

Chimia 49 (1995) 495-500  
 © Neue Schweizerische Chemische Gesellschaft  
 ISSN 0009-4293

# Altlastsanierung: Ergebnisse einer aktiven Grundwassersanierung nach vier Jahren Betriebszeit

Raymond Vouillamoz\*, Beat Steinmann und Hansjörg von Gunten

**Abstract.** An active groundwater purification was designed for a landfill treatment. Active means here, that the polluted groundwater is caught and cleaned in the region of the landfill and the leaching out of hazardous substances remaining in the tip is not prevented. The earlier these residual quantities are washed out, the quicker the potential threat of the tip is reduced.

The wells for the groundwater management could be put into operation after a construction time of about a year. Effects of the reversal of the direction of groundwater flow in the area were followed for more than one hydrologic year. The amount and quality of the contaminated and uncontaminated groundwater, as well as the annual amounts of TOC, ammonia, aniline, phenol, and *p*-toluidine are described. The change in groundwater quality inside and outside the landfill area is elucidated.

## 1. Einleitung

### 1.1. Vorgeschichte

Die Walliser Werke der *Lonza AG* betreiben seit 1923 in Gamsenried, auf dem Gebiet der Gemeinde Brig-Glis, eine Deponie für Produktionsrückstände. Die Grundfläche der Deponie hat in ihrer maximalen Ausdehnung etwa 24 ha umfasst und wurde inzwischen durch Verkehrsbauten wie die Kantonsstrasse auf rund 18 ha reduziert (Fig. 1).

Bis 1962 gelangte einzig Kalkhydrat aus der Acetylenengewinnung zur Ablagerung. Dieses bestand aus einem Schlamm von grosser Reinheit, welcher vom Werk zur Deponie gepumpt und anschliessend laguniert wurde (4 km). Die Mächtigkeit der Kalkhydratschicht reicht örtlich bis zu 15 m. Auf den insgesamt 24 ha Deponiegelände wurden etwa 1,5 Mio m<sup>3</sup> schlammförmige Rückstände deponiert. Da man aufgrund der damals vorhandenen Kenntnisse und Beobachtungen annahm, dass

die verfestigten Schlammschichten praktisch wasserundurchlässig seien, wurden zwischen 1963 und 1978 auch organische Produktionsrückstände auf die Deponie gebracht. Im Rahmen einer regionalen Grundwasseruntersuchung musste 1978 aber festgestellt werden, dass Schmutzstoffe aus den Ablagerungsprodukten ins

Grundwasser gelangten. Grundwasserproben aus der näheren Umgebung wurden entnommen und durch geeignete analytische Methoden wie GC/MS untersucht.

Folgende organische Inhaltsstoffe konnten in einem Konzentrationsbereich zwischen 0,1 bis 10 ppm identifiziert werden:

- *o*-, *m*- und *p*-Toluidin
- Anilin
- 1-Phenylethanol
- Phenol
- *p*-Cresol
- 5-Ethyl-2-methylpyridin
- 3-Methyl-1-phenylpyrazol-5-on

Daraufhin wurde die Ablagerung von verschmutzten Rückständen sofort eingestellt und Untersuchungen über Mechanismus und Ausmass der Stoffverfrachtung ins Grundwasser eingeleitet.

Bei der darauffolgenden hydrogeologischen Untersuchung wurden einzig folgende Schmutzstoffe als Indikatoren betrachtet und verfolgt:

- anorganische Stoffe: Ammonium und Chlorid
- organische Stoffe: Phenol, Anilin sowie *p*-Toluidin
- organische Parameter: TOC (= total organic carbon).

### 1.2. Verschmutzungsverfahren des Grundwassers

Das Grundwasserniveau schwankt im Laufe des Jahres periodisch, wobei es an den talabwärts liegenden ca. 2/3 der Deponielänge bis in die Deponiesohle eindringt. Beim maximalen Hochwasserstand wird bis ca. 60 000 m<sup>3</sup> des Deponiematerials durch Grundwasser benetzt. Die durch

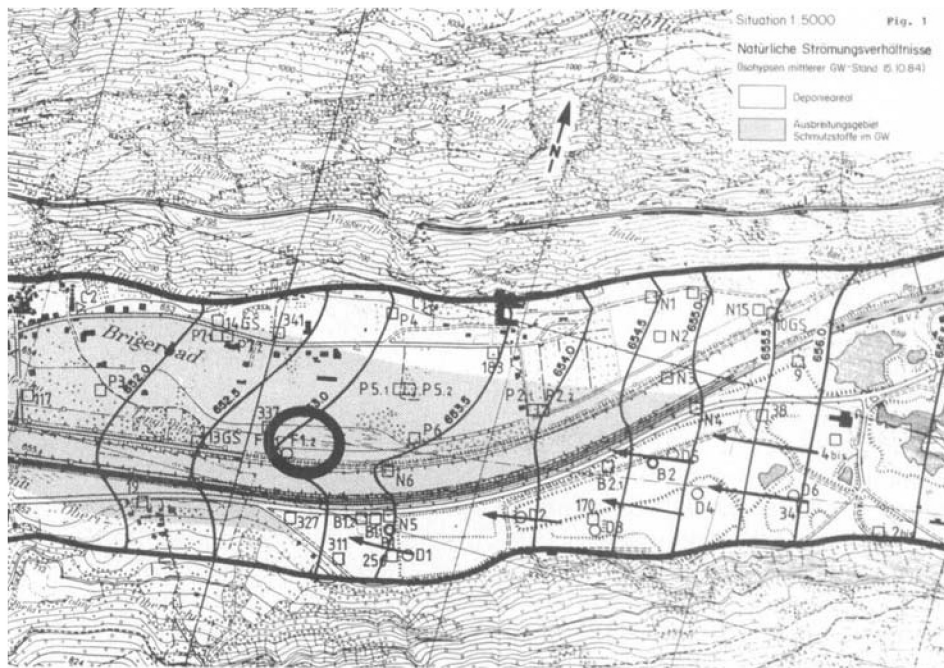


Fig. 1. Deponie in Gamsenried

\*Korrespondenz: Dr. R. Vouillamoz  
 Leiter Fachbereich Umweltschutz + Sicherheit  
 Lonza AG, Walliser Werke  
 CH-3930 Visp

Schema

1. Einkapselung
  - 1.1 Oberflächenabdeckung
  - 1.2 Seitliche Abschottung durch Dichtwände
  - 1.3 Sohleabdichtung
2. Bodenaustausch mit Verlagerung und kontrollierter Deponierung
3. Hydraulische Massnahmen mit Dekontamination des geförderten Wassers
4. On-site-Behandlung mit Herausnahme des Bodens
  - 4.1 Fixieren durch Zugabe von Bindemitteln
  - 4.2 Auswaschverfahren mit z.B. Wasser und hohem Druck
  - 4.3 Extraktion mit Lösungsmittel
  - 4.4 Biologische Behandlung mit schichtweisem Aufbau von Mieten unter Zugabe von Baumrinde
  - 4.5 Thermische Behandlung, Drehrohrofen mit direkter und indirekter Beheizung
5. In-site-Behandlung
  - 5.1 Absaugen von leichtflüchtigen Stoffen durch Unterdruck
  - 5.2 Extraktion (Bodenwäsche)
  - 5.3 Immobilisierung, Reduzierung der Löslichkeit
  - 5.4 Biologischer Abbau bzw. Oxidation
  - 5.5 Biologische Elimination von CKWs mittlerer und geringer Konzentration durch bereits vorhandene adaptierte Bakterien mit mineralischer Düngung durch Versickerung
  - 5.6 Einsatz speziell gezüchteter Bakterien

akuter Grundwasservergiftung als Sofortmassnahme einzuleiten, um einer Ausbreitung des Schadstoffes entgegenzuwirken. Das geförderte Wasser muss on-site oder in-site entweder biologisch oder falls möglich durch physikalisch-chemische Verfahrensschritte dekontaminiert werden.

2.2. Grundwasserbewirtschaftung

Anstelle einer Konservierung der Verschmutzung im Deponiekörper wird beim Konzept der Grundwasserbewirtschaftung eine Unterbindung des unkontrollierten Schmutzstofftransports aus dem Deponieareal in einen bestimmten Bereich als Ziel angestrebt. Im Bereich der Deponie ist also die Strömungsrichtung der obersten Grundwasserschicht so auszurichten, dass kein Wasser aus dem Deponiebereich wegfließen kann. Damit diese Umkehr der Strömungsrichtung ohne allzugrosse Senkung des Grundwasserspiegels im betrachteten Bereich erreicht werden kann, wurde im Zustrombereich (Ostrand) eine Absenkung durch Förderung von sauberem Grundwasser mittels fünf sehr grossen Vertikalfilterbrunnen erreicht (s. Tab. 1). Die abgepumpte Grundwassermenge wird so geregelt, dass einerseits in den oberen Grundwasserschichten eine Barrierewirkung erreicht wird und andererseits der untere Kulminationspunkt der Absenkung ausserhalb der Verschmutzungszone liegt.

Auf dem Deponieareal wurden zwölf Brunnen, sogenannte Schmutzwasserbrunnen, so installiert, dass sie einerseits die Strömungsrichtung der obersten Grundwasserschicht innerhalb des betrachteten Bereiches gegen die Deponie richten und andererseits keine zusätzliche Infiltration vom Flussbett des Rottens hervorrufen (Fig. 2). Die verschiedenen Pumpenleistungen werden durch Messungen bzw. Beobachtungen aus zwei im Abstand von etwa 30 m gelegenen Piezometern mit Messfühlern automatisch geregelt. Mit dieser Messanordnung kann die absolute Höhe des Grundwasserspiegels in den einzelnen Piezometern gemessen und aus den Differenzen die für die Steuerung der Anlage massgebenden Gradienten ermittelt werden (s. Tab. 2).

Gegenüber einer Oberflächenabdichtung kann diese Lösung als aktive Grundwassersanierung bezeichnet werden, weil eine Erfassung und Reinigung des verschmutzten Grundwassers im Deponiebereich erfolgt, und die Auslaugung der in der Deponie verbleibenden Schadstoffe nicht behindert wird. Je eher diese Restmengen ausgewaschen werden, desto rascher sinkt auch das Gefährdungspotential der Deponie und vermindert sich die Belastung des abgepumpten Grundwassers.

Tab. 1. Totale durchschnittliche geförderte Menge [m³/h], Grundwasserbrunnen Oberstrom

Jahr	Monat												Jahresmittelwert
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1991	350	356	323	355	344	368	371	355	360	359	332	336	351
1992	320	299	501	485	504	536	521	521	491	465	412	417	456
1993	419	372	340	349	363	492	468	474	457	504	412	385	420
1994	389	386	386	385	436	495	492	449	441	433	410	432	428

Tab. 2. Totale durchschnittliche geförderte Menge [m³/h], Schmutzwasserbrunnen

Jahr	Monat												Jahresmittelwert
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1991	30	29	29	35	40	49	39	41	42	35	40	58	39
1992	57	60	60	53	42	46	43	47	43	45	39	44	48
1993	41	45	50	49	58	53	47	38	42	40	34	55	46
1994	55	53	52	48	48	46	37	38	46	42	45	57	47

Meteorwasser eluierten Substanzen reichern sich an der Deponiesohle an, werden dann durch die saisonalen, bis in die Deponiesohle reichenden, vertikalen Grundwasserschübe ausgelaugt und durch die tieferliegenden, horizontalen Grundwasserströme weiterverfrachtet [1].

2. Altlastsanierung

2.1. Allgemeines

Nach Wiechert [2] lassen sich die Techniken zur Sanierung von Altlasten nach folgendem Schema gliedern:

Hydraulische Massnahmen sind bei

**2.3. Umsetzung**

Im Dezember 1989 wurde mit dem Bau der Brunnen angefangen. Ein Jahr später, im Oktober 1990, fand ihre Inbetriebnahme statt. Die Grundwasserbewirtschaftung lief seit Anfang Dezember 1990 im Normalbetrieb. Die Investitionskosten betragen 7 Mio. CHF. Für die Betriebskosten werden jährlich 1 Mio. CHF ausgegeben.

**3. Ergebnisse der aktiven Grundwasseranrierung**

**3.1. Umkehr der Strömungsrichtung des Grundwassers**

Bedingt durch die träge Reaktion des Grundwasserspiegels und die saisonalen Schwankungen wurden monatliche Messkampagnen während 43 Monaten vor Inbetriebnahme des Grundwasseranrierungssystemes und anschliessend während 17 Monaten bei 130 in der ganzen Breite vom Rottental verteilten Messpunkten durchgeführt. Grundwasser-Isohypsenkarten, die den wichtigsten Indikator zur Verifizierung des Grundwasser-Bewirtschaftungskonzeptes darstellen, wurden monatlich berechnet. Diese erlauben, den Betrieb der Grundwasser-Bewirtschaftung in allen wichtigen Phasen über etwas mehr als ein gesamtes hydrologisches Jahr zu verfolgen.

**Wichtige Phasen im Verlauf des Grundwasserspiegels**

Phase	Zeitperiode
allgemeiner Tiefstand des Grundwasserspiegels	Dezember 1990
Anstiegsphase des Grundwasserspiegels	März 1991
Sommerhochstand des Grundwasserspiegels	August 1991
Absinkphase des Grundwasserspiegels	Oktober 1991

Bei allen Phasen wurde folgendes festgestellt:

- Oberhalb der Deponie bewirkt das Betreiben der Oberstrom-Fassungsbrunnen im unbelasteten Grundwasser eine Verflachung des Grundwassergradienten und somit einen stark verminderten Zustrom von sauberem Grundwasser in den Deponiebereich; dieses wurde zwar über das gesamte hydrologische Jahr beobachtet (mittlere Absenkung: 1,0–1,5 m).
- Die Bildung einer Grundwassertrennlinie am NW-Rand der Deponie, bedingt durch die Brunnen 'Schmutzwasser', wurde im wichtigsten unteren

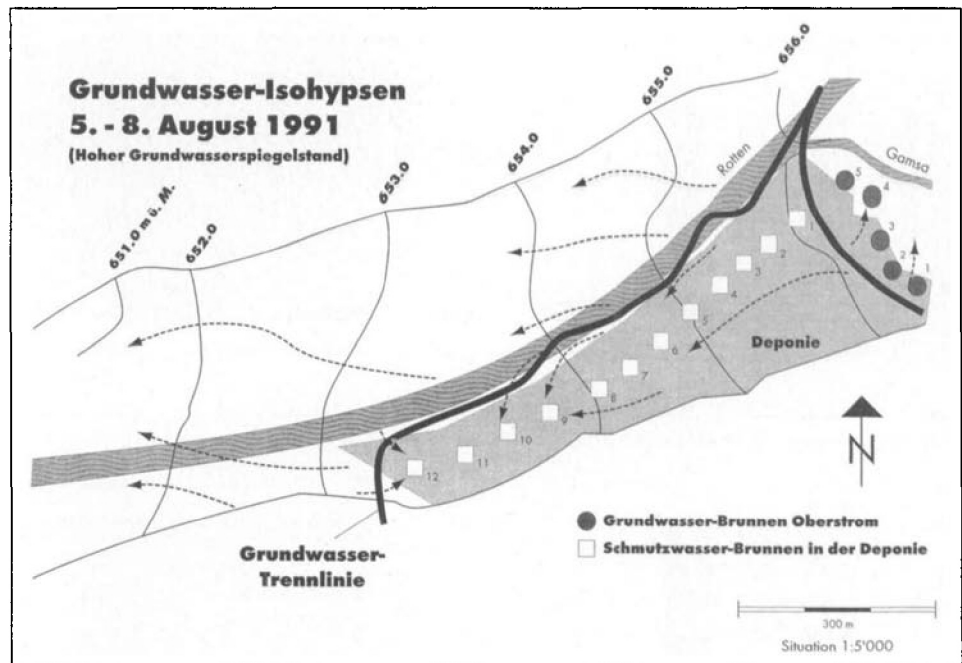


Fig. 2. Grundwasser-Isohypsen

Tab. 3. Qualität Grundwasser Oberstrom

Parameter	gemess. Bereich [mg/l]	Verordnung über Abwassereinleitungen Qualitätsziele für Fließgewässer und Flussstau	GW aus unbelastetem näherem Gebiet
TOC	< 0.5–10	2	< 20
pH	7.4–8.4	keine Änd. des natürl. pH-Wertes	8.5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	< 0.1–0.4	0.5	< 1
Cl <sup>-</sup>	9.0–17.0	100	12
Zn <sup>2+</sup>	< 0.01–0.03	0.2	
Al <sup>3+</sup>	< 0.01–0.3	0.1	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	80–160	100	123
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5.0–15.0	25	< 0.5

- und im oberen Teil ausgezeichnet realisiert. Einzig in einem kurzen Abschnitt im mittleren Teil verkleinern sich die Strömungskomponenten. Im ganzen Bereich wird also der Nachweis der Strömungsumkehr als realisiert betrachtet (mittlere Absenkung: 0,25–0,5 m) (Fig. 2).
- Die Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit, die als Summenparameter einen grossen Teil der anorganischen Verschmutzung (bestehend vor allem aus Chloriden und Sulfaten) aufzeigt, beweist, dass die Strömungsumkehr stattgefunden hat, und damit der Zustrom von diesen Substanzen unter-

brochen wurde. Bereits nach einem Jahr Grundwasserbewirtschaftung wurde eine im Vergleich zum früheren vorhandenen Mittelwert um den Faktor 3–4 kleinere elektrische Leitfähigkeit festgestellt.

**3.2. Qualität des Grundwassers bei Oberstrombrunnen**

Im Vergleich zur Verordnung über Abwassereinleitungen (Stand 01.07.90) ist in Bezug auf die Merkmale 'Qualitätsziele für Fließgewässer und Flussstau' im Grundwasser nur eine Überschreitung, insbesondere beim Parameter 'Sulfate', zu bemerken. Diese Überschreitung kann bei Grundwasserproben aus dem unbelasteten näheren Gebiet auch beobachtet werden (s. Tab. 3, Fig. 3–5) und stellt damit kein Problem für eine Einleitung in die Gamsa (bei der Rotteneinmündung) dar. Ein Teil des abgepumpten Wassers wird als Brauchwasser bei der nebenstehenden Kehrichtverbrennungsanlage eingesetzt.

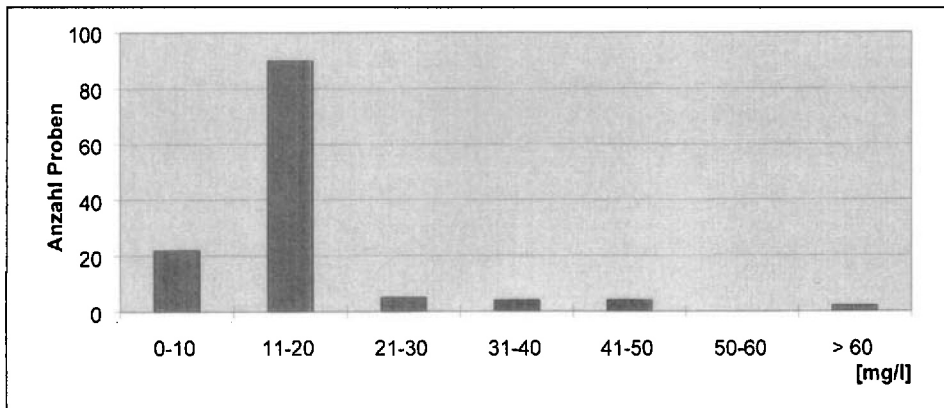


Fig. 3. Statistische Verteilung der Chlorid-Konzentration im Oberstrom

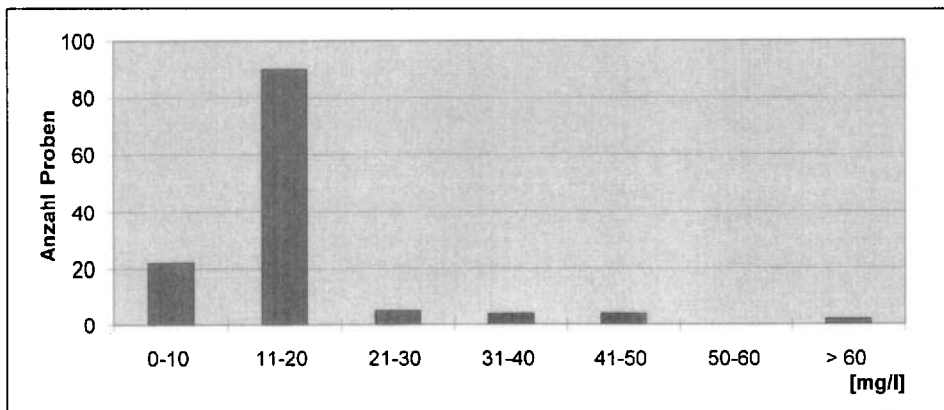


Fig. 4. Statistische Verteilung der Sulfat-Konzentration im Oberstrom

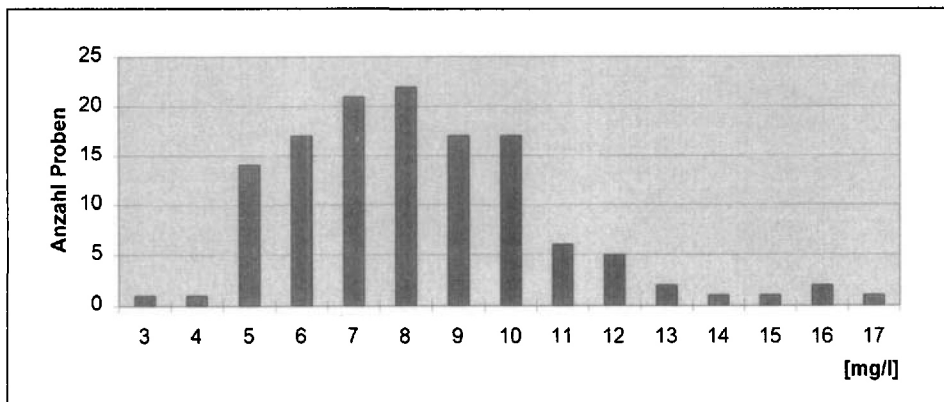


Fig. 5. Statistische Verteilung der Nitrat-Konzentration im Oberstrom

Tab. 4. Frachten aus dem Grundwasser im Deponieareal

Jahr	TOC	Chemische Substanzen [kg/a]			
		Ammoniak	Anilin	Phenol	p-Toluidin
1991	58035	65700	5329	2847	292
1992	44130	52165	3417	348	180
1993	37224	45527	2781	752	174
1994	32428	44393	2769	804	142

**3.3. Qualität des Grundwassers bei Schmutzwasserbrunnen**

Die Konzentrationen von den im Kap. 1.1 erwähnten chemischen Substanzen im abgepumpten Grundwasser werden regelmässig bestimmt. Die Frachten, die durch Auslaugung von im Deponiekörper ver-

bleibenden Schadstoffen entstanden sind, wurden berechnet (s. Tab. 4). Damit kann gezeigt werden, um welche Schadstoffmengen das Grundwasser ausserhalb des Deponiebereiches entlastet bzw. nicht belastet wurde.

Der TOC-Abbau des Deponiegrund-

wassers hat sich laufend verbessert. 1992 betrug dieser nur 80%, 1993 konnte aber ein Abbau von 88,4% gemessen werden. Die Entsorgung dieses Deponiegrundwassers stellt für eine industrielle ARA kein Problem dar.

**3.4. Lokale Veränderungen im Deponiebereich**

Ältere Messungen haben gezeigt, dass die verschiedenen Schadstoffe unregelmässig im Deponiekörper verteilt waren. Mit dem Ziel, mögliche lokale Veränderungen im Laufe der Grundwasserbewirtschaftung verfolgen zu können, werden quartalsweise bei allen Schmutzwasserbrunnen (C-Brunnen) Proben entnommen und analysiert.

Mit der Hilfe einer dreidimensionalen Darstellung der drei Parameter,

- einzelne C-Brunnen, d.h. geografische Verteilung
- Schadstoffkonzentration
- Zeit,

kann ein gesamtes Bild der Entwicklung gezeigt werden.

Die verschiedenen Figuren (Fig. 6-9) bringen die Bestätigung, dass die Schadstoffe geografisch sehr unterschiedlich verteilt sind und dass der Deponiekörper im Bereich der Brunnen C1 bis C3 am wenigsten belastet ist. Diese Figuren zeigen auch, dass jeder Schadstoff eine eigene Konzentrationsentwicklung bzw. -abnahme besitzt. Im Falle des Schadstoffs Phenol hat eine dramatische Konzentrationsabnahme im Grundwasser stattgefunden. Hingegen weisen die Schadstoffe Ammoniak und Anilin am Anfang eine rapide Konzentrationsabnahme im Grundwasser auf, die sich dann auf einem gewissen Niveau stabilisiert.

Diese Bilder spiegeln die Komplexität der zahlreichen Reaktionsmechanismen wider, die für organische Schadstoffe vor allem im Boden stattfinden. Zahlreiche Modelle sind in der Literatur für Adsorption/Desorptionsvorgänge beschrieben, wobei Degradationsprozesse wie Bio-, photochemische und Degradation durch chemische Agenzien auch in Betracht zu ziehen sind [3]. Anilin und Phenole werden im Boden rasch adsorbiert; dieser Vorgang ist bodenabhängig. Diese Sorption ist auch stark pH-abhängig: Für Anilin nimmt die Bindung bei höheren pH-Werten ab, so dass die Sorption oberhalb pH 7,5 stark zurückgeht. Hingegen erfolgt für Phenol eine stärkere Bindung in neutralen und alkalischen als in sauren Böden.

Der Deponiekörper besteht grundsätzlich aus Kalkhydrat, was eine Desorption von Anilin begünstigt, aber eine stärkere Bindung von Phenol verursacht. Durch

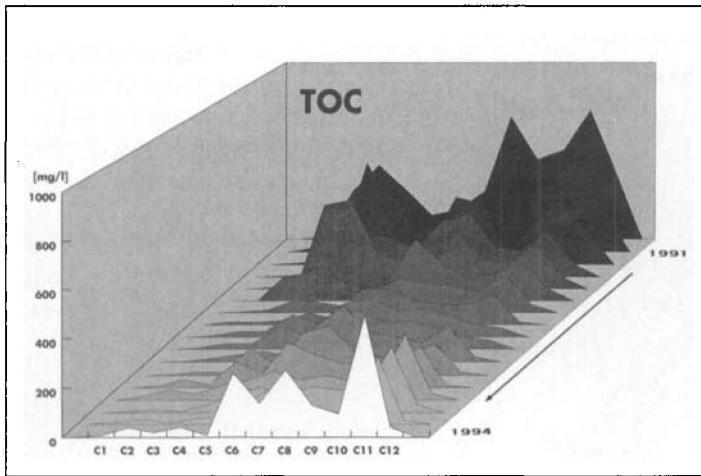


Fig. 6. Dreidimensionale Darstellung des Bereichs C-Brunnen, TOC

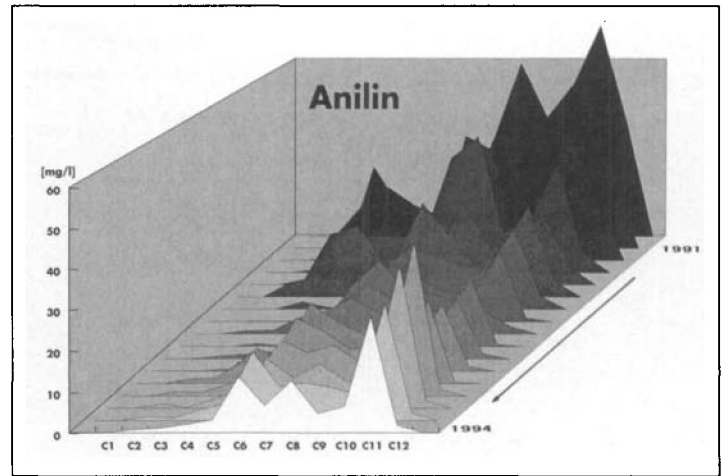


Fig. 7. Dreidimensionale Darstellung des Bereichs C-Brunnen, Anilin

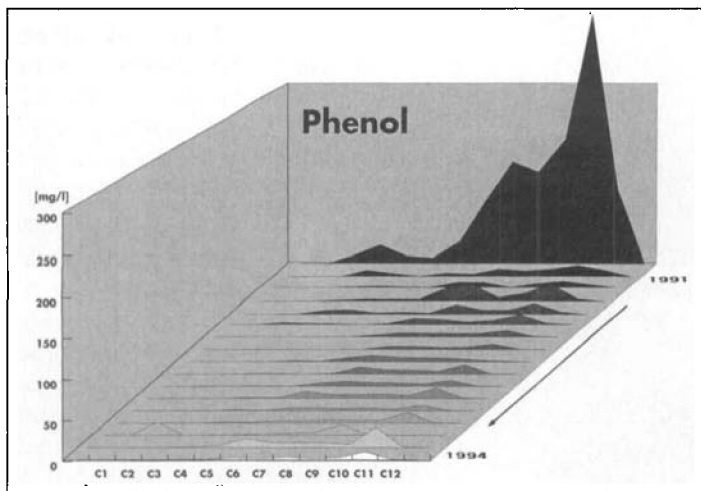


Fig. 8. Dreidimensionale Darstellung des Bereichs C-Brunnen, Phenol

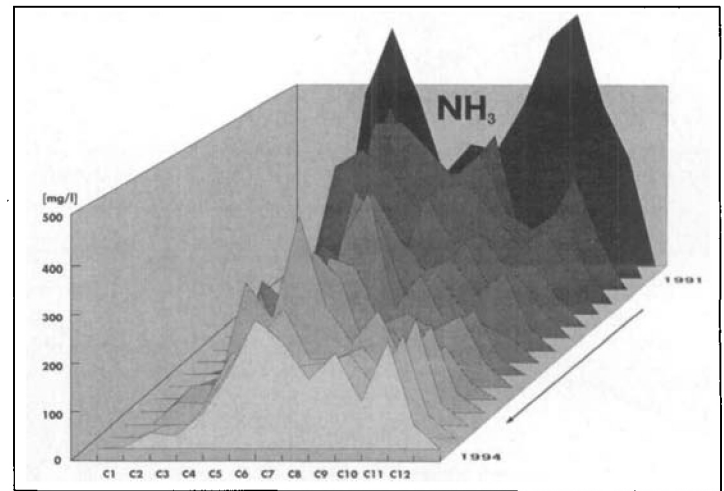


Fig. 9. Dreidimensionale Darstellung des Bereichs C-Brunnen, NH<sub>3</sub>

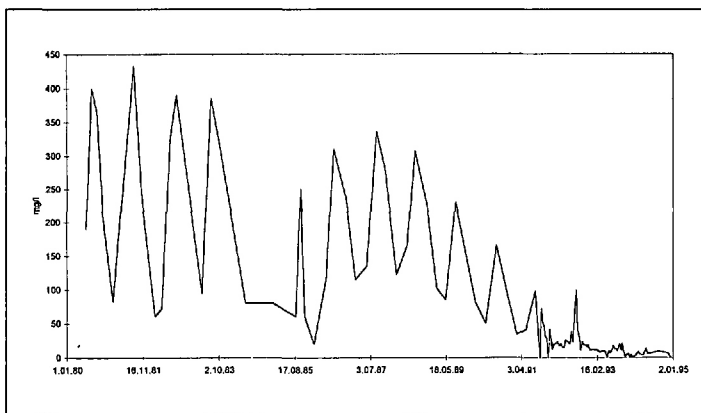


Fig. 10. Piezometer F1.2: zeitliche Entwicklung TOC

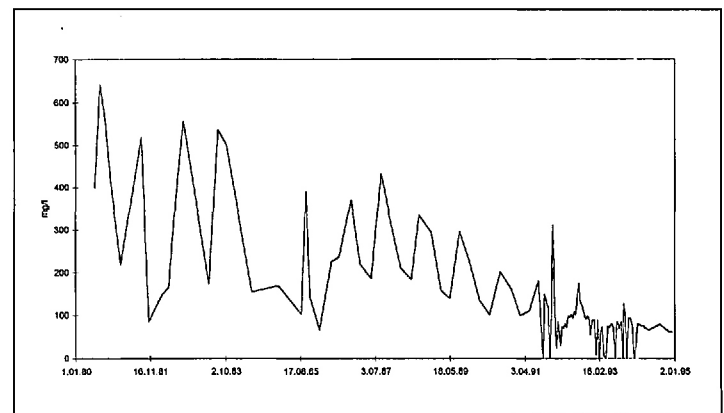


Fig. 11. Piezometer F1.2: zeitliche Entwicklung NH<sub>3</sub>

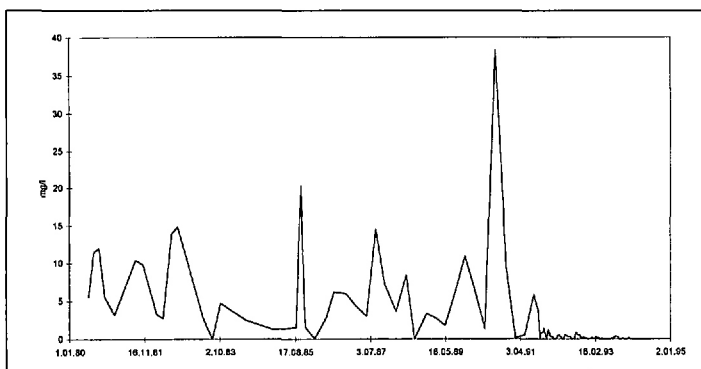


Fig. 12. Piezometer F1.2: zeitliche Entwicklung Phenol

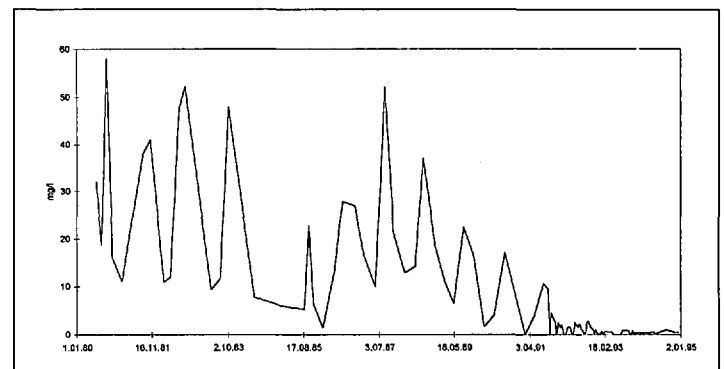


Fig. 13. Piezometer F1.2: zeitliche Entwicklung Anilin

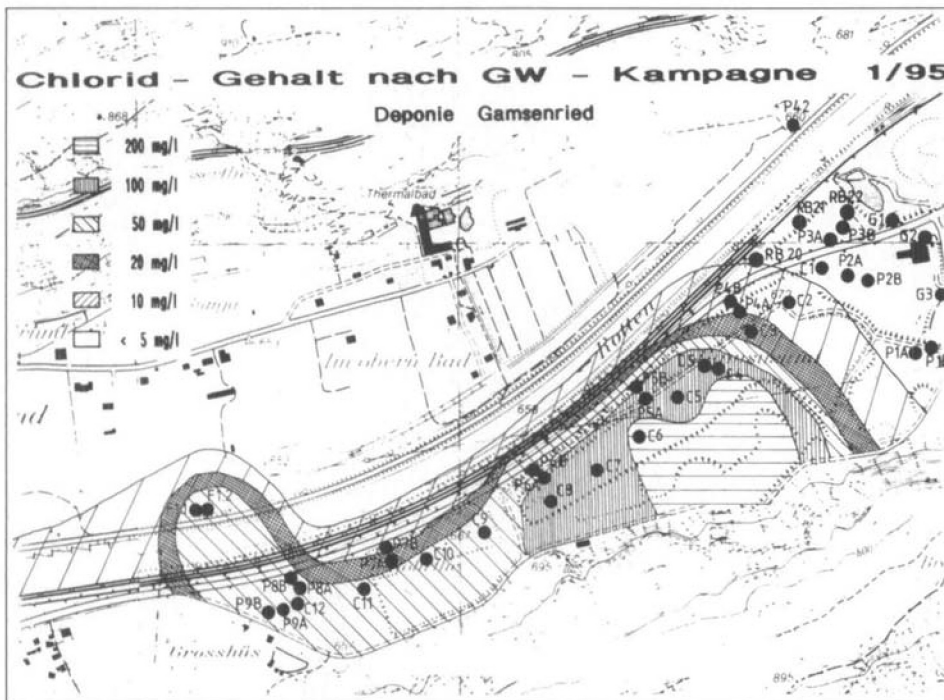


Fig. 14. Chlorid-Gehalt nach GW-Kampagne 1/95, Deponie Gamsenried

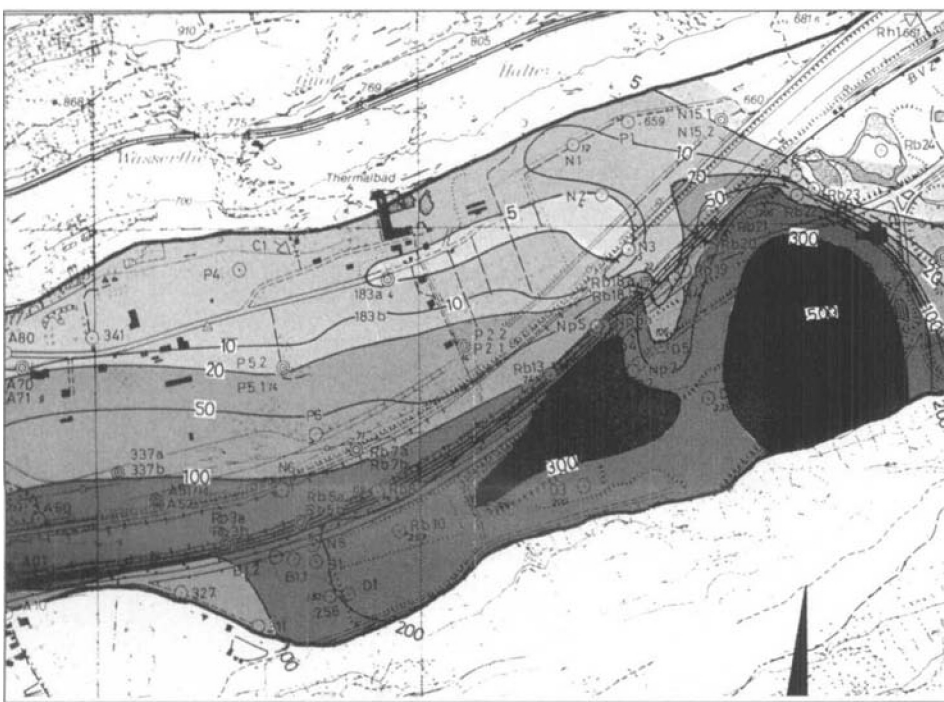


Fig. 15. Situation der Chlorid-Konzentration vor der Inbetriebnahme der Grundwasserbewirtschaftung

Tab. 5. Analysen zwischen 1980 und 1994 am rechten Rottenufer

Stoff	Schwankungsbereich [mg/l]	
	1980-1990	1992-1994
TOC	30-450	2-28
Ammoniak	50-650	10-140
Anilin	2-60	0.1-2
Phenol	1-40	0.1-2

Auslaugung wird also der Deponiekörper deutlich schneller von Anilin als Phenol befreit.

Im Fall des Schadstoffs Ammoniak sind die herrschenden Bedingungen optimal.

**3.5. Veränderung ausserhalb des Deponiebereiches**

Der Piezometer F1.2, am rechten Rottenufer, unmittelbar am Rotten, auf der Höhe vom Grosshüs, ist durch seine geographische Lage ein sehr guter Beobach-

tungspunkt. Die Auswertung der Analysen zwischen 1980 und 1990 zeigen, dass die Konzentrationen an TOC, Ammoniak, Anilin und Phenol jahreszeitlich in einem sehr grossen Bereich schwankten. Ab 1991 ist dieser Schwankungsbereich deutlich geschrumpft und tiefer angesetzt (Tab. 5). Ein Abklingen der Konzentration findet seit 1980 statt, wird aber durch die Grundwasserbewirtschaftung anfangs 1991 eindeutig beschleunigt (s. Fig. 10-13).

**4. Vergleich Stand Winter 94/95 – Mathematisches Modell**

Die Auswirkungen der Grundwasserbewirtschaftung wurden 1989 durch eine mathematische Simulation des zweidimensionalen Schmutzstofftransportes vorausgerechnet: Die Chlorid-Konzentration als typische Leitsubstanz kann bei einem Sanierungserfolg von 100%, d.h. eine 100% erfolgreiche Grundwasserbewirtschaftung, nach 27 Monaten den natürlichen Werten im Grundwasser ausserhalb des Deponiekörpers entsprechen [4]. Die Situation wurde während des Winters 94/95 überprüft. In der Tat hat eine Erholung des Grundwassers ausserhalb des Deponiekörpers stattgefunden. Die Grundwassererschmutzung ist eindeutig im Bereich des Deponiekörpers begrenzt (s. Fig. 14 und 15).

Eingegangen am 27. Juli 1995

[1] R. Vouillamoz, 'Deponiesanierung und Bau einer Reststoffdeponie', *Chimia* 1990, 44, 248.  
 [2] H.-W. Wiechert, Vortrag auf der Fachveranstaltung Altlasten, Haus der Technik, Essen, 22./23. Okt. 1986.  
 [3] U. Schmidhalter, 'Auswirkungen der Deponie Gamsenried auf die landwirtschaftliche Nutzung im Gebiet Brigerbad-Lalden', Dezember 1988.  
 [4] J. Rossier, 'Modélisation de la pollution de la nappe du Rhône par la décharge de Gamsenried', Juillet 1989.