 11
Diese geordnete Deponie widerspricht den Vorstellungen (siehe ganzes Autowrack).

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Abbildung 12

Schlachtabfälle (Kalbsfüße, Innereien und Fleischfetzen) an der Oberfläche der „geordneten" Deponie. Die Abdeckung mit inertem Material erfolgte nachweislich erst drei Wochen später.

Kategorie B

Die Lagerplätze erfordern einen natürlichen dichten Untergrund, eine besondere Basisabdichtung oder eine besondere Deckenabdichtung.

Die auftretenden Sickerwässer müssen restlos erfaßt und schadlos beseitigt werden. Eine besondere Behandlung der Abfallstoffe ist vor dem Ablagern in der Regel nicht notwendig.

Kategorie C

Die Lagerplätze und die Abfallstoffe erfordern keine besondere Behandlung.

Es heißt weiter:

„Ein Lagerplatz der Kategorie C bedeutet für das Grundwasser einen Verschmutzungsherd"

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Grundsätzlich erheben die Autoren die Forderung nach schadloser Beseitigung der Sickerwässer.

Wenn bei Kategorie C Karst, stark zerklüftetes Felsgestein usw. vorhanden ist, soll der Abfallstoff nach Kategorie B abgelagert werden.

Sie führen in ihrer Abhandlung aus, daß durch die Verschmutzungsherde in großen Wassereinzugsgebieten im Rhein-Main-Gebiet in vergangenen Jahren aus Gründen der Wasserbeschaffenheit Brunnen aufgegeben und durch neue Brunnen in hygienisch weniger gefährdeten Gebieten ersetzt wurden.

BRAUN (17) führt bereits 1961 aus, daß die Möglichkeit der Verunreinigung des Grundwassers bei der geordneten Deponie genau so groß ist wie bei der wilden!

JAAG (18) berichtet 1961 von Maßnahmen der englischen Wasserbehörden, den sogenannten River-Boards, von ähnlichen Behörden in USA und Kanada, dem belgischen Staatsgesetz vom 11. 3. 1950, den Maßnahmen in Frankreich und in

— bezogen auf die gegenüber dem normalen Abwasser nicht weniger schwer wiegenden Gefahren und Schäden, namentlich im Grundwasser durch die unzweckmäßig angelegten Deponien und die Ablagerung fester Abfallstoffe durch Industrie und Gewerbe.

In Deutschland gelten für Abwässer und Sickerwässer aus Mülldeponien hinsichtlich der Verschmutzung der Oberflächengewässer und des Grundwassers die Bestimmungen des § 34 des Wasserhaushaltsgesetzes von 1957.

B. Maßnahmen zur schadlosen Beseitigung von Abwässern und Sickerwässern

Im vorhergehenden Abschnitt wurden die verschiedenen Gefahren für Oberflächengewässer und Grundwasser aus Mülldeponien angeführt.

Im nun folgenden Abschnitt sollen die Möglichkeiten der Bereinigung dieser Probleme diskutiert werden.

Zunächst einmal ist festzustellen, daß in der Regel wilde und geordnete Deponien, Kompostanlagen und Verbrennungsanlagen fernab von der Zivilisation, also auch weit entfernt von Abwässerkanälen, angelegt werden, da die Emissions- und Immissionsprobleme es einfach erfordern.

Die einfachste Art, Abwässer und Sickerwässer zu reinigen, ist die Einleitung dieser Abwässer in kommunale, vollbiologische Kläranlagen.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Hier ist in Abhängigkeit von der Größe der Deponie und den Konzentrationen der Flüssigkeiten gegebenenfalls an der Deponie, die gegen das Grundwasser und gegen das Austreten von Wasser in Oberflächengewässer abgedichtet ist, das anfallende Wasser in Pufferbecken zu sammeln und dafür zu sorgen, daß die Wassermengen gegebenenfalls so dem Zulauf zur Kläranlage beigegeben werden, daß im biologischen Prozeß keine Störungen auftreten können.

Wegen der oftmals großen Konzentration von Metall-Ionen im Abwasser der Deponie kann zusammen mit häuslichem Abwasser manchmal eine Flockungsreaktion erzielt und somit eine erhöhte chemische Vorreinigung vor Einleitung in die Biologie erzwungen werden.

Die Dosierung der Abwassermengen aus der Deponie muß oftmals deshalb zwingend erfolgen, weil beispielsweise die Deponie ein großes Mülleinzugsgebiet erfaßt und die Abwasser-Reinigungs-Anlage einem kleineren Gemeinwesen zugeordnet ist, so daß in der Tat (besonders nach stärkeren Regenfällen) ein Übergewicht der Abwassermengen aus der Deponie gegenüber dem normalen Abwasser entstehen kann.

Sind seuchenhygienisch bedenkliche Konzentrationen im Müllabwasser enthalten, so ist eine vorherige Desinfektion dieses Wassers angezeigt, ganz besonders, wenn in der Deponie größere Ablagerungen aus Lebensmittelbetrieben usw. erfolgen.

Die Desinfektion solcher Abwässer erfolgt nach den Bestimmungen des deutschen Seuchengesetzes vorzugsweise durch Chlorung, Ozonisierung oder in einzelnen Fällen durch U. V.-Bestrahlung (ebenfalls Ozonisierungseffekt).

Dabei ist bei der anschließenden Einleitung in die Biologie darauf zu achten, daß die Konzentration an Chlor und Ozon nicht zum Erliegen der Aerobier führt.

Die erforderliche Verdünnung mit kommunalem Abwasser wurde bereits angeführt.

In Fällen hoher Konzentration an Schwermetallen ist jedoch dafür Sorge zu tragen, daß durch Einstellen geeigneter pH-Werte (in der Regel zwischen pH 7,4 bis 9,5 — fallweise bis 11) die Schwermetalle ausgefällt werden.

Am zweckmäßigsten erfolgt dieser Vorgang in einem gesonderten Konditionierungsbecken mit pH-Wert-Steuerung, Kalkmilch, Natronlauge, Salzsäure oder Schwefelsäure, zur Erzwingung basischer oder saurer Reaktionen im Abwasser und die Ausfällung in einem nachgeschalteten Absetzbecken.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Bei Standzeiten von in der Regel 4 Stunden kann mit einer ausreichenden Ausfällung von Schwermetall-Salzen gerechnet werden. Es ist jedoch zu beachten, daß bei Vorhandensein mehrerer Schwermetallarten jeweils andere pH-Bereiche gewählt werden müssen.

Liegt ein Konglomerat von Schwermetallen vor, kann es u. U. erforderlich sein, die Ausfällung nacheinander in mehreren Fällungsbecken vorzunehmen.

v. AMMON (19) und WEINER (20) haben über die Methoden der Entfernung von Schwermetallen ausführlich berichtet. Auf die von ihnen beschriebenen Verfahren wird verwiesen.

Ist das Wasser derart behandelt, kann es unbedenklich einer biologischen Behandlung unterzogen werden. Dies gilt jedoch nur für die Fälle, bei denen eine weitgehende Verdünnung mit anderen Abwässern nicht möglich ist.

Wird das Abwasser aus der Deponie einer Kläranlage mit großem Zufluß häuslichen Abwassers zugeleitet, sind besondere Maßnahmen nicht erforderlich.

Wenn die Zuführung der Abwässer aus Deponien mangels günstiger Entfernungen zu Kläranlagen nicht möglich ist, müssen Abwasser-Reinigungs-Anlagen am Standort der Deponien angelegt werden.

Wegen des Mangels an zumischbarem häuslichem Abwasser treten dann besondere Probleme auf, die die Deponiekosten sehr stark belasten können.

Am Beispiel der Müllzerkleinerungsanlage mit geordneter Deponie in Rüsselsheim-Bischofsheim wird auf die Schwierigkeiten eingegangen. Grundlage ist die Tabelle (Abbildung 13).

Es zeigt sich, daß bereits die monatlichen Sickerwassermengen des Jahres 1970 Schwankungen wie 1 : 4,6 ergeben, so daß es schwer wird, für einen geregelten Klärbetrieb die Auslegung zu berechnen. Dies trifft umsomehr für eine biologische Anlage zu.

Vorliegende Untersuchungen über einen Zeitraum von 7 Jahren zeigen, daß im August 1968 = 5.991 m^3 Niederschlag die Deponie passierten.

Dabei ist die während eines Tages anfallende maximale Niederschlagsmenge noch nicht erfaßt. Sie ist für die Beurteilung der Frage „Abwasser" oder „Sickerwasser" jedoch von erheblicher Bedeutung.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Berichtsjahr 1970, erfaßt rd. 39.000 Einwohner, Deponie 30.000 m² Fläche
Grundlagen: Erhebungen des Tiefbauamtes Rüsselsheim und der Städt. Müllabfuhr aus dem Jahre 1970

Monat	Müllmenge to	Müllmenge m³	nach Tab. 4 Wassermenge i/Müll m³	tatsächliche Niederschlagsmenge auf 30.000 m²	Sickerwasser nach Bilanz Tab. 6 m³
Januar	834	2.336	150	1.149	758
Februar	948	2.981	171	1.641	1.057
März	946	2.695	170	810	571
April	1.114	3.536	201	1.185	809
Mai	876	2.979	245	2.043	1.335
Juni	866	3.436	320	2.616	1.713
Juli	1.028	3.938	380	3.624	2.336
August	908	3.646	336	828	679
September	1.053	3.618	400	1.311	998
Oktober	1.032	3.474	350	756	645
November	1.047	3.292	241	684	540
Dezember	1.007	3.108	181	804	505
Gesamt	11.629	39.039	3.145	17.451	11.946

Abbildung 13

Berechnungsbeispiel für die Sickerwassermengen aus einer geordneten Deponie an Hand der Deponie Rüsselsheim-Bischofsheim

Bei einem im Juli 1970 festgestellten Sturzregen gingen je m² = 104 Liter Wasser nieder. Auf die Mülldeponie umgerechnet entspricht dies einer Menge von

3 120 m³ innerhalb einer Stunde!

Erhebliche Mengen Oberflächenwasser und in die obersten Schichten der Deponie eingeschwemmte Wassermengen verlassen die Deponie über den hydraulisch kürzesten Weg; nur ein Teil wird bei Sturzregen vom Müll aufgesaugt und tritt später als Sickerwasser wieder auf.

Die Ermittlung der Intensität und der Dauer von Niederschlägen ist einer der Faktoren für die Bemessung der Größe des Pufferbeckens.

In Rüsselsheim wurden die Untersuchungen aus einer Beobachtungszeit von 7 Jahren, jeweils unterteilt in Niederschlagsmeßzeiten von 5,

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

10, 15, 30, 60, 90, 120, 180, 300 und mehr als 300 Minuten sowie Intensitäten von 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 125 und 200 l/sec/ha ermittelt. Tiefbauamt Rüsselsheim (22).

Die Auswertungen ergaben, daß die größte Regenspende bei 30 Minuten Dauer und 100 l/sec/ha erfolgt.

Die Oberste Aufsichtsbehörde hat nunmehr veranlaßt, daß der Ansatz auf 130 l/sec/ha erhöht wird, so daß für die Mülldeponie mit einer Oberflächenwassermenge von 702 m^3 bei der vorgegebenen Zeit und Intensität gerechnet werden muß.

Aus der Tabelle (Abbildung 13) ergibt sich der zweite Faktor für die Auslegung des Pufferbeckens. Hier ist der Monat Juli mit der größten errechneten Sickerwassermenge = 2.336 m^3 anzusetzen.

Entgegen der Regenmengenveranlagung ist die Zahl der Regentage des Monats gewählt = 19 Tage, so daß

$$\frac{2.336\ m^3}{19} = \text{rd. } 123\ m^3/d \text{ Sickerwasser}$$

zu rechnen sind. Demnach ist das Pufferbecken für

$$702 + 123 = 825\ m^3 \text{ Inhalt}$$

auszulegen.

Mit dieser Maßnahme ist sichergestellt, daß Abwasser und Sickerwasser in der Vergleichsdeponie nur in Katastrophenfällen die Deponie verlassen.

Es wäre unsinnig, nun die Einrichtung von Pufferbecken zu fordern, die einen in 10 Jahren e i n m a l auftretenden Sturzregen aufzunehmen in der Lage sind.

Die Errichtung von Pufferbecken sollte daher in ihrer Dimensionierung vielmehr den vorstehenden Berechnungsgrundlagen angepaßt werden.

Sind die Abwässer und Sickerwässer einer Deponie in einem Pufferbecken erfaßt, kann man Überlegungen für geeignete Reinigungsverfahren für diese Abwässer anstellen.

Dabei muß zunächst unterstellt werden, daß sich im Pufferbecken Wasser über längere Zeit anstaut, denn die Kapazität der Reinigungsanlage soll möglichst klein gehalten werden.

Als unmittelbare Folge muß daher angenommen werden, daß im aufgestauten Wasser des Pufferbeckens bereits an der Oberfläche aerobe und in den tieferen Schichten anaerobe Prozesse ablaufen, die der gewünschten Maßnahme entgegenkommen.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Während der Sommermonate kann angenommen werden, daß bei organisch stark belasteten Abwässern, die wenig Hemmstoffe enthalten, Schwefelwasserstoff frei wird.

Die damit verbundene Geruchsbelästigung kann in der Regel wegen der ohnehin vorhandenen Immission der Deponie in Kauf genommen werden, zumal die Anlage von menschlichen Ansiedlungen weit entfernt ist.

Sollte das Wasser zu Geruchsbelästigungen führen, so ist für eine ausreichende Belüftung des im Pufferbeckens vorhandenen Abwassers zu sorgen.

Vorzugsweise werden hierzu Oberflächenbelüfter zu empfehlen sein, deren Installation schwimmend erfolgen kann. Der Aufwand für die Energieversorgung ist gering.

Es wird vorgeschlagen, die Pufferbecken vorzugsweise als kegelige Rundbecken oder als quadratische, pyramidenförmige Becken zu bauen und den Wasserabzug mittels Pumpe in den Trichter des Beckens zu legen.

Damit wird erreicht, daß auch Sedimentationsstoffe sicher abgezogen werden und bei Verwendung eines Belüfters eine zweckmäßige Durchmischung des Beckeninhaltes erfolgt.

Grundsätzlich wird die Aufgabe der Reinigung derartiger Abwässer in der Entkeimung, der Reduzierung chemischer Stoffe einschließlich der Schwermetalle und der Reduzierung organischer Inhaltsstoffe, bestehen.

Dabei ist die Wertigkeit in der oben angeführten Reihenfolge zu sehen.

In der Beschreibung der Vorbehandlung derartiger Abwässer vor Einleitung in biologische Kläranlagen wurde bereits auf die Möglichkeiten der chemischen Entfernung von Schwermetallen und der Entkeimung mit Chlorierung und/oder Ozonisierung hingewiesen.

Bei diesen Verfahren erfolgt zwangsläufig über adsorptive Anlagerung auch eine Reduzierung der organischen Inhaltsstoffe, jedoch sind hierzu mehrere Behandlungsstufen erforderlich, die eine exakte Bedienung erfordern.

Folgende Ausrüstungen müßten vorgesehen werden:

1. Chemische Stufe zur Ausfällung organischer Stoffe, bestehend aus:

   Fällmittelbunker,

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Dosieranlage automatisch, gekoppelt mit Mengenmessung,
Reaktionsbecken mit Rührwerk,
Absetzbecken mit Schlammabzug;

2. Neutralisationsanlage zur Ausfällung von Schwermetall-Salzen, bestehend aus mindestens:
   Behälter für Kalkmilch o. ä.,
   Behälter für Säure,
   pH-Meßanlage im Zulauf und Ablauf,
   Dosieranlage automatisch, gekoppelt mit Mengenmessung,
   Reaktionsbecken mit Rührwerk,
   Absetzbecken mit Schlammabzug,
   u. U. Rück-Neutralisierung in zweitem Becken;

3. Entkeimungsanlage, beispielsweise bestehend aus:
   Chlorgasbatterie,
   Reaktionsbehälter,
   automatischer Überwachungsanlage;

4. Zentrale Pumpstation.

Die Anlage erfordert ständige Überwachung der einzelnen Prozeß-Stufen. Wegen der unbestimmbaren Wassermengen muß auf eine biologische Stufe verzichtet werden.

Im Nachfolgenden wird daher von einer neuen Möglichkeit, nämlich der elektro-chemischen Behandlung solcher Abwässer,
mit dem ElektroM-Verfahren
berichtet.

An organischen Inhaltsstoffen kann angenommen werden, daß diese in drei Gruppen, = als

Suspensionen	kolloide Lösungen	echte Lösungen
= grobdispers	= kolloiddispers	= molekulardispers
= 10^{-5} cm ϕ	= 10^{-7} bis 10^{-5} cm ϕ	= 10^{-8} bis 10^{-6} cm ϕ

vorliegen.

In Abhängigkeit von der Verweilzeit im Müll, den verschiedenen chemischen Reaktionen und den Auswaschwassermengen liegen die chemischen Inhaltsstoffe und die Schwermetalle ebenfalls in den drei vorgenannten Bereichen vor.

Ein Ion hat etwa einen Durchmesser von 1 A° = 10^{-8} cm, es liegt also im Bereich echter Lösungen.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Oftmals liegen Ionen gruppiert vor. Sie weisen dann Durchmesser bis zu 10 A° auf.

Das ElektroM-Verfahren arbeitet unter Verwendung elektrischer Energie, die über Elektroden in die Flüssigkeit eingeleitet wird.

Die Reaktionen erfolgen nach den Faraday'schen Grundlagen, die komplizierten Einzelreaktionen sind bereits publiziert. HARTKORN (22).

Die Funktion bei der elektrischen Behandlung von Abwasser ist — vereinfacht ausgedrückt — folgende:

1. Wird das Abwasser zwischen zwei Elektroden gebracht, wovon die eine + = Anode und die andere — = Kathode ist, so baut sich bei Anlegen von Energie an die Elektroden zwischen ihnen unter Nutzung der Leitfähigkeit der Suspension ein elektrisches Feld auf. HAASE (23), HARTKORN (24).

   Im Abwasser sind grobdisperse, kolloiddisperse und molekulardisperse Stoffe enthalten, die verschiedene Ladungen aufweisen.

2. Ohne weiteres Hinzutun kommt es bekanntlich innerhalb von Suspensionen bereits zu Koagulationsvorgängen, deren Ursachen in der Gruppierung von negativen zu positiven Ladungen zu suchen sind, d. h. es entstehen ungleichnamige Ladungsträger, die sich unter dem Einfluß Coulomb'scher Energie anziehen und so zur Bildung von sichtbaren Schlammflocken im Wasser führen.

   Diese in Abhängigkeit von der Anzahl und der Wertigkeit der Einzelladungen zeitlich oft weit auseinanderliegenden Vorgänge werden unter dem Einfluß des elektrischen Feldes beschleunigt. Unter Beteiligung der im Abwasser vorhandenen positiven Ladungsträger kommt es zu einer Kataphorese feindispergierter Verunreinigungen, zur Wanderung negativer Ladungsträger zu den Elektroden und durch die Zufuhr von „Fremdenergie" zu einer beschleunigten Bildung von ungleichnamigen Ladungsträgern in kurzer Zeit, wodurch es zur schnellen Koagulation von Inhaltsstoffen im Abwasser kommt (EULER — 25).

3. Werden lösliche metallische Anoden verwendet, so hat das Metall der Anoden durch den elektrolytischen Lösungsdruck das Bestreben, als positives Ion in Lösung zu gehen, wobei es zur erneuten Bildung ungleichnamiger Ladungsträger in der Suspension kommt (STRASCHILL — 26).

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

4. Entgegen der Elektrolyse und dem Elektro-Flotationsverfahren werden beim ElektroM-Verfahren andere Ströme angewendet. Anstelle von Gleichstrom einfacher Art wird mit Gleichstrom mit hohen Oberschwingungsanteilen gearbeitet.

   Dabei wird bei Zerlegung von H_2O in seine Bestandteile der in der Diffusionsschicht der Anode frei werdende atomare, elektrisch angeregte Sauerstoff durch die die Konvektion begünstigende Anordnung der Doppelelektrode weit in die Suspension hineingetragen.

   4.1 Molekularer Sauerstoff, der im Elektrolyten gelöst ist, wird durch kathodische Reduktion in H_2O_2 als Zwischenprodukt umgewandelt (VETTER — 27).
   Durch beide Effekte kommt es in kurzer Zeit zu starken oxydativen Beeinflussungen an kolloidalen und gelösten organischen und chemischen Substanzen in der Flüssigkeit.

5. Die Oxydationsprodukte werden von den Koagulationsvorgängen erfaßt. Unter dem Einfluß der frei werdenden H_2-Mengen kommt es zur Flotation der koagulierten Stoffe.

   Rührwerke, die in den Behandlungsbecken der Anlage eingebaut sind, erfassen diese Oberflächenschlämme und dispergieren sie wieder in der Suspension.

   Dabei werden sie weitgehend von angelagertem H_2 befreit, geraten aber wieder in den Prozeß zwischen den Elektroden und filtern bei diesen sich laufend wiederholenden Vorgängen das Wasser durch seinen eigenen Schlamm.

   Hierbei lagern sich weitere Stoffe adsorptiv an.

   5.1 Schwermetalle werden bei den Prozessen weitgehend in Hydroxide umgewandelt und gehen Bindungen mit den organischen Inhaltsstoffen ein. Sie fallen als Flocken aus und werden in den Schlämmen gebunden.

6. Die vorliegenden Untersuchungen von Sickerwässern aus Deponien zeigen, daß in der Regel ein hoher Chloridgehalt vorhanden ist. Dadurch kann erwartet werden, daß die Suspensionen eine gute Leitfähigkeit aufweisen.

   Ist in einer Flüssigkeit NaCl enthalten, was im Müll-Abwasser die Regel ist, so kommt es bei den elektro-chemischen Prozessen zur Entwicklung von Chlorgas und Wasserstoff.

   Natrium bleibt in Lösung und führt zur Verschiebung des pH-Wertes in den alkalischen Bereich.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Damit werden zwei Effekte erzielt, die für die Reinigung von derartigen Abwässern sehr wesentlich sind:

6.1 Chlorgas diffundiert durch die Flüssigkeit und greift neben anderen Einflüssen Bakterien und Viren an.

Die Entkeimung von Sickerwässern erfolgt nicht nur durch das freiwerdende Chlorgas, sondern auch durch den Aufbau des Feldes, d. h. der stetig vorhandenen Stromrichtung von den Anoden zu den Kathoden. Hierbei kommt es zum Erliegen der Diffusion in Zellen, die bekanntlich zwischen Zellhaut und Zellkern (Anoden-Kathoden-Effekt in der Zelle) eine durchschnittliche Frequenz von 4 Hz aufweist, wobei der Rhythmus durch das anliegende Fremdfeld innerhalb eines Bruchteiles von Sekunden gefährlich gestört wird, da die Ionen des Zellinhaltes im elektrischen Feld bis an die Zellgrenzen wandern (POHL — 28). Zur Entkeimung trägt noch eine weitere Komponente, nämlich die bereits erwähnte Wirkung des atomaren, elektrisch angeregten Sauerstoffes bei, der zur Oxydation der Eiweiße der Zellen führt.

6.2 Durch die feinstufige Veränderung des pH-Wertes in Abhängigkeit von Zeit und Stromstärke werden die für die Ausfällung von Schwermetallen wichtigen pH-Bereiche durchfahren und es kommt selbst bei Vorhandensein mehrerer Schwermetallgruppen im jeweils günstigsten pH-Bereich zur Ausfällung der Metalle, die wiederum im Schlamm gebunden werden. Siehe auch v. AMMON (19).

7. Wird die Flüssigkeit nach dem Verlassen der ElektroM-Anlage noch beschleunigt, d. h. wird eine mechanische Strömung aufgezwungen, so kommt es zu Ladungstrennungen positiver und negativer Ladungsträger, die nach Beruhigung der Suspension unter dem Einfluß Coulomb'scher Energie wiederum zur Koagulation der in eine Vielzahl zerlegten Teilchen und somit zur Bildung dichter Flocken führt, die durch das spezifische Gewicht der darin befindlichen Metall-Ionen eine beschleunigte Sedimentation herbeiführen (EULER — 25).

In Abbildung 14 ist eine zweistufige ElektroM-Anlage mit einer Kapazität von 240 m^3/h Abwasser zu sehen.

Bei einer Reaktionszeit von 7,5 Minuten und einer Absetzzeit von rd. 45 Minuten werden dem Abwasser einer Papierfabrik Schwebestoffe mit einer Konzentration bis zu 54.000 mg/l bis auf < 20 mg/l entzogen.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

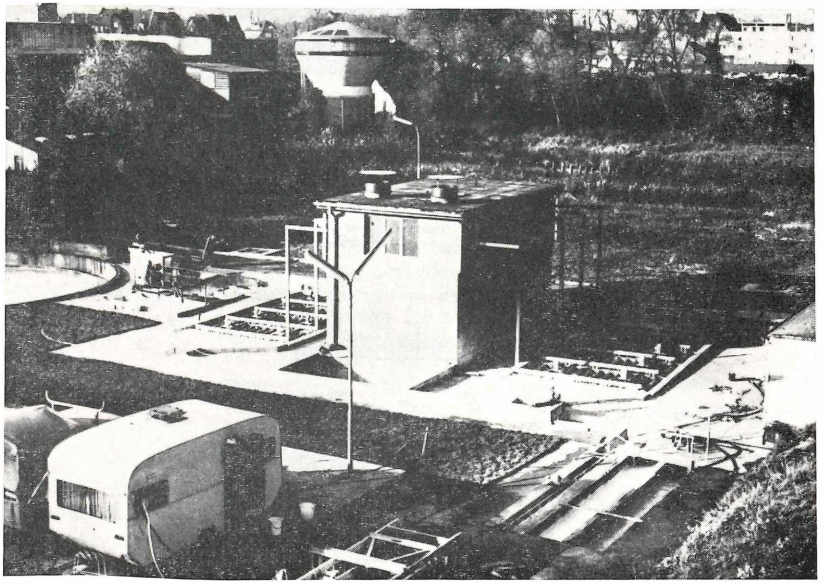


Abbildung 14
ElektroM-Abwasser-Reinigungs-Anlage
Kapazität: 240 m^3/h
Energieverbrauch im Anwendungsfall max. 160 Wh/m^3

Die organischen Belastungen werden um rd. 85% reduziert. Im Ablauf sind < 50 mg/l enthalten.

Die produktionsbedingten Kupferanteile im zulaufenden Abwasser sind selbst in der Spektralanalyse nicht mehr nachzuweisen.

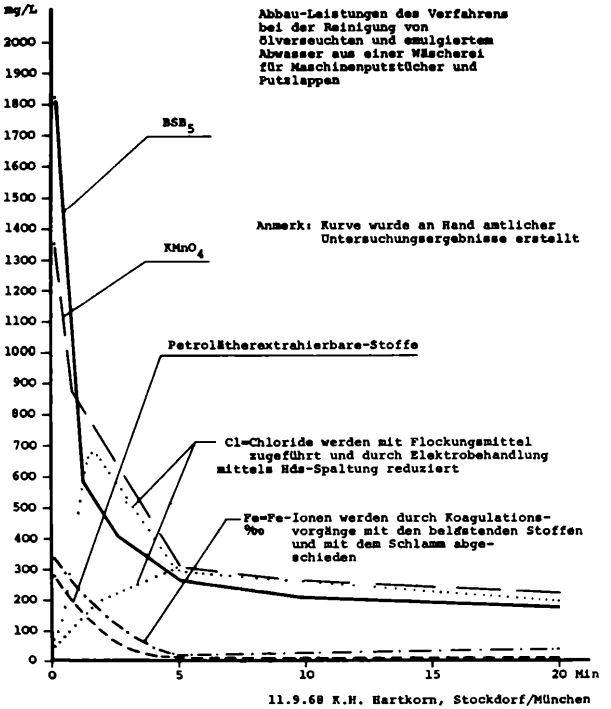
Der Ablauf weist einen durchschnittlichen Gehalt an Gesamteisen von 1,4 mg/l auf.

Das Diagramm (Abbildung 15) zeigt die Wirkung des Verfahrens bei seiner Anwendung zur Reinigung von Abwasser aus einer Putztuchwäscherei.

Auf die Reduzierung petrolätherextrahierbarer Stoffe — hier mineralölhaltige Bestandteile — und die Reduzierung des Eisens wird besonders verwiesen.

Aus den Tabellen (Abbildung 16, 17 und 18) ist die Reduzierung von Keimen zu ersehen.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at



Im Diagramm sind die Wirkungen elektrochemischer Beeinflussungen bei ölverseuchten bzw. emulgiertem Abwasser nach 20 Minuten Behandlungszeit ersichtlich.

Abbildung 15

Die Leistung des ElektroM-Verfahrens wird besonders durch die schnelle Reduzierung der Belastungsstoffe dargestellt

Fallen derartige Sickerwässer an, ist die Verwendung einer zweistufigen Anlage angezeigt

Im Vorgriff auf eine demnächst zur Veröffentlichung kommende Arbeit kann berichtet werden, daß

Escherischia Coli,

Serratia marcescens und

Salmonella gallinarum

— um nur einige der bis jetzt untersuchten Gruppen zu nennen — bei Behandlungszeiten zwischen 120 bis 240 Sekunden und Spannungen von 2 V bei 6 A restlos vernichtet werden.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Untersuchungen bei der Schlachtung von 24 Rindern und 150 Schweinen in der Zeit von 6 bis 17 Uhr; nach den Schlachtvorgängen Arbeiten im Fleischzerlegeraum, der Kuttelei und in der Wurstfabrik

im Einlauf		nach dem Gesamtverfahren	
Agarkultur bei 37° C	Gelatinekultur bei 22° C	Agarkultur bei 37° C	Gelatinekultur bei 22° C
189.000	189.200	100	70

Abbildung 16

Reduzierung von Bacterium-Coli
im Abwasser der Fleischwaren-Fabrik Sp. in W. mit dem ElektroM-Verfahren
Ermittlung: Bayerische Bakteriologische Untersuch.-Anstalt, Dir. Dr. FREYTAG, München

	in der Hauptklärgrube	nach der Fettabscheidung	nach der ElektroM-Behandlung	Behandlung seit
bei Rinderschlachtung	—	675 10^{12}	1.877	10 Minuten
bei Arbeiten im Fleischzerlegeraum und in der Kuttelei	145 10^{12}	11 10^{12}	50	30 Minuten
bei Schweineschlachtung	901 10^{12}	72 . 10^{9}	713	60 Minuten**)
kommunales Abwasser von N.	3 10^{12}	als Vergleich (hier wird Abwasser aus kleinen Schlachtereien eingeleitet!)		
dto. mit Schlachthofabwasser nach den Fettabscheidern im Verhältnis 10 1 gemischt	103 10^{12}	—	45	16 Minuten

Methodik der Untersuchung: Koch'sches Plattenzählverfahren. Nährboden Gelatine-Agar, der 48 Std. bei 37° C bebrütet wurde.

**) versuchsweise geringe Energie.

Abbildung 17

Reduzierung der Gesamtkeime im Abwasser
der Fleischwarenfabrik R. in N. mit dem ElektroM-Verfahren
Ermittlung: Institut für Veterinärhygiene, Prof. Dr. STRAUCH, Universität Gießen

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Normalbelastung 25.000 EGW; an Schlachttagen 35.000 EGW
wöchentliche Schlachtkapazität ca. 200 Rinder und bis zu 800 Schweinen

im Einlauf	2— 4	10^{6}**)	um 300 mg/L**)
	10 .	10^{6}*)	um 850 mg/L*)
nach Emscherbrunnen und Nachklärung	< 60	10^{3}**)	um 150 mg/L**)
	< 20	10^{4}*)	um 350 mg/L*)
nach Vorschaltung von Trennvibratoren und Zugabe von Fällmitteln vor den Emscherbrunnen gemessen nach Nachklärung	1.000*)		< 80 mg/L*)
nach Trennvibratoren, dem ElektroM-Verfahren und Nachklärung (ElektroM-Behandlung 30 Minuten, kein Emscherbrunnen)	0*)		< 25 mg/L*)

**) = Normalbelastung
*) = Schlachttag

Abbildung 18
Reduzierung von Gesamtkeimen
im Abwasser der kommunalen Kläranlage in St.
Ermittlung: Bayerische Bakteriologische Untersuch.-Anstalt, Dir. Dr. FREYTAG, München

Werden bei dem Verfahren außer metallischen Anoden gleichzeitig auch noch unlösliche Anoden verwendet, so daß während des Prozesses eine Umschaltung auf O- und H_2-Erzeugung erfolgen kann, so ist es möglich, die BSB_5-Werte auf die Normalanforderungen zur Einleitung von Abwasser in Vorfluter 1. Ordnung zu reduzieren.

Wesentlich ist, daß auch wasserlösliche Gase und Detergentien in einer Verfahrensstufe entscheidend reduziert werden.

In Abbildung 19 ist eine Elektrode zu sehen, die galvanisch mit ehemals in einer Flüssigkeit vorhandenen Metallen belegt ist.

Das ElektroM-Verfahren kann durch einfache Umschaltung der Hochstrom-Maschinen auf elektrolytische Galvanisierung umgeschaltet werden, so daß Schwermetalle auf diesem Wege aus der Suspension entfernt und — bei Bedarf — zurückgewonnen werden können.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

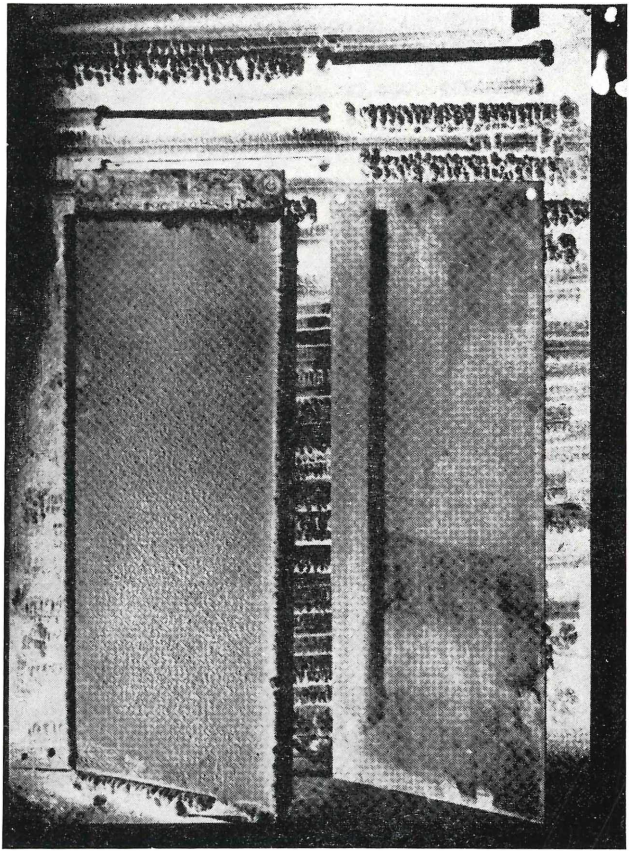


Abbildung 19
Galvanischer Niederschlag von Kupfer bei der elektrischen Reinigung von Abwasser
nach HILLIS, London
Zeitschrift Elektrotechnik, Ausgabe 21, 52. Jahrg., Vogel-Verlag Würzburg, 1970

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

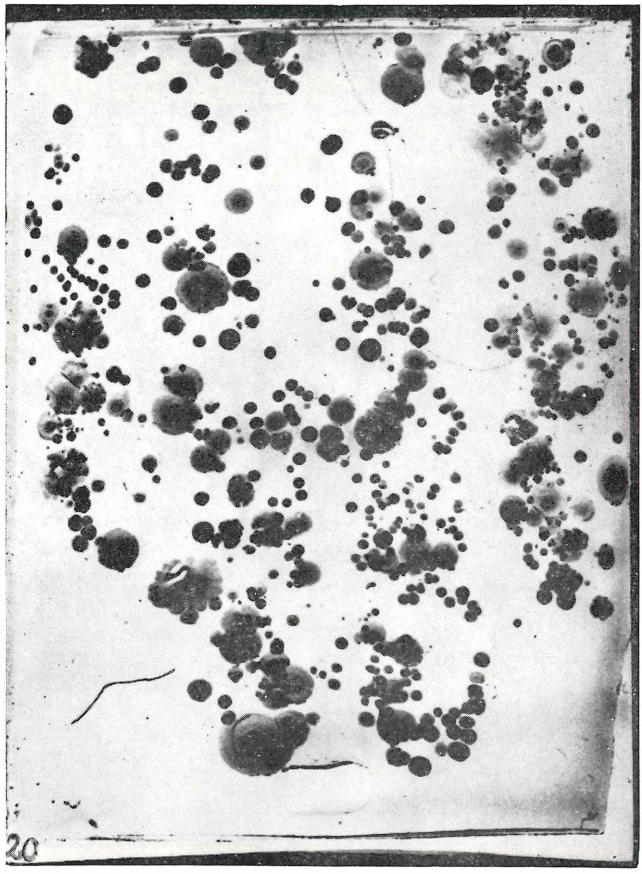


Abbildung 20
Die Hand eines „Abfallarbeiters"
Bakterienkolonien auf dem Abklatsch-Nährboden
Untersuchung: Prof. Dr. KANZ, Fraunhofer-Gesellschaft München
und Verfasser

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Die Oxydation von Cyanid und Nitrit, die Umwandlung von Ammonium in Nitrat und die Entchlorung des Wassers sind mit dem Verfahren ebenfalls durchführbar.

Aus den geschilderten Anwendungsmöglichkeiten ergibt sich die Einsatzart des ElektroM-Verfahrens zur schadlosen Beseitigung von Sickerwässern aus Mülldeponien:

Das gepufferte Abwasser wird über Pumpen zu einer vorzugsweise aus 4 Behandlungsbecken bestehenden ElektroM-Anlage geführt und zwar über entsprechende automatische Ventilschaltungen so, daß das Wasser kontinuierlich in die Anlage gelangt, dort diskontinuierlich behandelt wird und kontinuierlich die Reaktionsbecken verläßt.

Das die Anlage verlassende Abwasser gelangt in eine Beschleunigerstation, in der das Wasser hohen mechanischen Strömungen unterworfen wird, so daß bei der Dispergierung noch vorhandene Gasladungen an den Schlammflocken ausgetrieben, die Trennung negativer von positiven Ladungsträgern erfolgt und in einem nachgeschalteten Absetzbecken normaler Bauart der Schlamm sedimentiert. Das ablaufende, gereinigte Abwasser kann bei besonders hohen Anforderungen an die Ablaufqualität einer zweiten Reaktionsstufe zur weiteren Oxydation zugeführt werden, so daß die anschließende Ableitung unbedenklich in Vorfluter oder in den Boden erfolgen kann.

Sollte die Chloridmenge nachhaltig beeinflußt werden, können einfache Ionen-Austauscher bekannter Bauart nachgeschaltet werden.

Am Vergleichsfall der Rüsselsheimer Deponie soll die Auslegung einer ElektroM-Anlage berechnet werden.

Dabei wird das Pufferbecken mit seinem errechneten Inhalt von 825 m^3 um 175 m^3 vergrößert, so daß die Verarbeitung der max.-Menge innerhalb einer Arbeitswoche erfolgen kann und wieder ausreichender Pufferraum für nachfolgende Regenfälle mit Abwasserabschwemmungen zur Verfügung steht.

Die Arbeitszeiten werden mit täglich 10 h angesetzt, so daß in einer Arbeitswoche 50 Stunden zur Verfügung stehen.

Daraus ergibt sich:

$$\frac{V}{t} = \frac{Vh}{a \cdot b} = V_1 + F \cdot c = \text{Größe des Reaktionsraumes}$$

V = Volumen des Pufferbeckens
t = Wochenarbeitszeit
a = binärer Teiler des diskontinuierlichen Prozesses
b = Beaufschlagung der Reaktionsbecken je h = 2

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

V_1 = Volumen eines Reaktionsbeckens
F = Faktor für Kontaktschlamm-Menge = 20% des Volumens
c = Anzahl der Reaktionsbecken = 4

also

$$\frac{1000}{50} = \frac{20}{4.2} = 2{,}5\ m^3 \quad 1{,}2 = 3\ m^3 \quad 4 =$$

12 m³ Reaktionsraum

der ElektroM-Anlage mit 4 Becken.

Die diskontinuierliche Fahrweise erfordert die Abläufe Füllen, Behandeln und Entleeren.

Die Steuerung der Anlage wird in Teilzeiten von 450 Sekunden unterteilt, so daß sich für das
Füllen, Behandeln, Reserve und Entleeren je 7,5 Minuten = 30,0 Minuten je Charge
ergeben.

Je Reaktionsbecken ergibt sich daraus eine zweimalige Beaufschlagung je Stunde, so daß nach Abzug der Kontaktschlamm-Mengen die errechnete Menge von 20 m³/h 10 Arbeitsstunden = 200 m³/d 5 Wochenarbeitstage
= 1.000 m³/W
verarbeitet werden können.

Die Förderpumpe aus dem Pufferbecken ist mit min.- und max.-Kontakten versehen. Die Kontakteinrichtung leitet den Beginn und das Ende der Behandlung ein, woraus sich ergibt, daß die Anlage bei min.-Kontakt ruht und erst wieder bei Erreichen des max.-Kontaktes automatisch anläuft.

Das System ist mit einem Mengenmeßgerät, pH-Meß-Sonde und µS-Meß-Sonde im Einlauf und mit einer Redoxpotential-Sonde, Spannungs- und Strommessern in den Reaktionsbecken sowie mit O_2-, pH- und Trübe-Meß-Sonden im Ablauf versehen.

Die Meßgeräte sind mit analog-analog- und digitalen Meßgeräten untereinander verschaltet und regeln automatisch den Prozeßablauf. Alle Meßgeräte befinden sich in einem besonderen Meßgehäuse, dem über spezielle Pumpen laufend die Kontrollflüssigkeit zugeführt wird. Bei Über- oder Unterschreiten eines bestimmten Potentials wird automatisch eine Sondenwaschanlage eingeschaltet und über Potentialabgleich automatisch wieder ausgeschaltet, so daß außer periodischen Wartungsarbeiten keine Bedienung der Anlage erforderlich ist.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Die Beschleunigerstation der Vergleichsanlage ist für eine Aufenthaltszeit von 3 Minuten = rd. 1 m^3 Inhalt auszulegen.

Das nachgeschaltete Absetzbecken sollte für eine Aufenthaltszeit von 4 h = 100 m^3 ausgelegt werden.

Für die Vergleichsanlage einschließlich der Spitzenstromdeckung sind 50 kWh, 220/380 V, 50 Hz, bereitzustellen.

Die erforderlichen Energieaufwendungen je m^3 zu reinigenden Abwassers liegen bei Ansatz größter Verschmutzung bei max. 450 Wh, so daß für die Reinigung von 1.000 m^3 Abwasser bei DM 0,10/kWh ein Aufwand von DM 45.—

= DM 0,045/m^3 Abwasser

erforderlich ist.

Die Aufwendungen für lösliche Anoden und gegebenenfalls erforderliche Säuren zur pH-Steuerung werden mit DM 0,04/m^3 geschätzt, so daß die Reinigung des Sickerwassers aus der Deponie keinesfalls den Betrag von DM 0,10 übersteigt.

Mit dem Verfahren ist es möglich, die Reinigung unabhängig von Mikro-Organismen, Abwasseranfall und ständig anwesendem Personal durchzuführen.

Bei kleinen Anlagen kann der anfallende Schlamm maschinell entwässert werden. Die dabei anfallenden Filtrate gehen wieder in die Reinigungsanlage zurück.

Bei dem Schlamm aus der Sickerwasserreinigung sind in besonders hohem Maße die schädlichen Inhaltsstoffe des Abwassers konzentriert, und es muß dafür Sorge getragen werden, daß auch diese Schlämme schadlos beseitigt werden.

Es liegt auf der Hand, daß für derartige Schlämme ein anderes Verfahren als die Entwässerung mit anschließender Ablagerung oder die übliche Verbrennung gewählt werden muß.

Im Abschnitt A wurde bereits darauf verwiesen, daß Verbrennungsrückstände teilweise bis zu einer Zehnerpotenz höhere Schadstoffkonzentrationen als der Müll aufweisen.

Daher kommt für die schadlose Beseitigung gerade dieser Schlämme nur die Verbrennung mit anschließender Sinterung der Schlacke in Betracht.

In Deutschland wird mit großem Erfolg bereits in Berlin-Ruhleben die Sinterung von Schlacke vorgenommen, wobei entgegen der vielfach verbreiteten Meinung nur max.-Temperaturen von 1.200° C für die Einschluß-Sinterung erforderlich sind.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Auf dem Markt sind — um nur zwei Systeme herauszugreifen — mit Erfolg Wirbelschichtöfen und Etagenöfen für die Schlammverbrennung im Einsatz. Mit nachgeschalteten Sinteranlagen erlauben sie eine problemlose Sinterung des Materials.

RASCH (29) berichtet über umfangreiche Versuche auf diesem Gebiet und kommt zu der Feststellung, daß „Müllschlacke bei guter Durchsinterung als Zuschlagstoff für zementgebundene Baustoffe gut geeignet sein muß".

Auch die industrielle Nutzung der Müllschlacke wird in dem Bericht als möglich erachtet.

Die Stadt Berlin verwendet derartige Schlacken bereits seit langem als Füllmaterial für Wege und Bürgersteige.

Eine andere Möglichkeit, die Schlämme schadlos zu beseitigen, wird derzeit in einer Versuchsreihe getestet, bei der der Versuch unternommen wird, die Schlämme als Zuschlagstoffe für die Herstellung von Leichtbauplatten und Gehwegplatten mit Grobkorn als Hauptzuschlagsstoff bei Verwendung von Zement als Bindemittel zu verwenden (HARTKORN — 30).

Wie sehr das Müllproblem und die dabei anfallenden Sickerwässer gerade die Planungen in Ballungsgebieten beschäftigen, zeigt ein am 27. April 1971 vom Hessischen Kabinett verabschiedetes Gesetz, demzufolge anstelle der 3.000 ungeordneten Müllkippen in Hessen die Einrichtung von 50 bis 60 zentralen Mülldeponien beschlossen wurde.

Das Hessische Landesgesetz wurde im Vorgriff auf die zu erwartende Bundesregelung verabschiedet, da die Hessische Landesregierung angesichts der immer bedrohlicheren Situation es für ihre Pflicht hält, sofort geeignete Maßnahmen zu ergreifen.

Die geordneten Mülldeponien sollen mit Einrichtungen zur schadlosen Beseitigung der Sickerwässer versehen bzw. nur an Stellen eingerichtet werden, an denen ein sicherer Schutz der Trinkwasservorkommen des Landes gewährleistet wird.

Anschrift des Verfassers: K.-H. HARTKORN VDI, Ober-Ing., Laboratorium für Technische Physik und Hygiene des Abwassers, D - 6090 Rüsselsheim (Main), Postfach 1406, Telefon 06142-63396.

Literatur

(1) REIMER: Müllplanet Erde, Hoffmann u. Campe-Verlag Hamburg 1971, S. 111, 68, 243.
(2) FERBER: Menge der festen Abfallstoffe, Müll- u. Abfallbeseitigung, Erich Schmidt-Verlag Berlin, Abschnitt 1740, S. 3 f.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

(3) CLODIUS: Gutachten: Wasser für Bevölkerung und Wirtschaft in den nächsten 30 Jahren, Bundesministerium für Gesundheitswesen, Bad Godesberg, Okt. 1969, S. 24—33.
(4) JÄGER: Zusammensetzung des Hausmülls, Müll- u. Abfallbeseitigung, Erich Schmidt-Verlag Berlin, Abschnitt 1760, S. 11—22.
(5) IMHOFF: Schlammengen, Taschenbuch der Stadtentwässerung, Oldenbourg-Verlag, München—Wien, 1963, S. 189.
(6) Bundesministerium f. Gesundheitswesen: s. n. Bad Godesberg: Schema der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung in der Bundesrepublik Deutschland, März 1968.
(7) HAENERT: Müll- und Abfallbeseitigung, 5. Berichtsheft 1969.
(8) Bundesministerium f. Gesundheitswesen: s. n. Bad Godesberg: Schema des Wasserkreislaufes im Jahre 1965, auf Grund der Ergebnisse der Amtl. Statistiken berechnet von S. CLODIUS, Januar 1967.
(9) KLOTTER und HANTGE: Abfallbeseitigung und Grundwasserschutz, Müll und Abfall, Erich Schmidt-Verlag Berlin, 1. Jahrgang 1969.
(10) Vereinigung Deutscher Gewässerschutz: s. n. Bad Godesberg: Gewässerschäden durch Ablagerung von Abfallstoffen, Schriftenreihe VDG 16/1967.
(11) GOLWER, MATTHES, SCHNEIDER: Selbstreinigungsvorgänge im aeroben und anaeroben Grundwasserbereich, aus dem Hess. Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, und dem Chemischen Laboratorium Fresenius, Wiesbaden, Schriftenreihe Vom Wasser, Band XXXVI.
(12) BUCKSTEEG: Abfalldeponien und ihre Auswirkungen auf Grund- und Oberflächenwasser, gwf, Oldenbourg-Verlag München—Wien, 110. Jahrg., Heft 20, 1969.
(13) GOLWER und MATTHES: Qualitative Beeinträchtigung des Grundwasserdargebotes durch Abfallstoffe, Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, Koblenz, Mitteilungsblatt der gewässerkundlichen Dienststellen des Bundes und der Länder 1969.
(14) BAUMANN: Die chemische Zusammensetzung von Flugasche, übernommen aus: Müll- u. Abfallbeseitigung, Erich Schmidt-Verlag, Berlin, Abschnitt 7550, Seite 8.
(15) KNOLL: Allgemeine und spezielle Probleme bei der Verwertung von Abfällen im Landbau, Müll- u. Abfallbeseitigung, E. Schmidt-Verlag, Berlin, Abschnitt 6618, S. 1—8.
(16) STRAUCH: Veterinärhygienische Probleme bei der Verwertung von Abfällen im Landbau, Müll- u. Abfallbeseitigung, E. Schmidt-Verlag, Berlin, Abschnitt 6620, S. 1—12.
(17) BRAUN: Möglichkeiten der Beseitigung von Stadtmüll, festen Industrieabfällen und Klärschlamm, Bewirtschaftung und Reinhaltung des Wassers, Oldenbourg-Verlag, München—Wien 1963.
(18) JAAG: Regionale Abwasserwirtschaft, eine Aufgabe der Zukunft, Bewirtschaftung und Reinhaltung des Wassers, Oldenbourg-Verlag, München—Wien 1963.
(19) v. AMMON: Neutralisieren, Fällen, Flocken, 6. Seminar des Österr. Wasserwirtschaftsverbandes, Raach, 1971.
(20) WEIMER: Die Abwässer der Metallindustrie, 3. Auflage, Eugen G. Leuze-Verlag, Saulgau (Wttbg), 1965.
(21) Tiefbauamt Rüsselsheim: bislang unveröffentlichte Untersuchungen, Baudir. Krug, 1970.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

(22) HARTKORN: Physik und Abwasser — Elektrische Kräfte, Abwasser-Reinigung, Hygiene, Städtehygiene, Heft 11/69, ML-Verlagsgesellschaft, Uelzen.
(23) HAASE: Physikalische Grundlagen, Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt (M), 1968.
(24) HARTKORN: Physikalische Verfahren bei der Reinigung von Abwasser, Städtehygiene, Heft 5/69, ML-Verlagsgesellschaft, Uelzen.
(25) EULER: Neue Wege zur Stromerzeugung, Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt (M), 1965.
(26) STRASCHILL: Lehrbuch der Elektrochemie, Oldenbourg-Verlag, München—Wien, 1962.
(27) VETTER: Elektrochemische Kinetik, Springer-Verlag, Berlin, 1961.
(28) POHL: Elektrizitätslehre, Zwanzigste Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 1967.
(29) RASCH: Schlacken, Müll- Abfallbeseitigung, E. Schmidt-Verlag, Berlin, Abschnitt 7530, S. 1—31.
(30) HARTKORN: bisher unveröffentlichte Arbeit aus dem Laboratorium für Technische Physik und Hygiene des Abwassers, Rüsselsheim (Main).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Wasser und Abwasser

Jahr/Year: 1971

Band/Volume: 1971

Autor(en)/Author(s): Hartkorn K. H.

Artikel/Article: Der Einfluß von Abwässern und Sickerwässern aus Mülldeponien auf das Grundwasser 113-152