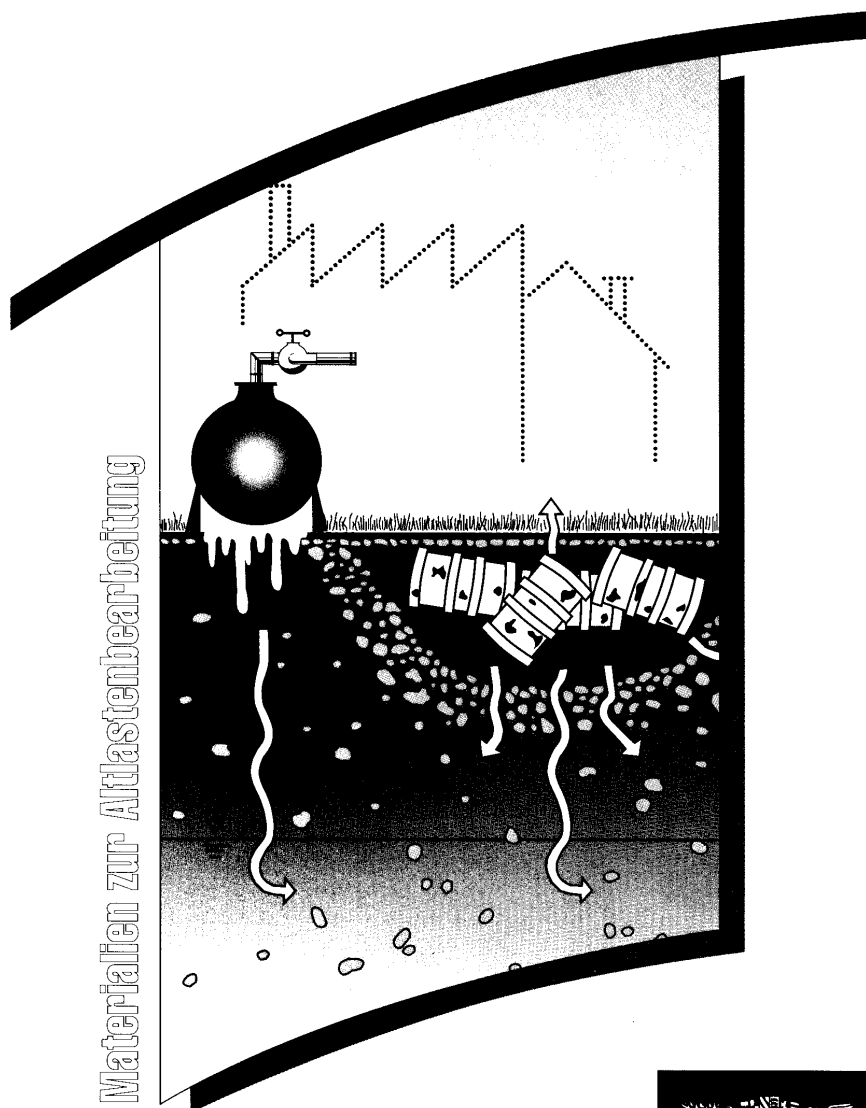


Handbuch Altlasten
und Grundwasserschadensfälle

Das Modellstandortprogramm des Landes Baden-Württemberg

Symposium 3.-5. März 1993



Materialien zur Altlastenbearbeitung



BODEN
ABFALL
ALTLASTEN



**Handbuch Altlasten
und Grundwasserschadensfälle**

Das Modellstandortprogramm des Landes Baden-Württemberg

Symposium 3.-5. März 1993



Herausgegeben von der
Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
1. Auflage

Karlsruhe 1993



Altlastenfachinformation im WWW

Impressum

Herausgeber: Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg

Projektbearbeitung: Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
Abteilung Boden, Abfall, Altlasten
Referat 54 Altlastensanierung
Dr. I. Blankenhorn
U. Kunzmann
A. Henseler

Karlsruhe, April 1993

Bei diesem Ausdruck handelt es sich um eine Adobe Acrobat Druckvorlage. Abweichungen im Layout vom Original sind rein technisch bedingt. Der Ausdruck sowie Veröffentlichungen sind -auch auszugsweise- nur für eigene Zwecke und unter Quellenangabe des Herausgebers gestattet.

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	1
ALTLASTENBEARBEITUNG IN BADEN WÜRTTEMBERG	2
1. EINFÜHRUNG	2
2. BODENSCHUTZ	2
3. ALTLASTEN.....	3
4. ERKUNDUNG UND SANIERUNG VON ALTLASTEN.....	4
5. ALTLASTENFONDS	6
6. MODELLSTANDORTPROGRAMM	6
7. BODENSANIERUNG.....	7
DER KOMMUNALE ALTLASTENFONDS	9
1. KOMMUNALE ALTLASTEN	9
2. INDUSTRIELLE ALTLASTEN/KRITIK	10
3. VORBILDFUNKTION DER ALTLASTENBEWERTUNG FÜR ANDERE UMWELTBEREICHE.....	11
4. GRENZWERTE	11
DIE MODELLSTANDORTKONZEPTION DES LANDES BADEN-WÜRTTEMBERG	13
1. VERANLASSUNG	13
2. DAS MODELLSTANDORTPROGRAMM, SEINE DURCHFÜHRUNG, DERZEITIGER STAND, ARBEITSERGEBNISSE..	14
3. AUSBLICK AUF DAS VOR UNS LIEGENDE PROGRAMM DES SYMPOSIUMS	16
GENERELLE VORGEHENSWEISE UND ERFAHRUNGEN BEI DER TECHNISCHEN ERKUNDUNG AN DEN MODELLSTANDORTEN	17
1. EINLEITUNG	17
2. MODELLSTANDORTE.....	18
3. ERKUNDUNGSSTRATEGIE.....	23
4. ERFAHRUNGEN AUS DER TECHNISCHEN ERKUNDUNG.....	27
5. STAND DER BEARBEITUNG	40
6. AUSBLICK.....	42
7. LITERATURHINWEIS	44
AUSWERTUNG DER GEOPHYSIKALISCHEN UNTERSUCHUNGEN AN DEN MODELLSTANDORTEN	52
1. EINLEITUNG	52
2. UMFANG DES UNTERSUCHUNGSPROGRAMMS.....	53
3. ZUSAMMENARBEIT	53
4. EIGNUNG DER EINZELNEN VERFAHREN MIT MEßBEISPIELEN.....	54
5. AUSWIRKUNGEN DES EINSATZES DER GEOPHYSIK.....	61
PROBENNAHME UND ANALYTIK BEI DER ALTLASTENERKUNDUNG	63
1. EINLEITUNG	63
2. DER "MODELLSTANDORT-CHEMIEARBEITSKREIS"	64
3. PROBENNAHME FÜR DIE CHEMISCH-PHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNG	64
4. DIE CHEMISCH-PHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNG	74
5. BIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN	81
6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	84
7. LITERATURVERZEICHNIS.....	85
ERKUNDUNG DES INHALTS VON ALTABLAGERUNGEN IM HINBLICK AUF STOFFGEFÄHRLICHKEIT UND SCHADSTOFFAUSTRAG	86
1. EINFÜHRUNG	86
2. KURZBESCHREIBUNG DER 3 MODELLSTANDORTE	88
3. STOFFLICHE ZUSAMMENSETZUNG, STOFFGEFÄHRLICHKEIT UND SCHADSTOFFAUSTRAG EHEMALIGER HAUSMÜLLDEPONIEN	92
4. ERKUNDUNGSMETHODEN	95

5. VERGLEICHENDE BEURTEILUNG DER ERKUNDUNGSMETHODEN	104
6. EMPFEHLUNG	106
7. LITERATUR	108
ERKUNDUNG DES DEPONIEGASHAUSHALTES VON ALTABLAGERUNGEN.....	110
1. EINLEITUNG	110
2. ERLÄUTERUNGEN ZUM GASHAUSHALT VON DEPONIEEN	110
3. CHARAKTERISIERUNG DES LANGZEITZUSTANDES EINER ALTABLAGERUNG.....	114
4. HANDLUNGSANWEISUNG IM RAHMEN DER GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG	124
5. LITERATUR	126
ERKUNDUNG UND SANIERUNG EHEMALIGER GASWERKSSTANDORTE.....	127
1. EINLEITUNG	127
2. ERFAHRUNGEN MIT GASWERKSSTANDORTEN IN DEN NIEDERLANDEN.....	127
3. GASWERKSSTANDORT GEISLINGEN.....	129
4. BESONDERE THEMEN BEI DER MODELLSTANDORTBEARBEITUNG.....	137
5. ÜBEREINSTIMMUNG UND UNTERSCHIEDE BEI DER BEARBEITUNG	143
6. AUSSICHT	144
MODELLHAFTE SANIERUNG VON ALTLASTEN	145
1. EINLEITUNG	145
2. UMWELTFORSCHUNG UND UMWELTTECHNOLOGIE.....	145
3. FÖRDERSCHEWERPUNKT „ALTLASTENSANIERUNG“	146
4. VERMEIDUNG VON ALTLASTEN	147
5. SANIERUNG VON ALTLASTEN.....	148
6. BMFT-PROGRAMM „MODELLHAFTE SANIERUNG VON ALTLASTEN“	148
7. PRAXISERFAHRUNGEN	152
ERFAHRUNGEN BEI DER MIKROBIELLEN SANIERUNG VON GASWERKSGELÄNDEN	153
1. EINLEITUNG	153
2. ABBAUVERHALTEN VON POLYCYCLISCHEN AROMATISCHEN KOHLENWASSERSTOFFEN.....	153
3. ZUSAMMENFASSUNG	158
4. VERWENDETE LITERATUR	158
KONZEPTIONELLE VORGEHENSWEISE BEI DER SANIERUNGSVORPLANUNG ODER: WIE KOMMT MAN ZU EINER FUNDIERTEN SANIERUNGSENTSCHEIDUNG?	159
1. EINFÜHRUNG	159
2. BEZUG ZU MODELLSTANDORTEN	159
3. ALLGEMEINES.....	161
4. WESENTLICHE PUNKTE BEI DER E ₃₋₄ BEARBEITUNG	162
5. SANIERUNGSENTSCHEIDUNG	168
6. BEISPIEL: E ₃₋₄ -BEARBEITUNG DES GASWERKS RASTATT.....	169
DIE SANIERUNGSVORPLANUNG AM BEISPIEL DES MODELLSTANDORTES MÜHLACKER..	178
1. EINLEITUNG	178
2. STANDORTBESCHREIBUNG.....	179
3. ERMITTLUNG VON SANIERUNGSZIELEN.....	189
4. VERFAHRENSVORWAHL	195
5. SANIERUNGSKONZEPTE.....	199
6. KOSTEN-WIRKSAMKEITSABSCHÄTZUNG.....	204
7. NICHT-MONETÄRE BEWERTUNG	206
8. GESAMTBEWERTUNG.....	208
EINSATZ DER UV-OXIDATIONSTECHNIK ZUR ABREINIGUNG CKW-KONTAMINierter BODENLUFT AM MODELLSTANDORT MÜHLACKER	209
1. VORBEMERKUNG.....	209
2. VERFAHRENSPRINZIP DER UV-OXIDATION	209
3. DURCHFÜHRUNG EINES VORVERSUCHS.....	213
4. AUSWERTUNG.....	223
5. ZUSAMMENFASSUNG	230

ENTWICKLUNG BIOLOGISCHER VERFAHREN ZUR SANIERUNG CKW-KONTAMINierter BÖDEN, GRUNDWASSER UND ABLUFT AM MODELLSTANDORT EPELHEIM - KONZEPTION UND REALISIERUNG DES ENTWICKLUNGSVORHABENS-.....	231
1. EINLEITUNG	231
2. DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN	235
3. ENTWICKLUNGSVORHABEN	240
4. ERSTELLUNG EINES SCHADSTOFFTRANSPORTMODELLS	249
5. BISHERIGE ERGEBNISSE AUS DEM MODELLSTANDORTPROJEKT	250
6. ZUSAMMENFASSUNG	252
ENTWICKLUNG BIOLOGISCHER VERFAHREN ZUR SANIERUNG CKW-KONTAMINierter BÖDEN, GRUNDWASSER UND ABLUFT AM MODELLSTANDORT EPELHEIM - MIKROBIOLOGISCHE GRUNDLAGEN UND BISHERIGE ERGEBNISSE DES ENTWICKLUNGSVORHABENS -	253
1. EINLEITUNG	253
2. ANFORDERUNGSLISTE DES BIOBERATER-GREMIUMS AN DIE AM STANDORT EINZUSETZENDEN MIKROBIOLOGISCHEN SANIERUNGSVERFAHREN	254
3. ERGEBNISSE UND KONSEQUENZEN DER UNTERSTÜTZENDEN ENTWICKLUNG	255
4. KONZEPT UND AUFBAU DER AM STANDORT ETABLIERTEN ON-SITE ANLAGEN (UMWELTSCHUTZ NORD) ZUR INTEGRIERTEN BEHANDLUNG VON BODEN, WASSER UND LUFT	262
5. DAS IN-SITU BODENSÄULENPROJEKT	271
6. ZUSAMMENFASSUNG UND PERSPEKTIVEN	273
7. DANKSAGUNG	274
8. LITERATUR	274
GEMEINSAME THERMISCHE BEHANDLUNG VON HAUS-/GEWERBEMÜLL UND ALTMÜLL AUS KOMMUNALEN ALTABLAGERUNGEN - ERGEBNISSE EINES VERBRENNUNGSVERSUCHS -	275
1. EINLEITUNG	275
2. VORÜBERLEGUNGEN ZU EINER VERSUCHSVERBRENNUNG VON ALTMÜLL	276
3. ARBEITEN UND MAßNAHMEN ZUR VORBEREITUNG DES VERBRENNUNGSVERSUCHS	278
4. DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHSVERBRENNUNG VON ALTMÜLL	280
5. ZUSAMMENFASSUNG UND BEWERTUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE	295
ALTLASTENBEARBEITUNG AUS RECHTLICHER SICHT	297
1. EINLEITUNG	297
2. ÜBERBLICK ÜBER WESENTLICHE PROBLEMPUNKTE NACH DER DERZEITIG GEGEBENEN RECHTSLAGE	298
3. LÖSUNGSANSÄTZE	310
4. AUSBLICK AUF DIE WEITERE BEHANDLUNG VON RECHTSFRAGEN DER ALTLASTENBEARBEITUNG	312
5. SCHLUßWORT	313
6. LITERATURVERZEICHNIS	313
WIEVIELE KOMMUNALE ALTABLAGERUNGEN MÜSSEN SANIERT WERDEN?	315
1. EINLEITUNG	315
2. BEWERTUNG UND SANIERUNGSENTSCHEIDUNG	315
3. ANZAHL BEWERTETER ALTABLAGERUNGEN/ERREICHTES BEWEISNIVEAU	317
4. FESTGESTELLTER HANDLUNGSBEDARF UND MAßGEBLICHES SCHUTZGUT	318
5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	320
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	321
TABELLENVERZEICHNIS	325
INDEXVERZEICHNIS	326

Vorwort

In Baden-Württemberg sind derzeit etwa 6500 ehemalige Mülldeponien und „wilde“ Ablagerungen bekannt. Hochrechnungen, die von Gebieten ausgehen, in denen eine flächendeckende historische Erhebung von altlastverdächtigen Flächen bereits durchgeführt wurde, zeigen, daß in Baden-Württemberg mit einer Gesamtzahl von 35000 Altablagerungen und Altstandorten zu rechnen ist. Erkundung, Bewertung und Sanierung von Altlasten vollziehen sich systematisch, einheitlich und stufenweise auf der Grundlage des Gesetzes über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen und die Behandlung von Altlasten in Baden-Württemberg (Landesabfallgesetz - LAbfG) vom 8. Januar 1990. Die fachliche Grundlage der Altlastenbearbeitung bildet die vom Ministerrat am 17. Oktober 1988 beschlossene Konzeption zur Behandlung altlastverdächtiger Flächen und Altlasten in Baden-Württemberg. Ein integraler Bestandteil dieser Konzeption war die Durchführung des „Modellstandortprogramms“ Baden-Württemberg. An acht repräsentativen Modellstandorten wurden die unterschiedlichsten Erkundungsverfahren seit 1988 erprobt.

Zwischenzeitlich sind bei den Modellstandorten alle technischen Erkundungsschritte einschließlich der Sanierungsvorplanung durchlaufen; teilweise wurde bereits mit den ersten Sanierungsmaßnahmen begonnen. Dies war Anlaß, die Arbeitsergebnisse einem breiteren Fachpublikum und der Öffentlichkeit innerhalb des von der LfU vom 3. bis 5. März 1993 veranstalteten Symposiums „Modellstandortprogramm des Landes Baden-Württemberg“ vorzustellen.

Für Entscheidungsträger bei Behörden und Kommunen sowie für ausführende Ingenieurbüros soll der nun vorliegende Tagungsband, in dem die Fachbeiträge des Symposiums zusammengefaßt werden, als weitere Grundlage für ein sachgerechtes, gezieltes und kostengünstiges Vorgehen bei der Altlastenbearbeitung dienen.

Dr. Kiess
Präsident der
Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg

Altlastenbearbeitung in Baden Württemberg

H. B. Schäfer

Umweltminister des Landes Baden-Württemberg

- Es gilt das gesprochene Wort -

1. Einführung

Meine Damen und Herren, ich bin sehr gern hier nach Karlsruhe gekommen, um das Symposium "Modellstandortprogramm des Landes Baden-Württemberg - Erfahrungen für die Praxis" zu eröffnen.

Ich freue mich, daß dieses Symposium an der Universität in Karlsruhe veranstaltet wird. Karlsruhe war schon wiederholt Tagungsort für einen fruchtbaren Gedankenaustausch auf dem Gebiet der Altlastenerkundung und -sanierung. Erst vor 3 Monaten habe ich hier das Internationale Symposium zur "Biologischen Reinigung von Böden" eröffnet.

Die Universität Karlsruhe ist zusammen mit dem Kernforschungszentrum und der Landesanstalt für Umweltschutz eine der 3 Wissenschaftseinrichtungen, die im "Forschungsschwerpunkt Umwelt Karlsruhe" zusammenarbeiten. Gerade auf dem Gebiet der Altlastenerkundung und -sanierung erbringen die am "Forschungsschwerpunkt Umwelt Karlsruhe" beteiligten Wissenschaftseinrichtungen Pionierleistungen, die gleichzeitig auch wichtige Impulse für die Entwicklung der Technologieregion Karlsruhe geben.

Meine Damen und Herren, Baden-Württemberg ist ein von Industrie und Gewerbe geprägtes und dicht besiedeltes Land. Hier werden nicht nur industrielle Spitzenprodukte, sondern hier wird Dank fruchtbarer Böden und günstigem Klima auch ein breites Band an Nahrungsmitteln erzeugt. Gerade in einem solchen Land spielen Bodenschutz und speziell Altlastensanierung eine bedeutende Rolle.

Der Boden gehört wie Luft und Wasser zu den natürlichen Lebensgrundlagen für den Menschen. Boden ist leicht zerstörbar, nicht vermehrbar und kaum erneuerbar. Unbelastete, fruchtbare Böden sind daher kostbar sie haben in ihrer heutigen Ausformung vielfach 10.000 bis 20.000 Jahre zu ihrer Entstehung gebraucht.

2. Bodenschutz

Trotzdem sind wir lange Jahre unserer Verantwortung für diese Lebensgrundlage nicht gerecht geworden lange Jahre haben wir nur ungenügend Rücksicht auf den Schutz der Böden, des Untergrundes und auch des Grundwassers genommen. Lange Jahre blieb die Tragweite der Bodenbelastung durch Schadstoffe aus Industrie, Landwirtschaft, Gewerbe, Haushalt und Verkehr unbeachtet. Selbst die Umweltpolitik konzentrierte sich in den letzten 20 Jahren vornehmlich auf die offensichtlicheren Umweltprobleme: Schadstoffbelastung der Luft und Gewässerverschmutzung.

Jetzt wird erstens klar, daß wir das als selbstverständlich vorausgesetzte Selbstreinigungsvermögen von Böden und Untergrund überschätzt haben. Das zeigt sich durch das Auftreten spektakulärer Fälle von Umweltschäden, und das zeigt sich noch eindringlicher, wenn man Bodenbelastungen systematisch durch Messungen erhebt und untersucht.

Mit anderen Worten: Beim Bodenschutz holen uns heute die Sünden der Vergangenheit ein - wie übrigens in sehr vielen anderen Umweltbereichen auch.

Es zeigt sich zweitens, daß es nicht nur unendlich viel mühsamer und schwieriger, sondern auch sehr viel teurer ist, nachträglich Umweltschäden zu reparieren als diese Schäden bereits an der Quelle zu vermeiden. Auch deshalb, meine Damen und Herren, ist es so töricht, angesichts der gegenwärtigen konjunkturellen Schwierigkeiten jetzt eine Atempause für den Umweltschutz zu fordern. Das mag für ein paar Jahre gutgehen, um uns dann um so brutaler einzuholen. Wirtschaftliche Probleme als Freibrief für Kurzsichtigkeit in der Politik - das ist jedenfalls mit mir nicht zu machen.

Für die Sünden unserer Industriegesellschaft ist der Boden das beste und sicherste Archiv. In diesem Archiv geht fast nichts verloren. Nun hat unsere Generation die Aufgabe, eine weit über 100-jährige Industrie- und Siedlungsgeschichte aufzuarbeiten.

3. Altlasten

Dabei zeigen sich die verheerenden Folgen eines Wirtschaftens ohne hohe Umweltstandards besonders beim Thema *Altlasten*. Altlasten sind in allen Industrieländern entstanden: Durch den jahrzehntelangen sorglosen Umgang mit umweltbelastenden Stoffen in Industrieanlagen, durch undichte Rohrleitungs- und Kanalnetze, vor allem aber auch dadurch, daß gefährliche Produktionsabfälle bis in die jüngste Vergangenheit hinein entweder einfach an Ort und Stelle vergraben oder vor die Werkstore gefahren und in der freien Landschaft abgekippt wurden. In der Tat sind es die industriellen Altstandorte und die Industriemüllablagerungen, die uns die größten Sorgen machen - größere Sorgen etwa als die alten kommunalen Hausmüllkippen.

Meine Damen und Herren, eine moderne Umweltpolitik muß - aus ökologischen und aus ökonomischen Motiven - alles daran setzen, daß Umweltbelastungen, gerade auch für den Boden, gar nicht erst entstehen. Wir sind aber auch in der Pflicht, und zwar wiederum aus ökologischen und ökonomischen Gründen, bereits eingetretene Bodenbelastungen soweit wie möglich "zu reparieren".

Ziele der Umweltpolitik im Bereich Altlasten müssen deshalb sein:

1. Zukünftige Entstehung von Altlasten vermeiden
2. Vorhandene Altlasten sanieren.

Ein wesentliches Instrument zur *Vermeidung* von Altlasten sehe ich in der ökologischen Unternehmensführung. Insbesondere durch die Vermeidung von Sonderabfällen und durch die Reduzierung des Einsatzes wassergefährdender Stoffe müssen Gefahrenpotentiale abgebaut werden. In den Fällen, in denen die Vermeidung solcher Stoffe mittelfristig nicht möglich ist, muß der sorgfältige Umgang mit ihnen im Mittelpunkt stehen.

Die Aufgabe der Politik ist es, umweltorientierte Unternehmensführung mit modernen Managementmethoden wie Ökobilanzen und Öko-Controlling zu fördern und zu ihrer Verbreitung beizutragen.

Ein zweites Instrument ist die bereits auf den Weg gebrachte grundsätzliche Reform der Abfallentsorgung. Die Rohmülldeponie - potentielle Altlast von morgen - muß der Vergangenheit angehören problematische Abfälle müssen aus dem Haus- und Gewerbemüll herausgefiltert werden.

4. Erkundung und Sanierung von Altlasten

Meine Damen und Herren, neben der zukünftigen Vermeidung von Altlasten ist die Erkundung und Sanierung vorhandener Altlasten ein Kernstück unserer Umweltpolitik. Sie entwickelt sich zunehmend zu einer zentralen Herausforderung des Umweltschutzes.

Das wird deutlich, wenn man sich die Zahlen vergegenwärtigt. Allein in Baden-Württemberg kennen wir ca. 6.500 ehemalige Müllkippen und wilde Ablagerungen. Aufgrund neuester Erhebungen zeichnet sich ab, daß wir landesweit mit ca. 17.000 Verdachtsflächen bei den Altablagerungen und mit ca. 18.000 Verdachtsflächen bei den industriellen Altstandorten rechnen müssen.

Derzeit läuft auf ca. 1/6 der Landesfläche die systematische Suche nach diesen Verdachtsflächen (flächendeckende historische Erhebung) und auf einem weiteren Sechstel der Landesfläche befinden sich entsprechende Erhebungen in Vorbereitung.

Die Ergebnisse der flächendeckenden historischen Erhebung sind für die Kommunen von unschätzbarem Wert. Dies in zweierlei Hinsicht: Die konkreten Informationen über Altlast-Verdachtsflächen auf ihrer Gemarkung versetzen die Gemeinden erstens in die Lage, das Altlastenproblem einzugrenzen, zu bewerten und nach Prioritäten systematisch anzugehen. Zweitens sind diese Informationen heute unverzichtbare Grundlagen für die Bauleitplanung.

Nach dem Baugesetzbuch sind die Gemeinden bei der Aufstellung von Bebauungsplänen ja zu Feststellungen und Untersuchungen darüber verpflichtet, ob sich der Baugrund für die geplante Nutzung eignet. Andernfalls können sie gegenüber den Erwerbern der Grundstücke in Millionenhöhe schadensersatzpflichtig werden. Die Gemeinden müssen darüber hinaus auch in bereits bebauten Gebieten prüfen, ob Altlasten zu einer Gefährdung bestimmter Nutzungen führen können.

Industrielle und kommunale Altlasten und, ganz wichtig, allein schon der Verdacht auf das Vorliegen einer Altlast haben spürbare Auswirkungen auf den Grundstücksmarkt und natürlich auf die kommunale Entwicklungspolitik. Heute übernimmt niemand ein Grundstück mit industrieller Vornutzung, ohne daß er einen sicheren Nachweis in der Hand hat, daß es frei von Altlasten ist.

Es ist daher völlig klar: Die Sanierung von Altlasten und mit ihr die Wiedernutzbarmachung von Industriebrachen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Altlastensanierung leistet damit auch einen ganz wesentlichen Beitrag zur Sicherung des Wirtschaftsstandortes Baden-Württemberg.

Meine Damen und Herren, angesichts der großen Zahl von Verdachtsflächen stellt sich in aller Dringlichkeit die Frage, welche Strategie wir bei den industriellen Altlasten verfolgen sollen. Es wäre in meinen Augen grundfalsch, wenn in einem Generalangriff alle altlastverdächtigen Flächen gleichzeitig intensiv untersucht und saniert werden sollten. Das ist weder leistbar noch finanzierbar. Wir brauchen vielmehr ein abgestuftes Verfahren, in dem Schritt für Schritt nach Gefahrenlage vorgegangen wird.

Baden-Württemberg hat sich daher mit der Konzeption zur Behandlung von altlastverdächtigen Flächen bereits 1988 für ein solches "stufenweises Vorgehen" bei der Erhebung, Erkundung, Sanierung und Überwachung von Altlasten entschieden.

Beginnend mit einfachen und kostengünstigen Erkundungsmethoden werden nur die Fälle, bei denen sich ein entsprechender Gefahrenhinweis ergibt, mit technisch aufwendigeren und somit kostspieligeren Maßnahmen weiter erkundet. Die in der Regel sehr kostenintensiven Sicherungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen werden erst bei umfassend erkundeten Standorten angewandt.

Diese abgestufte Vorgehensweise macht es einerseits möglich, daß relativ schnell mit einfachen Verfahren eine große Zahl von altlastverdächtigen Flächen vorläufig bewertet werden können.

Mindestens genauso wichtig ist aber auch der zweite Effekt. Andererseits nämlich können durch diese Vorgehensweise die technischen, finanziellen und personellen Ressourcen auf die wirklich relevanten Altlastenfälle konzentriert werden.

Meine Damen und Herren, gerade die Sanierung von Altlasten zeigt, daß unterlassener Umweltschutz kurzfristig möglicherweise zu einer Kostenersparnis führt, aber längerfristig Folgekosten verursacht, die in keinem Verhältnis zur ursprünglichen Kostenersparnis stehen.

Bei den industriellen Altlasten ist zunächst klar, daß es beim Prinzip der Verursacherhaftung bleiben muß. Dies bedeutet im Klartext, daß derjenige für die Kosten aufkommen muß, der die Kontamination verursacht hat oder der Eigentümer des Grundstückes ist. Es ist nicht zu vertreten, daß Firmen jahrelang gutes Geld mit ihrer umweltbelastenden Produktion verdienen und anschließend verseuchte Industriegrundstücke der Allgemeinheit zur Sanierung übergeben.

Dennoch gibt es zahlreiche Fälle, bei denen der Verursacher nicht ermittelt werden kann oder das betreffende Unternehmen schon längst nicht mehr existiert.

Wir wissen aus schwierigen Fällen hier in Baden-Württemberg, daß für die Sanierung von einzelnen Altlasten mühelos zweistellige Millionenbeträge erforderlich werden können. Es ist nicht vertretbar, wenn die Allgemeinheit, d.h. der Steuerzahler, diese Kosten der Sanierung industrieller Altlasten tragen müßte.

Baden-Württemberg hat daher mit der Einführung der Landesabfallabgabe im April 1991 einen Fonds geschaffen, aus dem die Sanierung industrieller Altlasten finanziert werden kann, wenn vom Verursacher nichts mehr zu holen ist. Bisher wurden aus dem Fonds fast 20 Millionen DM bereitgestellt.

5. Altlastenfonds

Ein weiteres Finanzierungsinstrument stellt der kommunale Altlastenfonds dar, den Land und Kommunen gemeinsam tragen. Mit einem Volumen von ca. 100 Mio. DM pro Jahr werden die landesweite Erhebung altlastverdächtiger Flächen und die Erkundung und Sanierung kommunaler Altlasten finanziert. Seit Beginn der Förderung aus dem Kommunalen Altlastenfonds im Jahr 1988 wurden insgesamt 340 Mio. DM für die Altlastenbearbeitung bereitgestellt.

Gegenwärtig haben wir mehr als 1.400 Förderanträge im Rahmen der technischen Erkundung - Gesamtvolumen 134 Mio. DM - und 72 Förderanträge für Sanierungsmaßnahmen - Volumen ca. 102 Mio. DM - . Diese Zahlen verdeutlichen, daß bei einer zu erwartenden Zunahme der Förderanträge im Bereich Sanierung, der Kommunale Altlastenfonds bald nicht mehr ausreichen wird.

Umso wichtiger ist es, daß wir durch die Entwicklung und Erprobung von Erkundungs- und Sanierungstechnologien Erfahrungen sammeln, die uns in die Lage versetzen, mit minimalem Aufwand ein Maximum an Wirkung zu erzielen.

6. Modellstandortprogramm

Damit bin ich beim Thema des heutigen Symposiums, denn genau hier setzt das Modellstandortprogramm des Landes an. An 8 ausgewählten Standorten haben wir seit 1988 eine Vielzahl von praktischen Erfahrungen mit der Behandlung von Altlasten gewonnen. Dadurch wird es möglich, die Altlastenbearbeitung an anderen vergleichbaren Standorten sachgerechter, gezielter, kostengünstiger und rascher durchzuführen.

In einer Vielzahl von Vorträgen und bei Exkursionen vor Ort werden Sie in den kommenden Tagen Gelegenheit haben, die an den Standorten gesammelten Erfahrungen kennenzulernen.

Besondere Aufmerksamkeit möchte ich auf den Modellstandort Eppelheim lenken. Bei der biologischen Sanierung von CKW und BTX-Kontaminationen ist es hier gelungen, Wissenschaftler, Ingenieurbüros und ausführende Firmen zusammenzuführen, um so ein optimales Zusammenwirken von Forschung und Praxis zu erreichen. Praxisfragen, Fragen, die sich ausführende Firmen stellen, fließen unmittelbar in die Forschungstätigkeit ein und umgekehrt.

Das Vorhaben wird bis Ende diesen Jahres laufen - bereits jetzt kann man sagen, daß die intensive Durchdringung und gegenseitige Befruchtung von Wissenschaft und Praxis der eigentliche Motor dieses international einmaligen Projektes ist. Ich denke, daß dieser Ansatz auch bei anderen Projekten verstärkt platzgreifen sollte.

Einen wichtigen Schritt in diese Richtung sehe ich in der Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung VEGAS, die am Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart entstehen wird.

Die VEGAS ist eine neuartige Einrichtung zur Weiterentwicklung von Altlastensanierungstechnologien, deren Investitionskosten von insgesamt 10 Mio DM zu 50 % durch den Bun-

desminister für Forschung und Technologie getragen werden. Erste Versuche können voraussichtlich Anfang 1995 beginnen.

Ich hoffe, daß es mit der VEGAS gelingen wird, Laborergebnisse noch besser und schneller in die Praxis zu übertragen und somit auch hier eine gegenseitige Förderung von Wissenschaft und Praxis zu erzielen.

7. Bodensanierung

Meine Damen und Herren, der vordringliche Bedarf an umweltverträglichen Sanierungstechnologien zeigt sich sehr deutlich an der bisher üblichen Sanierungspraxis bei Bodenbelastungen: Ausheben und Ablagern der kontaminierten Böden auf Hausmüll- oder Sonderabfalldeponien.

Dies ist heute keine akzeptable Lösung mehr.

Nicht allein deshalb, weil diese Lösung bei Kosten von bis zu 1.000,-- DM pro Tonne zu teuer wäre und, weil die Stadt- und Landkreise heute über keine ausreichenden Deponiekapazitäten mehr verfügen. Sondern vor allem, weil so das Problem nur zeitlich und räumlich verlagert wird. Im übrigen wäre es abfallwirtschaftlich vollkommen verfehlt, wertvolles, Deponievolumen mit belastetem Erdaushub aufzufüllen, der in riesigen Mengen anfällt. Dies ist ein zentraler Punkt gerade in unseren Verdichtungsräumen. Denn dort haben wir nicht nur besondere Altlastenprobleme, sondern auch teilweise dramatische Entsorgungsengpässe.

Die Folgerung aus diesen Überlegungen kann nur heißen: Wir brauchen erstens dringend Anlagen zur Zwischenlagerung und Reinigung von kontaminiertem Erdaushub, d. h. wir brauchen *Bodenreinigungszentren*. Zweitens brauchen wir Deponien für schwachbelastete Böden.

Dabei mangelt es nicht in erster Linie an fortschrittlichen Technologien, sondern häufig - und dies will ich hier ganz deutlich sagen - am politischen Willen, in den Kommunalparlamenten, Bodenreinigungszentren allein oder in kommunaler Zusammenarbeit zu errichten.

Es muß insbesondere den Städten deutlicher als bisher bewußt werden, daß regionale Bodenreinigungszentren unverzichtbare Standortfaktoren für ihre städtebauliche Entwicklung sind. Bauvorhaben in Ballungsgebieten lassen sich vielfach aufgrund fehlender Infrastruktur auf dem Gebiet der Bodenreinigung nur noch mit erheblichen Zusatzkosten realisieren zum Teil bleiben belastete Grundstücke über Jahre hinweg ungenutzt liegen. Nur diejenigen Städte, die in Zukunft über ein solches Bodenreinigungszentrum verfügen, am besten kombiniert mit Anlagen zur Aufbereitung von Bauschutt, werden die Entwicklungschancen voll nutzen können, die ihnen brachliegende Flächenreserven heute bieten.

Bodenreinigung ist aber nicht nur ökonomisch von großer Bedeutung, sondern muß auch aus ökologischen Gründen vorangebracht werden. Neben der Vermeidung von Bodenbelastungen ist die Verwertung von Böden das zweitwichtigste umweltpolitische Ziel.

Ziel bei der Behandlung von belastetem Bodenmaterial muß daher sein, möglichst viele Böden wiederverwerten zu können. Dazu sind klare Bewertungsmaßstäbe notwendig.

Es besteht auf diesem Gebiet ein dringender Regelungsbedarf. Sowohl das Land Baden-Württemberg als auch die Bundesregierung arbeiten an entsprechenden Rechtsvorschriften, die Maßstäbe für die Erzeugung umweltverträglicher Sekundärrohstoffe durch Verwertung von Bauschutt, Baustellenabfällen, Erdaushub und Straßenaufbruch festlegen sollen.

In Baden-Württemberg werden zudem derzeit unter Federführung des Umweltministeriums Orientierungswerte für das Sanierungsziel und den Sanierungseinstieg bei Boden- und Grundwasserbelastungen erarbeitet. Diese Werte müssen sowohl den Belangen des Bodenschutzes als auch des Grundwasserschutzes gerecht werden.

Eine vorläufige Regelung für die Bewertung von Bodenbelastungen mit Dioxinen hat das Umweltministerium bereits mit Erlaß vom 21.01.1992 getroffen.

Meine sehr verehrten Damen und Herren, ich hoffe, daß es mir gelungen ist, Ihnen einen Eindruck von den Aktivitäten zu vermitteln, die wir hier in Baden-Württemberg zur Bewältigung des Altlastenproblems gestartet haben.

Wenn man die Gesamtdimension des Problems ins Auge faßt, so müssen wir bekennen, daß wir noch immer am Anfang stehen. Dennoch sind die Weichen in die richtige Richtung gestellt und wir denken, daß wir erfolgreich vorankommen.

Ich möchte die Gelegenheit nutzen, allen zu danken, die zum Gelingen des Modellstandortprogrammes beigetragen haben. Gleichzeitig will ich Sie ermutigen, die vielversprechenden Ansätze mit Energie und Zuversicht weiterzuverfolgen.

Ich wünsche der Veranstaltung einen guten Verlauf.

Der kommunale Altlastenfonds

*H. Kälberer,
Oberbürgermeister der Stadt Vaihingen/Enz*

1. Kommunale Altlasten

Im Vergleich zu anderen Umweltbereichen wie Abwasserbeseitigung und Gewässerschutz, Luftreinhaltung, Abfallbeseitigung usw. haben wir uns erst relativ spät, seit dem Jahr 1988, den Altlasten zugewandt. Die Finanzierung erfolgt über den Kommunalen Investitionsfonds und aus Mitteln des Staatshaushaltsplanes (1993 bringen Land und Kommunen dafür zusammen rd. 100 Millionen DM auf).

Nach dem gegenwärtigen Diskussionsstand werden im Jahr 1993 voraussichtlich 83 Millionen zur Verfügung stehen, wobei der Anteil aus dem Kommunalen Investitionsfonds in etwa gegenüber den früheren Jahren gleich bleiben wird, aber das Land seinen Anteil voraussichtlich kürzen wird. So wie die Dinge momentan zu beurteilen sind, werden ab dem Jahr 1995, wenn der neue Länderfinanzausgleich kommt, diese Mittel im Kommunalen Investitionsfonds wesentlich gekürzt werden. Das würde bedeuten, daß auch die Mittel für den Altlastenfonds nicht unwesentlich gekürzt werden. In den vergangenen Jahren wurden die bereitgestellten Mittel, die sich etwa in der Größenordnung von 120 Millionen DM pro Jahr bewegten, nicht voll ausgeschöpft. Das hängt damit zusammen, daß wir im wesentlichen noch in der Erkundungsphase sind und die Sanierungsphase noch nicht richtig begonnen hat. Erstmals im Jahr 1992 wurden die Mittel ausgeschöpft.

Die Rechtsgrundlage für die Förderung bilden die Förderungsrichtlinien Altlasten vom 3. September 1990, die im gemeinsamen Amtsblatt veröffentlicht sind. Nach diesen Richtlinien werden die Erkundungsmaßnahmen zu 100 %, die Sanierungsmaßnahmen mit einem Regelsatz von 50 % gefördert. Liegen die Sanierungskosten über einer Million DM bis 10 Millionen DM werden nach einem abgestuften Satz bis zu 75 % gefördert, wobei für finanzschwache Gemeinden die Möglichkeit besteht, diesen Fördersatz auf 90 % zu erhöhen. Diese Entscheidung muß dann der Verteilerausschuß treffen.

Der Verteilerausschuß besteht aus zwei Vertretern des Landes und je einem Vertreter der kommunalen Landesverbände, d.h. dem Gemeindetag, dem Städtetag und dem Landkreistag Baden-Württemberg. Die Maßnahmen werden unter Zugrundelegung der Dringlichkeitseinstufung durch die LfU von diesem Verteilerausschuß gefördert. Deshalb ist es wichtig, daß wir gleiche Bewertungskriterien haben, um alle Altlasten nach gleichen Kriterien einstufen und so dann auch fördern können. Nach einer vierjährigen Erfahrungszeit können wir sagen, daß sich der Verteilerausschuß in dieser gemischten Zusammensetzung von staatlichen und kommunalen Vertretern bewährt hat.

Zwischenzeitlich wurde eine Menge erreicht. Bei über 3.000 kommunaler Altlastverdachtsflächen wurden die historischen Erkundungen durchgeführt und somit die entsprechenden Daten gesichert. Dies war wohl auch nur zu erreichen, weil die Erkundungen zu 100 % aus dem kommunalen Altlastenfonds finanziert werden.

Zum Stufenplan und zum Vorgehen verweise ich auf den Vortrag von Dr. Seng.

Die Frage, die sich in diesem Zusammenhang stellt ist: schaffen wir mit unseren heutigen Mülldeponien für unsere Enkel nicht auch wieder riesige Altlasten?

Der Landkreis Ludwigsburg hat beschlossen, dieses Problem mit einem Modellversuch auf der "laufenden" Mülldeponie "**Burghof**" in Vaihingen/Enz-Horrheim anzugehen. Innerhalb eines Versuchszeitraums von einem Jahr soll ein Deponievolumen von 40.000 cbm mit einem Kostenaufwand von rd. 4 Millionen DM aufgearbeitet werden. Bei einem dreijährigen Betrieb der Anlage würden sich die Kosten auf jährlich rd. 2,5 Millionen DM reduzieren. Dieser Modellversuch hat folgende Zielsetzung:

- Reinigung der Altlasten von das Grundwasser verunreinigenden Stoffen.
- Herstellen einer, dem heutigen Stand der Technik entsprechenden Abdichtung.
- Herstellen von "inertem Deponiegut."
- Rückgewinnung von Alt- und Wertstoffen aus der Altdeponie.
- Gewinnung von Deponievolumen.

Wenn solche Verfahren sich als erfolgreich erweisen, so wäre das auch von der Finanzierung her über die Abfallgebühren eine Aufgabe unserer und nicht unserer nachfolgenden Generationen.

2. Industrielle Altlasten/Kritik

Während wir im Bereich der kommunalen Altlastenverdachtsflächen die entsprechenden Daten sichern, die nach einem Stufenplan für die eigentliche Sanierung notwendig sind, so wird ein Industriegelände im Prinzip erst dann zur Altlastenverdachtsfläche erklärt, wenn es sich um eine Industriebranche handelt. Ein Bild über das Gefährdungspotential einer Region erhält man aber nur dann, wenn Flächen, bei denen eine Industrieproduktion noch im Gange ist, mit in die Altlastenverdachtsuntersuchung einbezogen werden. Im Bereich noch aktiver Industrieproduktion wird häufig erst dann gehandelt, wenn eine Schädigung bei einem der Schutzgüter nachgewiesen ist.

Es müßte ein Weg gefunden werden, daß Industriebetriebe ihre eigene Aktensicherung betreiben und bei ehemaligen Betriebsangehörigen die Informationen einholen, bevor es zu spät ist. Vorbild könnte die in den Niederlanden praktizierte Regelung sein. In einer Kooperation zwischen Industrie und Verwaltung wurden in allen 11 Provinzen Stiftungen zur Bodensanierung von Betriebsgeländen gegründet. Aufgabe des Personals dieser Stiftung ist es, die organisatorischen Voraussetzungen zu schaffen und die technischen Vorgaben zu geben, daß in den einzelnen Industriebetrieben die entsprechenden Gefahrverdachtserkundungen durchgeführt werden.

Ich halte es für dringend notwendig, daß hier unsere Landesregierung die Initiative gegenüber der Industrie ergreift. Was auf freiwilligem Wege zu lösen ist, sollte auch so gelöst werden. Gesetzliche Grundlagen sollten dort geschaffen werden, wo sie notwendig sind. Zum Beispiel muß verhindert werden, daß durch die Gründung von Tochtergesellschaften, die in den Konkurs geschickt werden, kontaminierte Flächen in Zukunft verstärkt an die öffentliche Hand zurückfallen und die Sanierung somit aus öffentlichen Mitteln bestritten werden muß.

3. Vorbildfunktion der Altlastenbewertung für andere Umweltbereiche

Die von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) entwickelten Bewertungskriterien und die Risikozahl für eine Altlast ermöglicht ein systematisches Vorgehen nach der Dringlichkeit bzw. nach dem Gefahrenpotential.

Weshalb Vorbildfunktion?

Auf die öffentliche Hand, vor allem auf die Kommunen, kommen riesige Milliardenaufwendungen im Bereich der Sanierung unserer Abwasserkanäle, der dritten Reinigungsstufe für unsere Kläranlagen, der Wasserversorgung (z.B. Schaffung von Wasseraufbereitungsanlagen), der kommunalen Altlastensanierung usw. zu. Dem gegenüber steht, zumindest für einen mittelfristigen Zeitraum, die Unmöglichkeit unserer öffentlichen und kommunalen Finanzen, das alles in einem überschaubaren Zeitraum zu schaffen. Prioritäten haben in den Kommunen, verursacht durch gesetzliche Vorgaben (z.B. Rechtsanspruch auf einen Kindergartenplatz ab dem 3. Lebensjahr) und durch den Druck aus der Bevölkerung wieder Kindergärten und Schulhausbauerweiterungen. Auch bei kostenrechnenden Einrichtungen wird die Belastung der Bürger über die Gebühren irgendwo ihre Grenze finden. Der Mut unserer Politik, dem Bürger klar zu sagen, was auf ihn in den kommenden Jahren an finanziellen Belastungen alles zukommt, fehlt ohnehin. Wenn dem aber so ist, dann müssen wir nach Dringlichkeit, auch im Umweltbereich, ordnen, Maßnahmen strecken, Grenzwerte im Einzelfall - dort wo wird handlungsfähig sind - überdenken. Das ist deshalb wichtig, damit wir nicht weniger Wichtiges tun und das Wichtige dann nicht mehr finanzieren können.

Die von der LfU entwickelten Bewertungskriterien erlauben uns im Altlastenbereich ein solches, auch nach den finanziellen Ressourcen, abgestimmtes Vorgehen. In vielen anderen Bereichen haben wir das so nicht.

4. Grenzwerte

Lassen Sie mich zum Schluß noch etwas außerhalb des Themas zu den Grenzwerten sagen.

Die Politik sagt, wir müssen die Grenzwerte, die uns die Wissenschaft, die Fachleute vorgeben, zugrunde legen. Die Wissenschaft und die Fachleute wiederum sagen, ähnlich wie es für das Militär gilt, die Verantwortung hat die Politik. So kommt in Zeiten des knappen Geldes vielfach etwas dabei heraus, das nicht - zumindest nicht in dem vorgegebenen Zeitrahmen - finanzierbar ist. Und so kommt es auch, daß nicht immer das Wichtige vor dem weniger Wichtigen getan wird.

Ich meine, wir müssen einen Weg finden, daß die Fachleute der Politik sagen (die ja keine Fachkompetenz hat), das ist ein Mindestwert, der auf jeden Fall eingehalten werden muß, das ist ein Mittelwert und das ist ein wünschenswerter Wert. Nur so kann die Politik abwägen in der Vernetzung zu anderen Umweltbereichen und zu anderen Aufgaben. So wird das begrenzte Geld sinnvoller eingesetzt.

Mein Appell also auch an die Wissenschaft und an die Fachleute: nicht nur die Fach sondern auch die Gesamtverantwortung sehen!

Die Modellstandortkonzeption des Landes Baden-Württemberg

Dr.-Ing. H.J. Seng, LfU Karlsruhe

1. Veranlassung

Der Ministerrat des Landes Baden-Württemberg hat am 17. Oktober 1988 einen Stufenplan zur Altlastensanierung beschlossen. Danach soll bei der Bewältigung des Altlastenproblems in drei Stufen vorgegangen werden. Der Plan faßt die fachlichen Grundlagen für die Altlastenbearbeitung und das Finanzierungskonzept zusammen. In einer ersten Stufe soll die Erfassung, Erkundung und Bewertung altlastverdächtiger Flächen, in einer zweiten Stufe ihre Sicherung und Sanierung und in der dritten Stufe ihre Überwachung erfolgen. Für die erste Stufe wurde von der Landesanstalt für Umweltschutz ein systematisches Vorgehen entwickelt und im Altlastenhandbuch Baden-Württemberg, Teil I und Teil II veröffentlicht.

Die Erkundung beginnt mit einer sog. flächendeckenden Erhebung, an die sich eine historische Erkundung des Einzelstandortes anschließt. Erst danach wird mit den aufwendigen technischen Erkunden des Standortes begonnen. Die technische Erkundung wiederum erfolgt in zwei Schritten, der orientierenden (E₁₋₂) und der näheren Erkundung (E₂₋₃). Abgeschlossen wird der Erkundungsteil mit der eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung (E₃₋₄). Zwischen jedem dieser Schritte findet eine Bewertung des Standortes in einer der 44 Bewertungskommissionen bei den Stadt- und Landkreisen statt. Das Bewertungsergebnis ist die Festlegung des angemessenen Handlungsbedarfes, der bis zum Beweismiveau 3, d. h. nach Abschluß von E₂₋₃ entweder "Ausscheiden" (A), "Belassen" (B), fachtechnische Kontrolle (C) oder weiteres "Erkunden" (E) heißt. Bei Beweismiveau 4, d. h. nach Abschluß von E₃₋₄ ist zwischen dem Handlungsbedarf C und D, d. h. Durchführung der Sanierung zu entscheiden. Die ermittelte Risikozahl ist der Gradmesser für die Dringlichkeit, mit der die Maßnahmen durchzuführen sind.

In den beiden ersten Schritten der historischen Erhebung und der historischen Erkundung kommt der Sicherung der Daten aus öffentlichen und privaten Archiven höchste Bedeutung zu. Das gleiche gilt für die Befragung von Zeitzeugen und die Dokumentation von Flächen, die vor einer Umwidmung stehen. Auch wenn die aufwendigen technischen Erkundungen aufgrund der begrenzten personellen und finanziellen Ressourcen erst in späteren Zeiten ggfs. auch Generationen durchgeführt werden können, sind damit die Grundlagen für ein effektives Vorgehen auch für die Zukunft gesichert. Erfahrungen haben gezeigt, daß technische Erkundungen, die nicht auf einer ausreichend guten Grundlage historischer Daten, z. B. den Lageplänen von Fabrikgeländen aufgebaut sind, häufig ins Leere gehen bzw. unverhältnismäßig hohe Kosten bei geringen Erfolgsaussichten verursachen.

Wie in dem vorangegangenen Vortrag dargestellt, werden die Erkundungen an kommunalen Standorten zu 100 % aus dem kommunalen Altlastenfonds Baden-Württemberg finanziert. Dies und die Tatsache, daß von einem gesicherten **Stand der Technik** bei dem Vorgehen bei

der technischen Erkundung von altlastverdächtigen Flächen nicht gesprochen werden kann - jeder Gutachter bringt eigene Vorschläge bzgl. der Strategie und der Technik zur Probennahme und zum Analysenumfang und den Methoden - haben das Modellstandortprogramm Baden-Württemberg's begründet. Dadurch, daß die Erkundungsarbeiten alleine aus dem Staatshaushalt bezahlt werden, sah sich der Staat auch veranlaßt, für deren effektiven Einsatz verstärkt Sorge zu tragen. Antragsteller für die Förderung von Maßnahmen zur Erkundung an kommunalen Standorten ist die einzelne Kommune. Bei der vorliegenden Konstellation leuchtet es ein, daß die Landesregierung ihrerseits Instrumente schaffen muß, um einen effizienten und sparsamen Einsatz dieser Fördermittel zu garantieren. Die Förderanträge der Kommunen werden zwar von den technischen Fachbehörden fachtechnisch und bezüglich der Kosten überprüft, bevor sie dem Regierungspräsidium als bewilligender Behörde vorgelegt werden, doch fehlten zu Beginn der Altlastenbearbeitung in den Fachbehörden des Landes, wie auch in den übrigen Bundesländern und im Ausland, die entsprechenden fachlichen Erfahrungen und Grundsätze. Gutachter sowie Erkundungs- und Sanierungsfirmen schlugen die unterschiedlichsten Vorgehensweisen und Techniken vor, über deren Effizienz und auch über die letzten Endes entstehenden Kosten oftmals kaum oder wenig Erfahrungen vorliegen. Das Land Baden-Württemberg hat deswegen bei der Landesanstalt für Umweltschutz im Jahre 1987 ein Institut für Altlastensanierung eingerichtet. Aus ihm sind die Referate 53 "Altlastenbewertung" und 54 "Altlastensanierung" der Abteilung Boden, Abfall, Altlasten der Landesanstalt für Umweltschutz hervorgegangen. Neben der Entwicklung des systematischen Vorgehens und dessen Einführung in die Verwaltung des Landes bei der Erfassung und Bewertung von altlastverdächtigen Flächen, sollte von ihm ein Modellstandortprogramm durchgeführt werden.

2. Das Modellstandortprogramm, seine Durchführung, derzeitiger Stand, Arbeitsergebnisse

Es wurden zunächst acht repräsentative altlastverdächtige Flächen ausgewählt

- ein ehemaliges Gaswerk,
- drei alte Industrieabfallablagerungen,
- vier alte Hausmülldeponien bzw. Mischmülldeponien
- an denen die verschiedensten Techniken zunächst zur Erkundung und im Anschluß daran zur Sanierung erprobt werden sollten. Mittlerweile ist an vier Standorten die Erkundung abgeschlossen.

Verschiedene Vorgehensweisen bei der Erhebung altlastverdächtiger Flächen - hier wurde in 16 Pilotgemeinden gearbeitet - wurden ebenfalls getestet. Die dabei gewonnenen Arbeitsergebnisse sind jedoch nicht Gegenstand des Symposium heute und morgen.

Bei der technischen Erkundung wurde in einem ersten Schritt, der orientierenden Erkundung (E₁₋₂), versucht, mit relativ kostengünstigen Methoden wie Bodenluftuntersuchungen, Geophysik u. ä. bessere Grundlagen für die Entscheidung in der Bewertungskommission über den notwendigen weiteren Handlungsbedarf am Standort zu schaffen. Die von verschiedenen Firmen und Gutachtern angebotenen Techniken wurden getestet. Das gleiche wurde für den zweiten technischen Erkundungsschritt, die nähere Erkundung (E₂₋₃), nach deren Abschluß das Schadstoffpotential nach Qualität und Ausmaß bekannt ist, veranlaßt. Beim nächsten

Schritt, der eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung (E3-4) werden zunächst mögliche Sanierungsziele ermittelt und parallel dazu geeignete Sanierungsalternativen ausgearbeitet. Diese Alternativen werden dann einander in ihren Kosten, Wirksamkeiten insbesondere im Hinblick auf die Sanierungsziele und ihrer praktischen Umsetzbarkeit gegenübergestellt und ein Sanierungsvorschlag erarbeitet.

Den für die fachliche Prüfung und Genehmigung von Förderanträgen zuständigen Fachbehörden konnten bereits zahlreiche Arbeitshilfsmittel zur Verfügung gestellt werden. Die Erfahrungen aus den technischen Erkundungen einer Vielzahl von altlastverdächtiger Flächen müssen auch zukünftig ständig zusammengetragen und zur Fortschreibung der vorhandenen Arbeitshilfsmitteln genutzt werden. Im heutigen Kolloquium soll ein gewisser Zwischenstand dokumentiert und einer breiteren Öffentlichkeit vorgestellt werden.

Bei der Landesanstalt für Umweltschutz ist für das Modellstandortprogramm das Referat 54 "Altlastensanierung" zuständig. Es ist mit 9 Planstellen ausgestattet. Für jeden Modellstandort wurde ein Planungsbüro von der LfU beauftragt. Dieser sog. Generalunternehmer hatte den Beschlüssen eines Arbeitskreises folgend, für Aufgaben die er nicht selbst durchführen kann, geeignete Subunternehmer zu beauftragen und die Ausführung der Arbeiten zu überwachen. Die Arbeitsergebnisse wurden vom Planungsbüro zusammengefaßt und kommentiert. Dem Referat schließlich oblag es, die Arbeitsergebnisse so auszuwerten, daß sie als eine Handreichung und Handlungsanweisung für die Kollegen in den Fachbehörden brauchbar sind. Ein Ergebnis dieser Arbeiten sind u. a. die verschiedenen Bände der "Materialien zur Altlastenbearbeitung", die im Tagungsband an anderer Stelle aufgelistet sind. Bisher konnten 10 Bände einer breiten Öffentlichkeit bereits zur Verfügung gestellt werden. Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Im vergangenen Jahr ist das Modellstandortprogramm Baden-Württemberg in eine neue Phase eingetreten. Vier der acht Modellstandorte konnten nach Abschluß der modellhaften Erkundung aufgegeben werden. An 3 dieser Standorte war kein Sanierungsbedarf gegeben. An einem Standort weisen die erforderlichen Sicherungsmaßnahmen keinen ausreichenden Modellcharakter mehr auf. An den verbleibenden 4 Standorten ist ein modellhaftes Sanieren der Standorte zu erwarten. An einem davon wird derzeit zusätzlich ein sog. Entwicklungsvorhaben aus dem kommunalen Altlastenfonds finanziert.

Von 1988 bis Ende 1992 sind für die Bearbeitung der Modellstandorte ca. 38 Mio. Mark aus dem kommunalen Altlastenfonds zur Verfügung gestellt worden. Die Kosten für die Entwicklungsarbeiten sind bisher auf ca. 7 Mio. Mark angewachsen. Die bis zu diesem Zeitpunkt insgesamt aus dem kommunalen Altlastenfond bewilligten Mittel belaufen sich auf ca. 340 Millionen DM. Dabei ist zu bedenken, daß bei den Modellstandorten alle Erkundungsschritte einschließlich der Sanierungsvorplanung bereits durchlaufen und teilweise auch bereits mit Sanierungsmaßnahmen begonnen worden ist, während bei der landesweiten Bearbeitung der kommunalen Altlasten am Gros der Standorte erst der erste technische Erkundungsschritt, die "orientierende Erkundung" (E₁₋₂), durchgeführt wurde. Kosten für die eigentlichen Sanierungen sind noch nicht absehbar. Die Sanierungspläne liegen noch nicht vor. Hierüber werden wir sicherlich in einem weiteren Symposium in einigen Jahren wieder ausführlich berichten können.

3. Ausblick auf das vor uns liegende Programm des Symposiums

Der Schwerpunkt des 1. Tages des Symposiums liegt in der technischen Erkundung. Am 2. Tag kommt mehr die Sanierung zur Sprache. Im nachfolgenden Beitrag wird zunächst über die generelle Vorgehensweise und die Erfahrung bei der technischen Erkundung berichtet. Anschließend werden über einzelne Fachgebiete Berichte abgegeben, z. B. über die geophysikalischen Untersuchungen, die zusammen mit dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, einer Gemeinschaftseinrichtung aller geologischen Landesämter in der Bundesrepublik, durchgeführt worden sind. Ein weiterer Vortrag befaßt sich mit der Probennahme und Analytik. Über die begrenzten Möglichkeiten der Erkundung der Stoffgefährlichkeit und des Schadstoffaustrags sowie über die Erkundung des Deponiegashaushaltes wird anschließend berichtet. Wir sind froh, daß auch eine niederländische Firma in einer Arbeitsgemeinschaft an zwei wichtigen Standorten bei der Erkundung und Sanierung mitwirkt. Verschiedene Planungsbüros, die an den Modellstandorten mitgearbeitet haben, werden über die letzte Stufe der Erkundung, die eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung (E3-4) vortragen. Da wie bereits erwähnt, an einigen Standorten mit dem Testen von Sanierungsverfahren und ihrer Entwicklung begonnen wurde, werden am zweiten Tag Teilergebnisse vorgestellt. Dabei handelt es sich um Ergebnisse der Dekontamination mittels UV-Oxidation und mikrobiologischer Verfahren, und um die gemeinsame Verbrennung von Alt- und Frischmüll in einer Müllverbrennungsanlage. Schließlich wurden noch an einem Modellstandort rechtliche Fragen modellhaft in einer speziellen Arbeitsgruppe bearbeitet. Auch hierüber wird ein interessanter Bericht erstattet.

Wir freuen uns, daß hier auch Vertreter der Bundesverwaltung anwesend sind und auch über entsprechende Programme auf Bundesebene berichten. Nicht zuletzt soll auch diese Veranstaltung den Erfahrungsaustausch über die Grenzen des Landes Baden-Württemberg hinaus beleben.

Generelle Vorgehensweise und Erfahrungen bei der technischen Erkundung an den Modellstandorten

- Empfehlungen für die Praxis der Altlastenbearbeitung -

U. Kunzmann, LfU Karlsruhe

1. Einleitung

In Baden-Württemberg werden mehr als 35.000 altlastverdächtige Flächen vermutet. Das ist das Ergebnis von Hochrechnungen aufgrund flächendeckender Erhebungen. Dabei wird angenommen, daß sich diese Zahl landesweit aus ca. 17.000 Altablagerungen und ca. 18.000 Altstandorten, deren Lage und Gefährdungspotential heute großteils noch nicht bekannt sind, zusammensetzt. Nach heutigem Kenntnisstand ist davon auszugehen, daß die meisten dieser Flächen zu erkunden sind. Die hohe Zahl macht deutlich, daß die Erkundungen, die Bewertungen und falls erforderlich die Sanierungen nicht von heute auf morgen zu bewältigen sind. Deshalb ist ein wesentliches Ziel der Altlastenkonzeption des Landes Baden-Württemberg, daß durch eine systematische und einheitliche Vorgehensweise bei der Altlastenbearbeitung frühzeitig diejenigen altlastverdächtigen Flächen erkannt und von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen werden können, von denen keine Gefährdung ausgeht. Dennoch ist sicher, daß die Altlastenbearbeitung eine Langzeitaufgabe bleiben wird.

Der Altlastenbereich ist ein sehr junges Fachgebiet, dessen vielfältige Problemstellungen zwingend technisches und wissenschaftliches Fachwissen sowie praktische Erfahrungen erfordern. Um den Bearbeitern in der Wasserwirtschaftsverwaltung, den Unteren Wasserbehörden, den Kommunen und den Ingenieurbüros Entscheidungshilfen für die Auswahl geeigneter Erkundungsverfahren zur Verfügung zu stellen, begann die Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) im Jahre 1988 mit der Einrichtung von acht Modellstandorten und testete dort im Rahmen der technischen Erkundungen verschiedene Methoden, Geräte und Verfahren. Die Erfahrungen wurden standortübergreifend ausgewertet und als Ergebnisse oder Teilergebnisse so zeitnah als möglich den Bearbeitern zur Verfügung gestellt.

Die sogenannten "Orangen Ordner", die bei den Ämtern für Wasserwirtschaft und Bodenschutz als verwaltungsinterne Loseblattsammlung geführt werden, sind dabei die zentrale Fundstelle aller Arbeitshilfen, Empfehlungen und Checklisten, die das Referat Altlastensanierung der LfU im Zuge der Modellstandortbearbeitung erarbeitet hat. Weiterhin sind darin Informationen und Hinweise zur Altlastenbearbeitung enthalten, die nicht direkt aus der Modellstandortbearbeitung resultieren, aber inhaltlich für wichtig erachtet werden.

Die technischen Erkundungsmaßnahmen an den Modellstandorten konnten im Herbst 1992 mit dem Modellstandort Herten abgeschlossen werden. Die Gesamtauswertung der Ergebnisse aus der fünfjährigen Modellstandorterkundung wird kontinuierlich fortgesetzt und der Wasserwirtschaftsverwaltung zur Verfügung gestellt. Zu wichtigen Teilbereichen der technischen Erkundung liegen bereits entsprechende Auswertungen im Rahmen der Veröffentlichungsrei-

he "Materialien zur Altlastenbearbeitung" vor und können über die Bibliothek der LfU bezogen werden.

Die Gesamtauswertung zum Thema "Schutzgut Grundwasser" soll im Frühjahr 1994 abgeschlossen sein und dann als "Leitfaden Grundwasser" veröffentlicht werden. Eine Empfehlung zur Anwendung biologischer Untersuchungsverfahren ist nach vollständiger Auswertung der Ergebnisse ebenfalls vorgesehen.

Materialien zur Altlastenbearbeitung zum Themenbereich "Technische Erkundung"

- Band 1: Erkundung ehemaliger Gaswerksstandorte (Februar 1990)
- Band 2: Leitlinien zur Geophysik an Altlasten (Juni 1990)
- Band 8: Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit (Juli 1991)
- Band 10: Der Deponiegashaushalt in Altablagerungen (Leitfaden Deponiegas, Dezember 1992)
- Band 12: Das Modellstandortprogramm des Landes Baden-Württemberg - Erfahrungen für die Praxis der Altlastenbearbeitung (in Vorbereitung)
- Band 14: Arbeitsschutz bei der technischen Erkundung von Altablagerungen (Leitfaden Arbeitsschutz, in Vorbereitung)

2. Modellstandorte

Bei der Auswahl der acht kommunalen **Modellstandorte**, sieben Altablagerungen und ein ehemaliges Gaswerk, waren verschiedene Kriterien zu erfüllen, um die an den Standorten gewonnenen Ergebnisse und Erfahrungen allgemein und standortübergreifend auswerten zu können. Die Standorte mußten aufgrund ihres Schadstoffinhaltes, ihrer Untergrundverhältnisse und der Gesamtstruktur eine gewisse Repräsentativität der typischen altlastverdächtigen Flächen in Baden-Württemberg darstellen. Beim Standort selbst durfte allerdings keine Gefahr im Verzug bestehen, um die modellhafte Begleitung nicht durch einen dann erforderlichen Zeitdruck zu gefährden. Die Abbildung 4.1 enthält eine Kurzbeschreibung der Modellstandorte, während die Abbildung 4.2 die geographische Lage der Standorte zeigt.

Modellstandorte Ausgeschieden			
Modellstandorte	Schadstoffinventar	Geologie	Bearbeitungsschwerpunkte
Bitz Kommunale Altablagerung	Hausmüll, Sperrmüll, Bauschutt, Erdhub	Malm	Gasmessungen, Markierungsversuche Vorortanalytik, Biotests*
Osterhofen Kommunale Altablagerung	Hausmüll, Sperrmüll, teilweise Industriemüll	eiszeitliche Kiese und Sande (Alpenvorland)	Probennahmetechnik Abfall, Grund- wassermonitoring, Bodenluft-/Gas- messungen, Grundwassermessungen
Leonberg Kommunale Altablagerung	Fäkalschlämme, Klärschlämme Industrieschlämme, Benzinab- scheiderrückstände, Erdaushub	Gipskeuper	Geophysikalische Untersuchungs- methoden, Hydrogeologische Erkun- dung, Biologische Untersuchungen
Mannheim Kommunale Altablagerung	Hausmüll, Gewerbemüll, Bau- schutt, Erdaushub, Klärschlamm geringer Anteil Industrieabfälle	eiszeitliche Kiese und Sande (Rheinebene)	Probennahmetechnik Abfall, Mikro- biologie, Bodenluftuntersuchungen, Grundwassermodellierung
Modellstandorte in Bearbeitung			
Modellstandorte	Schadstoffinventar	Geologie	derzeitige Bearbeitungsschwerpunkte
Mühlacker Kommunale Altablagerung	Organische Lösungsmittel, Farben, Lacke, Galvanikschlämme, verun- reinigtes Erdreich, Rückstände aus der Abwasserbeseitigung	Gipskeuper	Vorversuche zur Sanierung des Depo- niekörpers, Boden- und Grundwasser- sanierung, Reinigung kontaminierter Luft durch UV-Oxidation, Gesamt- sanierungsplan
Herten Kommunale Altablagerung	Hausmüll, Gewerbemüll, Sperrmüll, Bauschutt, Aushubmaterial	Quartäre Kiesfüllung (Hochrhein)	Grundwassermodellierung, Beeinflussung des Grundwassers, Sanierungsvorplanung
ehem. Gaswerk Geislingen Kommunaler Altstandort	Gaswerkrückstände (Cyanide, aromatische und aliphatische Kohlenwasserstoffe, Polycyclen)	Tafüllung über Lias	Sanierungsvorplanung, nachfolgend Sanierungshauptplanung und Sanierungsdurchführung
Eppelheim Kommunale Altablagerung	Hausmüll, lösungsmittelhaltige Ab- fälle, Bauschutt, Erdaushub	Quartäre Locker- gesteinsfüllung	Entwicklungsvorhaben zur Entwicklung biologischer Verfahren zur Sanierung von mit CKW-kontaminierten Böden, Grundwasser und Bodenluft, Strömungs- und Transportmodell

Abb. 4.1: Kurzbeschreibung der Modellstandorte

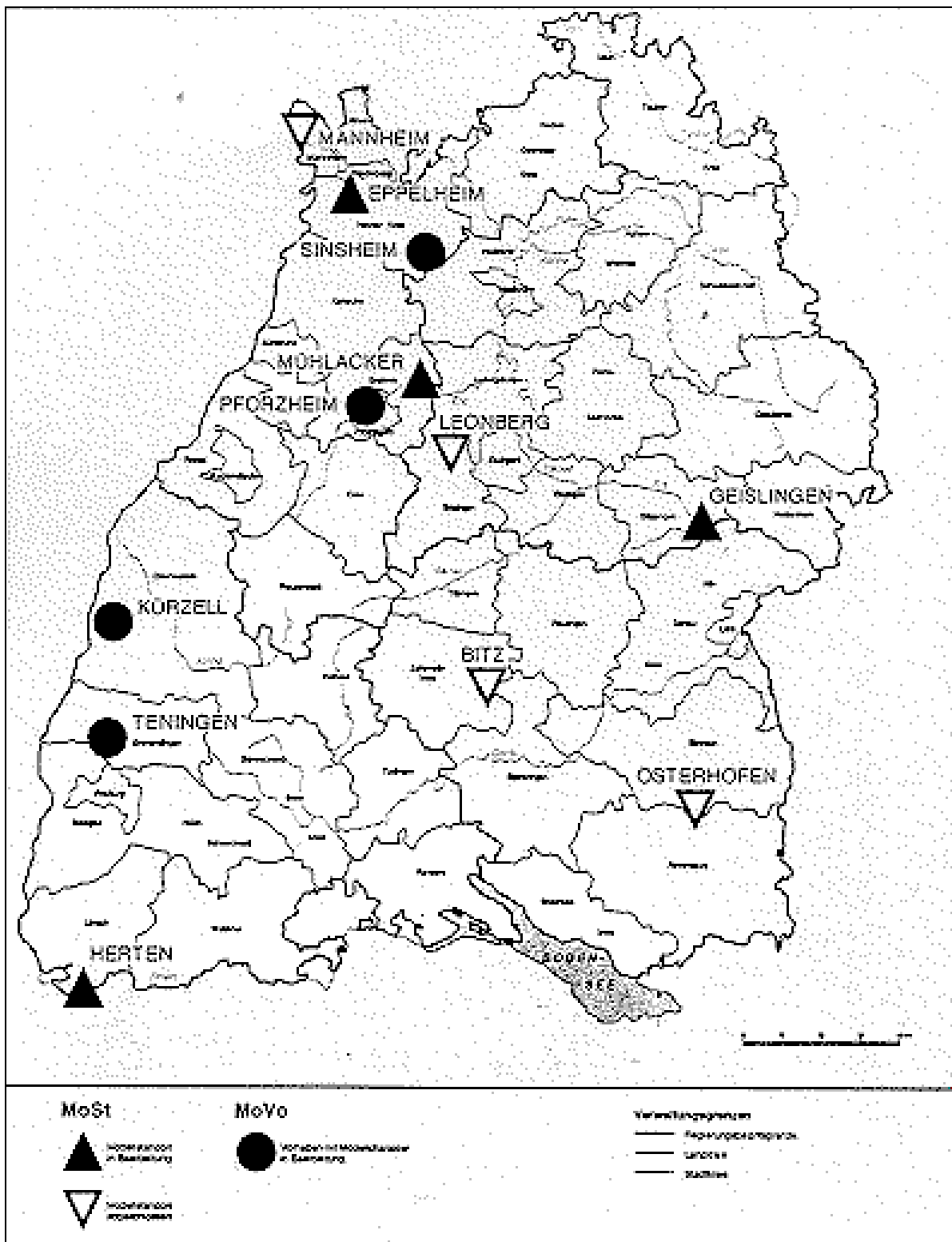


Abb. 4.2: Modellstandorte (MoSt) und Vorhaben mit Modellcharakter (MoVo), Baden-Württemberg

Die Bearbeitung der Modellstandorte wird wie bei jeder kommunalen altlastverdächtigen Fläche stufenweise gemäß dem Altlastenhandbuch Teil 1 durchgeführt. Nach jeder Erkundungsstufe erfolgt auf Grundlage des Ingenieurgutachtens eine Bewertung auf dem entsprechenden Beweismiveau. Die Bewertungskommission ermittelt dabei die Dringlichkeit und den Handlungsbedarf für die weitere Bearbeitung.

Generell garantiert die enge Verknüpfung von Bearbeitungs- bzw. Erkundungsschritten und der jeweiligen Bewertungen, daß möglichst frühzeitig die nicht gefährlichen altlastverdächtigen Flächen entdeckt und aus dem weiteren Verfahren ausgeschieden werden können. Damit wird erreicht, daß kostenaufwendige Erkundungen nicht für alle altlastverdächtigen Flächen durchgeführt werden müssen und man sich auf die tatsächlichen Schwerpunkte konzentrieren kann. Zur Orientierung ist in Anlage 1 das Ablaufschema der stufenweisen Altlastenbearbeitung dargestellt.

Bei der Modellstandortkonzeption gibt es gegenüber der allgemeinen Altlastenbearbeitung allerdings zwei wesentliche Unterschiede:

- Jeder Modellstandort hat einen eigens eingerichteten Arbeitskreis unter Leitung der LfU. Er setzt sich in der Regel zusammen aus je einem Vertreter der betroffenen Kommune, des Amtes für Wasserwirtschaft und Bodenschutz, der Unteren Wasserbehörde, des Regierungspräsidiums, des Geologischen Landesamtes, des Standortingenieurbüros, der LfU und bei Bedarf weiterer Fachbehörden. Im Arbeitskreis werden alle Maßnahmen am Modellstandort abgestimmt und im Auftrag der LfU durch das Standortingenieurbüro durchgeführt.
Diese Vorgehensweise hat den entscheidenden Vorteil, daß Erfahrungen, Kenntnisse und Fachwissen anderer Behörden integriert und deren Belange unmittelbar und ohne Zeitverzug in die Programmerstellung einfließen und dadurch die erforderlichen Genehmigungsverfahren deutlich beschleunigt werden können. Die Einrichtung eines solchen Arbeitskreises für jede Altlast wäre aus diesem Grunde wünschenswert sie ist aber bei realer Betrachtung aus Kapazitätsgründen in dieser Form nicht durchführbar.
- Zur Erkundung eines Modellstandortes wird mehr getan, als eigentlich erforderlich wäre, um das nächsthöhere Beweinsniveau zu erreichen. So werden zur Beantwortung einer bestimmten Fragestellung verschiedene Erkundungsverfahren parallel oder an verschiedenen Standorttypen erprobt, um somit die generelle Tauglichkeit und gegebenenfalls die Kostenwirksamkeit des Verfahrens zu erkennen und verallgemeinerungsfähige Empfehlungen für die Altlastenbearbeitung weitergeben zu können. In der Praxis des noch jungen Fachgebietes sollen damit kostenaufwendige Fehlentscheidungen bei der Verfahrensauswahl vermieden werden nach dem Motto: "Wenn Fehler schon nicht zu vermeiden sind, dann sollten sie wenigstens nur einmal gemacht werden!"

Es war nicht beabsichtigt, neue Untersuchungsverfahren zu erfinden, sondern bekannte Verfahren aus anderen Fachbereichen, so z.B. die geophysikalischen Verfahren aus dem Bereich der Rohstofferkundung, einzusetzen, um ihre Anwendbarkeit auf die Fragestellungen der Altlastenbearbeitung zu prüfen. Neuere Untersuchungsansätze wie z.B. biologische Untersuchungsverfahren oder die Vor-Ort-Analytik wurden ebenfalls erprobt, um damit evtl. den Weg zur Anwendung bei der Altlastenbearbeitung zu öffnen. Einen Überblick über die ca. 235 Einzelmaßnahmen, die seit 1988 durchgeführt wurden, gibt die Abbildung 4.3.

An den Modellstandorten war weiterhin vorgesehen, auch Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich der Erkundung, Sanierung und Überwachung durchzuführen und deren Anwendung und Erprobung wissenschaftlich zu begleiten. Der Einsatz der UV-Oxidation am Modellstandort Mühlacker und die Durchführung des Entwicklungsvorhabens am Modellstandort Eppelheim sind dabei Beispiele zur Sanierung von Altlasten, über die im Rahmen des Symposiums noch ausführlich berichtet wird.

Erkundungskategorie	Erkundungsmaßnahme	Modellstandorte							
		Blitz	Osterhofen	Leonberg	Mühlacker	Herten	Geislingen	Mannheim	Eppelheim
Vorplanungen	Standortbegehungen	●	●	●	●	●	●	●	●
	Vermessungsarbeiten	●	●	●	●	●	●	●	●
	Datenrecherche (Ergänz. Hist. Erkund)	●	●	●	●	●	●	●	●
	Arbeitsschutz	●	●	●	●	●	●	●	●
	Baustelleneinrichtung		●	●	●			●	●
	Wegebau		●	●	●	●			
Geologie (auch im Abfall)	Fachbauleitungen			●					
	Luftbildauswertung	●		●					●
	Bodenkundliche Kartierungen	●	●	●		●	●	●	●
	Bohrungen	●	●	●	●	●	●	●	●
	Greiferbohrungen		●		●	●		●	
	Rammkernbohrungen	●	●	●	●		●	●	●
	Schlitzsondierungen	●	●				●	●	●
	Schürfe		●				●	●	
	Bodenphysikalische Untersuchungen			●			●	●	
Hydraulik	Sonstige Untersuchungen	●			●				
	Grundwassermessstellenbau	●	●	●	●	●	●	●	●
	Sickerwassermessstellenbau	●	●	●		●		●	●
	Pumpversuche	●	●	●	●		●	●	●
	Markierungsversuche	●			●				
	Wasserstandsstichtagemessungen	●	●	●	●	●	●	●	●
Hydrologie	Sonstige Untersuchungen		●	●	●			●	●
	Datenrecherche	●	●	●	●	●	●	●	●
Chemie	Bilanzierungen	●			●				
	Probennahme/Vorort - Analytik: - Probenauswahl - Vorort - Analytik	● ●	● ●	●	● ●	● ●	● ●	● ●	
	Deponiegasuntersuchungen	●	●	●		●	●	●	
	Gasabsaugversuche	●	●		●	●			
	Sonstige Untersuchungen: - FID - Kartierungen - Gassammelbox - Untersuchungen		● ●			●		●	
	Bodenluftuntersuchungen	●	●	●	●	●	●	●	●
	Grundwasser - Analytik	●	●	●	●	●	●	●	●
	Sickerwasser - Analytik		●	●	●				
	Oberflächenwasser - Analytik			●	●	●			
	Trinkwasser - Analytik		●	●		●			
	Isotopen - Untersuchungen		●	●	●				
	Boden - Analytik			●	●		●	●	●
	Abfall - Analytik	●	●	●	●	●	●	●	●
Geophysik	Bohrlochgeophysik	●	●	●	●	●	●		
	Geoelektrik		●						●
	Geothermik		●						
	Sonstige Untersuchungen				●	●	●		●
Biologie	Standortkundliche Kartierungen	●	●	●	●	●		●	●
	Infrarot - Photographien	●	●	●	●	●		●	
	Wasseruntersuchungen		●	●	●		●	●	
	Sonstige Untersuchungen			●	●		●	●	

Abb. 4.3: Durchgeführte Maßnahmen an den Modellstandorten zur technischen Erkundung

3. Erkundungsstrategie

Die **Altlastenbearbeitung** stellt ein komplexes Zusammenspiel von Erhebungen, Erkundungen, Bewertungen und Sanierungen dar, wobei die Ergebnisse der Altlastenerkundungen die Grundlagen für die sachgerechten Bewertungen und die evtl. späteren Sanierungsentscheidungen zu liefern haben. Jede altlastverdächtige Fläche hat ihre eigene Charakteristik, deshalb ist aufgrund der einzelfallspezifischen Unterschiede in Schadstoffinventar, Hydrogeologie und Topographie sowie unter Berücksichtigung der jeweiligen Erkundungsstufe das Erkundungsprogramm auf den **Einzelfall** auszurichten. Das bedeutet klar und deutlich, daß Patentrezepte oder technische Handlungsanweisungen in Form von z.B. DIN-Vorschriften, die speziell auf die Altlastenerkundung zugeschnitten sind, heute und auf längere Zeit nicht zu erwarten sind. Die Ingenieurerfahrung und fundiertes Fachwissen wird deshalb auch in Zukunft in jedem Einzelfall erforderlich sein. Erkundungsstrategien können allerdings vom Ansatz her grobe Anhaltspunkte liefern, um auf dem Weg z.B. der Untersuchungsprogrammerstellung für die jeweilige Erkundungsstufe behilflich zu sein.

3.1 Umfelderkundung

Bei den Modellstandorten in Baden-Württemberg hat sich zur Erkundung des Umfeldes von Altablagerungen die Strategie bewährt, daß Datensichtungen, flächenhafte Erkundungen und Kartierungen durchzuführen sind, bevor eine Detailerkundung (Bohrung, Meßstellenbau) stattfindet. Diese Erkenntnis ist nicht neu sie wurde bereits 1990 beim TNO-Kongreß von Neifer vorgestellt. Die Strategie der Umfelderkundung für die Erkundungsstufen E₁₋₂ und E₂₋₃ ist in Abb. 4.4 dargestellt. Eine Wiederholung an dieser Stelle erscheint allerdings aus folgenden Gründen angebracht:

- Voraussetzung aller Arbeiten ist eine intensive und ausführliche **historische Erkundung**, deren Ergebnisse zu Beginn der technischen Erkundung vertieft auszuwerten sind. Die Erfahrungen am Modellstandort ehemaliges Gaswerk Geislingen haben gezeigt, daß historische Erkundungen u.U. auch lückenhaft sein können. So hat erst eine vertiefte Auswertung der historischen Erkundung während der näheren Erkundung (E₂₋₃) weitere alte Bestandspläne des Gaswerksgeländes zu Tage gefördert. Die Pläne gaben Hinweise auf einen Benzoltank und eine Teergrube, die bislang weder bekannt noch durch die technischen Erkundungen entdeckt wurden. Ergänzende Erkundungsmaßnahmen führten schließlich zum Benzoltank und zur Teergrube, die teilweise noch mit wässrigen schadstoffbelasteten Rückständen gefüllt waren. Dieses Beispiel soll verdeutlichen, wie wichtig die historische Erkundung für die Gesamterkundung ist und wie bedeutungsvoll eine vertiefte Auswertung bei entsprechenden Hinweisen sein kann.
- Die Erfahrung zeigt, daß in der Praxis der Altlastenbearbeitung die Flächenerkundung (z.B. geologische Kartierung, Luftbildauswertung, Geophysik, Bodenluftmessungen) und die Punkterkundung (z.B. Bohrungen zur Probengewinnung bzw. Grundwassermeßstellenbau) trotz anders lautender Empfehlung auch parallel durchgeführt werden. Bei dieser Vorgehensweise ist zu befürchten, daß die Zwischenauswertung der Flächenerkundung unzureichend ist oder zu spät erfolgt und somit die Bohransatzpunkte nicht optimal gewählt wurden. Fehlinterpretationen, Erkundungsmehraufwand und Mehrkosten sind dabei mögliche Konsequenzen.

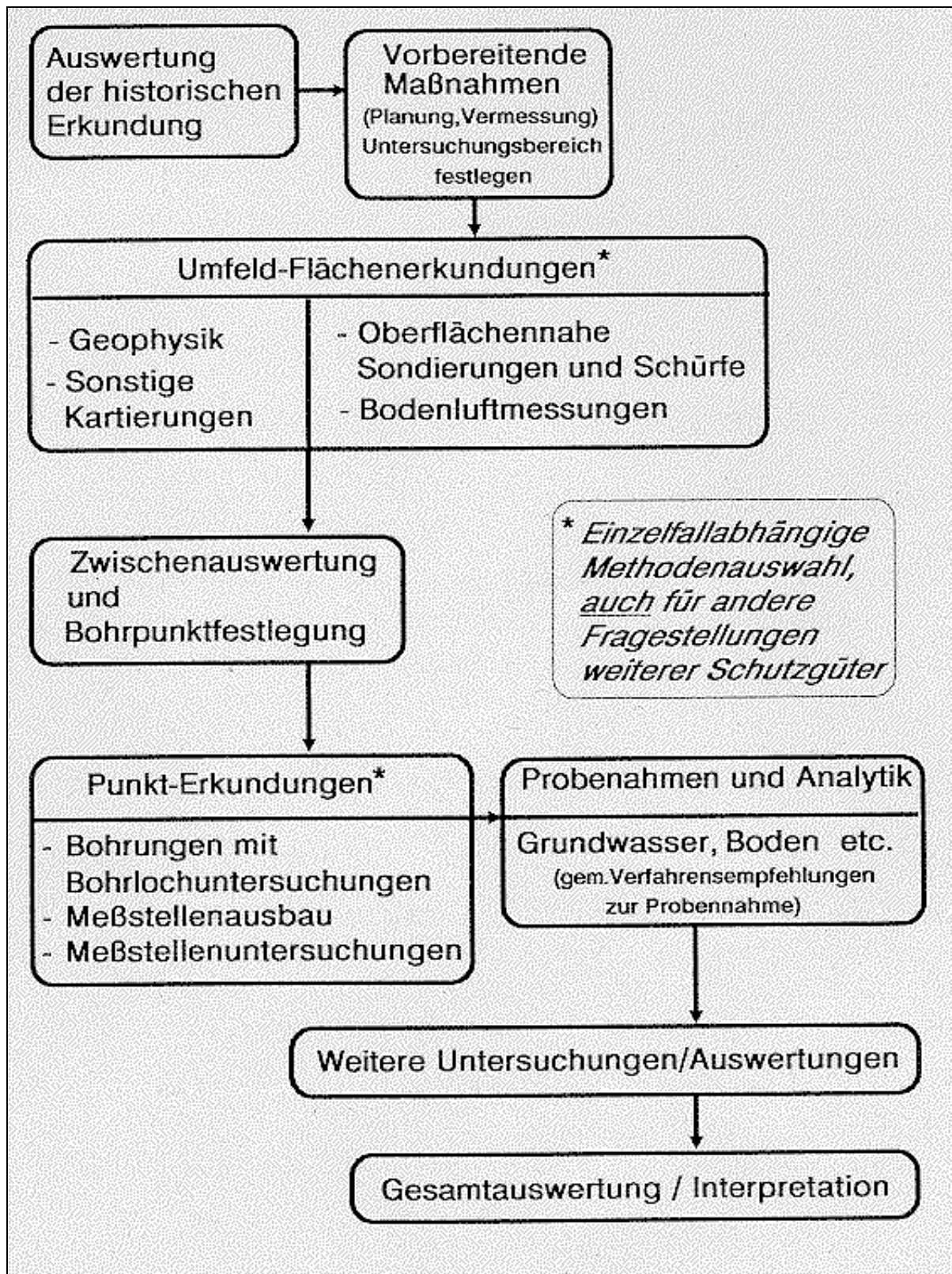


Abb. 4.4: Erkundungsstrategie für das Schutzgut Grundwasser - Umfelderkundung E₁₋₂ und E₂₋₃

3.2 Untersuchungstechniken

Prinzipiell ist das rein **formale stufenweise** Vorgehen nach dem Altlastenhandbuch mit den verschiedenen Erkundungsstufen sinnvoll. Dabei ist die grundlegende Aufgabe der Altlastenbearbeitung die Fragestellungen des **Bewertungsbogens** (gemäß Altlastenhandbuch Teil I, Seite 16, 17) so umfassend zu beantworten, daß die Bewertungskommission nach Beendigung der Erkundungsstufe auf dem jeweiligen Beweisniveau den erforderlichen Handlungsbedarf und die Dringlichkeit der weiteren Bearbeitung feststellen kann. Im nachfolgenden wird in einem Vorschlag aufgezeigt, wie zur Beantwortung der Bewertungsfragen technische Erkundungsmaßnahmen zielorientiert ausgesucht werden können und welche Untersuchungsschwerpunkte sich daraus ergeben.

Zuordnung der Bewertungsfragen zu technischen Erkundungsmaßnahmen (Anlage 2)

Die Anlage 2 listet die bewertungsrelevanten Fragestellungen auf und zeigt, ob die Antworten durch

- eine genaue bzw. vertiefte **Auswertung** vorhandener Daten bzw. Gutachten (+),
- eine **Abschätzung** nach der Auswertung vorhandener Daten (**0**) oder
- **technische Hilfsmittel** (*)

zu erhalten sind. Weiterhin ist angegeben, in welcher Erkundungsstufe (E₁₋₂ oder E₂₋₃) die Fragestellung relevant ist. Sind technische Hilfsmittel erforderlich, so ist zur Ermittlung der wesentlichen Untersuchungstechniken mit der Anlage 3 weiterzuarbeiten.

Wesentliche Untersuchungstechniken (Anlage 3)

Die Anlage 3 enthält ca. 75 verschiedene, vor allem für das Schutzgut Grundwasser wesentliche **Untersuchungstechniken**, die zur besseren Übersicht in 8 Verfahrenskategorien aufgeteilt sind. Aufgrund umfangreicher Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Modellstandortbearbeitung wurde eine Grobbewertung der Erkundungsmethoden erarbeitet. Die Auflistung gibt dabei Hinweise, welche der Methoden eine einerseits hohe bzw. niedrige Bedeutung und andererseits hohe bzw. niedrige Kosten in Bezug auf die erreichbaren Aussagen hat. Die Tabelle wurde soweit möglich um die Angabe von durchschnittlichen Kosten pro Einzelmaßnahme ergänzt. Die Verfahren mit denen eine relativ hohe Aussage bei relativ niedrigen Kosten zu erzielen ist, sind als Verfahren 1. Wahl in Abbildung 4.5 aufgeführt.

Die Anwendung eines Verfahrens, das eine hohe Aussagekraft hat, aber gleichzeitig hohe Kosten verursacht, kann im Einzelfall sinnvoll sein. So kann z.B. eine detaillierte Luftbildauswertung, die aufgrund der hohen Kosten ein Verfahren 2. Wahl ist, bei größeren Alttablagerungen durchaus aufwendigere Erkundungsmaßnahmen ersparen. Am Modellstandort Bitz konnte so durch eine multitemporale Luftbildauswertung die Ablagerungsdichte des Standortes genau rekonstruiert und andere Erkundungsmaßnahmen reduziert werden.

Erkundungskategorie	Erkundungsmaßnahmen
Vorplanungen	<ul style="list-style-type: none"> - Standortbegehungen - Vermessungsarbeiten - Datenrecherche
Geologie	<ul style="list-style-type: none"> - Flammkernbohrungen - Schlitzsondierungen
Hydraulik	<ul style="list-style-type: none"> - Grundwassermeßstellenbau - Pumpversuche - Wasserstandsstichtagmessungen
Hydrologie	<ul style="list-style-type: none"> - Datenrecherche - Bilanzierungen
Chemie	<ul style="list-style-type: none"> - organoleptische Prüfungen - Beprobungen - Probenmischungen - PID (Photoionisationsdetektor) - Raumlufuntersuchungen - Deponiegasuntersuchungen - Bodenluft- Untersuchungen - CO₂-Untersuchungen - Grundwasser - Oberflächenwasser - Trinkwasser
Geophysik	<ul style="list-style-type: none"> - Bohrlochgeophysik
Biologie	<ul style="list-style-type: none"> - Standortkundliche Kartierungen
Auswertungen	<ul style="list-style-type: none"> - Chemiedatenauswertungen - Planerstellung

Abb. 4.5: Erkundungsverfahren 1. Wahl mit "hoher Bedeutung" und "niedrigen" Kosten

Matrix-Schwerpunkterkundungen (Anlage 4)

Die Anlage 4 "Matrix-Schwerpunkterkundungen" zeigt deutlich, mit welcher Verfahrenskategorie Aussagen in Richtung Stoffgefährlichkeit (r_0), Schadstoffaustrag (m_I), Schadstoffeintrag (m_{II}), Schadstofftransport und -wirkung (m_{III}) und die Bedeutung des Schutzgutes (m_{IV}) vorrangig möglich sind.

4. Erfahrungen aus der technischen Erkundung

Die Modellstandortbearbeitung hat verallgemeinerungsfähige und übertragbare Erkenntnisse und Erfahrungen gebracht, die bei der einzelfallspezifischen Standortbearbeitung wichtige Hilfestellungen leisten können. In der nachfolgenden Aufzählung sind wesentliche Themenbereiche genannt, mit denen wir uns beschäftigt haben und für die nach der Auswertung und Begutachtung Empfehlungen und teilweise konkrete Handlungsanweisungen vorliegen. Das sind z.B.:

- Umfelderkundung
- Sondierungen, Bohrungen, Schürfe
- geophysikalische Untersuchungsverfahren
- Grundwassermeßstellenbau
- Grundwasserprobennahme/Pumpversuche/Markierungsversuche
- Deponiegasuntersuchungen
- Boden-/Abfallprobennahme, Boden-/Abfalluntersuchungen
- Repräsentativität von Proben
- Arbeitsschutzmaßnahmen
- Biologische Untersuchungsverfahren
- Strategien der Erkundung
- Verfahrensweise bei der eingehenden Erkundung von Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung (E3-4) zur Vorbereitung der Sanierungsentscheidung
- Ingenieur-Vertragsmuster

In den weiteren Ausführungen werden exemplarisch einige Themen ausgewählt und näher beschrieben bzw. im Verlauf des Symposiums von anderen Referenten vorgestellt.

4.1 Sondierungen, Bohrungen, Schürfe

Im Rahmen der Erkundung und Gefährdungsabschätzung von Altablagerungen und Altstandorten können Sondierungen, Bohrungen oder Schürfe erforderlich sein. Sie werden bei altlastverdächtigen Flächen in der Regel zur Feststellung der Geologie des Standortes, zur Messung von Bodenluft, zum Bau von Grundwassermeßstellen und zur Erkundung der möglichen Schadstoffbelastung des Umfeldes der Altablagerung angewendet.

Die drei Techniken sind weiterhin Erkundungsmethoden, um die Quelle der Kontamination, nämlich den Altstandort oder die Altablagerung selbst zu untersuchen. Ein Eingriff in einen Deponiekörper kann jedoch durch unvorhersehbare Freisetzung von gasförmigen Schadstoffen zu einer Gefährdung der mit der Erkundung beauftragten Personen führen. Erhöhte Arbeitsschutzmaßnahmen sind deshalb unerlässlich und kostenintensiv. Die Erfahrungen an den Modellstandorten (insbesondere Mannheim, Osterhofen und Herten) zeigen aber auch, daß die direkte Entnahme von Abfallproben und Untersuchungen zum Inhalt der Altablagerung meistens keine bewertungsrelevanten Erkenntnisse liefern. Sie sind deshalb in der Regel nicht zu empfehlen. Eingriffe in den Deponiekörper sollten folglich auf Ausnahmen beschränkt blei-

ben. Ausführlich wird im Beitrag "Erkundung des Inhalts von Altablagerungen im Hinblick auf Stoffgefährlichkeit und Schadstoffaustrag" zu diesem Thema berichtet.

Sondierungen

Sondierungen sind z.B. für folgende Problemstellungen geeignet:

- Entnahme von Deponiegas (siehe hierzu Leitfaden Deponiegas, Band 10 der Materialien zur Altlastenbearbeitung, LfU Baden-Württemberg, 1992).
- Entnahme von Bodenluft (ein Grobraster von 3 bis 5 Sondierungen je ha wird empfohlen).
- Entnahme von Bodenproben
- Abgrenzung des Deponiekörpers zum Umfeld

In Ausnahmefällen Rammkernsondierungen im Deponiekörper zur Erkundung spezieller Fragestellungen zur Stoffgefährlichkeit oder Verifizierung unterschiedlicher Ablagerungsbereiche.

Bohrungen

Bohrungen im Deponiekörper und im Untergrund von Deponien sind in hohem Maße gefährlich und unberechenbar. Sie sind deshalb nicht als anerkannte und allgemein anwendbare Methoden während der Erkundungsphase von altlastverdächtigen Flächen zu empfehlen. Bohrungen im Deponiekörper sollten nur in Ausnahmefällen bei folgenden Problemstellungen angewendet werden:

- Hinweise auf vorhandene Sickerwasserhorizonte
- Niederbringung von Deponiegasbrunnen, z.B. zur Vorbereitung einer Deponiegasentsorgung

Schürfe

Schürfe sind wegen ihres sehr hohen Aufwandes an Arbeitsschutzmaßnahmen, den möglichen Entsorgungsproblemen des Aushubmaterials und der damit verbundenen hohen Kosten als Erkundungsmethode in kontaminierten Bereichen nicht zu empfehlen. Das Anlegen von Schürfen sollte deshalb bei Altablagerungen regelmäßig auf Sonderuntersuchungen bei speziellen Fragestellungen (z.B. gezielte Suche nach Ablagerungsgut) beschränkt werden.

Die Abb. 4.6 beinhaltet die empfohlenen Sondierungs- und Bohrverfahren und listet deren Vor- bzw. Nachteile bei der Probengewinnung, die bei der Anwendung an den Modellstandorten festgestellt wurden, auf.

Verfahren	Vor- / Nachteile
Sondierbohrverfahren: Schlitzsondierungen (Durchmesser 22/28 mm)	<ul style="list-style-type: none"> * keine durchgehenden Kerne bei nichtbindigem Material * keine exakte Horizontzuordnung durch Stauchungen * geringe Probenmenge
Rammkernsondierung (Durchmesser 30 - 60 mm)	<ul style="list-style-type: none"> * in bindigem Untergrund geologische Ansprache möglich * weitgehend ungestörte Proben * i. d. R. ausreichende Probenmenge * gut geeignet zur Erkundung des Deponieinhaltes, Deponieaufbaus und der unteren Deponiebegrenzung
Drehbohrverfahren: Trockendrehbohrverfahren	<ul style="list-style-type: none"> * Entweichen flüchtiger Stoffe durch Reibungshitze * bei Schneckenbohrung stark gestörte Proben
Spülbohrungen	<ul style="list-style-type: none"> * stark gestörte Proben * durch Spülflüssigkeit Verunreinigung des Bohrgutes möglich
Kernbohrverfahren: Rammkernbohrung mit Hülse oder Schlauch= Schlauchkernbohrung	<ul style="list-style-type: none"> * weitgehend ungestörte Proben * Profilaufnahme und differenzierte Probenahme aus bestimmten Horizonten möglich * durch Versiegelung der Kerne sofort nach dem Ziehen grundsätzlich Analyse von leichtflüchtigen Stoffen möglich

Abb. 4.6: Sondier- und Bohrverfahren zur Probengewinnung

4.2 Grundwassermeßstellenbau

Die landesweite Altlastenbearbeitung hat bislang zu rund 3.000 Bewertungen von altlastverdächtigen Flächen geführt. Es hat sich dabei gezeigt, daß bei den derzeitig stattfindenden Nutzungen das Schutzgut Grundwasser die größte Bewertungsrelevanz hat und den weiteren Handlungsbedarf bestimmt. Dieses Ergebnis bestätigt die Feststellungen, die bereits bei der Modellstandortbearbeitung gemacht wurden. Grundwassermeßstellen kommt demzufolge im Rahmen der Erkundung eine sehr große Bedeutung zu. Beim Meßstellenbau werden einerseits Kenntnisse über den geologischen Aufbau des Untergrundes und andererseits Kenntnisse über die hydraulischen und hydrochemischen Eigenschaften des Grundwasserleiters gewonnen. Entsprechend ausgewertet führen sie zu Aussagen über die mögliche Schadstoffausbreitung im Untergrund.

4.2.1 Bohrpunktfestlegung

Die Auswertung der gewonnenen Informationen aus flächenhaften Erkundungsmaßnahmen dienen als Grundlage für die Planung von Anzahl und Lage der erforderlichen Grundwassermeßstellen. Die konkreten Bohransatzpunkte werden dann im Einvernehmen mit dem Geologischen Landesamt durch die zuständige Behörde festgelegt. Es ist dabei auf eine freie und leichte Zugänglichkeit und eine geschützte, wenig exponierte Lage der Meßstellen zu achten.

Sind im Umfeld der Altlast keine verwendbaren Meßstellen vorhanden, wird die Einrichtung von mindestens 3 Meßstellen empfohlen. Sinnvoll ist die Anordnung einer Meßstelle im Zustrombereich und von 2 Meßstellen im vermuteten Abstrombereich der Altlast. Durch Grundwasserstichtagsmessungen kann somit über das Grundwasserspiegelgefälle die Fließrichtung des Grundwassers festgestellt werden.

4.2.2 Bohrarbeiten

Die Grundwassermeßstelle ist grundsätzlich im Trockenbohr- oder Lufthebeverfahren ohne Spülzusätze zu erstellen, damit auch leicht wasserführende Schichten erkannt werden. Kann aus bohrtechnischen Gründen auf Spülzusätze nicht verzichtet werden, sollten anorganische Spülzusätze wie z.B. Bentonit oder Tixoton verwendet werden. Auf alle Fälle darf eine nachhaltige Beeinflussung des Grundwassers nicht erfolgen.

Die Bohrarbeiten sind so durchzuführen, daß ein eindeutiger Aufschluß der Schichtenfolge möglich ist. Hierzu sollte unbedingt ein versierter Geologe während der Bohrarbeiten vor Ort anwesend sein, um das geförderte Material geologisch richtig anzusprechen und um Entscheidungen über die endgültige Meßstellentiefe und den Ausbau zu treffen. Zur Erfassung der Schichtenfolge sind bei jedem Bohrmeter ca. 1-2 kg Bohrproben zu entnehmen, in getrennte Behälter zu verfüllen, zu kennzeichnen und zur späteren Begutachtung durch den Gebietsgeologen aufzubewahren. Bei der Durchführung von Kernbohrungen sind die gewonnenen Bohrkerne in stabile Holzkisten von 1 m Länge längegetreu aufzubewahren.

Die Durchführung von bohrlochgeophysikalischen Messungen wird angeraten. Sie dienen zur Überprüfung des Ausbaus von Grundwassermeßstellen und zur Ermittlung diverser Aquiferkenndaten. Näheres hierzu ist aus dem Band 8 der Materialien zur Altlastenbearbeitung "Be-

stimmung der Gebirgsdurchlässigkeit" zu entnehmen. Bei umfangreichen Bohrarbeiten bei denen eine Fülle von Teilleistungen auszuführen und zu überwachen sind, bietet sich die Beauftragung einer mit den örtlichen Verhältnissen vertrauten Fachbauleitung an. Der Modellstandort Leonberg zeigte, daß damit die Ansprache des Bohrgutes, die Festlegung der Bohrtiefe, die Veranlassung chemischer und geophysikalischer Untersuchungen, die Festlegung der Ausbautiefe, die Ausführung der Dichtungen, die Bohrlochverfüllungen, die Auswertung und Interpretation von Grundwasserbeobachtungen und Pumpversuchen sowie die Aufmaßkontrolle mit der geforderten Sicherheit und fachlichen Kompetenz durchgeführt werden kann.

4.2.3 Meßstellenausbau

Die Grundwassermeßstellen müssen vergleichbare Erkundungs- und Analysenwerte liefern. Um dies zu erreichen, ist das Grundwasserbeschaffenhheitskonzept der LfU zu berücksichtigen und die Meßstellen alle nach dem gleichen Schema auszubauen und mit den Meßstellennummern der LfU zu versehen. Der genaue Ausbau ist der Abbildung 4.7 zu entnehmen. Auf folgende wesentlichen Dinge sollte insbesondere geachtet werden:

- Der Innendurchmesser der Meßstelle sollte generell 5" (125 mm) betragen, um das problemlose Ein- und Ausfahren von leistungsfähigen Unterwasserpumpen zu gewährleisten insbesondere dann, wenn die Rohre nicht lotrecht eingebaut sind.
- Das Ausbaumaterial ist so zu wählen, daß es zu keinen Veränderungen des zu untersuchenden Grundwassers kommt. Aus diesem Grunde sollte für den Ausbau von Grundwassermeßstellen auf die Verwendung von verzinkten Rohren verzichtet und in der Regel Kunststoffrohre aus PVC-hart eingebaut werden. Ist allerdings mit dem Vorhandensein von leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen zu rechnen, sollte bei einer Konzentration von **> 10 mg/l** Edelstahl verwendet werden.
- Auf den Einbau eines Sumpfrohrs sollte in der Regel verzichtet werden, da sich dort Spurenstoffe anreichern, die die Wasseranalytik beeinflussen können. Es wird empfohlen, den Filterfuß mit einer Bodenkappe aus dem gleichen Material wie die Rohre nach unten abzuschließen.
- Werden beim Durchteufen des Untergrundes verschiedene wasserführende Horizonte festgestellt, so ist streng darauf zu achten, daß diese nicht falsch oder durchgängig - miteinander verfiltert werden. Es sind dabei auch sehr gering wasserführende Schichten zu beachten.
- Soweit keine anderen Hinweise vorhanden sind, wird verallgemeinernd empfohlen, den gesamten Grundwasserraum bis über den erwarteten obersten Grundwasserstand zu verfiltern. Die Gefahr einer Verockerung im Grundwasserschwankungsbereich wird dabei hingenommen, da auf diese Weise sowohl spezifisch schwere Stoffe (z.B. LCKW's in Phase) als auch spezifisch leichte Stoffe (z.B. Mineralöl) bei der Probenentnahme erfaßt werden können.
- Die Wahl der Filterkieskörnung und damit der Filterschlitzweite richtet sich nach der Korngrößenverteilung des anstehenden Gesteins. Die Filterkörnung sollte nicht zu klein gewählt werden, da bei einer Korngröße < 4 mm die Gefahr der Selbstabdichtung der Meßstelle wächst.
- Um Setzungseinflüsse im Ringraum zu berücksichtigen, ist die Filterkiesschüttung mindestens 1 m über das Filterrohr zu führen. Die Filterstrecke sollte dann nach oben durch einen mindestens 1 m starken Gegenfilter aus einer abgestuften Filterkiesschüt-

tung von der obenliegenden Abdichtung getrennt sein. Damit wird verhindert, daß Dichtungsmaterial (z.B. Tonpartikel) in den Filterbereich eindringt.

- Zum Schutz und Abschluß der Meßstelle, wird ein mindestens 1,5 m langes verzinktes Stahlrohr über das Ausbaurohr gestülpt und mindestens 80 cm im Boden standsicher einbetoniert. Zum Schutz vor möglicher Verschmutzung der Meßstelle und unbefugtem Zugang, ist die Meßstelle mit einer dichtschießenden, verschließbaren Sebakappe zu versehen.

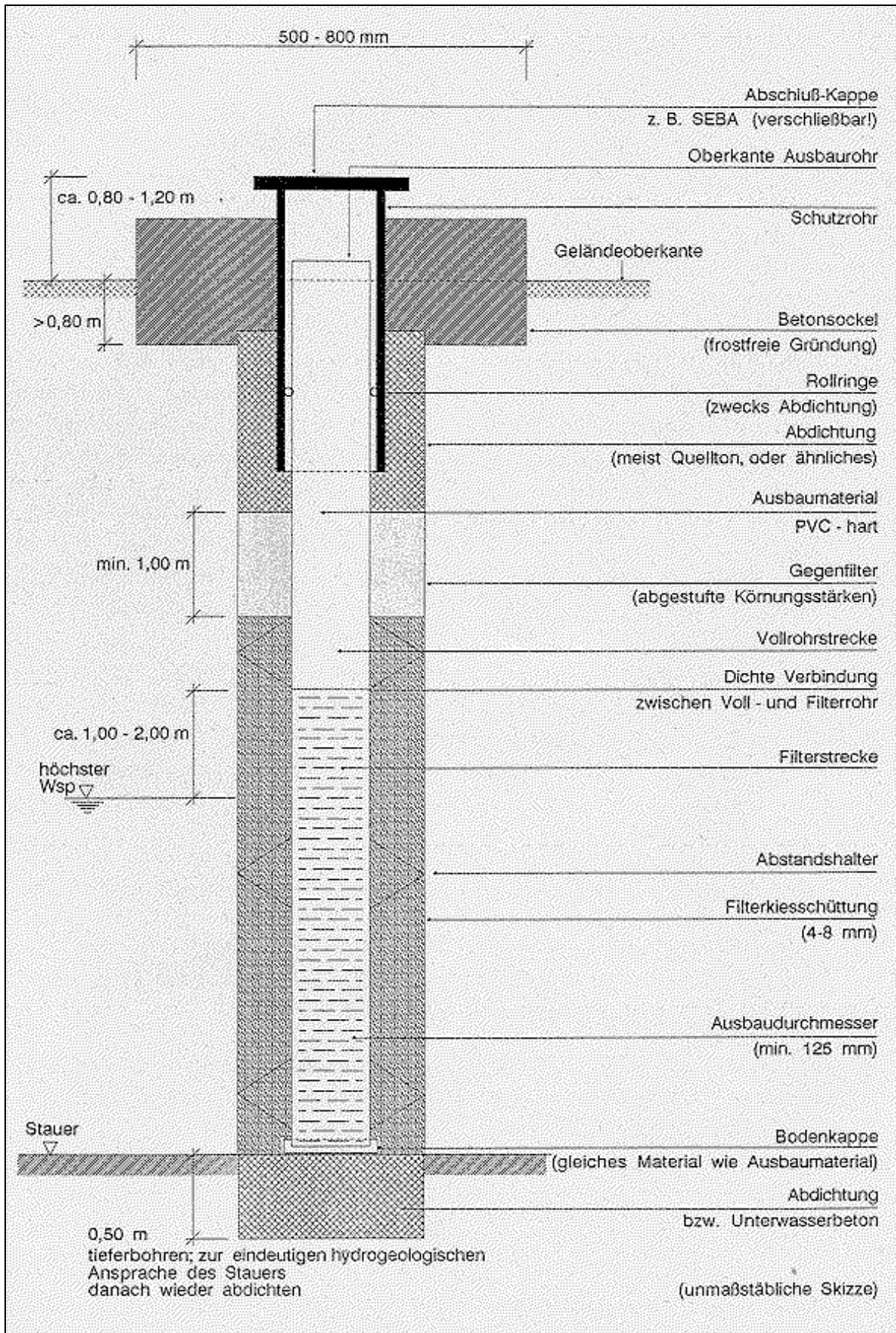


Abb. 4.7: Regelausbau einer Grundwassermeßstelle

4.3 Grundwassermodelle

In Anlage 3 sind Untersuchungstechniken, die vor allem für das Schutzgut Grundwasser wesentlich sind, aufgelistet und eine Wertung bezüglich deren Bedeutung und Kosten genannt. Die **Grundwassermodellierung** durch mathematische Modelle, die derzeit noch sehr kostenintensiv ist und eine große Anzahl von Meßstellen voraussetzt, hat dabei in der Regel eine niedrige Bedeutung im Hinblick auf die erreichbaren Aussagen zu bewertungsrelevanten Fragen. Das schließt allerdings nicht aus, daß bei konkreten Fragestellungen, die durch andere Untersuchungsmethoden nicht beantwortet werden können oder zur Beurteilung von Sicherungsmaßnahmen, die Erstellung eines Grundwassermodells im Einzelfall sinnvoll ist. Am Beispiel des Modellstandortes Herten, bei dem im Rahmen der näheren Erkundung (E₂₋₃) der Modellstandortarbeitskreis die Erstellung eines Modells beschlossen hat, soll im folgenden aufgezeigt werden, daß die dadurch gewonnenen Erkenntnisse die Bewertung auf Beweisniveau BN 3 entscheidend beeinflussen haben.

Der **Modellstandort Herten** liegt im westlichen Abstrombereich des Rheintalaquifers zwischen Rheinfeldern und Grenzach-Wyhlen. Dieser Kiesaquifer hat für die Trinkwasserversorgung der Stadt Rheinfeldern eine besondere Bedeutung, da bislang keine alternative Trinkwasserversorgung gegeben ist. Die Trinkwassergewinnungsmöglichkeiten in der Pumpwerksgruppe PW I bis PW III im Zentralbereich des Aquifers sind derzeit stark eingeschränkt, da benachbart zu dieser Brunnengruppe andere Altlasten die mögliche Fördermenge begrenzen. Es ist daher absehbar, daß in Zukunft Mehrförderungen im Westteil des Aquifers, also näher am Modellstandort Herten, in den Pumpwerken PW IV und PW V erforderlich werden. Unter diesen Randbedingungen kommt dem Modellstandort Herten am Westrand des Aquifers eine im Vergleich zur heutigen Situation größere Bedeutung zu (siehe Abb. 4.8).

Das EDV-Grundwassermodell sollte auf folgende Fragestellungen angewendet werden:

- Unter welchen Randbedingungen wäre eine Umkehr der Grundwasserfließrichtung, d.h. eine vom Deponieareal zum Einzugsbereich der Trinkwasserpumpwerke PW IV bzw. PW V gerichtete Grundwasserströmung möglich?
- Welchen Einfluß hat der Rheinwasserstand auf die Fließverhältnisse im rheinnahen Teil des Aquifers und in welchem Gebiet können Strömungsvorgänge mit wechselnder Grundwasserfließrichtung auftreten?
- Welchen Einfluß hätten Dichtwände, die als Voll- oder Teilumschließung der Altlast als Sicherungsmaßnahme erstellt werden, auf die Grundwasserfließverhältnisse im rheinnahen Teil des Aquifers?

Für die Modellierung des Rheintalaquifers wurde ein EDV-Programm zur Berechnung stationärer und instationärer horizontal-ebener Grundwasserströmungen mit freier Oberfläche verwendet, das beim Ingenieurbüro für den besagten Aquifer schon vorhanden war. Darüber hinaus standen Ergänzungsprogramme z.B. zur Untersuchung von Stromlinien und ein Stoffausbreitungsmodell zur Verfügung. Das vorhandene Modell mußte im Zusammenhang mit den Fragestellungen zur Ablagerung Herten nach Westen hin ausgeweitet und im Umfeld der Altlast sehr engmaschig gestaltet werden. Zur Eichung waren zusätzliche Grundwassermeßstellen erforderlich.

Zur Beantwortung der Fragen nach der Umkehr der Fließrichtung wurden verschiedene Grundwasserstichtagsmessungen ausgewertet und eine repräsentative Niedrigwassersituation ausgewählt. Der Grundwasserabfluß aus dem Aquifer in den Rhein beträgt danach nur ca. 25 l/s bei einem Grundwassergefälle von lediglich ca. 0,3 ‰. Verschiedene Simulationen, bei denen die Grundwasserentnahmemenge in den Förderbrunnen verändert wurde, führten dann zu dem Grenzzustand, bei dem ein Übergang zur Umkehr der Grundwasserfließrichtung erfolgt. Werden aus dem Westteil des Aquifers, also aus den Pumpwerken PW IV mit PW V insgesamt 80 l/s entnommen, bildet sich nördlich der Deponie eine Zone nahezu unbewegten Grundwassers (siehe Abb. 4.9). Eine Erhöhung der Förderung über 80 l/s führt dann zu einer vom Rhein her in den Aquifer gerichteten Grundwasserströmung. Das bedeutet für die Grundwasserentnahmesituation der Stadt Rheinfelden bei einer derzeitigen Entnahmemenge von ca. 60 l/s, daß keine Gefahr besteht, daß Schadstoffe aus der Altdeponierung in das geförderte Trinkwasser gelangen, auch wenn der gesamte Wasserbedarf aus den beiden westlichen Brunnen entnommen wird. Es bedeutet aber auch, daß die kritische Entnahmemenge von 80 l/s nur wenig über der derzeit geförderten Wassermenge liegt.

Bei der Bewertung der Altdeponierung auf Beweisniveau BN 3 wurde dieser ungünstige Sachverhalt mitberücksichtigt. Für das Schutzgut Grundwasser wurde das handlungsbestimmende Risiko (R_{HB}) und das prioritätensetzende Risiko (R_{PS}) folgendermaßen bestimmt:

	R_{HB}	R_{PS}
Derzeitige Nutzung	7,0	5,6
bei Umkehr der Fließrichtung	8,4	9,2

Der Fall der Fließrichtungsumkehr ist maßgebend für den weiteren Handlungsbedarf und die Prioritätensetzung.

Auch an den Modellstandorten Leonberg und Eppelheim wurden EDV-Grundwassermodelle erstellt, auf die allerdings hier nicht näher eingegangen wird.

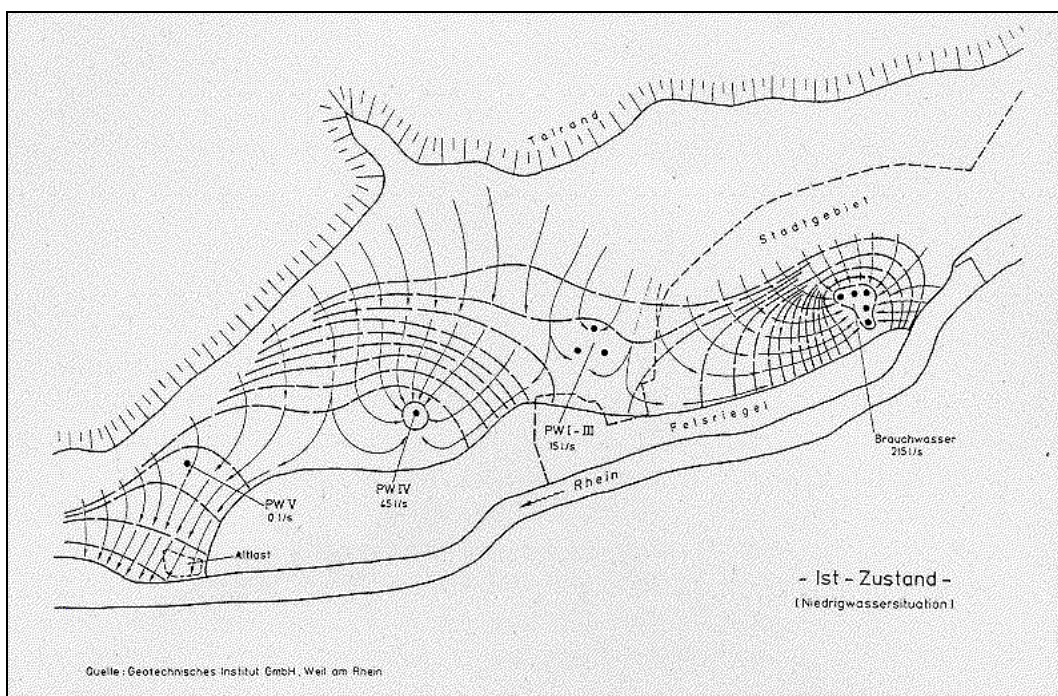


Abb. 4.8: Grundwassersituation bei einer Entnahme von 60 l/s

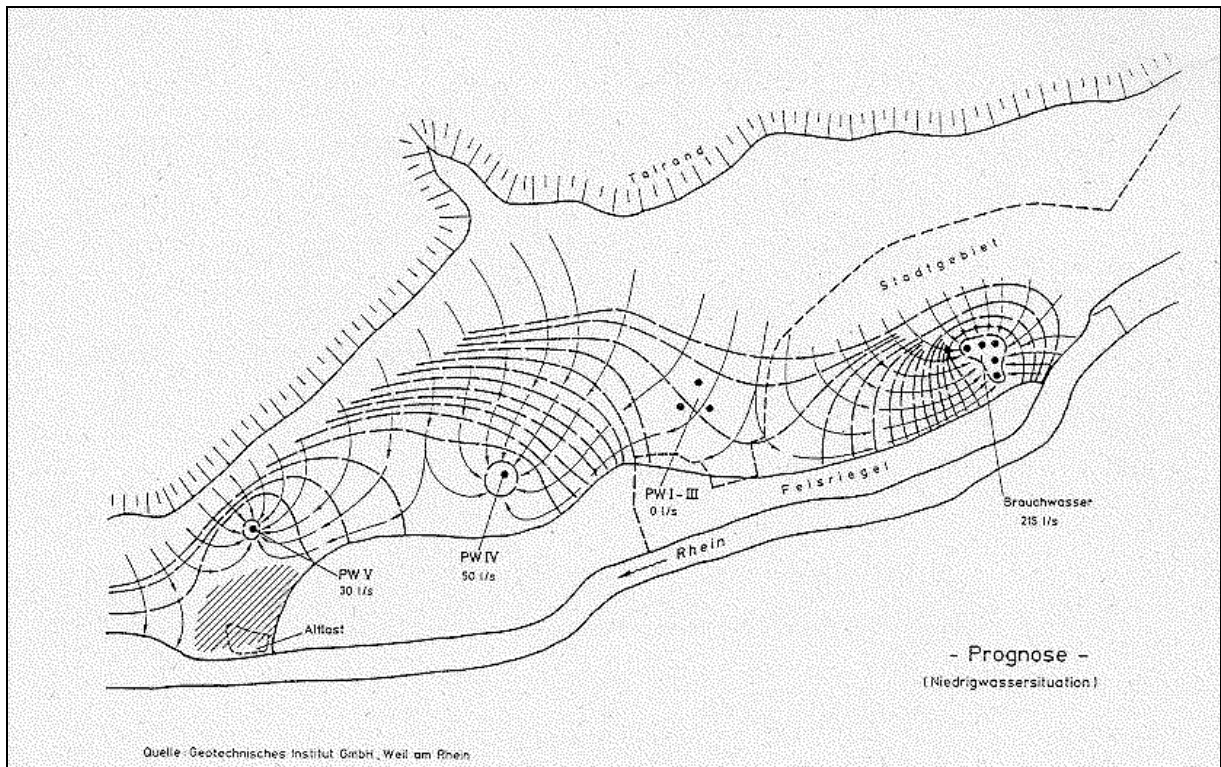


Abb. 4.9: Grundwassersituation bei einer Entnahme von 80 l/s

4.4 Arbeitsschutzmaßnahmen

Die historische Erkundung einer Altlast gibt wesentliche Hinweise auf den möglichen Schadstoffinhalt einer Abt Lagerung oder eines Altstandortes. Mit dem Beginn der technischen Erkundung wird Schritt für Schritt versucht, durch Sondierungen, Bohrungen, Schürfe und ähnliche Maßnahmen, diese Hinweise zu konkretisieren. Dabei bergen die Untersuchungen vor Ort allerdings die Gefahr einer Schadstofffreisetzung, die zur Gefährdung der Beschäftigten führen kann. Im Extremfall muß damit gerechnet werden, daß Stoffgemische unterschiedlichster Zusammensetzung und Konzentration austreten, die in ihrer Art und Menge sowie ihrer Wirkung auf den Beschäftigten nicht vorhersehbar sind. Aufgrund der vielfältigen Einflußfaktoren ist eine dauerhafte Einhaltung der maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Werte) und der technischen Richtkonzentrationen (TRK-Werte) nicht garantiert. Der Arbeitsschutz ist deshalb zwingend erforderlich, um eine Gesundheitsgefährdung sicher auszuschließen. Doch wieviel Arbeitsschutz muß es sein, um dies zu erreichen? Ist es notwendig, die Beschäftigten bei jeder Maßnahme mit einem Vollschutz zu versehen?

Neben dem Schutz der Gesundheit als oberstes Ziel müssen die Arbeitsschutzmaßnahmen auch angemessen und für die Personen zumutbar sein. Durch überzogene Forderungen könnte der Fall eintreten, daß die Arbeiten technisch bzw. finanziell nicht mehr durchführbar sind. Das Risiko für die Beschäftigten kann bereits bei der Planung der Erkundungsmaßnahmen reduziert werden. Entscheidend dabei ist, daß zum Erreichen des Erkundungsziels die Erkundungsmethode mit der geringsten Gefahr für den Beschäftigten ausgewählt wird. Eine weitere Reduzierung kann erreicht werden durch:

- Verhinderung der Freisetzung von Gefahrstoffen durch geeignete Maßnahmen (z.B. emissionsarme Probennahmeverfahren wie Sondierungen)
- vollständige Erfassung von freiwerdenden Gefahrstoffen an ihrer Austritts- oder Entstehungsstelle und gefahrlose Beseitigung (z.B. Absaugung)
- Herabsetzung der Konzentrationen (z.B. Verdünnung).

Erst nach Beachtung dieser Vorgaben darf und muß die Gefahrenabwehr durch eine persönliche Schutzausrüstung erfolgen. Hierbei ist vorrangig, daß die Belastung für die Personen, insbesondere beim Einsatz von Atemschutz und schwerer Schutzkleidung so gering als möglich gehalten werden. Es wird deshalb angeraten, nur spezialisierte Firmen mit geübtem Personal damit zu beauftragen.

Es hat sich gezeigt, daß es gerade bei den Maßnahmen auf einer Altablagerung, die mit erhöhtem Arbeitsschutzaufwand durchzuführen sind, vorteilhaft ist, diese zu bündeln, um bei kostenintensiven Maßnahmen (Infrastruktur, Arbeitsschutz, Reinigungsgeräte etc.) unnötige Ausgaben zu vermeiden.

Um zu Fragen über Arbeitsschutzmaßnahmen bei der Altlastenerkundung/-sanierung der Verwaltung und den ausführenden Ingenieurbüros neben den bestehenden Regelwerken Handlungsanweisungen an die Hand geben zu können, wurden an den Modellstandorten Mannheim, Osterhofen und Herten die dortigen Arbeitsschutzmaßnahmen besonders ausgewertet. Die Ergebnisse flossen in den Leitfaden Arbeitsschutz, Band 14 der Materialien zur Altlastenbearbeitung ein. Der Leitfaden enthält insgesamt 28 Handlungsanweisungen für unterschiedliche Ablagerungstypen und Erkundungstechniken. Die Empfehlungen sind mit dem Sozialministerium und der Tiefbauberufsgenossenschaft Baden-Württemberg abgestimmt. Die Abb. 4.10 zeigt beispielhaft die Handlungsanweisungen für Sondierungsarbeiten.

standortspezifische Situation:		Kennzahl
Untersuchungsmaßnahme:	Sondierungen	4
Oberflächenabdeckung:	nicht vorhanden	0
Deponietyp:	Haus- und hausmüllähnlicher Gewerbe- und Industriemüll mit begründetem Verdacht auf Abfälle nach §2, Abs. 2 AbfG	2
Anmerkung: Zusätzlich sind die allgemeinen Handlungsanweisungen zu beachten!		
Persönliche Schutzausrüstung		siehe
◆ Sicherheitsgummistiefel (S 5 d)		S. 78
◆ Sicherheitshelm beim Sondeneinschlag		S. 78
◆ Einweg-Chemikalienschutzanzug, atmungsaktiv		S. 79
◆ Papiervliesmaske P2 (bei starkem Staubanfall)		S. 72 ff.
◆ Schutzhandschuhe, chemikalienbeständig		S. 78
Meßtechnik		
◆ keine erforderlich		
Technische und organisatorische Schutzmaßnahmen		
◆ Abdecken von Sondierlöchern nach Sondenentnahme		
◆ Absperrung der Einschlagstelle		
zusätzliche Verhaltensregeln:		
◆ keine		
Beendigung der Arbeit:		
◆ Reinigung des Sondiergestänges		S. 57
◆ Wiederverschließen von Sondierlöchern		-
◆ Reinigung des Schuhwerks		S. 81
◆ Markierung überstehender Sondiergestänge, falls diese nicht gezogen werden		

Abb. 4.10: Handlungsanweisung Nr. 4-0-2 zum Arbeitsschutz bei Sondierungen

4.5 Ingenieurvertragsmuster

Die technische Erkundung von altlastverdächtigen Flächen erfordert die Einschaltung von Sachverständigen und Gutachtern. Das sind Ingenieurbüros, Chemische Institute, Consultingbüros und dgl., die in aller Regel durch die Polizeipflichtigen beauftragt werden. Bei nicht kommunalen Altlasten können das z.B. Privatpersonen oder Firmen und bei kommunalen Altlasten Gemeinden, Landkreise, Zweckverbände oder Verwaltungsgemeinschaften sein.

Die Anfänge der systematischen Altlastenbearbeitung haben gezeigt, daß wegen der Vielzahl der einzelnen Bearbeitungsfälle und der unterschiedlichen Auftraggeber ein einheitliches Ingenieurvertragsmuster als Arbeitsgrundlage sinnvoll ist. Die LfU hat daraufhin einen Entwurf erarbeitet, der nach diversen Abstimmungsgesprächen mit

- dem Ingenieurverband Wasser- und Abfallwirtschaft e.V., Landesverband Baden-Württemberg (INGEWA)
- Ingenieurkammer Baden-Württemberg
- den kommunalen Spitzenverbänden
- dem Finanzministerium

im Sommer 1991 vom Umweltministerium zur Anwendung empfohlen wurde. Das Vertragsmuster besteht aus zwei Teilen, die je nach Stand der Bearbeitung zur Anwendung kommen.

4.5.1 Vertragsteil I

Der Teil I beinhaltet ein Vertragsmuster mit dem die Erarbeitung eines Untersuchungsprogrammes und die Erstellung eines Angebotes zur Durchführung eben dieses Programmes beauftragt werden kann. Es soll damit erreicht werden, daß ein auf den Einzelfall bezogenes Untersuchungsprogramm nach dem aktuellen Kenntnisstand über die altlastverdächtige Fläche, insbesondere nach den jeweils neuesten Vorgaben und Fortschreibungen der Altlastenhandbücher Teil I und II erarbeitet wird.

Erforderliche Leistungen im Rahmen dieses Untersuchungsprogrammes, die nach der Verdingungsverordnung für Bauleistungen (VOB) auszuschreiben sind, sind im parallel zu erstellenden Angebot gesondert mit geschätzten Kosten zu benennen. Das Angebot dient dann als Abrechnungsgrundlage für die spätere Durchführung, die mit Teil II beauftragt wird. Der Antrag auf Mittel aus dem kommunalen Altlastenfonds ist vom Sanierungsträger aufgrund einer Kostenschätzung vor Vertragsabschluß an das zuständige Regierungspräsidium zu richten. Zur Vergütung der Tätigkeiten des Ingenieurs wird vorgeschlagen, hierfür ca. 5% der gemäß Zuwendungsbescheid bewilligten und zuwendungsfähigen Kosten pauschal als Festpreis anzusetzen.

4.5.2 Vertragsteil II

Gemäß dem Angebot nach Teil I wird die Beauftragung der Durchführung des Untersuchungsprogrammes vorgenommen. Die Beauftragung der erforderlichen Leistungen, die nach VOB auszuschreiben sind, erfolgt getrennt durch den Sanierungsträger. Mit dieser Vorgehensweise wird erreicht, daß den geistig schöpferischen Urheberrechten des Ingenieurs über

die Art und Weise des Untersuchungsprogrammes Rechnung getragen werden und alle Informationen in einer Hand sind.

Dem einheitlichen Vertragsmuster ist eine Anleitung zur Gutachtenerstellung (Darstellung der Ergebnisse technischer Erkundungen an Altlasten in Berichten/Gutachten Stand Mai 91) beigefügt. Somit sind mit dessen Anwendung gleichzeitig die wesentlichen Gesichtspunkte auf die im Rahmen des Abschlußberichtes einzugehen ist, vertraglich verankert. Die sinnngemäße Anwendung des Vertragsmusters auf ggfs. später folgende Sanierungsplanungen bzw. Durchführungen wird empfohlen.

Das Ingenieurvertragsmuster war bei seiner Einführung im Juni 1991 bundesweit das erste Vertragsmuster dieser Art für die Altlastenbearbeitung und ist seither Grundlage vieler Ingenieurverträge. Das Vertragsmuster diente auch Fachkollegen anderer Bundesländer als Grundlage für jüngere Ausarbeitungen zu den Themenbereichen Vertrag, Leistungsverzeichnis und Sachverständigentätigkeit.

5. Stand der Bearbeitung

Für die Modellstandorte Bitz, Osterhofen, Leonberg und Mannheim wurde die endgültige Entscheidung für den jeweiligen Handlungsbedarf auf Beweisniveau BN4 getroffen. Danach besteht für die Standorte Bitz, Osterhofen und Mannheim kein Sanierungsbedarf sehr wohl aber die Notwendigkeit das Schutzgut Grundwasser weiterhin zu überwachen. Am Modellstandort Mannheim wurde die bisherige Nutzung für den Getreideanbau vorsorglich eingestellt.

Am Modellstandort Leonberg sind Sicherungsmaßnahmen in Form einer Oberflächenabdichtung erforderlich. Da diese Maßnahmen nach den Regeln der Technik durchzuführen sind, ist eine modellhafte Begleitung nicht sinnvoll und erforderlich. Alle vier Standorte werden nicht mehr weiter als Modellstandorte bearbeitet.

Die modellhafte Bearbeitung wird derzeit an den vier Standorten Herten, Mühlacker, Geislingen und Eppelheim weitergeführt. Nachdem im Herbst 92 auch der Standort Herten auf Beweisniveau BN3 bewertet werden konnte, sind damit die technischen Erkundungsmaßnahmen an allen Modellstandorten abgeschlossen und es tritt nun bei allen vier Standorten die Sanierungsplanung und -durchführung in den Mittelpunkt der Bearbeitung. Bei den Standorten Herten, Geislingen und Mühlacker wird mit der Sanierungsentscheidung auf Beweisniveau BN4 im Frühjahr 1993 gerechnet. Wir gehen derzeit davon aus, daß in Abhängigkeit der Sanierungsentscheidungen und der zur Verfügung stehenden Mittel die Sanierungsmaßnahmen von der LfU modellhaft begleitet werden, um zukünftig schwerpunktmäßig verallgemeinerungsfähige Erkenntnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet der Sicherung, Dekontamination und Überwachung zu sammeln, aufzuarbeiten und an die Wasserwirtschaftsverwaltung weiterzugeben. Das am Modellstandort Eppelheim durchgeführte Vorhaben zur Entwicklung biologischer Verfahren zur Sanierung von mit CKW kontaminierten Böden, Wasser und Bodenluft ist bis Ende 1993 terminiert.

5.1 Kosten

Das Land Baden-Württemberg und die Kommunen haben zur finanziellen Hilfe bei der Erhebung, Erkundung und Sanierung von kommunalen Altlasten den gemeinsamen Altlastenfonds eingerichtet. Dabei stammen 75 % des Fondsvolumens aus dem kommunalen Investitionsfonds und 25 % aus dem Landeshaushalt. Außerdem werden jährlich 15 Mio. DM aus dem Ökologieprogramm des Landes beigesteuert. Insgesamt standen bislang pro Jahr mehr als 100 Mio. DM zur Altlastenbearbeitung im Fonds zur Verfügung. Da es sich bei den Modellstandorten generell um kommunale Altlasten handelt, werden sie zu 100 % aus dem Altlastenfonds finanziert. Für die gesamte Bearbeitung der Modellstandorte wurde von 1988 bis zum Ende des Jahres 1992 insgesamt ca. 38 Mio. DM aufgewendet. Die Abb. 4.11 zeigt, welche anteiligen Ausgaben auf die einzelnen Modellstandorte entfallen.

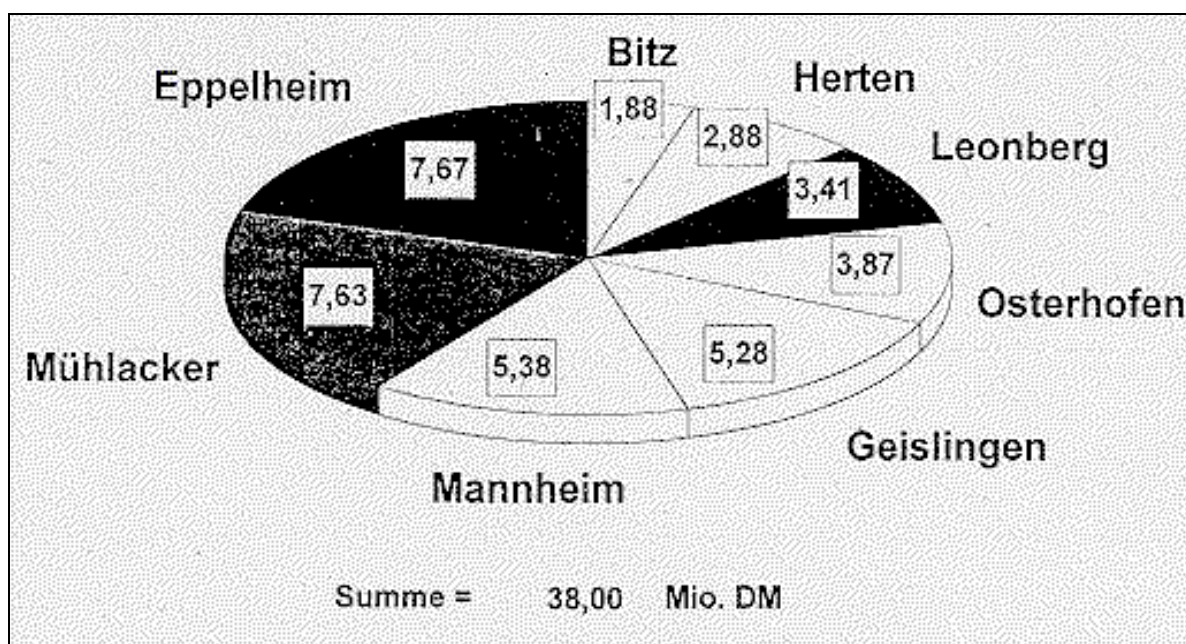


Abb. 4.11: Gesamtausgaben an den Modellstandorten von 1988 bis 1992 (in Mio. DM)

5.2 Vorhaben mit Modellcharakter

In Ergänzung und Erweiterung der bestehenden Modellstandortkonzeption des Landes Baden-Württemberg kommen seit März 1992 vier **Vorhaben mit Modellcharakter**, die nach den gleichen Kriterien wie die Modellstandorte ausgewählt wurden, zur Ausführung. Im Gegensatz zur Modellstandortbearbeitung können hier Einzelmaßnahmen oder die Gesamtmaßnahme am einzelnen Modellvorhaben durch die LfU fachlich begleitet werden. Dadurch ergibt sich eine größere Flexibilität der LfU und es wird die Konzentration auf das fachlich Gebotene und Notwendige ermöglicht.

Ziel ist es, mit Hilfe der Vorhaben mit Modellcharakter insbesondere auch für **nicht kommunale** Altlasten Erkenntnisse zu gewinnen, die auf möglichst viele andere Standorte übertragbar sind. Die Finanzierung dieser nicht kommunalen Altlasten (Altstandort in Sinsheim, Altblagerung in Kürzell) erfolgt dabei mit Mitteln aus dem Aufkommen der Sonderabfallabgabe. Über die tatsächliche Förderung entscheidet das Umweltministerium auf Grundlage der je-

weiligen Zuwendungsanträge der Sanierungsträger. Eine Kurzbeschreibung der Modellvorhaben ist der Abb. 4.12 zu entnehmen (siehe hierzu auch Abb. 4.2).

Vorhaben mit Modellcharakter	Schadstoffinventar	Geologie	Bearbeitungsschwerpunkte
Pforzheim Kommunaler Altstandort	Kontaminationen von CKW, PCB und Kohlenwasserstoffen infolge des früheren Betriebes einer Lösungsmittelaufbereitung	Löß, Lehme, Buntsandstein	Sanierung stark bindiger Böden
Teningen Kommunale Altablagerung	Hausmüll, Industrie-/Gewerbeabfälle (insbesondere PCB in Ausschlußkondensatoren)	Kiese und Sande (Freiburger Bucht)	Sanierung einer mit PCB-haltigen Inhaltstoffen beaufschlagten Altablagerung; Transportverhalten von PCB in Porengrundwasserleitern
Sinsheim Nicht kommunaler Altstandort	Kontaminationen von Chrom, PCP, PAK, Kohlenwasserstoffen und Fluorid infolge des früheren Betriebes eines Sägewerkes mit Holzimprägnierung	bindige Lockerböden mit wechselndem organischen Gehalt bis 10 m unter Gelände	Sanierung von für Holzimprägnierbetriebe typischen Boden- und Grundwasserkontaminationen
Kürzell Nicht kommunale Altablagerung	lösungsmittelhaltige Sonderabfälle (Toluol, Xylol, Ethylbenzol u.a.)	eiszeitliche Kiese und Sande (Rheinebene)	Totalsanierung einer Sonderabfalldeponie mit Abfällen aus der Textilreinigung

Abb. 4.12: Vorhaben mit Modellcharakter

Die fachliche Abwicklung der Vorhaben mit Modellcharakter erfolgt grundsätzlich unter Beibehaltung der behördlichen Zuständigkeiten und der Verantwortlichkeit des jeweiligen Sanierungsträgers. Folgende Randbedingungen sind dabei einzuhalten:

- Projektbegleitender Arbeitskreis mit den zuständigen Behörden unter Vorsitz der Unteren Wasserbehörde und unter Beteiligung der LfU (im Gegensatz hierzu hat bei den Modellstandorten die LfU den Vorsitz).
- Beratung und Beschlußfassung über Maßnahmen im Arbeitskreis Vetorecht der LfU.
- Kontinuierliche Beteiligung der LfU als Fachberater des Amtes für Wasserwirtschaft und Bodenschutz (WBA).
- Beauftragung des Ingenieurbüros und Projektabwicklung durch den Sanierungsträger (Arbeitskreisbeschluß, Einvernehmen mit WBA und LfU).
- Generelle Auswertung und Verallgemeinerung der gewonnenen Erkenntnisse durch LfU oder in deren Auftrag durch Dritte.
- Veröffentlichungen von Arbeitsergebnissen grundsätzlich nur durch das Land Baden-Württemberg (im Einvernehmen auch durch den Sanierungsträger oder Dritte möglich).

6. Ausblick

5 Jahre Modellstandortbearbeitung hat die "Spreu vom Weizen" getrennt. Die gesammelten Erfahrungen haben gezeigt, welche Untersuchungsverfahren im Rahmen der technischen Erkundung z. Zt. nicht zur weiteren Anwendung geeignet sind und welche Verfahren einzelfall-spezifisch bei besonderen Fragestellungen zum Einsatz kommen können. Die Verbleibenden sind die wesentlichen Untersuchungsverfahren der 1. Wahl, an deren Anwendung man nicht

vorbeikommt, um möglichst rasch und kostengünstig das Gefährdungspotential einer Altlast zu erkunden.

Patentrezepte gibt es keine, aber die Arbeitshilfen (Orange Ordner und Materialien zur Altlastenbearbeitung), die auf der Grundlage der an den Modellstandorten gemachten Erfahrungen bereits erstellt wurden und laufend ergänzt werden, sind ein Angebot an den Anwender zur Orientierung im jeweiligen Einzelfall.

Um weitere Erkenntnisse und Informationen aus der Altlastenbearbeitung, die nicht den hohen Ansprüchen an den Inhalt eines Materialienbandes genügen, Fachinteressierten zugänglich zu machen, wird in Kürze eine weitere Veröffentlichungsreihe "Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung" eingerichtet.

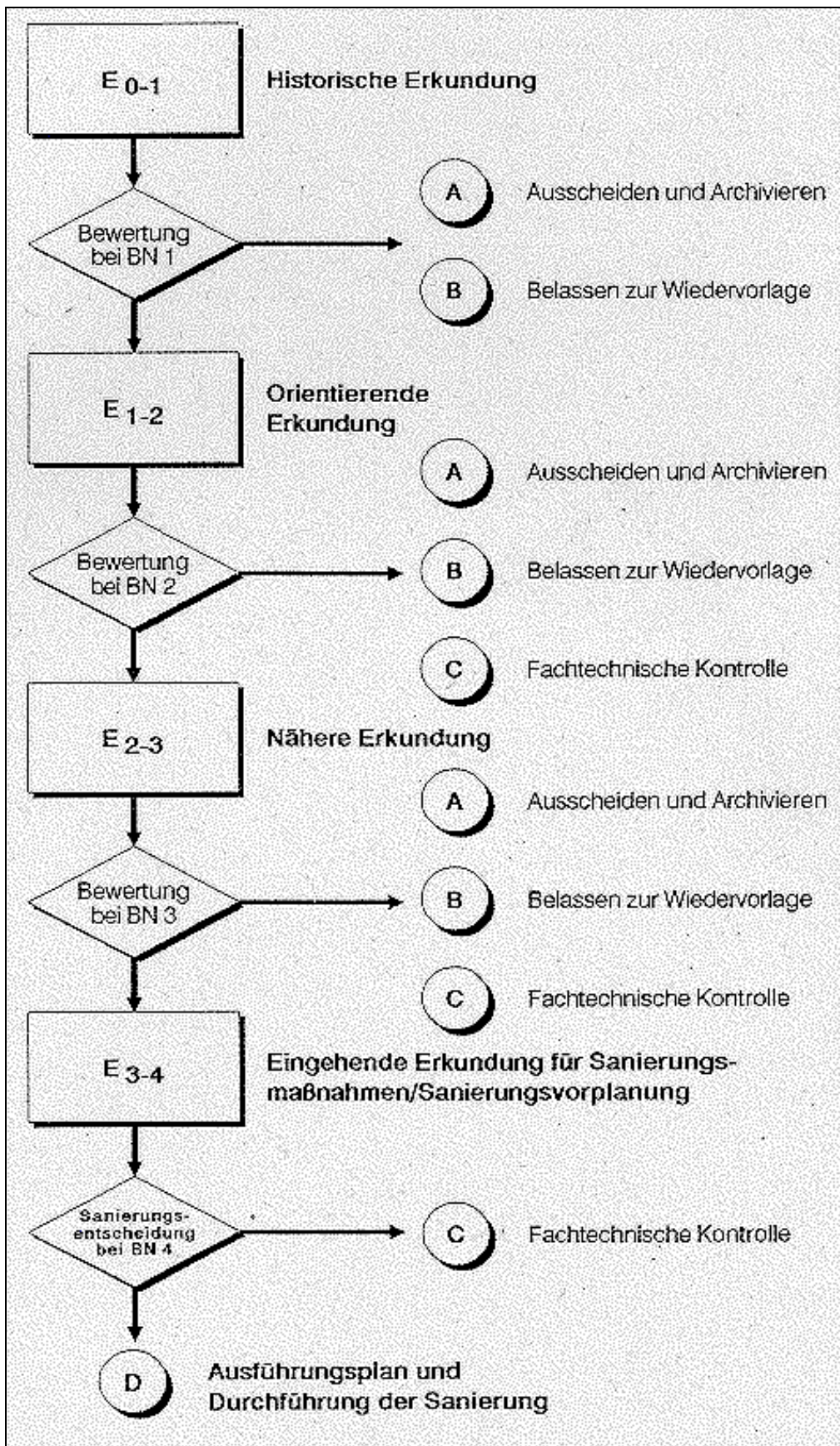
Die Arbeit an den vier Modellstandorten und den vier Vorhaben mit Modellcharakter wird 1993 fortgesetzt, wobei die Sanierungsplanung und -durchführung die Schwerpunkte der Bearbeitung bilden werden. Es sollen dabei verallgemeinerbare Erfahrungen zu unterschiedlichen Sanierungstechniken gewonnen werden, wobei der Ökobilanz bei der Auswahl von geeigneten Sanierungsverfahren ein besonderes Gewicht beigemessen wird.

7. Literaturhinweis

1. Ministerium für Umwelt BW:
Konzeption zur Behandlung von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten in Baden-Württemberg (Stufenplan) (September 1988) Landtags-Drucksache 10/831.
2. Landesabfallgesetz (LAbfG) vom 08.01.1990, insbesondere §§ 22 - 27.
3. Förderungsrichtlinien Altlasten (FrAl) vom 03.09.1990.
4. Wasserwirtschaftsverwaltung BW:
Kommissionsverordnung (KommissionsVO) vom 16.10.1990.
5. Wasserwirtschaftsverwaltung BW Heft 17:
Grundwassergefährdung durch Altablagerungen am Beispiel Eppelheim (5/87).
6. Wasserwirtschaftsverwaltung BW Heft 18:
Altlastenhandbuch Teil I (2. Auflage, 12/88).
7. Wasserwirtschaftsverwaltung BW Heft 19:
Altlastenhandbuch Teil II (2. Auflage, 12/88).
8. Neifer:
"Modellstandortkonzeption Baden-Württemberg", in Kongreßband "Altlastensanierung '88 TNO/BMFT (11. - 15. April 1988)" in Hamburg.
9. Neifer:
"Modellstandorte Baden-Württemberg, Ergebnisse für die Praxis der Altlastenerkundung" in Kongreßband "Altlastensanierung '90 KfK/TNO (10. - 14. Dezember 1990)" in Karlsruhe.
10. Straßburger:
"Umweltgeophysik bei der Altlastenerkundung" in Kongreßband "Altlastensanierung '90 KfK/TNO (10. - 14. Dezember 1990)" in Karlsruhe.
11. LfU BW:
Handbuch Hydrologie Baden-Württemberg, Teil 2, 2.4 Grundwassermeßnetz, Karlsruhe, 1989.
12. LfU BW:
Materialien zur Altlastenbearbeitung, Erkundung ehemaliger Gaswerksstandorte, Band 1, 1990.
13. LfU BW:
Materialien zur Altlastenbearbeitung, Leitlinien zur Geophysik an Altlasten, Band 2, 1990.
14. LfU BW:
Materialien zur Altlastenbearbeitung, Branchenkatalog zur historischen Erhebung von Altstandorten, Band 3, 1991.
15. LfU BW:
Materialien zur Altlastenbearbeitung, Handbuch für die Einkapselung von Altablagerungen, Band 4, 1990.
16. LfU BW:
Materialien zur Altlastenbearbeitung, praxisbezogene Grundlagen und Kriterien für eine schadensfallgerechte Anwendung der Bodenluft-Absaugung, Band 5, 1990.
17. LfU BW:
Materialien zur Altlastenbearbeitung, Baustoffkorrosion bei Baumaßnahmen auf Altablagerungen und Altstandorten, Band 6, 1990.

17. LfU BW:
Materialien zur Altlastenbearbeitung, Handbuch mikrobiologische Bodenreinigung, Band 7, 1991.
18. LfU BW:
Materialien zur Altlastenbearbeitung, Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit, Band 8, 1991.
19. LfU BW:
Materialien zur Altlastenbearbeitung, Handbuch historische Erhebung von altlastverdächtigen Flächen, Band 9, 1992.
20. LfU BW:
Materialien zur Altlastenbearbeitung, Der Deponiegashaushalt in Altablagerungen - Vorgehensweise und Technik zu seiner Erkundung und Bewertung - (Leitfaden Deponiegas), Band 10, 1992.
21. LfU BW:
Materialien zur Altlastenbearbeitung, Handbuch Bodenwaschverfahren, Band 11, 1993.
22. LfU BW:
Materialien zur Altlastenbearbeitung, Textsammlung, Erlasse, etc. Orangene Ordner (5 Bände, unveröffentlicht).
23. LfU BW:
Modellstandortbericht II, Dezember 1990 (unveröffentlicht).
24. LfU BW:
Materialien zur 1. Fortbildungsveranstaltung "Altlasten" in Karlsruhe vom 16. - 17.11.87 (unveröffentlicht).
25. LfU BW:
Materialien zur 2. Fortbildungsveranstaltung "Altlasten" in Bad Boll vom 9.- 10.11.88 (unveröffentlicht).
26. LfU BW: Materialien zur 3. Fortbildungsveranstaltung "Altlasten" in Achern vom 4. - 5.10.89 (unveröffentlicht).
27. LfU BW:
Materialien zur 4. Fortbildungsveranstaltung "Altlasten" in Immenstaad vom 4. - 5.10.90 (unveröffentlicht).
28. LfU BW:
Materialien zur 5. Fortbildungsveranstaltung "Altlasten" in Bühlertal vom 1. - 2.10.91 (unveröffentlicht).
29. LfU BW:
Materialien zur 6. Fortbildungsveranstaltung "Altlasten" in Neresheim vom 1.-2.10.1992 (unveröffentlicht).
30. Straßburger:
"Strategien zur technischen Erkundung von Altlasten". Technische Akademie Esslingen, 27.-28.4.1992.

Anlagen



Anlage 1: Ablaufschema der Stufenweisen Altlastenbearbeitung gemäß Altlastenhandbuch Teil I.

Aufgaben- bzw. Fragestellungen (gem. Bewertungsbogen GW ALHB Teil I Seite 16 + 17)	Antworten auf Bearbeitungsstufe	
	E1-2	E2-3
Schadstoffeintrag m_{II} - Mächtigkeit der ungesättigten Zone - Boden- und Gesteinsart - Schichtung, Durchlässigkeit - Änderung der Schadstoffkonzentration (Sorption, Abbau, Mobilisierung?)	* * * ((*))	(*) (*) (*) +/O/ (*)
Schadstofftransport und -wirkung m_{III} - Grundwasserfließgeschwindigkeit - Parameteränderung (pH, pe...) - Änderung der Schadstoffkonzentration (Sorption, Abbau, Mobilisierung?)	+/O (+/O) ((*))	* + +/O/ (*)
Bedeutung des Schutzgutes m_{IV} - Nutzung (nicht nutzbar, nicht vorgesehen, möglich, findet statt) - Vorbelastung des Grundwassers - Schonbereich - Wasserschutzgebiet - Aufbereitung (möglich, vorhanden) - alternative Versorgungsmöglichkeit - private Nutzung (Trink- oder Brauchwasser) - Restfließzeit bis Entnahmestelle - Verdünnungseffekt (Größe des Dargebots, Schadstoffmenge)	+ + + + + + + O O	(*) +/(*) +/(*

Seite 2

Anlage 3: Bewertung von wesentlichen Untersuchungstechniken (Schutzgut Grundwasser):

Verfahren		Bedeutung ¹⁾		Kosten ¹⁾		Kostenrahmen ²⁾ (Vorläufige Angaben)
		hoch	niedrig	hoch	niedrig	
Vorplanungen	Standortbegehungen	X			X	400.-/Stck
	Vermessungsarbeiten	X			X	1400.-/Tag
	Datenrecherche (Ergänz. Hist. Erkund)	X			X	
	Arbeitsschutz	X		X		
	Baustelleneinrichtung	X		X		
	Wegebau		X	X		
	Fachbauleitungen		X		X	
Geologie	Luftbildauswertung	X		X		1000.-/Bild
	Bodenkundliche Kartierungen		X		X	1000.-/Tag
	Bohrungen	X		X		300.-/fdm
	Greiferbohrungen		X	X		190.-/fdm
	Rammkamborungen	X			X	150.-/fdm
	Schlitzsondierungen	X			X	70.-/fdm
	Schürfe		X	X		800.-/Stck o. Entsorg.
	Bodenphysikalische Untersuchungen		X		X	
	Sonstige Untersuchungen					
	a) Drucksondierungen		X	X		28.-/fdm
	b) Handbohrungen		X		X	
c) Sieb - Untersuchungen		X	X		250.-/t	
d) Sortier - Untersuchungen		X	X		800.-/t	
Hydraulik	Grundwassermeßstellenbau	X			X	500 - 1000.-/fdm
	Sickerwassermeßstellenbau		X	X		
	Pumpversuche	X			X	1800.-/Tag
	Markierungsversuche		X	X		3500.-/Pnst.
	Wasserstandsstichtagsmessungen	X			X	700.-/Tag
	Sonstige Untersuchungen					
	a) Kleinmeßstellenbau		X	X		50.-/fdm
	b) Brunnenversuche		X	X		
	c) Entnahmeversuche		X	X		
d) Grundwassermodelle		X	X			
Hydrologie	Datenrecherche	X			X	
	Bilanzierungen	X			X	

1) Relative Angaben im Hinblick auf die erreichbaren Aussagen bzgl. des Schutzgutes Grundwasser

2) Durchschnittliche Kosten pro Einzelmaßnahme (soweit sinnvoll ermittelbar)

Verfahren	Bedeutung ¹⁾		Kosten ¹⁾		Kostenrahmen ²⁾ (Vorläufige Angaben)
	hoch	niedrig	hoch	niedrig	
Chemie	Probennahme/Vor-Ort-Analytik				
	a) Probenauswahl				
	- Organoleptische Prüfungen	X		X	20.-/Stck
	- Beprobungen	X		X	10 - 30.-/Stck
	- Probenmischungen	X		X	
	b) Vor-Ort-Analytik				
	- GC/MS-System		X	X	
	- PID (Photoionisationsdetektor)	X		X	650.-/Woche
	- Raumluft-Untersuchungen	X		X	ca 100 - 200.-/Meßp
	- Sonstige Untersuchungen		X	X	
	Deponiegas				
	a) Deponiegasuntersuchungen (Vorort)	X		X	ca 100.-/Meßp
	b) Gasabsaugversuche		X	X	
	c) Sonstige Untersuchungen				
	- FID-Kartierungen		X	X	
	- Gassammelbox-Untersuchungen		X	X	
	- Permanentmeßstellen-Untersuch.		X	X	
	- Faulversuche		X	X	
	Bodenluft				
	a) Bodenluft-Untersuchungen	X		X	ca 250 - 800.-/Meßp
	b) Sonstige-Untersuchungen				
	- CO ₂ -Untersuchungen	X		X	ca 150.-/Meßp
	- Radon-Messungen		X	X	
	Wasseranalytik				
	a) Grundwasser	X		X	1500-3000.-/Vollana
	b) Sickerwasser	X		X	
	c) Oberflächenwasser	X		X	
	d) Trinkwasser	X		X	ca 2000.-/Vollana
	e) Isotopen-Untersuchungen		X	X	
	Feststoffanalytik				
	a) Boden	X		X	ca 3000.-/Vollana
	b) Abfall		X	X	
	Sonstige Untersuchungen				
a) Sickerwasserprobennahmesysteme		X	X		
b) Leitparameter	X		X		
Geophysik	Bohrlochgeophysik	X		X	
	Geoelektrik	X		X	
	Geothermik		X	X	
	Sonstige Untersuchungen				
	a) Neutronensonden		X	X	
	b) Tropfbilduntersuchungen		X	X	400.-/Probe
Biologie	Standortkundliche Kartierungen	X		X	1000.-/ha
	Infrarot-Photographien		X	X	1000.-/ha
	Wasseruntersuchungen (Biotests)	X		X	200 - 1400.-/Probe
	Sonstige Untersuchungen				
	a) Mikrobiologische Bestandsaufnah.		X	X	1000.-/Probe
	b) Gewässergüte-Kartierungen		X	X	
	c) Bodenkäfer-Bestandsaufnahmen		X	X	
	d) Transsekt-Untersuchungen		X	X	
	e) Wurzelraum-Untersuchungen		X	X	
	f) Rückstands-Untersuchungen		X	X	
	g) Flechten-Kartierungen		X	X	
h) Pflanzenwuchs-Versuche		X	X		
i) Lumbriciden-Untersuchungen		X	X		
Auswertungen	Chemiedatenauswertungen	X		X	
	Statistische Datenauswertungen	X		X	
	Sonstige Auswertungen				
	a) Volumenberechnungen		X	X	
	b) Plenerstellungen	X		X	

Hauptuntersuchungen	Bewertungsteilgrößen				
	r_0	m_I	m_{II}	m_{III}	m_{IV}
Vorplanungen (u.a. Begehungen)	■	■	□	■	■
Geologie (insb. Luftbilder, Umfelderkundungsbohrungen)	■	■	■	■	□
Hydraulik (insb. Grundwassermeßstellen, Pumpversuche, Wasserstände)	■	□	□	■	■
Hydrologie (insb. Datenrecherche)	□	■	□	□	■
Chemie (insb. Deponiegas, Bodenluft, Wasser, Abfall)	■	□	■	■	□
Biologie	□	□	□	□	□
Geophysik (siehe Leitlinien)	□	□	□	□	□
r_0 = Stoffgefährlichkeit m_I = Schadstoffaustrag m_{II} = Schadstoffeintrag m_{III} (=RHB) = Stofftransport und -wirkung m_{IV} (=RPS) = Bedeutung des Schutzgutes ■ eher geeignet □ weniger geeignet					

Anlage 4: Matrix - Schwerpunkterkundungen (Schutzgut Grundwasser)

Auswertung der geophysikalischen Untersuchungen an den Modellstandorten

Dr. D. Vogelsang, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover

1. Einleitung

Seit ca. 70 Jahren sind geophysikalische Verfahren für die Prospektion von tiefliegenden Lagerstätten der Kohlenwasserstoffe und Erze entwickelt worden. Ohne Geophysik wären Erdöl, Erdgas, Kupfer, Blei und andere Rohstoffe heute knapp und teuer. Der alte Bergmannspruch: „Hinter der Hacke ist es duster“ wurde so widerlegt.

Die Aufgabe, bei der Suche nach den umfangreichen Rückständen der Rohstoffe, die von Menschen verbraucht worden sind, mitzuhelfen, ist neu für die Geophysik. Sie erfordert eine Umorientierung, da die bisher störenden Oberflächeneffekte, welche die Signale der tiefliegenden Lagerstätten maskierten, nun das Objekt der Messungen sind.

Dem Land Baden-Württemberg gebührt der Verdienst, unter Einsatz erheblicher Mittel Pionierarbeit geleistet zu haben. Die im Modellstandortprogramm der Landesanstalt für Umweltschutz erzielten Ergebnisse haben national und international große Beachtung gefunden und der routinemäßigen Anwendung der Geophysik an Altlasten den Weg bereitet.

Im Modellstandortprogramm wurden in den Jahren 1988 bis 1990 viele Erkundungsverfahren an Altlasten erprobt. Neben Bohrungen und Rammsondierungen sind in großem Umfang alle bekannten geophysikalischen Untersuchungsmethoden angewendet worden, um Erfahrungen zu sammeln. Die Ergebnisse sollten dazu führen, daß in Zukunft Altlasten gezielter, sachgerechter, rascher und kostengünstiger erkundet werden können.

Es wurden keine neuen geophysikalischen Methoden entwickelt. Das umfangreiche und erprobte Instrumentarium der angewandten Geophysik sowie die großen Erfahrungen in DV-Auswertung und Interpretation wurden genutzt und überprüft. Es war jedoch erforderlich die vorhandenen Verfahren an die Altlastenerkundung anzupassen: z.B. mußten sehr engmaschige Meßanordnungen angewendet werden, um präzise Aussagen für geringe Tiefen zu erzielen. Da geophysikalische Aussagen auch vom Aufbau des geologischen Untergrunds und der hydrogeologischen Situation abhängen, sind im Modellstandortprogramm geologische und hydrogeologische Erkenntnisse berücksichtigt worden.

Im Rahmen des Geophysikprogrammes wurden an acht ausgewählten Modellstandorten 60 geophysikalische Untersuchungen durchgeführt. Ziel war es herauszufinden, welche geophysikalischen Verfahren zur Lösung von Altlastenproblemen am besten geeignet sind und ob ihre Ergebnisse auf andere Standorte übertragen werden können. Als typische Fragestellungen sind zu nennen Lokalisierung verdeckter Altlasten, Eingrenzung der Schadstoffverbreitung innerhalb der Altlast und die Ausbreitung von Schadstoffzonen.

Es wurden mehrere Verfahren an einem Standort eingesetzt, um Effektivität und Grenzen einzelner Verfahren, sowie ihre günstigste Kombination zu ermitteln. Für jedes Verfahren ist darüber hinaus der finanzielle und zeitliche Aufwand festgestellt und kritisch bewertet worden. Außerdem sind Vorschläge für wissenschaftliche Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur geophysikalischen Altlastenbearbeitung erarbeitet worden. Die gewonnenen Erkenntnisse sind in den „Leitlinien zur Geophysik an Altlasten“ (Altlastenhandbuch Baden-Württemberg Band 2) und später in dem Buch „Geophysik an Altlasten“ (ISBN 3-540-53948-4 Springer) zusammengefaßt worden. Sie sollen die Auswahl geeigneter geophysikalischer Verfahren für die Erkundung von Altlasten ermöglichen.

2. Umfang des Untersuchungsprogramms

Verfahren Modellstandorte	Geomagnetik	Geoelektrische Kartierung	Widerstands-sondierung	Induzierte Polarisierung	Eigenpotentialmessung	Elektromagnetische Kartierung	Bodenradar	Refraktions-seismik	Reflexions-seismik	Gravimetrie	Geothermik	Bohrlochgeophysik
Bitz	●	●	●		●	●		●			●	●
Osterhofen		●	●	●			●	●			●	●
Leonberg	●	●	●	●	●	●		●	●		●	●
Mühlacker	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●
Herten			●					●	●			●
Geislingen	●	●			●	●	●	●				●
Mannheim	●	●	●			●		●				●
Kürzell	●	●	●			●	●	●				●

Abb. 5.1: An den Modellstandorten erprobte geophysikalische Verfahren

An acht Modellstandorten kamen 12 **geophysikalische Verfahren** zum Einsatz; 60 Einzeluntersuchungen wurden vorgenommen.

3. Zusammenarbeit

Das Programm **Geophysik an Modellstandorten** wurde von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LFU), Abteilung Boden, Abfall, Altlasten (ehemals Institut für Altlastensanierung), in Zusammenarbeit mit dem Geologischen Landesamt Baden-Württemberg (GLABW) erstellt. Die Geländemessungen sind 1989 und 1990 von Ingenieurbüros ausgeführt worden. Das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung (NLfB) wurde vom GLABW beauftragt, im Rahmen der "Geowissenschaftlichen Gemeinschaftsaufgaben" (GGA) eine zusammenfassende Auswertung der Meßergebnisse vorzunehmen.

Hierbei sind Firmen und Ämter, die bisher noch nie auf diesem Gebiet zusammengearbeitet hatten, durch die enge Kooperation miteinander und mit der Geophysik vertraut gemacht worden.

4. Eignung der einzelnen Verfahren mit Meßbeispielen

4.1 Geomagnetik

Insbesondere die Messung der Totalintensität mit dem Protonenmagnetometer wurde als meßtechnisch einfache, rasch arbeitende und kostengünstige Methode mit Vorrang eingesetzt.

Körper mit starker Magnetisierung, wie Eisenschrott, Blechdosen oder stahlarmierte Betonplatten, rufen extreme magnetische Anomalien hervor, sofern sie bis zu ca. 3 m tief liegen. Dies beruht darauf, daß das an der Erdoberfläche gemessene Magnetfeld mit zunehmender Entfernung mit der dritten Potenz abnimmt. Der Nachweis magnetischer Einlagerungen hängt außerdem von deren Magnetisierung, Form und Größe ab.

Mit geomagnetischen Messungen kann an verdeckten Hausmülldeponien und selbst an manchen Erddeponien, die Umgrenzung bestimmt werden, da bei menschlichen Aktivitäten häufig kleine Eisenteile verloren gehen. Innerhalb des Deponiekörpers lassen sich Ansammlungen von Schrott und Alteisen gut lokalisieren.

Allerdings verhindert die weite Streuung kleiner Eisenteile im Hausmüll den Nachweis einzelner Objekte, wie z.B. dem sprichwörtlichen "Fässle", dessen magnetisches Feld in vielen kleinen Feldern untergeht.

Insgesamt konnte die Geomagnetik mit Erfolg bei den Fragestellungen nach der Ausdehnung von Deponien, bei der Lokalisierung magnetischer Einlagerungen und bei der Ortung von Einzelobjekten an den Modellstandorten Bitz, Leonberg, Mühlacker, Geislingen und Mannheim angewendet werden. In allen Fällen gelang es die Begrenzung der Deponiekörper aus den magnetischen Ergebnissen abzuleiten, obwohl es sich um Deponien sehr unterschiedlichen Inhaltes handelte.

4.2 Geoelektrik

Dieses Verfahren beruht auf der Bestimmung des elektrischen Widerstands von Ablagerungen und Gesteinen. Mit gleich- oder wechselstromgespeisten Meßverfahren lassen sich gut leitende Körper auffinden. Dies gilt auch für nichtmagnetische Metalle, wie Kupfer, Blei oder Zink.

Wie bei der Geomagnetik läßt sich die Umgrenzung einer verdeckten Deponie festlegen. Die Geoelektrik vermittelt indessen auch Informationen aus größeren Tiefen und kann gut leitende Einlagerungen, wie z.B. salzhaltige Rückstände oder Nichteisenschrott, bis zur Sohle der meisten Deponien aufspüren. Von vielen möglichen Meßanordnungen sollen hier nur die Kartieranordnung und die Widerstandssondierung erwähnt werden.

Bei der **Kartieranordnung** wird eine Vielzahl von Elektroden und Sonden in einem engmaschigen, rechtwinkligen Netz vermessen. Entsprechend der Größe der gesuchten Körper bzw.

der geforderten Genauigkeit, sollte die Maschenweite des Meßnetzes zwischen 1 und 5 m liegen. Es wird ein Strom von zwei außenliegenden Elektroden eingespeist und die entsprechende Spannung zwischen den beiden innen liegenden Sonden abgegriffen. Der Abstand zwischen den Elektroden/Sondenstrecken kann der Maschenweite entsprechen oder ein Vielfaches betragen. Er kann so auf eine gewünschte Eindringtiefe ausgerichtet werden, die ca. 1/3 der Länge der Auslage beträgt. Vorteilhaft sind verschiedene Auslagen, da sich hieraus Abschätzungen der Tiefenlage ergeben.

Geoelektrische Kartierungen halfen an allen Modellstandorten, außer Hertzen, folgende Fragestellungen zu beantworten: Nach Ort und Ausdehnung verdeckter Deponien, nach Dichtigkeit der Hangend- und Basisabdichtung, nach der Lage von gutleitenden (metallischen) Einzelobjekten und nach den Sickerwegen salinärer Deponiewässer, sowohl innerhalb als auch außerhalb von Altlasten. bzw. nach der Größe von Schadstoffahnen.

Die **geoelektrischen Widerstandssondierungen** dringen durch die ständige Vergrößerung des Elektrodenabstandes bei kleinem, konstanten Sondenabstand, immer tiefer in den Untergrund ein. Es entsteht ein Säulenprofil, ähnlich dem Ergebnis einer Bohrung. Anstelle von Bohrkernen wird hier jedoch die Mächtigkeit von Schichten anhand ihres elektrischen Widerstandes bestimmt.

Trotz seiner heterogenen Zusammensetzung weist Hausmüll niedrige Widerstände auf, die auf salzige Lösungen zurückgehen, welche sich häufig am tiefsten Punkt der Deponiesohle sammeln. Diese Salinität der Sickerwässer erlaubt ihre Lokalisierung und Verfolgung auch dann, wenn die Basisabdichtung durchbrochen und die Schadstoffahne in das Nebengestein bzw. das Grundwasser eingedrungen ist.

Die Aussagen der Widerstandssondierungen über Widerstand und Mächtigkeit von Ablagerungen und Schichten konnten genutzt werden, um folgende Fragestellungen zu beantworten: Nach den Mächtigkeiten von Überdeckung und Deponiekörper, nach der Dicke der Basisabdichtung und nach der Mächtigkeit, bzw. den Tongehalten, der geologischen Barriere.

4.3 Induzierte Polarisation (IP)

Diese Methode beruht auf der Anlagerung von Ionen und Elektronen an Mineraloberflächen oder an Grenzflächen des Porensystems. Die dabei entstehende Aufladung und ihre Entladung sind die Meßparameter des Verfahrens. Zur IP-Messung wird der Untergrund über zwei Elektroden aufgeladen. Die so erzeugte Spannung klingt nach Abschalten des Stroms langsam ab. Zwischen zwei Sonden wird diese Abklingkurve registriert und aus ihr die Meßgröße „Aufladefähigkeit M“ abgeleitet. Man unterscheidet die metallische Polarisation an Mineralen oder Gegenständen mit metallischer Stromleitung und hohem Glanz und die Grenzflächenpolarisation als Aufladung im Porenraum der Gesteine.

Die metallische Polarisation erzeugt an metallischen oder mit Metall überzogenen Einlagerungen starke IP-Anomalien. Die schwächere Grenzflächenpolarisation tritt an Flächen zwischen Mineralen und Flüssigkeiten, z.B. bei Tonen, auf. Da in salzigen Sickerwässern die Aufladefähigkeit zurückgeht; kann dies zum Nachweis von Salzahnen im Grundwasser genutzt werden.

IP-Messungen sollten dann eingesetzt werden, wenn zwischen Deponieinhalt oder Schadstoffkonzentrationen und dem Nebengestein keine Widerstandsunterschiede bestehen. Sie sind an den Modellstandorten Osterhofen, Leonberg und Mühlacker bei folgenden Fragestellungen eingesetzt worden: Lokalisierung und Ausdehnung von Deponien, Prüfung der Dichtigkeit von Abdichtungen, bei der Ortung von Einzelobjekten und der Verfolgung der Sickerwege salinärer Deponiewässer. Voraussetzung ist allerdings, daß das gesuchte Material aufladbar ist (z.B. galvanische Schlämme, bedrucktes Papier, glasierte Porzellan- und Tonscherben, Gießereisande etc.).

4.4 Eigenpotentialverfahren (EP)

Bei natürlichen elektrischen Eigenpotentialen ist zu unterscheiden zwischen Potentialen, die auf Reduktions- und Oxidationsvorgänge zurückzuführen sind: "Redox-Potentiale" und Potentialen, die mit der raschen Bewegung von Wässern oder Gasen im Boden zusammenhängen: "Fließ- bzw. Strömungspotentiale". Letztere werden durch rasches Ausströmen, z.B. von Deponiewässern oder -Gasen, hervorgerufen. Die Redox-Potentiale sind viel größer (20 - >100 mV) als die Fließpotentiale (1 - 10 mV).

Das Verfahren kann zur Erfassung von oxydierenden Metalleinlagerungen oder von raschen Fließvorgängen im Untergrund eingesetzt werden. Die ineinandergreifenden elektrochemischen und elektrokinetischen Wechselwirkungen erschweren jedoch die Interpretation erheblich.

Dagegen ist eine EP-Messung technisch einfach. Sie besteht aus einer Spannungsmessung zwischen zwei unpolarisierbaren Sonden, wobei eine feste Sonde als Dauerreferenz dient. Die zweite Sonde wird entlang eines Profils versetzt; sie liefert Betrag und Vorzeichen der jeweiligen Potentialdifferenz gegenüber der Referenzsonde. Die gleichzeitige Registrierung vieler Sonden in kurzen Zeitabständen (Scannermethode), führt zur Eliminierung der kurzzeitigen Störspannungen, die in Industriegebieten auftreten können.

Die oben erwähnten Einschränkungen sind zu beachten, wenn Fragestellungen nach Durchlässigkeiten von Abdichtungen oder nach der Lokalisierung von Einzelobjekten oder Sickerwegen mittels EP-Messungen beantwortet werden sollen. Wichtig ist, daß Teeröle und andere Kohlenwasserstoffe, die als Schutzanstrich das Rosten und damit das Entstehen von Eigenpotentialen verhindern sollen, nicht mit EP erfaßt werden können.

Im Modellstandortprogramm sind Eigenpotentialmessungen in Bitz, Leonberg, Osterhofen und Geislingen durchgeführt worden. Trotz meßtechnischer Sorgfalt wurden Resultate erzielt, die sich nur näherungsweise interpretieren lassen. Das Verfahren scheint wegen der schwierigen Zuordnung der Anomalien zur Art und dem Ort der Eigenpotentialquellen (s.o.) für die Altlastenerkundung weniger anwendbar zu sein.

4.5 Elektromagnetik (EM)

Für diese Wechselstromverfahren gilt im Wesentlichen das für die Gleichstrommessungen Gesagte. Ihr Vorteil liegt in der größeren Schnelligkeit der induktiven Messungen, bei denen keine Elektroden oder Sonden eingeschlagen werden müssen. Darüber hinaus zeichnen sich steil stehende Strukturen besser ab. Zwischen koplanaren, beweglichen Sender und Empfänger induziert das gesendete elektromagnetische Feld in gutleitenden Körpern sekundäre elektrische Felder. Das resultierende Feld wird vom Empfänger aufgenommen und durch eine Kompensationsschaltung mit dem direkt übermittelten Primärfeld verglichen und kompensiert.

Aus den Veränderungen von "Inphase- (0° -Phase-)" und "Outphase (90° -Phase-) Daten" gegenüber dem Primärfeld, kann man auf die Lage elektrisch besonders gut oder schlecht leitender "EM-Körper" im Untergrund schließen. Die Tiefe kann durch Mehrfrequenzmessungen errechnet werden. Die Inphasewerte werden von Veränderungen des Abstandes Sender - Empfänger beeinflusst. Bei Messungen im bergigen Gelände ist daher die Bestimmung der Hangneigung zwischen zwei Meßpunkten erforderlich. Die Länge der Auslage richtet sich nach der Größe der zu kartierenden Strukturen sowie nach der gewünschten Eindringtiefe. Die maximale Erkundungstiefe liegt zwischen 40 und 80 % der Auslage, die 10 m bis 250 m lang sein kann.

Mögliche Zielobjekte sind Deponiegrenzen, steilstehende grundwasserbeeinflussende Strukturen wie Verwerfungen, Spalten oder Kluftzonen. Aus der Korrelation einzelner EM-Minima über Salzfahnen können die Sickerwege von Schadstoffen rekonstruiert werden. Außerdem lassen sich Einlagerungen mit besonders hohen oder niedrigen Widerständen, wie Industrieschlämme, Gießereisande oder Krankenhausmüll gut lokalisieren.

Durch elektromagnetische Kartierungen konnten an den Modellstandorten Bitz, Leonberg, Mühlacker, Geislingen, Mannheim und Kürzell steilstehende Strukturen, wie Verwerfungen, Kluftzonen und Material- bzw. Schüttungsbegrenzungen ermittelt werden.

4.6 Bodenradar (EMR)

Das **Bodenradar** oder **Elektromagnetisches Reflexionsverfahren** (EMR) wird zur Erkundung des Erdbodens bis ca. 3 m Tiefe angewendet. Dabei wird die Reflexion von hochfrequenten elektromagnetischen Wellen mit Frequenzen von 10 bis 500 MHz an horizontalen Materialgrenzen genutzt, an denen sich die Dielektrizitätskonstanten ändern. Die elektrische Leitfähigkeit des Bodens dämpft dabei die abgestrahlte Energie und begrenzt die Eindringtiefe. Bei gutleitenden Schichten kann die Eindringtiefe bis auf $< 0,3$ m abnehmen.

Bei den Messungen werden Sender und Empfänger über den zu untersuchenden Untergrund gezogen und ein kontinuierliches Profil aufgenommen. Der Empfänger registriert reflektierte Signale nach einer bestimmten Laufzeit, die von dem durchstrahlten Material abhängig ist. Dieses Verfahren entspricht der Reflexionsseismik. Es ist deshalb möglich, deren Auswerteprogramme zu verwenden. Aus der Laufzeit kann, bei Kenntnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit, auf die Tiefenlage des Reflektors geschlossen werden.

Bodenradarmessungen sind eine schnelle und hochauflösende Untersuchungsmethode für kleine Objekte. Es können z.B. metallische und nichtmetallische Rohrleitungen, Kabel, Fundamente und Hohlräume geortet werden. Die Methode eignet sich für Altlasten mit geringmächtiger Überdeckung und Industriebrachen. Die meisten Radarreflexionen weisen auf kleinräumige Bodenstrukturen hin. Seltener werden Schadstoffkonzentrationen erfaßt. Bei der Auswertung und Beurteilung ist deshalb besondere Sorgfalt und Vorsicht geboten.

Bodenradarmessungen sind an den Modellstandorten Osterhofen, Mühlacker, Geislingen und Kürzell eingesetzt worden. In allen Fällen wurde eine große Anzahl von Reflektoren festgestellt. Die Zuordnung zu bestimmten Objekten, Ablagerungen oder Schadstofffahnen konnte jedoch nur empirisch begründet werden.

4.7 Seismik

Sie beruht auf unterschiedlichen elastischen Eigenschaften der Gesteine. Eine künstlich durch Hammerschlag, Fallgewicht, Vibratoren oder Sprengung erzeugte seismische Welle breitet sich im Untergrund aus und wird an elastischen Inhomogenitäten reflektiert. Nach unterschiedlichen Laufwegen wird sie an der Erdoberfläche von Geophonen registriert. Aus der Laufzeit der Wellen wird die seismische Geschwindigkeit und die Tiefenlage der Grenzflächen abgeleitet. Die Seismik ist in der Lage detaillierte Kenntnisse des Schichtaufbaues zu vermitteln.

Beim Erzeugen einer seismischen Welle entstehen Wellenfronten die sich vom Anregungszentrum nach allen Seiten im Gestein fortpflanzen. Es handelt sich um Kompressionswellen, auch Longitudinalwellen genannt und um Scherwellen, die auch als Transversalwellen bezeichnet werden. Die Kompressionswelle pflanzt sich mit größerer Geschwindigkeit fort, als die Scherwelle. Sie wird als Primärwelle (P-Welle) bezeichnet. Die langsameren Scherwellen (S-Wellen) ermöglichen vor allem die Erkennung von Detailstrukturen. S-Wellen entwickeln sich indessen nur schwach in Lockergesteinen und in Flüssigkeiten. Deshalb ist zu ihrer Anregung viel Energie und zur Registrierung ein hoher Aufwand notwendig. Oberflächenwellen breiten sich an der Erdoberfläche aus. Sie stören die flachgründigen Untersuchungen für Altlasten.

Die seismischen Geschwindigkeiten hängen meist vom geologischen Alter der Schichten ab. Sie steigen an, je älter und verfestigter die Schichten sind. Dies gilt jedoch nicht in der Nähe der Erdoberfläche, da die Gesteine hier durch Druckentlastung bzw. Verwitterung aufgelockert sind.

Die Brechung von seismischen Wellen an Schichtgrenzen mit höheren seismischen Geschwindigkeiten im Liegenden wird bei der Refraktionsseismik ausgenutzt. Die refraktierten Wellen laufen an den Grenzflächen zweier Gesteinsschichten entlang und geben dabei Energie nach oben ab. Voraussetzung ist, daß die Wellen unter einem kritischen Winkel auf die Grenzfläche einfallen und die seismische Geschwindigkeit in der tiefer liegenden Schicht größer ist.

An der Erdoberfläche registrieren die Geophone sowohl die refraktierte als auch die direkte Welle, die innerhalb der obersten Schicht läuft. Da die refraktierte Welle sich mit der größeren Geschwindigkeit der unteren Schicht ausbreitet, wird diese ab einer bestimmten Entfernung

von der seismischen Quelle, vor der direkten Welle registriert. Aus dieser Entfernung können die Tiefenlage der Grenzfläche und die Werte für die seismischen Geschwindigkeiten beider Schichten abgeleitet werden.

Im Modellstandortprogramm ist die Refraktionsseismik an allen 8 Standorten durchgeführt worden. Sie wurde insbesondere bei der Kartierung der Oberfläche von Grundwasserstauern (Aquäclude), zur Verfolgung der Sickerwege von Schadstoffahnen, mit Erfolg eingesetzt. Die Abgrenzung der Deponiekörper gelang nur dann, wenn das Deponiematerial andere seismische Geschwindigkeiten als das Nebengestein aufwies.

Bei der **Reflexionsseismik** werden die an Schichtgrenzen direkt reflektierten Wellen an der Erdoberfläche registriert. Hier ist die Zunahme der Wellengeschwindigkeit zum Liegenden nicht erforderlich. Da das Verfahren zur Erdöl- und Erdgasprospektion unerlässlich ist, wurde eine weit fortgeschrittene und differenzierte Meß- und Auswertetechnik entwickelt.

Bisher lagen die seismischen Ziele in großen Tiefen; Es gab keine Möglichkeit Aussagen aus Tiefen <100 m zu machen, da hier die Oberflächenwellen mit großen Amplituden die Signale aus der Tiefe überlagern. Seit Kurzem sind seismische Empfänger mit extrem hohen Sampling-Raten und hochfrequente Sender verfügbar, welche die Reflexionsseismik auch in geringen Tiefen <20 m erlauben. Neu ist außerdem der Einsatz von starken, auf den Erdboden gerichteten Lautsprechern, der im "Luftschallverfahren" erfolgt.

Die **Reflexionsseismik** ist gegenüber der Refraktionsseismik aufwendiger und damit teurer, sie hat indessen den Vorteil, daß Schallgeschwindigkeiten und Schichttiefen nicht nur für zwei, sondern für viele Schichten bestimmt werden können, wobei auch kleinere, flach geneigte Strukturen noch erfaßt werden können. Die Reflexionsseismik konnte in Leonberg, Mühlacker und Herten den Schichtaufbau und die Verwerfungsstrukturen im tieferen Untergrund dieser Altlasten klären.

4.8 Gravimetrie

Diese geophysikalische Methode nutzt die Veränderungen des Schwerfeldes der Erde aufgrund von Dichteinhomogenitäten im Untergrund aus. Zu ihrer Erfassung müssen von den registrierten, relativen Schwerewerten bekannte orts- und zeitabhängige Referenzwerte abgezogen werden: z.B. Gezeitenwirkung, Höhe des Meßpunktes zum Bezugsniveau (Freiluftkorrektur), Geländere relief in der Umgebung (topographische Korrektur), Gesteinsschicht zwischen Meß- und Bezugsniveau (Bouguer-Korrektur).

Die Schweremessungen werden mit Gravimetern ausgeführt, die im Prinzip hochempfindliche Federwaagen darstellen. Die Änderungen der Federlängen stehen in direktem Zusammenhang mit Schwereänderungen.

Voraussetzungen für sichere gravimetrische Ergebnisse ist ein genügend großer Dichteunterschied des Deponiekörpers gegen das Nebengestein. Die erforderlichen Korrekturen können an Altlasten indessen größer sein als die meist geringen Schwereanomalien; es kann geschehen, daß die Schwerewirkung von Altlasten dadurch unterdrückt wird.

Dies war z.B. der Fall am Modellstandort Mühlacker, wo die Schwereanomalie der Altlast sich nicht aus einem regionalen Anstieg heraushebt.

4.9 Geothermik

Sie umfaßt alle Temperaturmessungen zur Erkundung geothermischer Anomalien im Untergrund. Diese können von der Erdoberfläche, in kurzen Rammsondierungen, in Tiefbohrungen und aus der Luft, als Infrarotmessungen der Erdoberfläche (IR), vorgenommen werden.

Die oberflächennahen Temperaturmessungen sollten möglichst in Rammsondierungen erfolgen. Mit der Messung sollte so lang gewartet werden, bis die durch das Rammen bedingte Temperaturstörung abgeklungen ist. Weiterhin sind Einflüsse der Topographie, der Vegetation, von Wasserläufen etc. rechnerisch zu beachten. Über kontinuierliche Messungen an einem Basispunkt müssen die Tagesvariationen der Temperatur bestimmt und die Meßwerte entsprechend korrigiert werden. Temperaturmessungen sollten in einem regelmäßigen Meßraster mit Meßpunktabständen von nur wenigen Metern und nur 3 - 4 Uhr nachts durchgeführt werden.

Bei der IR-Erkundung wird die Erdbodentemperatur als Strahlungstemperatur berührungslos mit Thermalscannern und, Wärmebildkameras, meist vom Flugzeug aus, aufgenommen. Diese Methode ist wegen ihrer hohen Kosten, ihrer Abhängigkeit vom Wetter und der zu geringen Wärmestromdichte über Deponien nur in Ausnahmefällen für die Altlastenerkundung geeignet.

Selbst bei IR-Einsätzen über abgedeckten Deponien, in denen Kadaver durch mikrobielle Zersetzung die Innentemperatur stark erhöht hatten, zeichneten sich keine IR-Anomalien ab, die größer waren als die der Sonneneinstrahlung.

Geothermische Messungen sind an den Modellstandorten Bitz, Osterhofen und Leonberg erfolgt. Ihre Aussage wurde eingeschränkt, da die Messungen tagsüber erfolgten und starke Anomalien auf den sonnenbestrahlten Flächen auftraten.

4.10 Bohrlochmessungen

In diesem Spezialgebiet der Geophysik werden geeignete geophysikalische Verfahren, nach entsprechender meßtechnischer Anpassung, in Bohrlöchern eingesetzt. Bohrlochmessungen sind an allen 8 Modellstandorten vorgenommen worden. Hierbei wurden insbesondere Kleinstrukturen und Zuflüsse herausgearbeitet. Wegen des großen Umfangs können diese Meßabläufe und ihre Ergebnisse hier jedoch nicht erörtert werden.

5. Auswirkungen des Einsatzes der Geophysik

Wichtig ist die zerstörungsfreie Untersuchung. Bei **geophysikalischen Messungen** werden Ab- und Überdeckungen sowie Basisabdichtungen nicht durchstoßen. Dadurch können keine kontaminierten Gase oder Flüssigkeiten freigesetzt werden, denen Bohrungen oder Rammsondierungen einen Weg in die Atmosphäre oder in das Grundwasser bahnen würden.

Der Einsatz der Geophysik erlaubt die Beantwortung der Fragestellungen nach der Ausdehnung und dem flächenhaften bzw. räumlichen Aufbau von Altlasten. Häufig lassen sich einzelne Schadstoffkörper lokalisieren. Dabei kann jedoch auf die Kontrolle durch einzelne Bohrungen nicht verzichtet werden.

Die Fragestellung nach der Ausbreitung von Schadstofffahnen im Untergrund des Umfeldes von Altlasten, kann ebenfalls durch geophysikalische Messungen, insbesondere der Geoelektrik, gelöst werden. Ein weiterer Vorteil des Geophysikeinsatzes liegt in der erheblichen Minderung der Erkundungskosten. Gegenüber einer Untersuchung durch ein engmaschiges Bohr- und Rammsondierungsprogramm, können durch die Hinzunahme der Geophysik die Zahl der erforderlichen Bohrungen und Rammsondierungen auf etwa 1/3 und die Gesamtkosten um ca. 50% gesenkt werden.

Eine Schwierigkeit ist die geringe Kenntnis der Geophysik bei Umweltfachleuten. Die Geophysik wird gelegentlich wegen ihrer komplizierten mathematischen Grundlagen gemieden. Andererseits führt diese Unkenntnis auch zu Überschätzungen ihrer Resultate. Es ist zu hoffen, daß dieser Vortrag dazu beiträgt dies zu verhindern.

Im Folgenden werden den Fragestellungen an Altlasten in einer Entscheidungsmatrix zur Lösung geeignete geophysikalische Methoden gegenüber gestellt:

Verfahren \ Fragestellungen	Geomagnetik	Geoelektrische Kartierung	Widerstands-sondierung	Induzierte Polarisation	Eigenpotential-messung	Elektromagnetische Kartierung	VLF	Bodenradar	Refraktions-seismik	Reflexions-seismik	Gravimetrie	Geothermik
Lokalisierung / Ausdehnung	+	+	-	(+)	-	+	(+)	(+)	(+)	-	(-)	-
Abdeckung / Durchlässigkeit	-	+	(-)	+	+	+	(+)	+	-	-	-	(-)
Abdeckung / Mächtigkeit	-	-	+	(+)	-	-	-	(+)	-	-	-	-
Mächtigkeit der Altlast	-	-	+	-	-	-	-	(+)	+	-	-	-
Ortung von Einzelobjekten 1)	(+)	+	-	(+)	(+)	+	+	+	-	-	-	-
Sickerwege in der Altlast	-	+	-	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	-	+
Sickerwege im Umfeld/ Untergrund 2)	-	(+)	-	+	(+)	+	(+)	-	+	(+)	-	(-)
Sohlabdichtung / Einbau	-	-	+	-	(-)	-	-	-	-	-	-	-
Sohlabdichtung / Natürlich	-	-	+	-	-	(-)	-	-	(+)	(+)	-	-

1) auch Schadstoffkonzentrationen
2) auch Erkundung von Verwerfungs- und Karstsystemen

+ Geeignet
(+) Nicht in allen Fällen geeignet
(-) in Ausnahmefällen geeignet
- Nicht geeignet

Abb. 5.2: Entscheidungsmatrix zur Auswahl eines geeigneten Verfahrens

Probennahme und Analytik bei der Altlastenerkundung

Iris Blankenhorn, LfU Karlsruhe

1. Einleitung

Im Rahmen der technischen Erkundung an den Modellstandorten wurden begleitend zu den unterschiedlichen Erkundungsverfahren umfangreiche chemisch-physikalische Untersuchungen von Wasser (Grund-, Oberflächenwasser), Boden, Ablagerungsgut, Bodenluft und Deponiegas durchgeführt. Die Untersuchungen wurden von den für den jeweiligen Modellstandort ausgewählten sog. Standortlabors, d.h. Privatlabors, vorgenommen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bildeten eine wesentliche Grundlage für Entscheidungen hinsichtlich des weiteren Handlungsbedarfs, darüber hinaus konnten auch viele Erfahrungen gewonnen werden, über die in den nachfolgenden Ausführungen berichtet wird.

Einige Zahlen sollen zu Beginn den Umfang der chemisch-physikalischen Untersuchungen an den Modellstandorten verdeutlichen:

Insgesamt wurden an den Modellstandorten rund 4500 Proben untersucht, davon rund 1700 Grundwasser-, ungefähr 390 Boden- und 600 Ablagerungsproben, 1300 Bodenluft und 400 Deponiegasproben (ohne MoSt Eppelheim und Nacherkundung MoSt Geislingen 1992).

MoSt	analysierte Proben	untersuchte Parameter	Anzahl Proben je Meßobjekt					
			Grundwasser	Sickerwasser	Boden	Ablagerungsgut	Bodenluft	Deponie-Gas
Osterhofen	2.416	32.711	905	20		320	1.169	2
Mannheim	720	16.283	51		39	213		367
Leonberg	341	15.160	207	23	84			
Herten	210	9.762	94			49	63	
Geislingen	332	8.917	67	4	240	12	2	
Bitz	412	5.071	296		11	1	67	37
Mühlacker	99	3.139	69	18	12			
Summen:	4.530	91.043	1.689	65	386	595	1.301	406

Tab. 6.1: Umfang der chemisch-physikalischen Untersuchungen an den Modellstandorten

2. Der "Modellstandort-Chemiearbeitskreis"

Fragen zu Probennahme und Analytik im Rahmen der Modellstandortbearbeitung wurden im sogenannten "Chemie-Arbeitskreis" behandelt, dessen Mitglieder hauptsächlich Vertreter der an den Standorten tätigen Labors, daneben diverser staatlicher Labors sowie der Ämter für Wasserwirtschaft und Bodenschutz waren. Die Leitung des Arbeitskreises liegt bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Mit der Einsetzung solch eines Arbeitskreises war die Absicht verbunden, speziell für die Modellstandorte eine einheitliche Vorgehensweise bei Probennahme und Analytik zu erreichen, gleichzeitig sollten aber in dem Arbeitskreis Grundlagen für verallgemeinerungsfähige Aussagen erarbeitet werden, die für zukünftige Altlastenerkundungen in Baden-Württemberg angewandt werden können.

Durch die Aufgabe von vier Modellstandorten und die Ergänzung des Modellstandortprogramms mit den "Vorhaben mit Modellcharakter", mußte die Konzeption des "Chemie-Arbeitskreises" geändert werden. Inzwischen werden zu einzelnen speziellen Fragen wie z.B. vor kurzem zum Thema "Analytik von Mineralölkohlenwasserstoffen" Arbeitskreise bzw. Workshops veranstaltet. Hierzu werden außer den ehemaligen "Chemie-Arbeitskreis"-Mitgliedern Fachleute gezielt eingeladen. Eine weitere Möglichkeit zur Weitergabe neuer Erkenntnisse auf dem Gebiet von Probennahme und Analytik besteht mit dem "Workshop Abfall- und Altlastenanalytik", der bereits dreimal in Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart abgehalten wurde und auch Ende 1993 wieder veranstaltet werden soll.

3. Probennahme für die chemisch-physikalische Untersuchung

3.1 Probennahmestrategie

Die Auswahl von Probennahmestellen und die Art der Probennahme steht in direktem Zusammenhang mit dem jeweiligen Untersuchungsziel wie z.B. der Erkundung einer Abgrenzung zwischen belasteten und unbelasteten Bereichen einer Altlast, der Suche nach unbekanntem Verunreinigungen oder die Ermittlung von Maximal- und Mittelwerten von Schadstoffen zur Bewertung und Prüfung von Sanierungsmaßnahmen.

Um zu aussagekräftigen Ergebnissen zu gelangen, ist daher eine sorgfältige Planung der Probennahme notwendig. Die Probennahmestrategie (z.B. Ort der Entnahmestelle, der Dichte der Beprobungsstellen, Art der Probengewinnung, Anordnung von Grundwassermeßstellen usw.) ist abhängig von der Erkundungsstufe und der Art des zu untersuchenden Schutzgutes (s. Altlastenhandbuch [1]). So müssen die Ergebnisse der historischen Erkundung, der orientierenden oder näheren Erkundung (je nach Erkundungsstufe) in die Entscheidungen grundsätzlich mit einfließen. Bei der Auswahl geeigneter Probennahmestellen wird man sich z.B. auf die Erkenntnisse aus der historischen Erkundung über die Ablagerung bestimmter Stoffe an bestimmten Stellen, auf eine geologische Kartierung und/oder auf Luftbildauswertungen stützen. Daneben sind die Einsatzbedingungen des vorgesehenen Probennahmeverfahrens zu berücksichtigen.

Im Einzelfall ist dann festzulegen, ob eine Rasterbeprobung oder eine gezielte Beprobung an bestimmten Stellen sinnvoll ist. Bei einem Altstandort wird eine Beprobung z.B. zuerst an den Stellen stattfinden, wo durch Vorkenntnisse aus Betriebsabläufen u.ä. am ehesten mit Verunreinigungen zu rechnen ist.

Ein einheitliches Vorgehen oder Programm für die Probenentnahme kann wie bei der allgemeinen Erkundungsstrategie einer altlastverdächtigen Fläche/Altlast nicht vorgegeben werden, auch hier muß die für den Einzelfall geeignete Lösung gefunden werden.

Empfehlungen zur fachgerechten Probennahme bei der Altlastenerkundung sind in den "Verfahrensempfehlungen zur Probennahme von Boden, Abfall, Grundwasser, Sickerwasser für die chemisch-physikalische Untersuchung der bei Altlastenerkundung (Stand : Februar 1992)" enthalten, die u.a. vom Chemiearbeitskreis erarbeitet wurden. Die Probennahmeempfehlungen sind sowohl in den sog. "Orangen Ordnern" (s. Vortrag U. Kunzmann) enthalten, wie auch zukünftig als "Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung" bei der LfU zu beziehen. Es ist daran gedacht, diese Empfehlungen, wenn weitere Erkenntnisse z.B. für die Probennahme im Rahmen von Sanierungen bzw. zur Sanierungsbegleitung vorliegen, fortzuschreiben.

3.2 Probengewinnung

Die sachgerechte Probennahme ist ein wichtiger und wesentlicher Schritt bei der Gewinnung vernünftiger Analyseergebnisse. Fehler bei der Probennahme wie z.B. die Beprobung am "falschen" Ort oder die Verwendung verunreinigter Probennahmegeräte, ungeeigneter Probennahmebehälter o.ä. können ein Analyseergebnis schwerwiegender beeinflussen als Fehler bei der Durchführung der Analyse selbst.

Im folgenden werden gebräuchliche Probengewinnungsverfahren für die einzelnen Medien Bodenluft, Deponiegas, Boden, Abfall, Grundwasser, Sickerwasser angesprochen, die Vor- und Nachteile diskutiert sowie über Erfahrungen aus der Modellstandortbearbeitung berichtet.

3.2.1 Bodenluft

Bodenluftuntersuchungen sind orientierende Untersuchungen, die im Rahmen der abgestuften technischen Erkundung erste Hinweise geben sollen, ob überhaupt bzw. in welchen Bereichen eine Kontamination des Untergrundes mit bestimmten Schadstoffen vorliegt. U.a. sollen Bodenluftuntersuchungen für die richtige Platzierung anschließender Sondierungen, Bohrungen, etc. dienen.

Als **Bodenluftproben** werden alle gasförmigen Proben bezeichnet, die aus dem Porenvolumen des Untergrundes unterhalb von 1 m Geländeoberkante und oberhalb des Grundwasserspiegels entnommen werden. Hauptbestandteil derartiger Proben sind in der Regel die Permanentgase der Atmosphäre Stickstoff und Sauerstoff in reduktiven Bereichen kann Sauerstoff fehlen. Daneben können auch andere Gase wie z.B. Wasserstoff, Schwefelwasserstoff und/oder leichtflüchtige Stoffe wie z.B. leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe, die Aufschluß über eine Kontamination des Untergrundes oder des Grundwassers liefern können, in der Bodenluft enthalten sein [1].

Einsetzbar sind Bodenluftuntersuchungen unter bestimmten Voraussetzungen vor allem

- zur Feststellung von Grundwasserbelastungen z.B. mit leichtflüchtigen halogenorganischen Verbindungen wie Trichlorethen oder Tetrachlorethen.
- zur Eingrenzung des Schadensherdes bei akuten Schadensfällen auf Betriebsgeländen, bei denen durch den Umgang mit halogenorganischen Lösungsmitteln Verunreinigungen eingetreten sind,
- als Erkundungsmethode im Rahmen der orientierenden Erkundung E1-2 zur Eingrenzung bestimmter Kontaminationsbereiche bzw. zur Erfassung des qualitativen Schadstoffinventars.

Darüber hinaus können sowohl zur Überwachung des Fortschritts wie auch zur Endkontrolle nach Abschluß von Sanierungsmaßnahmen Bodenluftuntersuchungen eingesetzt werden.

Generell sind zwei grundlegend unterschiedliche Verfahren zur Probennahme möglich, die jeweils in verschiedenen Varianten angewandt werden: die Direktentnahme oder die Anreicherung der Bodenluftinhaltsstoffe. Mit beiden Methoden ist die Bestimmung leichtflüchtiger Halogenkohlenwasserstoffe im mg/m^3 bzw. $\mu\text{g/m}^3$ -Bereich möglich.

-Verfahrensvergleich zur Bodenluftprobennahme und -analytik

Im Auftrag der LfU wurde ein Vergleich verschiedener Bodenluftprobennahmemethoden ausgearbeitet und durchgeführt. Die Probennahme wurde dabei im Labor unter nahezu identischen Bedingungen an einer Gasmischapparatur durchgeführt. Eine vergleichende Probennahme vor Ort ist wegen der zu erwartenden Inhomogenitäten im Untergrund praktisch nicht durchführbar. Folgende Probennahmetechniken wurden miteinander verglichen: XAD-Harz, Tenax, Aktivkohle, Pasteurpipette (nach Neumayr [2]), Glasampulle (LfU), alukaschiertes Kunststoff-Gasbeutel.

Analysiert wurden: Trichlorfluormethan, Trichlortrifluorethan, Dichlormethan, 1,2-cis und trans-Dichlorethen, Trichlormethan, 1,1,1-Trichlorethan, Tetrachlormethan, Trichlorethen und Tetrachlorethen.

Obwohl unterschiedliche GC-Detektoren und unterschiedliche Kalibrierungsstandards verwendet wurden, wurde zusammenfassend für alle Probennahmetechniken eine gute bis sehr gute Übereinstimmung zwischen der Messung durch das jeweils ausführende Labor und der Referenzmessung durch das mit dem Vergleich beauftragte Labor erzielt. Lediglich für die fluorierten Substanzen Trichlorfluormethan und Trichlortrifluorethan traten bei Tenax und Aktivkohle Schwierigkeiten auf.

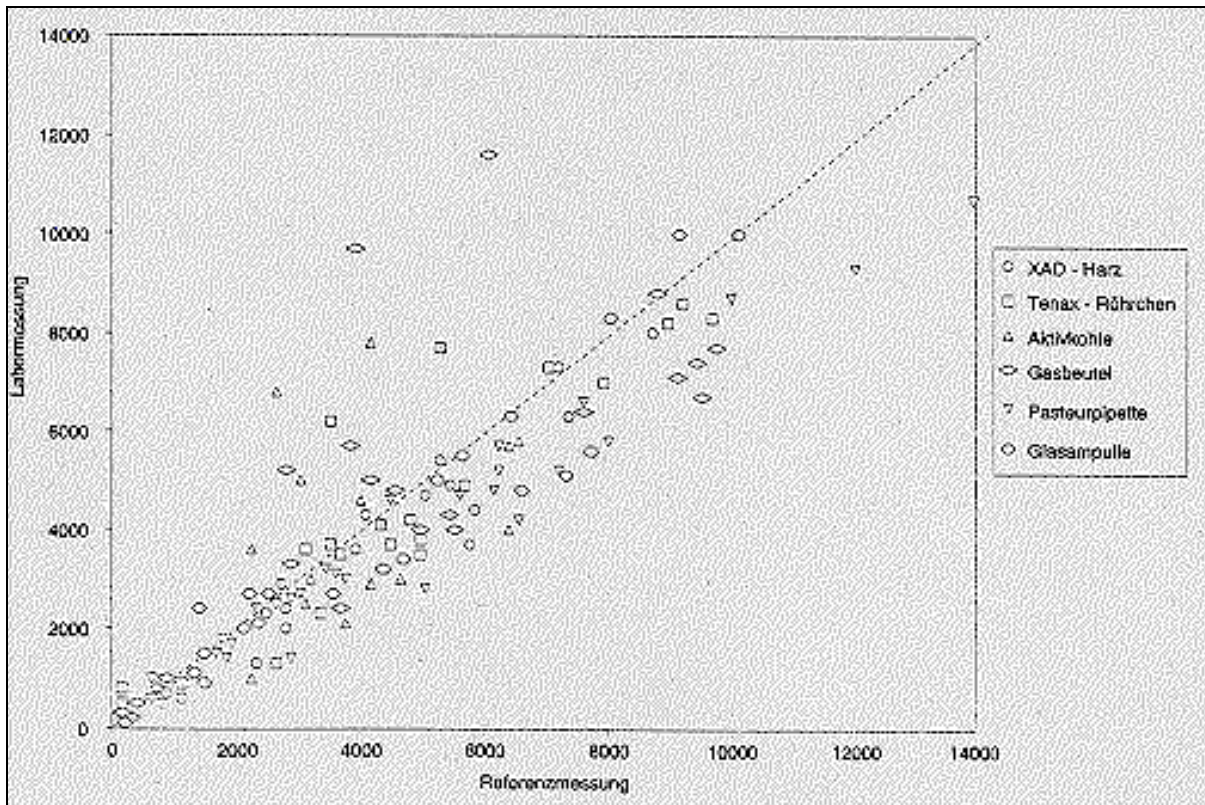


Abb. 6.1: Verfahrensvergleich zur Bodenluftprobennahme und -analytik. Vergleich der gemessenen Konzentrationen von Referenzlabor und teilnehmenden Labors

Aufgrund der Ergebnisse können alle in die Untersuchung einbezogenen Probennahmetechniken als gleichwertig hinsichtlich der Qualität der erhaltenen Meßwerte betrachtet werden, auch wenn hinsichtlich anderer Beurteilungskriterien wie z.B. Bestimmungsgrenze oder notwendiges Probenvolumen naturgemäß große Unterschiede vorliegen. Zudem richtet sich das einzusetzende Verfahren nach der Fragestellung hinsichtlich punktueller oder flächenhafter Aussage.

Auch die im Probennahmevergleich bewußt ausgeschalteten unterschiedlichen Bedingungen vor Ort können über die Richtigkeit der Analysenergebnisse hinaus durchaus eine entscheidende Rolle bei der Wahl der am besten geeigneten Probennahmetechnik spielen, dann nämlich wenn z.B. auch die Handhabbarkeit der Methode vor Ort, der Ausbildungsgrad und die Erfahrung der Probennehmer u.a. als Gesichtspunkte in die Entscheidung miteinbezogen werden. Es hat sich z.B. gezeigt, daß bei der Direktentnahme mit Pasteurpipetten bei einem ungeübten Probennehmer sehr starke Schwankungen innerhalb einer Beprobungsreihe auftraten. Die Adsorptionsmethoden schalten solche Unsicherheiten von vorne herein aus.

In den Verfahrensempfehlungen für die "Probennahme und Analytik von Bodenluft (Stand: September 1990)" der LfU wird ausführlich auf die einzelnen Verfahren eingegangen und Vor- und Nachteile jeweils beschrieben. Allgemeine Hinweise zur Bodenluft finden sich auch im Altlastenhandbuch Teil 2 [1]. Der Bericht über den Verfahrensvergleich ist als Beitrag im Rahmen der "Texte und Berichte..." bei der LfU erhältlich.

3.2.2 Deponiegas

Ob und in welchem Maße von Altablagerungen heute noch Gefahren durch **Deponiegas** ausgehen, ist eine wichtige Fragestellung im Rahmen der technischen Erkundung. Die bisher durchgeführten technischen Erkundungen an Altablagerungen lassen zwar erwarten, daß Gefährdungen über den Gas- bzw. Luftpfad nur an relativ wenigen Standorten gegeben sind. Trotzdem muß man sich in jedem Einzelfall hinreichende Klarheit über das Gefährdungspotential verschaffen, um z.B. auch Sofortmaßnahmen (z.B. bei Randbebauung) einleiten zu können. Um solche Entscheidungen schnell und kostengünstig treffen zu können, wurde der sogenannte "Leitfaden Deponiegas" [3] erarbeitet.

Ausführlich darauf eingegangen wird im Beitrag "Erkundung des Deponiegashaushaltes von Altablagerungen" von Herrn Prof. G. Rettenberger, Ingenieurgruppe RUK, Trier/Stuttgart.

3.2.3 Boden- bzw. Abfallproben

Die Gewinnung und chemisch-physikalische Untersuchung von **Boden- bzw. Abfallproben** soll in erster Linie Auskunft über die Art der Inhaltsstoffe und deren Gehalt ergeben. Darüber hinaus kann mit speziellen Untersuchungen ggfs. auch eine Abschätzung zur Mobilität von bestimmten Schadstoffen vorgenommen werden. Die Ergebnisse solcher Untersuchungen sind wichtig für die Ermittlung von Art und Ausmaß einer Kontamination sowie zur Abschätzung der Stoffgefährlichkeit.

Je nach Fragestellung und Untersuchungsziel ist ein geeignetes Probennahmeverfahren auszuwählen. So sind z.B. zur Gewinnung von Proben, die mit leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen kontaminiert sind, nur bestimmte Probengewinnungsverfahren geeignet. Sind solche Vorkenntnisse vorhanden, so scheidet von vornherein einige Probennahmeverfahren aus. Auf die Beprobung von CKW-haltigen Proben wird im folgenden noch eingegangen (s. Kap. 3.2.3.1). Da Sondierungen und vor allem Bohrungen je nach den Umständen sehr kostspielig sein können, ist eine sorgfältige Planung der Probennahmestellen ebenfalls unabdingbar. Im allgemeinen werden die Probenentnahmestellen abhängig von Erkenntnissen aus Voruntersuchungen (z.B. Luftbildauswertung, geologische Kartierung, Geophysik, Bodenluftuntersuchungen) festgelegt.

-Repräsentativität von Abfallproben

Generelles Problem bei der Probennahme stellt die Inhomogenität des Untergrundes vor allem bei Altablagerungen dar. So ist eine "repräsentative Probennahme" in den meisten Fällen kaum möglich. Die Analyseergebnisse von Abfallproben liegen nach den bisherigen Erfahrungen in einem großen Schwankungsbereich und sind zur Beurteilung der Stoffgefährlichkeit nur schwer interpretierbar.

Im Rahmen der Modellstandortbearbeitung "Ehemalige Hausmülldeponie Friesenheimer Insel Mannheim" wurden u.a. umfangreiche **Probennahmen** (z.B. mit Sondierbohrungen _ 60 mm) auf der Deponie vorgenommen [4]. Eine der Fragen war dabei: Können mittels bestimmter Probennahmeraster räumliche Abhängigkeiten in der Müllzusammensetzung bzw. Schadstoffbelastung der Proben erfaßt werden?

Hierzu wurden Proben in einem speziellen Raster, einem sogenannten "geschachtelten" oder gesetzten Probennahmesystem (nested analysis of variance) entnommen. Die Auswertung erfolgte über eine kumulative Varianz-Komponenten-Analyse.

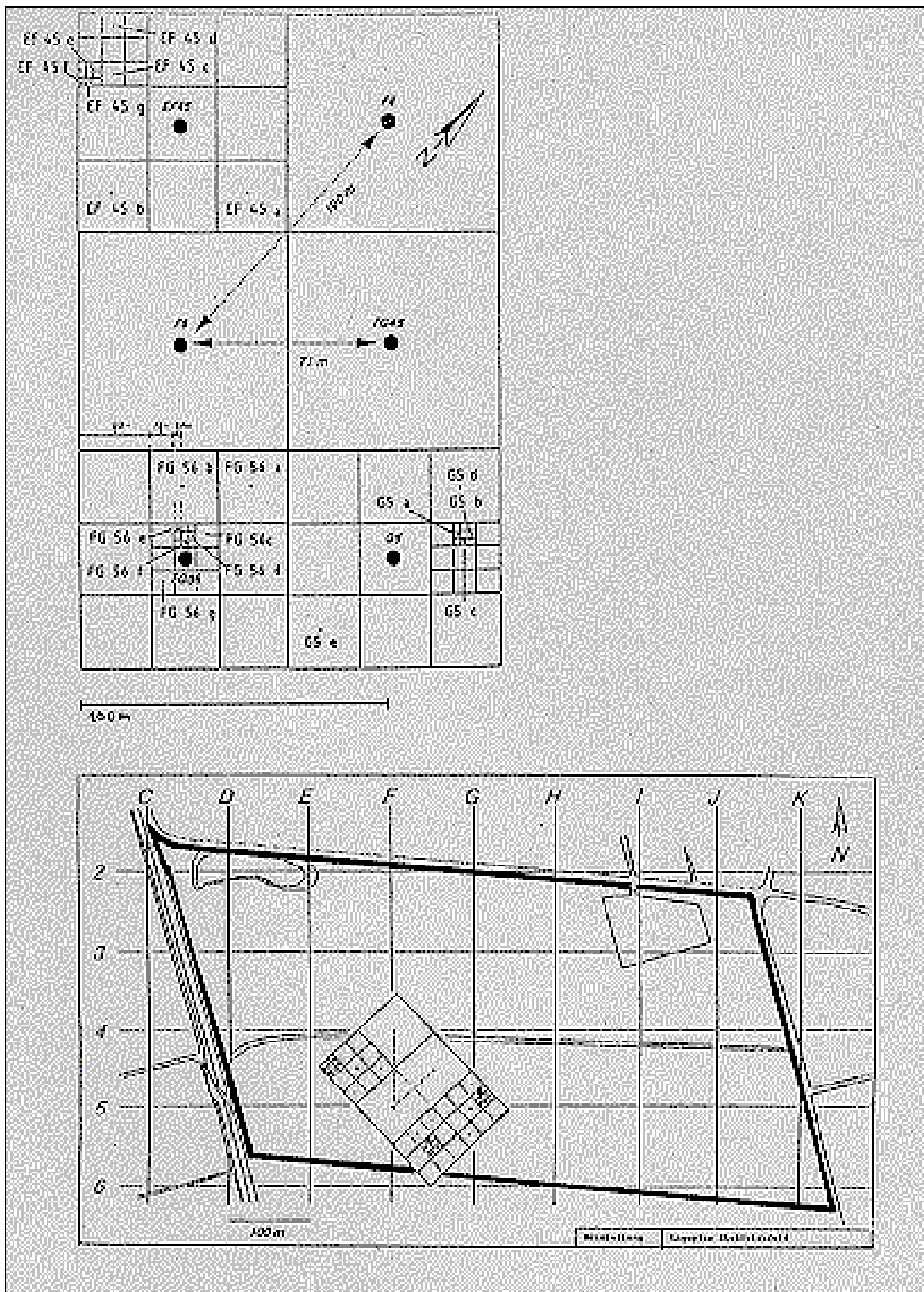


Abb. 6.2: Probennahmepunkte für eine geschachtelte Varianzanalyse (oben) und Lage dieser Beprobungsfläche auf dem Modellstandort Mannheim (umrahmte Fläche, unten)

Insgesamt wurden 22 Sondierpunkte auf einer Fläche von ca. 210 x 140 m = 29.400 m² beprobt. Alle Proben wurden aus 0 - 2 m Tiefe entnommen und aus diesem Profil jeweils eine 1 kg Mischprobe hergestellt. Analysiert wurden verschiedene Schwermetalle sowie Cyanid und PAK.

Ohne im Detail auf die statistischen Berechnungen einzugehen, konnten folgende Resultate ermittelt werden:

Das Probennahmeraster müßte in Mannheim bei den meisten Schadstoffparametern auf 20 m und weniger (bis auf 3 m) verringert werden, um räumliche Abhängigkeiten zu kartieren. Übertragen auf die Fläche der Deponie (28 ha) würde dies bedeuten, daß mehr als 675 Proben bei einem 20 x 20 m Raster notwendig wären!

Auch wenn diese Zahlen wegen der großen Flächenausdehnung des Modellstandortes Mannheim besonders hoch liegen, sollten Materialprobennahmen aus Altablagerungen zur chemisch-physikalischen Analyse aus den genannten Gründen nur bei speziellen Fragestellungen (z.B. wenn aus der historischen Erkundung nicht genügend Informationen über das Ablagerungsgut zu gewinnen waren) vorgenommen werden.

Einige wesentliche Punkte, die bei der Probennahme unbedingt beachtet werden sollten, seien aus den "Verfahrensempfehlungen zur Probennahme von Boden, Abfall, Grundwasser, Sickerwasser..." der LfU herausgegriffen und erwähnt:

- Die Probennahme sollte durch sachkundiges Personal erfolgen, welches mit der speziellen Fragestellung des Einzelfalls vertraut ist, d.h. i.d.R. sollte ein Chemiker in Zusammenarbeit mit einem Geologen oder Bodenkundler die Probennahme durchführen.
- Eine genaue Protokollierung mit Angabe der Lage der Probennahmestelle, dem Entnahmegesäß, der Entnahmetiefe usw. während der Probennahme ist unbedingt erforderlich.

Die in den Probennahmeempfehlungen enthaltenen Hinweise beziehen sich auf die Probennahme aus Sondierungen und Bohrungen, die i.d.R. ein Tiefenprofil ermitteln. Probennahmen hinsichtlich oberflächennaher, flächiger Bodenbelastung (z.B. im Rahmen des Bodenschutzgesetzes) sind anders zu handhaben und werden hier nicht weiter besprochen.

3.2.3.1 Probenauswahl und -vorbereitung für die Untersuchung im Labor

Die bei der Probennahme vor Ort nach der Gewinnung von Sondier- oder Bohrkernen zu beachtenden Punkte sind ebenfalls in den Verfahrensempfehlungen enthalten. Wie eine Probe während der Probennahme durch falsche Handhabung beeinflusst werden kann, ist in Abb. 6.5 zusammengefaßt.

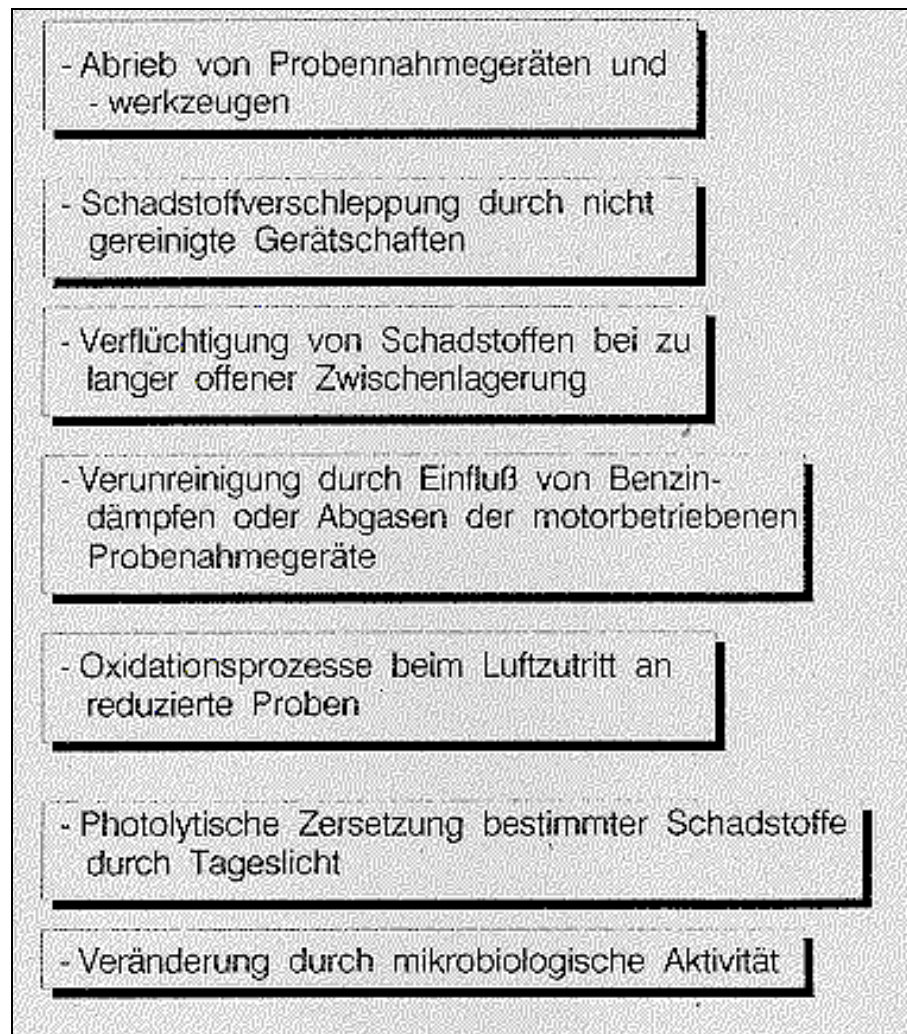


Abb. 6.3: Negative Beeinflussung von Proben während der Probennahme

Eine besonderes Problem stellt die Entnahme von Proben zur Untersuchung auf flüchtige Stoffe wie z.B. die Halogenkohlenwasserstoffe (HKW) dar. Verschiedene Vorgehensweisen werden bisher angewandt wie z.B. Abfüllen der Probe in dicht verschließbare Probennahmebehälter, Transport ins Labor und dort schnellstmögliche Aufbereitung, direktes Abfüllen vor Ort in Headspace-Gläschen ohne oder mit Zugabe von Lösungsmittel (nur halbquantitative Aussage).

Aus unserer Sicht hat sich ein Vorgehen bewährt, das am Modellstandort Mühlacker für die Entnahme von Materialproben aus der Deponie zur Ermittlung des durchschnittlichen Schadstoffgehaltes eingesetzt wurde. In Abb. 6.6. sind die einzelnen Schritte der Probennahme und -vorbereitung aufgeführt.

Die Analyse im Labor wird mittels Headspace-Gaschromatographie durchgeführt [5].

Probennahme CKW-belasteter Boden-/Abfallproben	
(Beispiel: Modellstandort Mühlacker)	
Bohrverfahren:	Schlauchkernverfahren (rammend) Inliner HDPE Rohr ca. 2 mm
Probenentnahme:	Aufsägen des Schlauchkerns vor Ort Verwerfen der äußeren Schicht des Bohrkerns
Probenaufbereitung vor Ort:	Erlenmeyerkolben mit 25 ml Methylglykol abgewogen und verschlossen mit Glasschliffstopfen (im Labor vorbereitet)
	gezielte Entnahme der Probe aus geöffnetem Schlauchkern durch Probenehmer
	Abfüllen der Probe in Kolben, Einwaage ca. 25 g (wird im Labor exakt ausgewogen)
	Durchmischen (Probe zerfällt vollständig)
Analyse im Labor:	Headspace - Gaschromatographie

Abb. 6.4: Vorgehensweise bei der Probennahme von mit leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen kontaminierten Proben

3.2.3.2 Unterstützung der Probenauswahl durch Vor-Ort-Methoden

An den Modellstandorten wurde u.a. Geräte mit Photoionisationsdetektoren (PID) getestet, die z.B. für die Vorauswahl von belasteten Proben dienen sollen.

Photoionisationsdetektoren sind Meßgeräte, die sich für Vor-Ort-Messungen von organischen und auch anorganischen Gasen einsetzen lassen. Aufgrund des Funktionsprinzips können dabei nur Gase detektiert werden, die sich durch Bestrahlung mit Licht bestimmter Energie (UV-Lampen) ionisieren lassen. Zu den typischen meßbaren Gasen gehören u.a. BTX-Aromaten, CKW's, aliphatische Kohlenwasserstoffe (Mineralöl, Benzin), Ammoniak, Schwefelwasserstoff.

Der PID liefert allerdings nur ein Summensignal aller mit einer bestimmten Lampenenergie meßbaren Gase. Geeicht wird der PID mit einem bestimmten Gas, z.B. mit Toluol. Gemessen werden dann Milligramm Toluoläquivalente je Kubikmeter Luft (mg/m^3 Toluoläquivalente). Die Nachweisgrenze eines Gerätes mit PID gegenüber Toluol liegt bei ca. $0,1 \text{ mg/m}^3$.

Die Erfahrungen am Modellstandort Mannheim zeigten, daß bei komplexen Schadstoffgemischen, die häufig in Mülldeponien anzutreffen sind, das PID-Signal unspezifisch ist und keine eindeutige Aussage zuläßt, wie stark die Probe wirklich belastet ist. Eine Probenvorauswahl in belastete/unbelastete Proben ist z.B. bei Müllproben daher nur schwer möglich.

Treten spezielle Verunreinigungen wie z.B. CKW's auf, so läßt sich der PID auf diese Verbindungen eichen und kann z.B. für Relativmessungen zur Eingrenzung eines Schadensherdes eingesetzt werden. Im Bereich des Arbeitsschutzes haben sich solche Geräte für Arbeitsplatzüberwachungen z.B. bei Bohrungen, Schürfen etc. bewährt.

Zunehmend wird nach Möglichkeiten gesucht, eine schnelle Analytik vor Ort auch bei Bodenproben anzuwenden, um so bereits eine Vorauswahl zwischen "kontaminiert/nicht kontaminiert" oder "hoch belastet/niedrig belastet" treffen zu können und wirklich nur ausgewählte Proben im Labor untersuchen zu müssen. Am Modellstandort Geislingen wurde hierzu ein **PAK-Feldtest** erprobt, der nach dem Prinzip der Chemilumineszenz ein Summensignal für PAK ermittelt. Erfahrungen daraus werden im Vortrag von Herrn Vijgen, TAUW Deventer, berichtet.

3.2.4 Probennahme des Grundwassers

Das Vorgehen bei der Entnahme von **Grundwasserproben** richtet sich nach den Vorgaben des Grundwasserbeschaffenheitskonzeptes (Handbuch Hydrologie [6]), das u.a. als wichtige Voraussetzung das ausreichende Abpumpen bis zur Leifähigkeitskonstanz, die Bereitstellung von Vorlagebehältern für kontaminiertes Wasser, geeignete Probennahmebehälter und die geeignete Konservierung je nach Parameter vorsieht.

Die Probennahme an den Modellstandorten wurde grundsätzlich nach den Vorgaben des Grundwasserüberwachungsprogramms "Anleitungen zur Probennahme von Grund-, Roh- und Trinkwasser" bzw. "Merkblatt für den Probennehmer" durchgeführt. Vor allem die Punkte, die im Merkblatt aufgeführt sind, sind bei der Probennahme unbedingt zu beachten.

Wichtig ist, vor der Probennahme von dem Labor, das die Analysen durchführt (falls das Labor die Probennahme nicht selbst vornimmt), die benötigte Anzahl der Probennahmeflaschen - richtig gekennzeichnet nach den jeweiligen Parametern und ggf. bereits mit Stabilisierungsmittel versehen - zu erhalten.

Grundwasserproben sollten generell klar gefördert werden sollten aber doch einmal trübe Proben anfallen, so ist für die Analyse auf organische Schadstoffe folgendes zu beachten: organische Schadstoffe können an den Trübstoffen adsorbiert sein, es empfiehlt sich daher sowohl die unfiltrierte wie auch die filtrierte Probe zu untersuchen.

3.2.5 Sickerwasser

Bei der Probennahme von **Sickerwasser** ist prinzipiell wie bei der Probennahme von Grundwasser vorzugehen, falls es sich um ausgebaute "Sickerwassermeßstellen" handelt. Unter Umständen können bei geringem Wasseranfall nur Schöpfproben entnommen werden. Dies muß ebenso wie eine evtl. Phasenbildung (z.B. durch aufschwimmende Ölschicht) im Probennahmeprotokoll vermerkt und bei der Interpretation der Analysenergebnisse berücksichtigt werden. Bei Sickerwasserproben können aufgrund des höheren Schadstoffgehaltes eventuell auch Ausgasungen von flüchtigen Stoffen auftreten, d.h. die Probennahme muß sehr sorgfältig erfolgen, um den Verlust solcher Stoffe so gering wie möglich zu halten. Außerdem muß sich der Probennehmer in bezug auf den persönlichen Arbeitsschutz besonders vorsehen (Atemschutz, Handschuhe,....)

4. Die chemisch-physikalische Untersuchung

4.1 Parameterauswahl

Der **Umfang relevanter Schadstoffe**, die in einer altlastverdächtigen Fläche/Altlast auftreten können, kann beträchtlich sein. So werden nach der LAGA-Informationsschrift "Altlasten" [7] allein 76 Stoffe oder Stoffgruppen genannt, die nach der Erfahrung der Bundesländer für Altlasten typisch sind und ihre Risiken maßgeblich bestimmen. Auch die amerikanische Umweltbehörde EPA hat eine sogenannte "Priority Pollutant List" aufgestellt mit weit über 100 verschiedenen altlastenrelevanten Schadstoffen. Eine umfassende Analyse all dieser Parameter ist allein aus Kostengründen nicht möglich. Vor der Festlegung eines Meßprogrammes ist es daher notwendig, bereits Erkenntnisse aus der historischen Erkundung bezüglich des möglichen Schadstoffinventars heranzuziehen, um eine Eingrenzung der wichtigsten Schadstoffparameter vornehmen zu können. Aus der früheren Nutzung eines Geländes z.B. als Industriestandort oder aufgrund der Kenntnis von bestimmten, vorgenommenen Ablagerungen auf Deponien, können sich bereits konkrete Hinweise auf bestimmte Schadstoffe ergeben. So liegen z.B. bereits längere Erfahrungen vor über Schadstoffe, die auf Gaswerksstandorten, bei Chemischen Reinigungen oder Galvanikbetrieben anzutreffen sind. Hilfen zur Eingrenzung des zu untersuchenden Parameterumfangs kann z.B. eine "Parameterliste zur branchenspezifischen Auswahl von Analysenparametern für Altstandorte" geben [8], die im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz erstellt wurde.

Im Branchenkatalog zur historischen Erhebung von Altstandorten [9] sind Hinweise auf mögliche typische Schadstoffe bei einzelnen Industriezweigen gegeben. Darüber hinaus wird im Altlastenhandbuch [1] ein Vorschlag für eine abgestufte Grundwasseruntersuchung gegeben (s. Abb. 6.7):

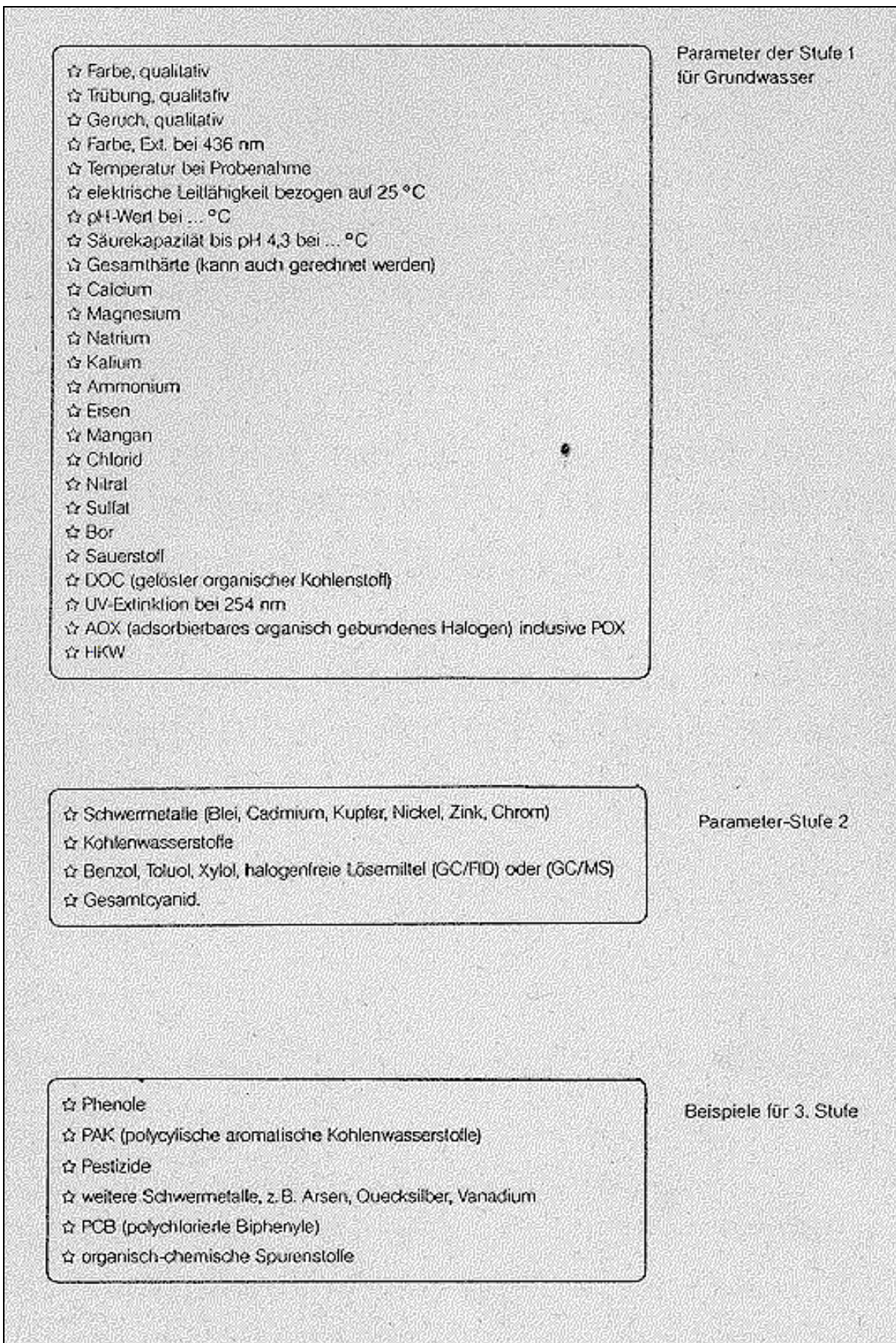


Abb. 6.5: Parameter für die Grundwasseruntersuchung der Stufen 1 bis 3 nach Altlastenhandbuch [1]

Im Laufe der Modellstandortbearbeitung hatte sich erwiesen, daß diese Einteilung nach bestimmten Parameterstufen flexibel gehandhabt werden sollte wie nachfolgend erläutert wird:

Die erste Beprobung und chemisch-physikalische Untersuchung einer neu errichteten Meßstelle soll einen Überblick über die hydrochemische Zusammensetzung des Wassers sowie den möglichen Schadstoffgehalt geben. Daher ist es sinnvoll, einen Parameterumfang zu wählen, der sowohl die klassischen "Wasserparameter" (Kationen und Anionen) wie auch einige Summenparameter enthält. So können z.B. DOC und AOX erste Hinweise auf mögliche organische Verunreinigungen geben. Sind bereits Stoffe bekannt, die aller Voraussicht nach ins Grundwasser eingetragen wurden, so ist es sinnvoll, auch bei dieser ersten Untersuchung Einzelparameter zu analysieren, z.B. LHKW und BTX, Schwermetalle (z.B. als Übersichtsanalyse mit ICP-OES) oder weitere Summenparameter wie Kohlenwasserstoffe (Mineralöl) oder Phenolindex. Bei der Erkundung von Grundwassermeßstellen im Einzugsbereich eines Gaswerkes wird es darüber hinaus sinnvoll sein, auch das Gesamtcyanid und bei eindeutigen Analysenbefunden darüber hinaus das leicht freisetzbare Cyanid bereits zu Beginn zu bestimmen. Nach den erzielten Erfahrungen erscheint es daher sinnvoll, die sogenannte "Parameterstufe 2 und 3" nach Altlastenhandbuch eher flexibel zu handhaben und bereits auch Einzelparameter bei der ersten Untersuchung je nach Einzelfall mit zu untersuchen.

Um die Ergebnisse der ersten Beprobung abzusichern, ist eine zweite Untersuchung in ca. 1/4- bis 1/2-jährlichem Abstand ratsam. Danach kann ggf. der Parameterumfang zur weiteren Überwachung auf wenige relevante Schadstoffe reduziert werden.

Sofern - aus anderen Erwägungen - nach einer solchen Grundwasseranalytik eine Probennahme von Abfallmaterial vorgesehen ist, empfiehlt es sich dort die gleichen Parameter analysieren zu lassen, um ansatzweise Vergleichsbetrachtungen durchführen zu können.

4.2 Probenvorbereitung - Untersuchung von Eluaten

Nachdem die Proben vor Ort in geeignete Behälter (Glas, Kunststoff je nach Parameter) abgefüllt worden sind, sind sie fest verschlossen, kühl und dunkel gelagert, schnell ins analytische Labor zu bringen. Um Veränderungen durch biologische oder chemische Vorgänge so gering als möglich zu halten, sind die Proben auch im Labor bis zur Untersuchung dunkel und kühl (4 °C oder ggfs. tiefgefroren) zu lagern.

Vor der Analyse müssen die Proben in geeigneter Weise vorbereitet werden:

Vor den Extraktionsschritten muß die Probe i.d.R. erst homogenisiert werden. Grobe Anteile wie Steine, Holzstücke o.ä. müssen aussortiert oder durch Absieben abgetrennt, beschrieben und ihre Gewichtsverhältnisse möglichst durch Wägung bestimmt werden. Die Analysenergebnisse werden dann bezogen auf den Feinanteil (soweit möglich kleiner 2 mm) angegeben. Im allgemeinen berechnet man die Analysenergebnisse auf die Trockensubstanz. Das setzt eine Wassergehaltsbestimmung voraus.

Sollen organische Schadstoffe in einer Feststoffprobe oder auch Wasserprobe bestimmt werden, so müssen diese mit geeigneten organischen Lösungsmitteln aus der Probe extrahiert werden. Bei stark belasteten Proben schließt sich an diesen Extraktionsschritt i.a. ein Reinigungsschritt an.

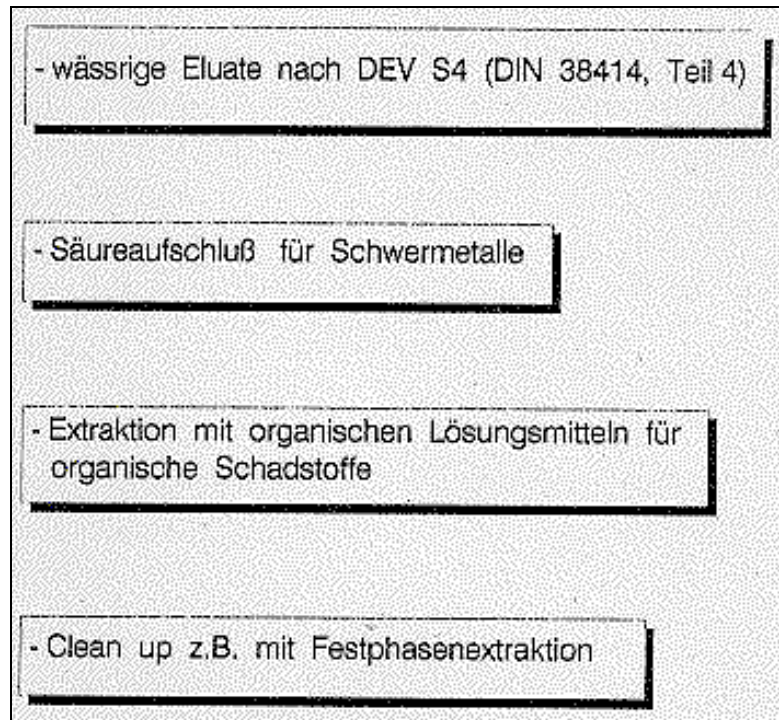


Abb. 6.6: Verfahren zur Probenvorbereitung bei Feststoffproben

Bei Feststoffproben (Boden-/Abfallproben) wird man in der Regel entweder eine Untersuchung aus der Originalprobe ("Gesamtgehalt") vornehmen oder/und ein wässriges Eluat herstellen. So gelten die Orientierungswerte der LfU zum Sanierungseinstieg bzw. für ein Sanierungsziel zum Schutz von Wasser für das Eluat aus verunreinigtem Boden oder Ablagerungsgut [10]. Die Eluate sind dabei nach DIN 38414 Teil 4 (DEV S4) herzustellen.

Man sollte sich bei der Interpretation solcher Eluatwerte jedoch immer darüber im klaren sein, daß das Eluat nach DEV S4 ursprünglich nur für die Untersuchung des Überganges von unter den Bedingungen des Verfahrens in Wasser löslichen Stoffen aus festen, pastösen und schlammigen Materialien gedacht war. Zunehmend wird dieses Verfahren nun für Untersuchungen im Altlastenbereich eingesetzt. Gerade bei schwerlöslichen organischen Schadstoffen in Böden wie z.B. PAK oder PCB ist ein reproduzierbarer Eluatwert jedoch kaum zu erzielen. Nimmt man große Schwankungen in Kauf und ist sich der Unsicherheit in der Aussagekraft solcher Werte bewußt, so kann der Wert zumindest Anhaltspunkte für eine evtl. Grundwassergefährdung geben.

Am Modellstandort Geislingen wurden verschiedene Eluatuntersuchungen von belasteten Bodenproben durchgeführt. Verglichen wurde das Eluat nach DIN 38406 Teil 4 mit dem sog. Kaskadentest und einem Säulentest, beides nach Vorschriften einer niederländischen Vornorm (NVN 2508, Februar 1988) durchgeführt.

Aus den Eluatergebnissen wurden die Schadstoffverteilungskoeffizienten zwischen Boden und Wasser errechnet, die als Grundlage zur Ermittlung der Sanierungszielwerte dienen sollten. Die Ergebnisse der verschiedenen Elutionsverfahren zeigten große Unterschiede und ergaben für die Verteilungskoeffizienten einen großen Schwankungsbereich. In diesem Zusammenhang wird auf den Vortrag von Herr Vijgen, TAUW Infra Consult, hingewiesen.

4.3 Analysenmethoden

Bei der Untersuchung von Wasserproben dienen die DEV-Verfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung als Grundlage für ein einheitliches Vorgehen bei der Analyse. Für die Untersuchung von Boden- und Abfallproben hingegen gibt es in den meisten Fällen noch keine normierten Methoden. DIN- und DEV-Methoden werden für die Boden-/Abfallanalytik i.a. angepaßt. Es liegen auch einige LAWA-Methoden vor. In den meisten Fällen arbeiten die Labors aber mit sogenannten "Hausmethoden".

Am Beispiel der **PAK-Analytik von kontaminierten Bodenproben** soll kurz skizziert werden, wie im Rahmen der Modellstandortbearbeitung und in Zusammenarbeit mit anderen Fachbereichen eine einheitliche Vorgabe zur PAK-Analytik für den Bereich Boden-, Abfall- und Altlastenproben entstanden ist. Innerhalb des "Modellstandort-Chemiearbeitskreises" wurden mehrstufige Vergleichsuntersuchungen zur PAK-Analytik durchgeführt. Dabei hat sich gezeigt, daß abhängig von der Art der Probenvorbereitung u.U. erhebliche Unterschiede in den analysierten Konzentrationen auftreten können. Darüber hinaus spielt natürlich die Homogenität der Proben eine große Rolle [11].

Ergänzend zu dem Methodenvergleich wurden auch im Labor der Landesanstalt für Umweltschutz eine Reihe weiterer Proben analysiert. Ziel war es, ein Analysenverfahren zu entwickeln, das wichtige Schritte vereinheitlicht und so den Vergleich von Ergebnissen verschiedener Labors ermöglicht. Zudem sollte es auch im Routinebetrieb und bei großem Probendurchsatz gut handhabbar sein. Letztendlich hat man sich für ein Extraktionsverfahren entschieden, das für unterschiedlichste Proben aus den genannten Bereichen einheitlich anwendbar sowie praktikabel in der Handhabung ist und hohe Extraktionsausbeuten liefert. Die Extraktion wird mit einer Mischung von Cyclohexan und Aceton (1:1 v/v) durch 30minütiges Schütteln durchgeführt. Es schließt sich die Analyse mit GC/MS oder HPLC an.

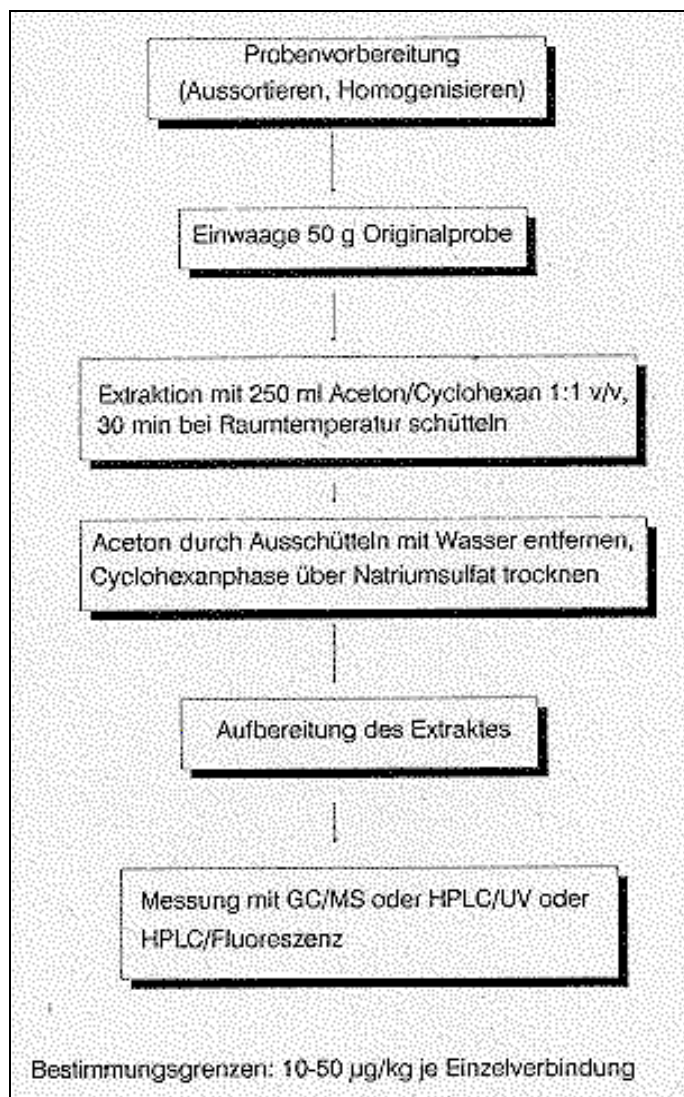


Abb. 6.7: PAK-Analysenmethode nach Empfehlung der LfU

Die Methode zur PAK-Analytik wurde zwischenzeitlich vom Umweltministerium zur Anwendung empfohlen. Zur Weiterentwicklung der Methode nimmt die LfU Anregungen und Verbesserungsvorschläge gerne entgegen.

4.4 Analysenprotokoll

Um Analyseergebnisse von Wasser-, Boden-, Abfalluntersuchungen, etc. fachgerecht interpretieren zu können, sind neben dem reinen Analysenwert unbedingt Angaben zur Probenahme und zur Durchführung der Analysen erforderlich.

Während der Probenahme sollte bereits vor Ort das **Probennahmeprotokoll** vollständig ausgefüllt werden, damit Angaben über z.B. Probennahmetiefe, Ansprache, auffällige Beobachtungen, etc. nicht verloren gehen. Diese Aufzeichnungen sollten dann nach Durchführung der Analysen durch einen Laborbericht ergänzt werden, in dem Angaben enthalten sind zur verwendeten Methode, Geräten u.a. mit Angabe der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze und des Fehlers der Methode, um die Schwankungsbreite eines Analyseergebnisses abschätzen zu können [12].

1. Probenbeschreibung	Angaben zur Art der Proben, verwendete Probengefäße, Kennzeichnung; lt. Probennahmeprotokoll
2. Probenaufbewahrung	Lagertemperatur, -ort, Transport
3. Probenauswahl	z. B. Auswahl von organoleptisch auffallenden Proben; generell Anzahl der analysierten Proben; Angaben zum Verbleib der nicht analysierten Proben
4. Probenaufbereitung	z. B. Verwendung eines Eluates; besondere Reinigungsschritte; Störungen bei der Aufarbeitung ggf. Abweichung von DIN - Methode
5. Meßverfahren	
5.1 Prinzip der Methode	nach DIN...; abweichend von DIN - Norm...; falls kein standardisiertes Verfahren (z. B. bei Boden / Abfalluntersuchungen, Bodenluft) angewendet werden kann, Methodenprinzip angeben
5.2 Verwendetes Gerät	z. B. GC Modell XYZ mit Kapillare, Länge, Detektor:
5.3 Eichung	z. B. Einpunkteichung mit Standardlösungen; durch Aufstockung; mit Testgemisch usw.
5.4 Messung und Auswertung	
5.5 Bestimmungsgrenzen	
5.6 Methodische Fehler	
6. Ergebnisse	ggf. gesonderte Darstellung im Anhang - Probennahmeprotokolle - besondere Gaschromatogramme, Massenspektren, div. Ausdrucke etc.

Abb. 6.8: Gliederungsschema zur Gestaltung von Laborberichten

Es erscheint sinnvoll, daß das an einer Erkundungs- oder Sanierungsmaßnahme beteiligte analytische Labor einmalig (z.B. zu Beginn) die während der Bearbeitung voraussichtlich zu untersuchenden Parameter mit ihren Methoden, u.a. in einem ausführlichen Bericht zusammenstellt. Damit müssen die einzelnen anfallenden Analysenergebnisse nur noch bei evtl. Abweichungen vom normalen Vorgehen kommentiert werden. Der mit der Auswertung der Ergebnisse beauftragte Bearbeiter hat somit die Möglichkeit, jederzeit die analytischen Methoden und ihre spezifischen Probleme für die Beurteilung erhaltener Analysenergebnisse heranzuziehen und kann bei Unklarheiten dann auch beim Labor rückfragen.

5. Biologische Untersuchungen

Im Rahmen der Modellstandortuntersuchungen zur technischen Erkundung wurden neben den verschiedenen Erkundungsverfahren aus den Bereichen der Geologie, Geophysik, Hydrologie oder Chemie auch biologische Methoden angewandt.

Da bisher wenig Erfahrung mit der Anwendung biologischer Methoden im Altlastenbereich besteht, sollten Erkenntnisse gesammelt und auf die Eignung der Methoden zur Einschätzung der Gefährdung einzelner Schutzgüter geprüft werden.

Aktuelles Beispiel sind Untersuchungen, die am Modellstandort ehemaliges Gaswerk Geislingen durchgeführt wurden. Folgende **Biotests** wurden an Bodenproben vergleichend zur chemischen Einzelstoff-Analytik durchgeführt:

- Biolumineszenz-Test (aus dem wässrigen Bodeneluat nach DEV S4)
- Daphnientest auf akute Toxizität (aus dem wässrigen Bodeneluat und in Bodenaufschlammung)
- Wachstumstest an Gartenkresse (aus dem wässrigen Bodeneluat)

Ziel war es einerseits, die generelle Aussagekraft bzw. Einsatzfähigkeit dieser Methoden an Bodenproben zu prüfen. Andererseits sollte auch ermittelt werden, inwieweit solche die ökotoxikologische Wirkung erfassende Verfahren als schnelle und evtl. auch billigere Verfahren gegenüber der chemischen Analytik z.B. zur Begleitung von Sanierungsmaßnahmen eingesetzt werden können. Eine weitere Frage im Rahmen dieser Untersuchung war die nach der geeigneten Eluatherstellung, die zur Untersuchung von Bodenproben mit Biotests Grundvoraussetzung ist.

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

- Alle drei Tests erwiesen sich als Screening-Tests für PAK-Kontaminationen geeignet. Die jeweiligen Testergebnisse korrelierten überwiegend gut mit der festgestellten PAK-Konzentration im Boden.
- Handhabbarkeit und Testdauer waren beim Biolumineszenztest am günstigsten.
- Als zeitintensivster Test erwies sich der Wachstumstest mit Gartenkresse (Testdauer 6 Tage). Er zeigte jedoch auch eine Hemmung bei Gegenwart von Cyanid.
- Zur Elutionsförderung und -verkürzung wurde ein Zusatz von 1% Dimethylsulfoxid (DMSO) erprobt. Z.T. ergaben sich damit aber abweichende Reaktionen, z.B. traten in DMSO-Eluaten aus unbelasteten Proben beim Biolumineszenztest eine Leuchtkraftverstärkung auf. Die Eluate waren meist trüb und bei Cyanid-haltigen Proben zeigte sich keine Reaktion, d.h. Cyanid wurde blockiert.

Insgesamt waren die Untersuchungen jedoch ermutigend, d.h. die Anwendung solcher Biotests insbesondere des Biolumineszenztest sollte bei der Altlastenbearbeitung weiterverfolgt und weitere Erfahrungen gesammelt werden.

Eine Reihe anderer biologischer Verfahren wurden im Laufe der Modellstandorterkundungen angewandt wie z.B. standortkundliche Vegetationskartierungen, die Flechtenkartierung, Rückstandsanalytik an Pflanzenproben, ökologische Untersuchungen an Bodenkäfergesellschaften,

Schadstoffanalyse von Lumbriciden (Regenwürmer), gewässerökologische Untersuchungen und Pflanzenwuchstest sowie weitere Biotests.

Es ließen sich insgesamt Ansatzpunkte für den Einsatz biologischer Methoden erkennen. Bei vielen Methoden besteht jedoch noch deutlicher Entwicklungsbedarf. Allgemein sinnvoll einsetzbar scheinen momentan die standortkundliche Vegetationskartierung (einschl. Fernerkundung), die Rückstandsanalytik von Pflanzenproben sowie die Biotests und in bestimmten Fällen ggf. die Flechtenkartierung sowie Pflanzenwuchstests je nach Fragestellung am zu erkundenden Standort.

Eine Aufarbeitung der gesamten Ergebnisse der biologischen Untersuchungen wird z.Zt. vorgenommen.

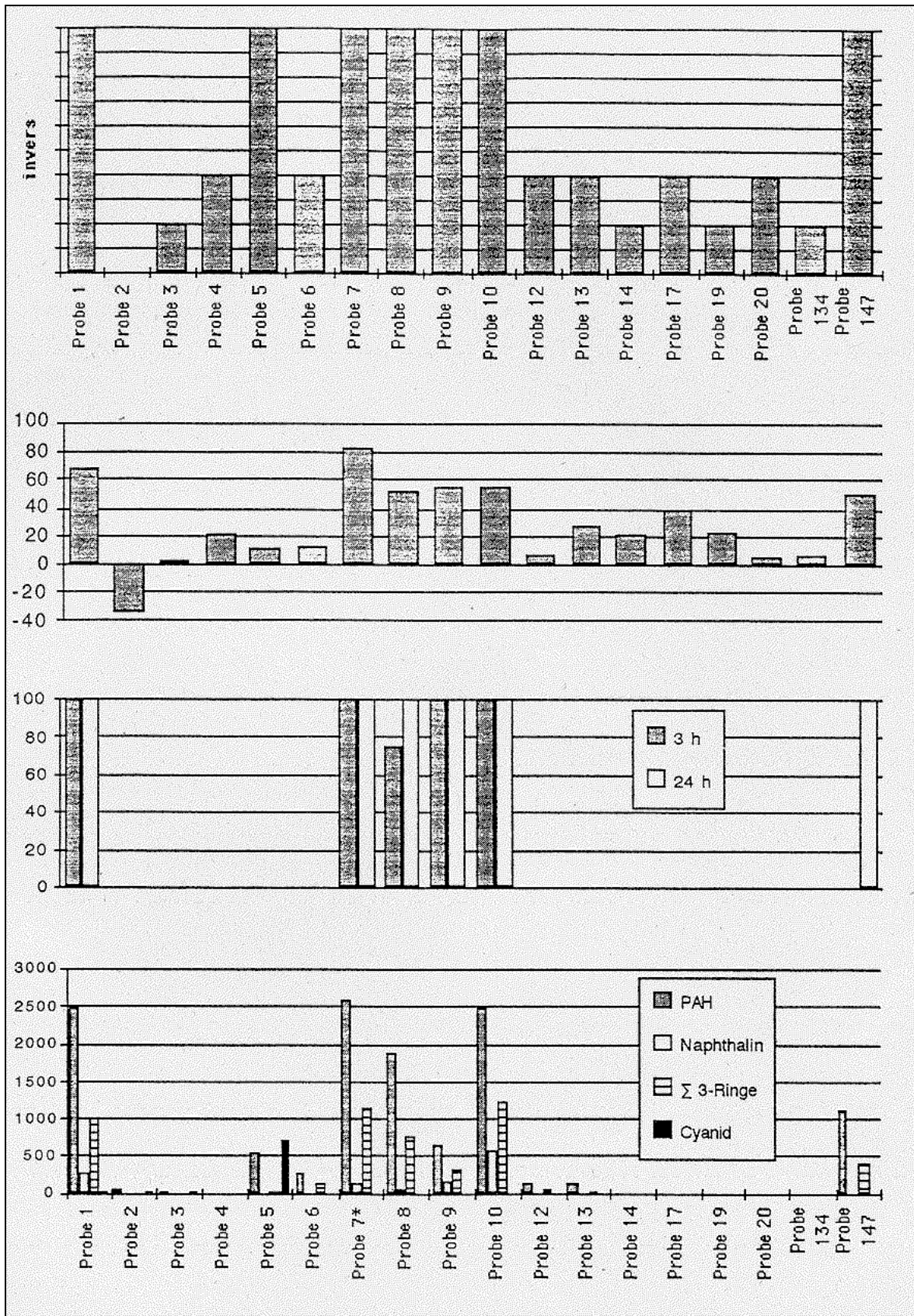


Abb. 6.9: Gegenüberstellung von Kresse-Wurzelhaarbildung (oben, inverse Darstellung), Bio-lumineszenz (Hemmung in %, mitte) in den S4-Eluaten, Daphnientoxizität (Immobilisierung in %) über Boden sowie die chemische Analyse der Bodenproben (alle Werte in mg/kg, *:Werte * 10)

6. Zusammenfassung und Ausblick

Um aussagekräftige Ergebnisse bei der chemisch-physikalischen Untersuchung unterschiedlichster Proben aus Altlasten zu erhalten, ist die sachgerechte Probennahme eine wesentliche Voraussetzung. Überlegungen zur Probennahmestrategie und ein sinnvolles, abgestuftes Vorgehen bei den Untersuchungen sind ebenso zu berücksichtigen wie die Auswahl von geeigneten Probennahmestellen und Probengewinnungsverfahren. Sind z.B. Bodenluft, Boden- oder Wasserproben fachgerecht entnommen und im Labor angelangt, so beginnt der zweite wichtige Teil der Untersuchung - nämlich die Probenvorbereitung und die daran anschließende Analytik. Trotz modernster Analysengeräte und immer niedriger zu erreichender Nachweisgrenzen sollte der "kritische" Sachverstand des Analytikers bei der Durchführung der Analysen im Vordergrund stehen und sich dann letztendlich auch im Laborbericht niederschlagen, denn sorgfältig erstellte Analyseergebnisse sind Grundvoraussetzung für die Bewertung durch Ingenieurbüros oder Behörden.

Bei den biologischen Methoden gibt es einige interessante Ansätze, vor allem im aquatischen Bereich, die als Ergänzung bei der Beurteilung des Gefährdungspotentials einer Altlast zukünftig herangezogen werden könnten.

Wichtige Fragen, die in nächster Zeit angegangen werden sollen, sind die Entwicklung einer geeigneten Eluatmethode für die Untersuchung von kontaminierten Bodenproben, die einheitliche und genaue Vorgaben zur Vorgehensweise enthält. Ebenso sollen Empfehlungen zur Kohlenwasserstoffanalytik erarbeitet werden.

7. Literaturverzeichnis

- [1] Wasserwirtschaftsverwaltung BW Heft 19:
Altlastenhandbuch Teil II, 2. Auflage,(12/88).
- [2] V. Neumayr:
Schr.-Reihe WaBoLu (1986) 64, 65-84 .
- [3] LfU BW:
Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 10: Der Deponiegashaushalt in Altablagerungen -
Leitfaden Deponiegas- (1992).
- [4] LfU BW:
Die Erkundung der Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien am Beispiel dreier Mo-
dellstandorte in Baden-Württemberg (1992, unveröffentlicht).
- [5] C.Kluge:
"Bestimmung leichtflüchtiger Halogenkohlenwasserstoffe aus Böden mittels Headspace Ga-
schromatographie" in: Buch der Umweltanalytik, Bd.4, GIT Verlag (1992)
- [6] LfU BW:
Handbuch Hydrologie Baden-Württemberg, Teil 2, 2.4 Grundwassernetz, Karlsruhe, 1989.
- [7] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), Altablagerungen und Altlasten,
LAGA-Informationsschrift 1991, Berlin, E. Schmidt Verlag.
- [8] LfU BW:
Altlasten-Analytik: Parameterliste zur branchenspezifischen Auswahl von Analysepara-
metern für Altstandorte in: Handbuch Umweltchemikalien Hrsg. G. Rippen, ecomed-Verlag,
Landsberg (1990).
- [9] LfU BW:
Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 3: Branchenkatalog zur historischen Erhebung von
Altstandorten, (1991)
- [10] LfU BW:
Informationsschrift: Orientierungswerte bei der Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen
(Stand 29.09.92)
- [11] Blankenhorn, I., Meijer, D., van Delft, J.:
"Inter-laboratory comparison of methods used for analysing polycyclic aromatic hydrocarbons
(PAHs) in soil samples" in: Fresenius J Anal Chem (1992) 343:497-504
- [12] LfU BW:
Modellstandortbericht II, Dez. 1990 (unveröffentlicht).

Erkundung des Inhalts von Altablagerungen im Hinblick auf Stoffgefährlichkeit und Schadstoffaustrag

Dr. W. Heinz, Ingenieurbüro Röver und Partner, Bensheim

1. Einführung

Um die große Anzahl altlastenverdächtiger Flächen wirtschaftlich zu erkunden, wurde in Baden-Württemberg ein Bewertungsverfahren entwickelt, das die Behörden in die Lage versetzen soll, einerseits über den Handlungsbedarf und andererseits über Prioritäten entscheiden zu können. Verdachtsflächen werden stufenweise erkundet, wobei eine Bewertung nach jeder Erkundungsstufe eine nachvollziehbare Entscheidung über das weitere Vorgehen ermöglichen soll [UM BW 1988a].

Wesentliche Bewertungskriterien sind die Stoffgefährlichkeit, der Austrag und Eintrag von Schadstoffen in die Schutzgüter, Transport und Wirkung der Schadstoffe und schließlich die Bedeutung der Schutzgüter. Als Schutzgüter werden die Medien Grundwasser, Oberflächengewässer, Boden und Luft betrachtet. Weitere Schutzgüter, die indirekt betrachtet werden sind Pflanzen, Tiere, Bauwerke, Ökosysteme und letztendlich die menschliche Gesundheit [vgl. von der Trenck & Fuhrmann 1990].

Die Beurteilung der Stoffgefährlichkeit setzt fundierte Kenntnisse über Art und Umfang des Schadstoffinventars voraus. Deshalb wird für die technische Erkundung altlastenverdächtiger Flächen in Baden-Württemberg bisher die Entnahme von Feststoffproben für chemisch-physikalische Untersuchungen empfohlen [UM BW 1988b]. Während ein derartiges Vorgehen bei Altstandorten relativ problemlos ist, weil man dort in der Regel nur eine kleine Anzahl verschiedener Schadstoffe antrifft, sind entsprechende Untersuchungen bei Altablagerungen wegen deren heterogener Zusammensetzung schwierig. Die Notwendigkeit von Feststoffuntersuchungen an Hausmüllablagerungen wird deshalb inzwischen angezweifelt [z.B. Neifer 1990]. Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen hält eine routinemäßige Untersuchung von Abfallkörpern für nicht sinnvoll [SRU 1990].

Am Beispiel der Modellstandorte Mannheim, Osterhofen und Herten, wo umfangreiche Untersuchungen zum Schadstoffinventar durchgeführt wurden, soll die Stoffgefährlichkeit und der Schadstoffaustrag von Altablagerungen erläutert und die Bedeutung der verschiedenen Erkundungsmethoden gezeigt werden.



Abb. 7.1: Die drei Modellstandorte Mannheim, Osterhofen und Herten (LfU 12/92)

2. Kurzbeschreibung der 3 Modellstandorte

2.1 Modellstandort Mannheim, Friesenheimer Insel

Beim Modellstandort Mannheim handelt es sich um eine ehemalige städtische Deponie auf der Friesenheimer Insel im Norden Mannheims (Abb. 7.2). Auf insgesamt 28 ha wurde dort zwischen 1956 und 1968 die Hauptmenge des Mannheimer Mülls abgelagert. Das natürliche Gelände wurde zunächst mit Trümmerschutt und Hausmüll, später vorwiegend mit Hausmüll und hausmüllähnlichem Gewerbemüll ca. 5 m hoch aufgeschüttet, so daß dort heute ca. 1,6 Millionen m³ Müll lagern.

Der Müll wurde mit einer 25 bis 50 cm dicken Schicht Mutterboden abgedeckt, die bis 1991 größtenteils landwirtschaftlich genutzt wurde. Eine Sohlabdichtung ist nicht vorhanden.

Der Untergrund unter der Altablagerung wird von Kiesen und Sanden gebildet. In diesen wird ein ca. 25 m mächtiger Grundwasserleiter durch einen wenig durchlässigen Zwischenhorizont von einem weiteren Grundwasserleiter getrennt. Die Fließverhältnisse im Oberen Grundwasserleiter unter der Friesenheimer Insel werden vorwiegend von den Wasserständen der Vorfluter Rhein, Altrhein und Neckar bestimmt (vgl. Abb. 7.2). Unterhalb und im Randbereich der Altablagerung weist das Grundwasser erhöhte Gehalte an Ammonium, Chlorid, Cyanid und Benzol sowie eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit auf.

Im Deponiekörper werden zum Teil hohe Deponiegaskonzentrationen gemessen. Das bedeutet, daß ein großer Teil der organischen Abfallkomponenten noch nicht verrottet ist.

Im Rahmen der Modellstandort-Erkundung wurden schwerpunktmäßig die Medien Grundwasser, Deponiegas und Abfall untersucht. Die abschließende Sanierungsvorplanung ergab, daß für die derzeitige Nutzung außer einer Grundwasserüberwachung kein weiterer Handlungsbedarf besteht.

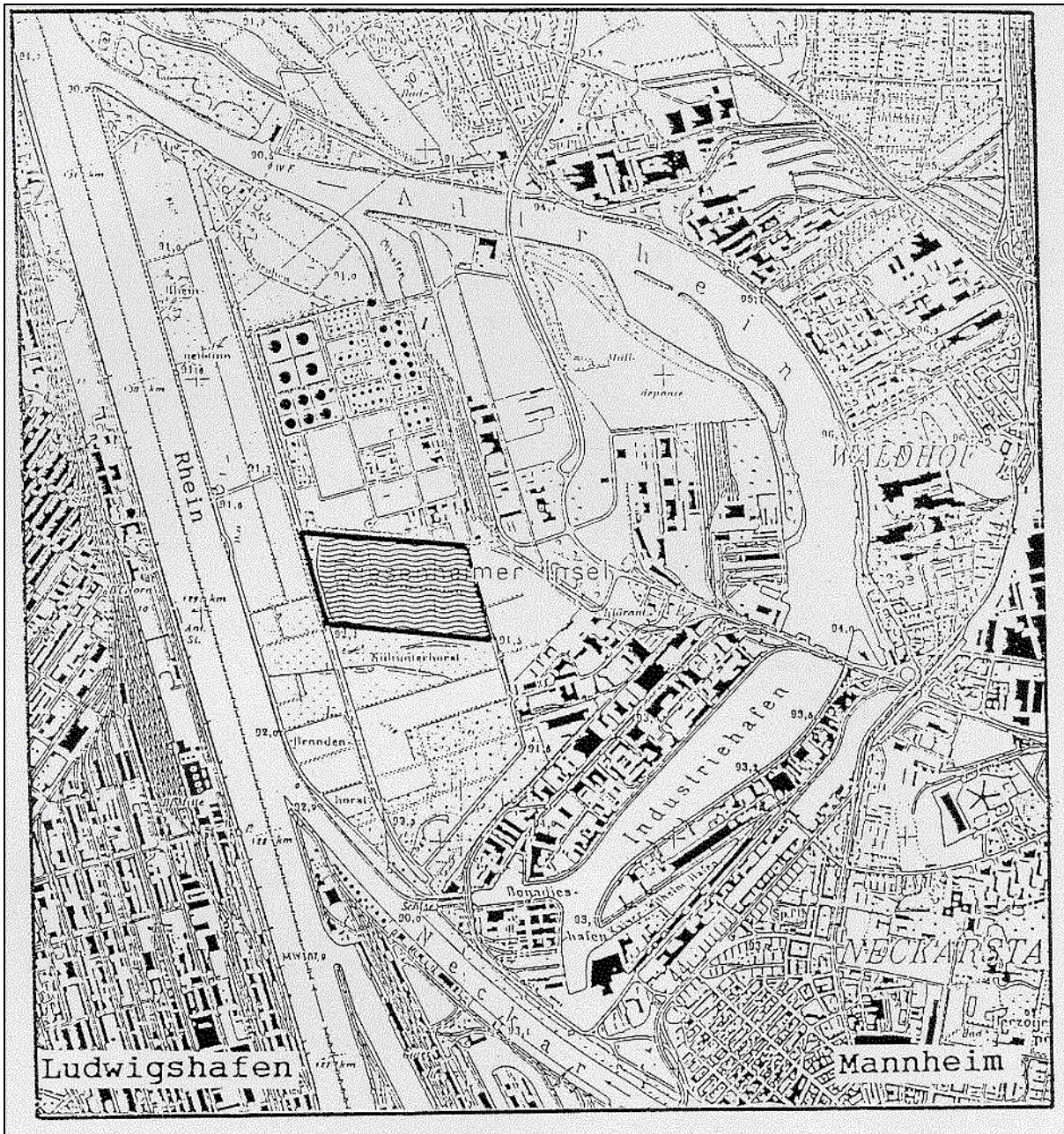


Abb. 7.2: Lageplan des Modellstandortes Mannheim, Friesenheimer Insel (dick umrandet).

2.2 Modellstandort Osterhofen

Beim Modellstandort Osterhofen handelt es sich um eine alte Hausmülldeponie in einer ehemaligen Sand- und Kiesgrube. Sie liegt in der Nähe von Bad Waldsee im Landkreis Ravensburg (Abb. 7.3). Der Deponieuntergrund wird von 10 bis 12 m Kiesen und Sanden gebildet, die von weitgehend wasserdichten Tonen unterlagert werden. Der Grundwasserspiegel liegt durchschnittlich etwa 2 m unter der Grubensohle.

Zwischen 1969 und 1977 wurde ein Großteil der Grube mit Hausmüll und Sperrmüll verfüllt. Das heutige Deponievolumen umfaßt auf einer Fläche von ca. 4 ha. ca. 300.000 m³. Die Deponie ist mit einer mächtigen Oberflächenabdichtung und einer geringmächtigen, relativ schlecht funktionierenden Sohlabdichtung mit Sickerwasserfassung gesichert.

Im Rahmen der Modellstandort-Erkundung wurden ebenfalls schwerpunktmäßig die Medien Grundwasser, Abfall und Deponiegas untersucht. Im Grundwasser wurde eine deutlich ausgeprägte Schadstofffahne festgestellt, die in westnordwestliche Richtung bis in eine Entfernung von 400 bis 500 m nachweisbar ist. Im Bereich dieser Schadstofffahne weist das Grundwasser u.a. erhöhte Gehalte an Ammonium, Kalium, Natrium und Bor auf. Eine Trinkwassernutzung ist dadurch nicht gefährdet.

Im Deponiekörper und dessen näherer Umgebung wurden relativ hohe Deponiegaskonzentrationen gemessen. Wegen der Migration von Deponiegas in nahegelegene Revisionschächte einer Straßenentwässerung wurde die Stoffgefährlichkeit der Altablagerung für das Schutzgut Luft relativ hoch eingestuft.

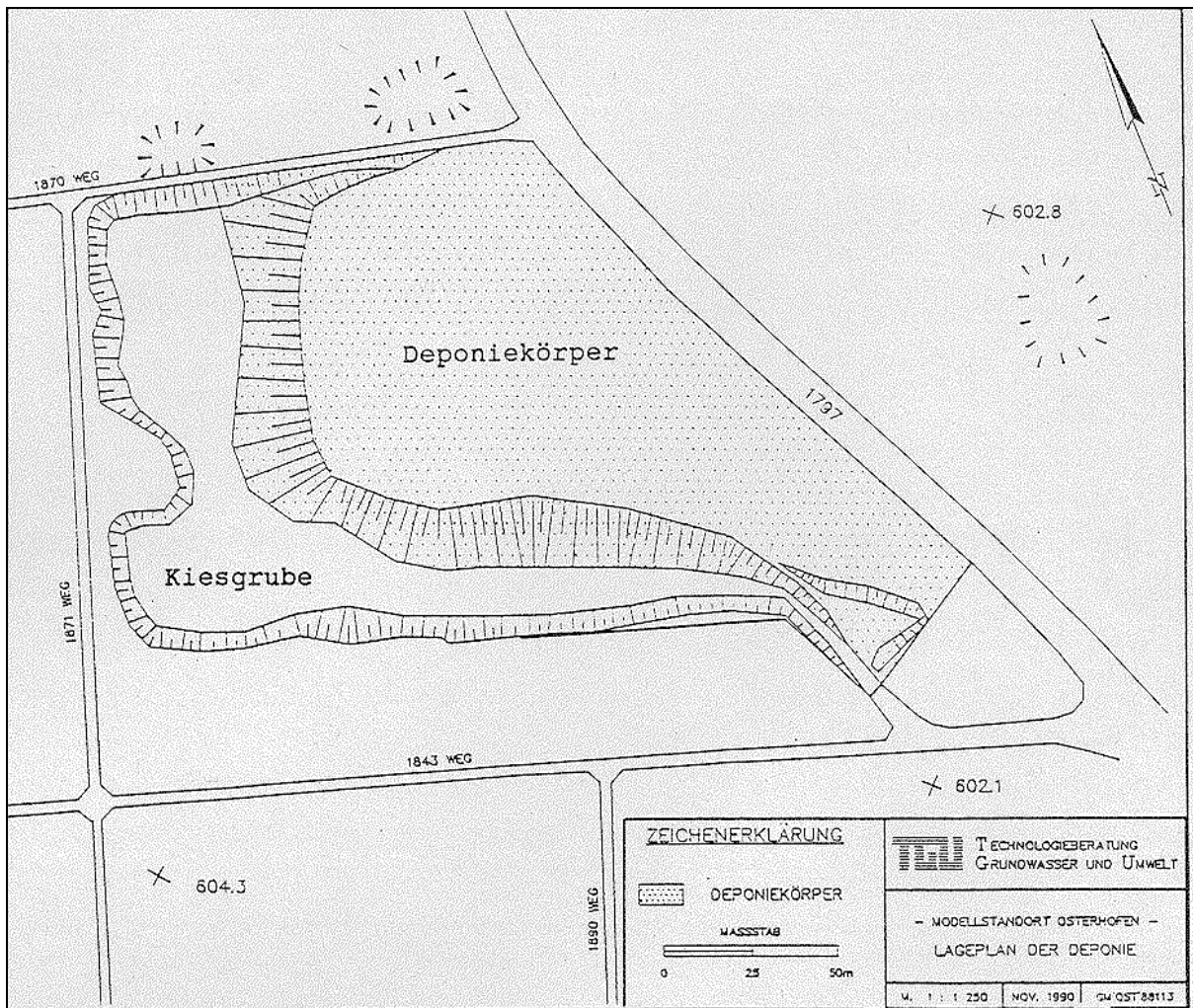


Abb. 7.3: Übersichtsplan des Modellstandortes Osterhofen [TGU GmbH 1990]

2.3 Modellstandort Herten

Der Modellstandort Herten liegt im äußersten Süden Baden-Württembergs, westlich von Rheinfelden (Abb. 7.4). Es handelt sich dabei um eine unmittelbar am Rhein gelegene, ehemalige Kiesgrube, die von 1969 bis 1986 mit Hausmüll, Gewerbemüll, Sperrmüll und Bauschutt verfüllt wurde. Insgesamt wurden dort auf einer Fläche von 4,5 ha ca. 300.000 m³ Müll abgelagert. Sohl- oder Oberflächenabdichtungen sind nicht vorhanden.

Die ehemalige Deponie befindet sich im Bereich quartärer Talfüllungen des Hochrheins. Das Grundwasser reicht bis knapp unter die Deponiesohle und fließt in der Regel zum Rhein. Obwohl hausmülltypische Belastungen im Grundwasser festgestellt wurden, dürften diese im Rhein, wegen der hohen Verdünnungsraten, nicht mehr nachweisbar sein.

Erwartungsgemäß wurden im Deponiekörper zum Teil sehr hohe Deponiegaskonzentrationen gemessen.

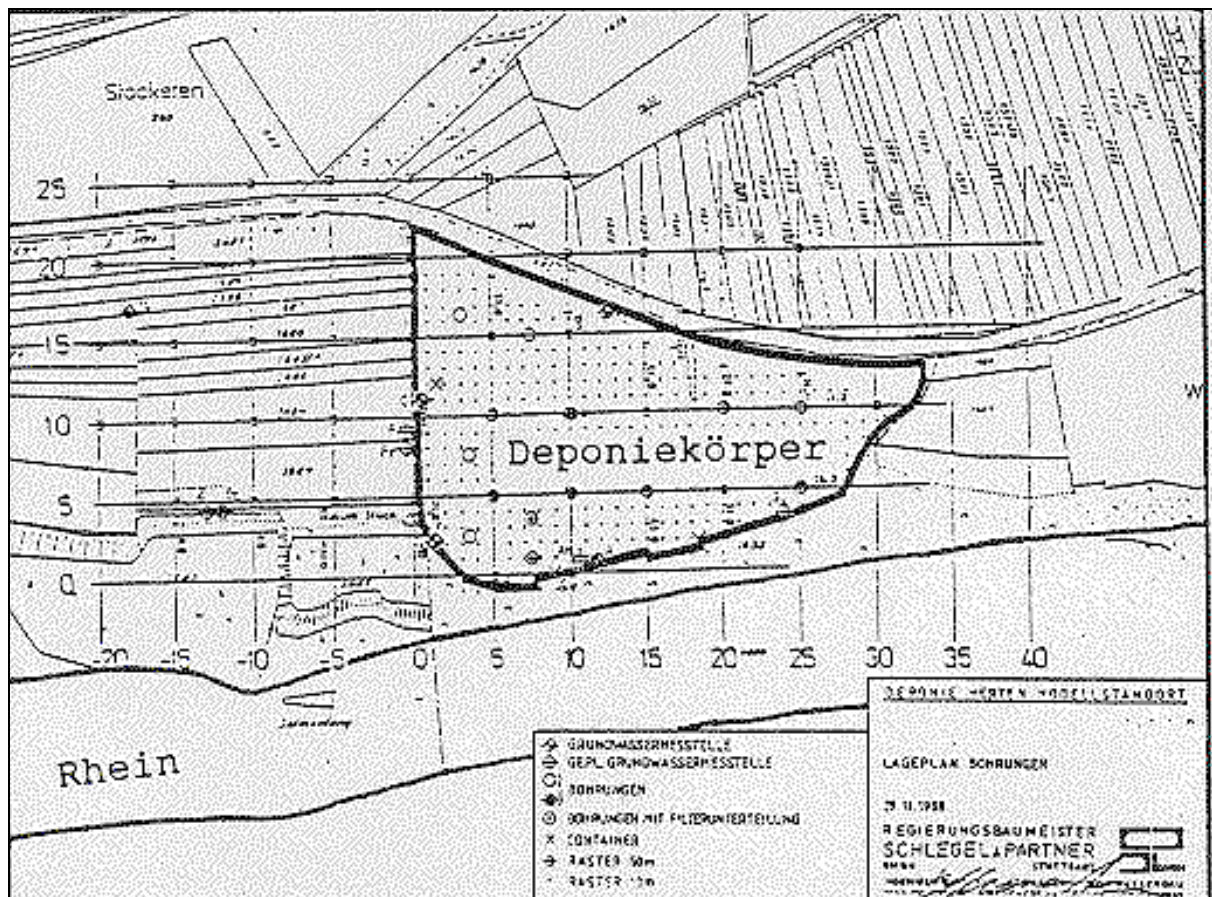


Abb. 7.4: Übersichtsplan des Modellstandortes Herten [Schlegel + Partner GmbH 1988]

3. Stoffliche Zusammensetzung, Stoffgefährlichkeit und Schadstoffaustrag ehemaliger Hausmülldeponien

Die stoffliche Zusammensetzung von Hausmülldeponien hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Zunächst sind es primäre Unterschiede in den deponierten Stoffen, wie z.B.:

- Unterschiedliche Anteile verschiedener Müllsorten wie Hausmüll, Erdaushub, Bauschutt oder Sonderabfälle.
- Die Schadstoffgehalte der verschiedenen Müllsorten. Im Zuge der industriellen Entwicklung hat sich die stoffliche Zusammensetzung und auch die Schadstoffbelastung der verschiedenen Müllsorten deutlich geändert.

Sekundäre Alterungsprozesse führen zu weiteren Veränderungen der stofflichen Zusammensetzung des abgelagerten Mülls:

- Im Laufe der Zeit werden vor allem die organischen Bestandteile mikrobiell abgebaut, so daß der Müll zunehmend mineralisiert.
- Weitere Veränderungen kann der Müll bei ungenügender Abschirmung durch perkolierendes Niederschlagswasser oder durch einstauendes Grundwasser erfahren.

Zur Ermittlung der stofflichen Zusammensetzung wurde am Modellstandort Mannheim eine Siebung und Sortierung von insgesamt 180 Tonnen Altmüll durchgeführt. Sie ergab, daß etwa 80 Gew.-% des bis zu 30 Jahre alten Mülls eine Korngröße von weniger als 40 mm hat (Abb. 7.5). Etwa 55 Gew.-% entfielen auf eine Korngröße von weniger als 10 mm. Der hohe Feinkornanteil deutet auf einen hohen Verrottungsgrad hin. Andererseits zeigen aber die relativ hohen Deponiegaskonzentrationen im Deponiekörper, daß erst ein Teil der organischen Müllkomponenten verrottet ist. Darauf weist auch der teilweise gute Erhaltungszustand verschiedener Müllfraktionen, z.B. Papier, hin.

Die manuelle Sortierung des Siebrestes mit einer Korngröße von über 40 mm (20 Gew.-% des gesiebten Altmülls) ergab, daß dieser zu 63 Gew.-% aus Steinen und Keramik (Inertes) besteht. Die restlichen 37 Gew.-% des Siebrestes verteilen sich auf die Fraktionen Glas, Holz, Kunststoff, Metall, Papier usw. Der Anteil an Sonderabfällen - es handelte sich dabei hauptsächlich um eingetrocknete Farbreste sowie um vereinzelte Batterien und Teerbrocken - war mit 1 Gew.-% des Siebrestes, also 0,2 Gew.-% des gesamten gesiebten Materials, recht gering.

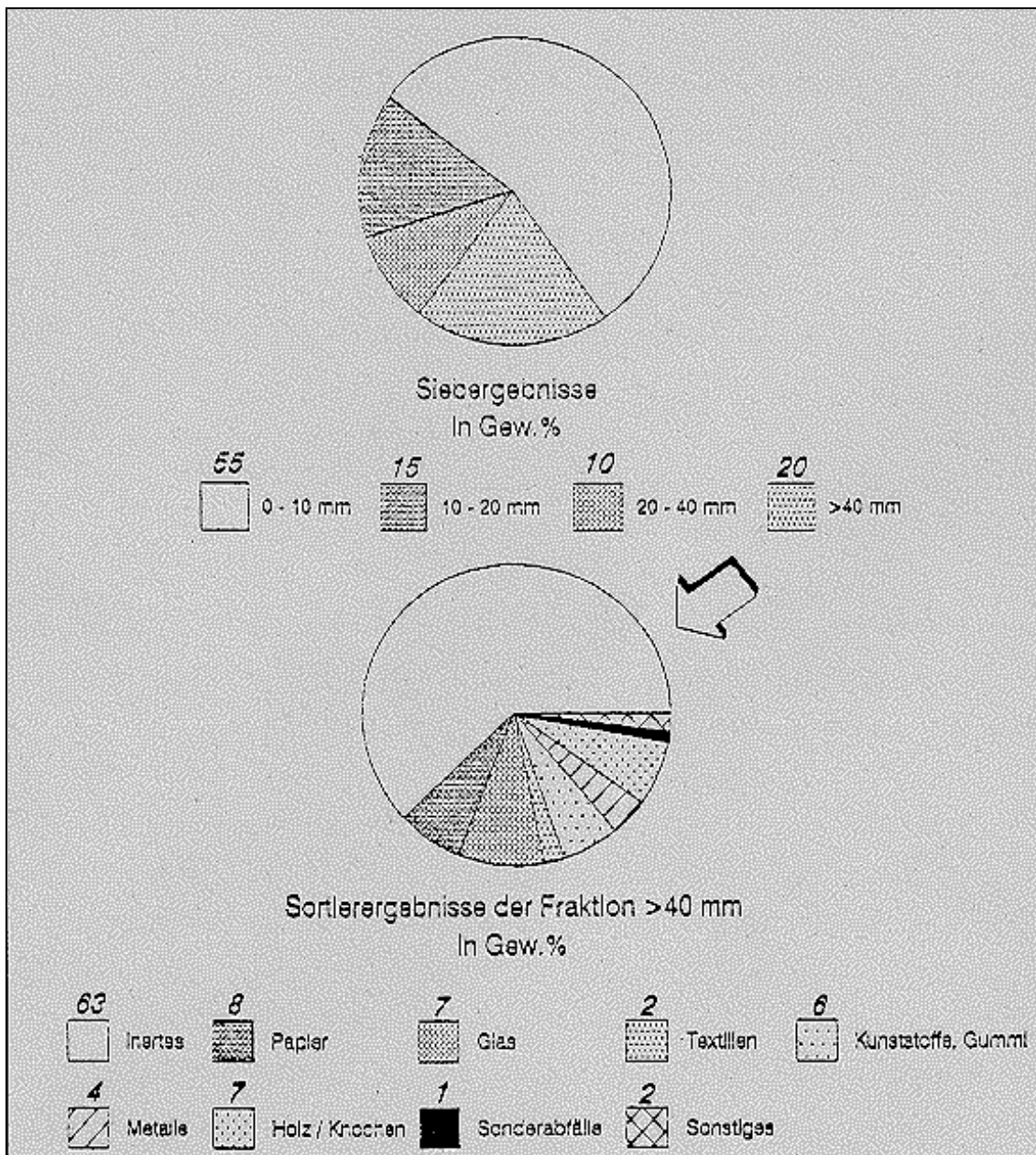


Abb. 7.5: Ergebnisse einer Sieb- und Sortieranalyse von Altmüll vom Modellstandort Mannheim [Arge-Ing. Röver + Partner / TAUW Infra Consult, 1990]

Die **Gefährlichkeit** eines Stoffes hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, die letztendlich human- oder ökotoxikologisch relevant sind. Um sie beurteilen zu können, sollten deshalb möglichst viele der folgenden Faktoren bekannt sein [aus: UM BW 1988a]

- öko- und humantoxische Eigenschaften
- Möglichkeiten zur Bioakkumulation
- synergetische Effekte
- Konzentration, Verteilung
- Löslichkeit, Auslaugbarkeit, Mischbarkeit
- Aggregatzustand, Konsistenz, Struktur, Dichte, Viskosität, Mobilität, Beständigkeit, Flüchtigkeit, Dampfdruck

- Reaktivität mit Wasser, Wasserinhaltsstoffen u.a.
- mögliche Veränderungen durch Alterungen
- Langzeitverhalten, Stabilität, Abbaubarkeit, Abbaugrad, Metabolite, Persistenz
- Lagerungszustand bzw. Abschirmung
- Art der Vorbehandlung, z.B. Verfestigung
- Art des Einbaus, z.B. Verdichtung

Mit Ausnahme der drei letzten Punkte handelt es sich dabei entweder um chemisch-physikalische oder um toxische Eigenschaften. Während derartige Daten für Einzelstoffe relativ leicht zu ermitteln sind, sind sie bei komplexen Stoffgemischen, wie sie in Mülldeponien immer vorherrschen, nur äußerst schwierig zu ermitteln.

In Baden-Württemberg erfolgt die Abschätzung der Stoffgefährlichkeit deshalb über eine Gesamtbewertung der Daten zu folgenden "bewertungsrelevanten Sachverhalten" [UM BW 1988a]:

- Stoffe und ihre Anteile (Wassergefährdungsklassen)
- Lagerungszustand bzw. Abschirmung
- Behandlung vor Ablagerung
- Einbau und Lagerung
- Ablagerungszeiten
- Analyseergebnisse (Boden, Abfall, Grundw., Sickerw,...)

Kriterien oder Maßstäbe für eine quantifizierte Bewertung oder Gewichtung dieser "bewertungsrelevanten Sachverhalte" werden derzeit (für Beweisniveau > 1) für die Schutzgüter Grundwasser und Oberflächengewässer erarbeitet.

Für die Gefährdung der Schutzgüter ist vor allem der **Schadstoffaustrag** maßgebend. Schadstoffe können über verschiedene Wirkungsmechanismen, sogenannte Expositionspfade, auf die Schutzgüter einwirken. Die Schutzgüter Grundwasser und Oberflächengewässer sind hauptsächlich über Schadstoffe gefährdet, die aus dem Ablagerungsgut eluiert werden und entweder direkt oder über Sickerwasser in die Schutzgüter gelangen.

Für die Gefährdung des Schutzgutes Boden spielen Schadstoffe eine Rolle, die entweder das Ökosystem Boden gefährden oder die direkt oder indirekt über die Nahrungskette weitere Schutzgüter gefährden. Am Modellstandort Mannheim bestand zum Beispiel der zu schützende Boden aus der Abdeckschicht der ehemaligen Deponie. Durch eine - inzwischen eingestellte - landwirtschaftliche Nutzung dieser geringmächtigen Abdeckschicht fand eine mechanische Durchmischung von Boden mit Müll statt. Eine Gefährdung über die Nahrungskette konnte zwar analytisch nicht nachgewiesen werden, aus Vorsorgegründen wurde jedoch auf eine weitere landwirtschaftliche Nutzung verzichtet.

Das Schutzgut Luft wird hauptsächlich durch gas- oder staubförmige Emissionen gefährdet. Der häufigste Fall bei Altablagerungen ist eine Gefährdung durch den Methananteil des Deponiegases. Spurenkomponenten des Deponiegases, die häufig auch als Bodenluft bezeichnet werden, tragen in der Regel nur relativ wenig zur Stoffgefährlichkeit in bezug auf das Schutzgut Luft bei.

4. Erkundungsmethoden

4.1 Organoleptik

Durch organoleptische Begutachtung von Bohrgut oder Aushubmaterial können Rückschlüsse auf die ursprünglich abgelagerten Stoffe und bedingt auch auf deren Stoffgefährlichkeit gezogen werden.

Die Erkennbarkeit verschiedener Müllsorten in ehemaligen Hausmülldeponien ist sehr stark von der Aufschlußgröße abhängig. So ist das Bohrgut, das mit Handschlagbohrgeräten gewonnen wird (Rammkernsondierungen mit Sondendurchmessern zwischen 36 und 80 mm) wesentlich schwieriger zu identifizieren, als das Bohrgut aus Greiferbohrungen oder Schürfen.

Bei kleinen Aufschlußgrößen müssen meist bestimmte „Leitfossilien“, wie z.B. Ziegelbruchstücke oder Zeitungspapier, zur Ansprache des Bohrgutes als Bauschutt oder Hausmüll herangezogen werden. Für alten Hausmüll ist außerdem meist seine schwarze Farbe und ein typischer, süßlich-fauliger Geruch kennzeichnend. Bei Bauschutt ist neben dem Bohrgut oft auch der schlechte Bohrfortschritt charakteristisch.

Eine Klassifizierung in verschiedene Müllsorten gemäß Abfallkatalog ist, nachdem das Material in einer Hausmülldeponie abgelagert wurde, in der Regel nicht mehr möglich. Meist sind nur Unterscheidungen zwischen Hausmüll, Bauschutt und Erdaushub möglich. Schon eine Abschätzung der prozentualen Anteile dieser Fraktionen ist äußerst schwierig.

Besonders wichtig für die Beurteilung der Stoffgefährlichkeit ist der Anteil von Sonderabfällen an der Altablagerung. Von den vielen Stoffen, die im Katalog der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle [TA Abfall] aufgelistet sind, ist jedoch nur ein kleiner Teil organoleptisch auffällig. Viele Sonderabfälle sind staubförmig, pulverförmig oder schlammig. In einem Deponiekörper fallen sie meist nur auf, wenn sie in entsprechenden Gebinden, z.B. Fässern, angetroffen werden oder wenn sie eine auffällige Farbe oder einen auffälligen Geruch aufweisen. Organoleptisch auffällige Proben können sich andererseits wiederum in der chemischen Analytik als unauffällig herausstellen [LfU BW 1990 a].

Insgesamt sind die Möglichkeiten zur Beurteilung der Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien durch eine organoleptische Begutachtung sehr begrenzt.

4.2 Vor-Ort-Detektion von Schadstoffen

Die Möglichkeiten zur Vor-Ort-Detektion von Schadstoffen durch Vor-Ort-Analytik oder durch Einsatz spezieller Sensoren und Detektoren sind bisher noch ungenügend. An den Modellstandorten wurden bisher vorwiegend Flammen- und Photoionisationsdetektoren (FID und PID) eingesetzt. Zumindest zur Bewertung der Stoffgefährlichkeit waren die Ergebnisse insgesamt wenig aussagekräftig.

4.3 Probenahmestrategien

Bei Altablagerungen hat die Beprobung von Abfall in der Regel das Ziel, durch die anschließende chemisch-physikalische Analytik Informationen zur Schadstoffbelastung des Müllkörpers und damit zu seiner Stoffgefährlichkeit zu gewinnen. Abfallproben für chemisch-physikalische Untersuchungen sollten deshalb für die Gesamtheit des zu beurteilenden Materials möglichst repräsentativ sein [LAGA-Richtlinie PN 2/78]. Dies wird theoretisch dadurch erreicht, daß die Größe der Einzelprobe durch die Korngröße und die Anzahl der Proben durch die zu beurteilende Gesamtmenge bestimmt werden.

Die Größe einer Einzelprobe müßte nach der LAGA-Richtlinie PN 2/78 bei einer oberen Korngröße von beispielsweise 120 mm mindestens 200 kg umfassen. Derartige Probengrößen sind jedoch mit angemessenem Aufwand nicht zu handhaben.

In Baden-Württemberg wird empfohlen, bei Abfallproben nur das feinkörnige, bodenähnliche Material (Korngröße < 2 mm) für die chemische Analytik zu verwenden [LfU BW 1991]. Größere Fraktionen, bestehend aus Steinen, Glas, Papier, Textilien, Kunststoffen, Holz, Knochen usw. sollen aussortiert und gewichtsmäßig erfaßt werden.

Je nach Aufschlußverfahren fallen unterschiedliche Probenmengen an, die eine Probenteilung erforderlich machen, um laborgerechte Teilmengen zu erhalten. An den Modellstandorten Mannheim und Osterhofen wurde dies bei Greiferbohrungen durch mehrmalige Probenviertelung erreicht. Am Modellstandort Herten war der Feinkornanteil teilweise so gering, daß es selbst bei einer Gesamtmenge des Bohrguts von 0,3 bis 0,4 m³ schwierig war, genügend Feinmaterial für eine Probe zu erhalten.

Um Aussagen über die Gesamtheit einer Altablagerung machen zu können, wird in der Regel eine rasterförmige Beprobung durchgeführt. Für die Rastergröße liegen jedoch keine eindeutigen Richtlinien vor.

Am Modellstandort Mannheim, der mit 28 ha, eine relativ große Fläche umfaßt, wurde der Deponiekörper mit Rammkernsondierungen in einem 71 m-Raster beprobt. An den Probennahmepunkten wurden Mischproben des gesamten durchteuften, etwa 5 m mächtigen Müllkörpers erstellt. An einem Teil der Sondierpunkte wurden verschiedene Horizonte des Müllkörpers beprobt, indem von jeweils 2 Sondiermetern Mischproben angefertigt wurden. Effektiv wurden also in einem 71 m Raster zylinderförmige Proben mit einem Durchmesser von 60 mm und einer Höhe von 5 m bzw. 2 m entnommen.

Am Modellstandort Herten wurden Bohrungen und Abfallprobenahmen auf der Basis eines unregelmäßigen, teilweise verengten 50 m-Rasters durchgeführt. Von jedem Bohrmeter wurden Mischproben angefertigt. Am Modellstandort Osterhofen wurden rasterförmige Probenahmen über die gesamte Deponiefläche nur für Deponiegas durchgeführt.

Die Besonderheit des Mediums Abfall (und Boden) besteht darin, daß im Unterschied zu Wasser und Luft keine laterale Durchmischung stattfindet und daß Schadstoffe folglich sehr kleinräumig auftreten können [Friesel et al. 1988]. Am Modellstandort Mannheim wurde durch statistische Untersuchungen von insgesamt 107 Abfall-Analysenergebnissen nachgewiesen, daß im Deponiekörper auch engräumig keine Abhängigkeiten der Schadstoffbelastung

bestehen [Arge-Ing. R+P/TAUW 1991 b]. Letztendlich war dies wegen der Heterogenität des Müllkörpers auch nicht anders zu erwarten.

In Ablagerungen können lokale, eng begrenzte Schadstoffherde einen Großteil der Stoffgefährlichkeit ausmachen. Mit einer Verengung des Beprobungsrasters kann die Wahrscheinlichkeit, einen derartigen Schadstoffherd anzutreffen, zwar gesteigert werden, eine repräsentative Beprobung ist jedoch nicht möglich.

In vertikale Richtung kann durch perkolierendes Niederschlagswasser eine Schadstoffverlagerung stattfinden. Dies führt sehr wahrscheinlich zu einer verstärkten Elution oberflächennaher Bereiche des Müllkörpers. Allerdings konnte dies durch die Untersuchungen an den Modellstandorten analytisch nicht nachgewiesen werden.

4.4 Chemische Analytik

Während für Altstandorte inzwischen Vorschläge für branchenspezifische Parameterlisten zur chemischen Analytik von Stoffproben vorliegen [UM BW 1988b; Daniel et al. 1990], ist man bei ehemaligen Mülldeponien, wo potentiell mit allen branchentypischen Abfallstoffen zu rechnen ist, letztendlich auf die sogenannte "Schleppnetz" Methode angewiesen. Dabei wird versucht, durch ausgewählte Einzel- und Summenparameter, ein möglichst breites Spektrum der umweltrelevanten Schadstoffe abzudecken. In der Regel werden neben Aussehen, Abdampfdruckstand und Glührückstand die Schwermetalle, Kohlenwasserstoffe und BTX analysiert. Dazu kommen noch die Summenparameter EOX und Phenolindex. Weitere Parameter werden nur bei speziellen Hinweisen, beispielsweise aus der historischen Erkundung, analysiert.

Für die nachträgliche Identifikation von Müllsorten auf Grundlage chemischer Analysen liegen bisher nur wenige Zuordnungskriterien vor. Für die Unterscheidung von Sonderabfällen, die entweder oberirdisch oder nur unter Tage abgelagert werden dürfen, sind Zuordnungswerte für Eluatanalysen in der TA-Sonderabfall festgeschrieben. Im Entwurf zur TA-Siedlungsabfall werden ebenfalls Zuordnungskriterien auf der Basis von Eluatanalysen für zwei unterschiedliche Deponieklassen genannt.

Mit Frischmüll-Analysenergebnissen, von denen nur wenige vorliegen, sind Altmüll-Analysen nur bedingt vergleichbar. Häufig werden Analysenergebnisse von Altmüll deshalb hilfsweise mit Grenzwerten für Böden oder Klärschlamm verglichen (LfU 1989).

Tab. 7.1 zeigt Schwermetall-Analysenergebnisse von Abfallproben der drei Modellstandorte im Vergleich zu frischem Hausmüll und Kompost. Der Vergleich von Durchschnitts- und Medianwerten, die für einige Parameter am Modellstandort Mannheim berechnet wurden, zeigt, daß die chemische Zusammensetzung der Abfallproben nicht normal verteilt ist, weil einige extrem hohe Werte den Durchschnittswert sehr stark beeinflussen.

Schwermetall- konzentration		Proben- anzahl	Konzentrationen in mg/kg			
			Min.	Max.	Mittelw.	Median
As	Mannheim	86	0,7	82	10	
	Osterhofen	61	0,3	55		
	Herten	30	2,0	21	9,6	
	Hausmüll ₁		1,4	9		
	Kompost ₂					
Pb	Mannheim	86	3	3523	353	220
	Osterhofen	61	6	24520		
	Herten	30	20	6150	547	
	Hausmüll ₁		110	920		
	Kompost ₂		150	706		
Cd	Mannheim	86	0	54	2	0,8
	Osterhofen	61	0,13	28,5		
	Herten	30	0,25	67,5	6,3	
	Hausmüll ₁		1,7	50		
	Kompost ₂		3,4	6,3		
Cr	Mannheim	86	3,1	2742	75	
	Osterhofen	61	20,3	2270		
	Herten	30	25	613	109	
	Hausmüll ₁		5	2810		
	Kompost ₂		33	118		
Cu	Mannheim	86	2,0	3681	393	154
	Osterhofen	61	12,8	1810		
	Herten	30	15	3530	244	
	Hausmüll ₁		120	532		
	Kompost ₂		33	266		
Ni	Mannheim	86	2,8	1605	57	33
	Osterhofen	61	13,5	116		
	Herten	30	22,5	553	73	
	Hausmüll ₁		75	265		
	Kompost ₂		55	91		
Hg	Mannheim	29	0,1	6,5	1,6	1,2
	Osterhofen	61	0,1	344		
	Herten	30	0,1	32,1	2,5	
	Hausmüll ₁		0,4	14		
	Kompost ₂		2,0	4,5		
Zn	Mannheim	86	9,6	6822	736	497
	Osterhofen	61	49,3	6720		
	Herten	30	52,5	3680	947	
	Hausmüll ₁		300	1000		
	Kompost ₂		166	1000		

Tab. 7.1: Schwermetall-Konzentrationen in Abfall. 1 Fuchs 1985; Spillmann 1986; Tabasaran 1988. 2 Helm et al. 1985

Am Modellstandort Mannheim wurden im Rahmen einer Altmüll-Siebung (vgl. Abb. 7.5) auch chemische Analysen dreier Siebfractionen durchgeführt [Arge-Ing. R+P/TAUW 1990]. Die chemische Analytik der drei Siebfractionen (<8/10 mm, 8/10 bis 20 mm, 20 bis 40 mm) ergab keine signifikanten Unterschiede. Dies bedeutet, daß mit der chemischen Analytik der Feinfraktion, die am Modellstandort Mannheim im Durchschnitt 55 Gew.-% des gesamten Mülls ausmacht, auch die chemische Zusammensetzung gröberer Fraktionen erfaßt werden kann. Am Modellstandort Mannheim wären dies immerhin etwa 80 Gew.-% des gesamten Mülls.

Schadstoff	Schadstoffgehalte dreier Altmüll-Siebfractionen; Mittelwerte aus jeweils 10 Proben [mg/kg]			Vergleichswerte für Schadstoffgehalte [mg/kg]			
	Fein	Mittel	Grob	Hausmüll [₁]		Kompost [₂]	
				Min.	Max.	Min.	Max.
As	15	19	24	1,4	9		
Pb	419	546	1264	110	920	150	706
Cd	1,8	1,3	2,3	1,7	50	3,4	6,3
Cr	54	108	268	5	2810	33	118
Cu	601	186	744	120	532	33	266
Ni	47	48	73	75	265	55	91
Hg	1,5	1,0	1,1	0,4	14	2,0	4,5
Zn	312	507	1196	300	1000	166	1000
Σ PAK	29	54	33	{ ₃ } 1	{ ₃ } 3		
Σ Chlorbenzole	0,0054	0,0084	0,0136				
<p>{₁} Quellen: Fuchs 1985; Spillmann 1986; Tabasaran 1983 {₂} Quelle: Helm et al. 1985 {₃} Summe wurde nur aus 6 Einzelparametern bestimmt</p>							

Tab. 7.2: Schadstoffgehalte in Altmüll vom Modellstandort Mannheim, in frischem Hausmüll und in Kompost [nach Arge-Ing. R+P/TAUW 1990]

Über die chemische Zusammensetzung der Grobfraktion (Korngrößen > 40 mm) liegen vom Modellstandort Mannheim keine Daten vor. Zum größten Teil handelt es sich dabei aber um Inertmaterialien wie Steine, Glas, Keramik und Metall, die von der oberflächigen Verschmutzung abgesehen, weitgehend ungefährlich sein dürften. In saugfähigen Fraktionen wie Papier,

Textilien und in geringerem Maße auch Holz dürften gelöste Schadstoffe hingegen eher angereichert sein. Allerdings machen diese Fraktionen nur etwa 3 Gew.-% des gesamten Mülls aus.

Die Abfallproben von den Modellstandorten wurden sowohl im Aufschlußverfahren (Königswasseraufschluß nach DIN 38414, Teil 7) als auch im Elutionsverfahren (z.B. wässriges Eluat nach DIN 38414, Teil 4) für die chemische Analytik aufbereitet. Für die Bewertung der Stoffgefährlichkeit für die Schutzgüter Grundwasser und Oberflächengewässer ist jedoch das Elutionsverhalten entscheidend. Deshalb sollte dieses Verfahren prinzipiell vorgezogen werden, wenn Abfallproben analysiert werden sollen.

4.5 Historische Erkundung

In Baden-Württemberg werden die im Rahmen einer flächendeckenden historischen Erhebung als gefahrverdächtig eingestuften Flächen zunächst einzeln historisch erkundet [UM BW 1988a]. Dabei können u.U. wichtige Hinweise auf die Stoffgefährlichkeit der Altablagerung gewonnen werden. Vereinzelt wurde sogar über Art und Menge der abgelagerten Stoffe Buch geführt. Derartige Informationen sind nachträglich durch eine technische Erkundung, auch wenn diese sehr aufwendig ist, nicht wiederzubeschaffen.

Beim Modellstandort Mannheim ergab die historische Erkundung Hinweise auf Haus- und Gewerbemüll, Sperrmüll, Bauschutt, Erdaushub, Klärschlamm und nicht näher spezifizierte Abfälle aus industrieller Produktion [Röver + Partner 1987]. Außer der Feststellung, daß der Hauptbestandteil Hausmüll war, wurden über die Mengenanteile der verschiedenen Müllsorten keine weiteren Daten gefunden. Die spätere technische Erkundung ergab keine Hinweise auf ungewöhnliche Industriemüllanteile.

Der Modellstandort Osterhofen wurde - so ergab die historische Erkundung - früher als reine Hausmülldeponie betrieben, auf der untergeordnet auch hausmüllähnlicher Industriemüll (Verpackungsmaterial, Kehricht, Papier) und Sperrmüll abgelagert wurden [Ingenieurgemeinschaft Obermeyer/Lurgi 1987].

Im Rahmen der historischen Erkundung des Modellstandortes Herten, die relativ ergiebig war, wurde festgestellt, daß auf dieser ehemaligen Deponie früher vorwiegend zerkleinerter Hausmüll und hausmüllähnlicher Abfall, sowie Sperrmüll (15%), Bauschutt (8%) und eine unbekannte Menge Industriemüll abgelagert wurde [Schlegel & Partner GmbH 1987].

Die Erfahrungen an diesen drei Modellstandorten zeigen, daß durch die historische Erkundung bereits detaillierte Informationen über Art und Menge der abgelagerten Stoffe gewonnen werden können (Beispiel Herten). Im Vergleich dazu brachte die nachfolgende technische Erkundung, zumindest in bezug auf die Stoffgefährlichkeit, nur relativ wenig Zugewinn an bewertungsrelevanten Sachverhalten.

4.6 Gas-Messungen

Deponiegas in ehemaligen Deponien besteht vorwiegend aus den Hauptkomponenten Methan und Kohlendioxid sowie je nach Alter, Abbauzustand und Zusammensetzung des Müllkörpers auch aus Stickstoff und Sauerstoff (vgl. LfU BW Hrsg. 1992). Der Methananteil des Deponiegases stellt insofern eine besondere Gefahr dar, als daß er in Konzentrationen von 5 bis 15 Vol.-% mit Luft ein explosives Gasmisch bildet. In höheren Konzentrationen ist Methan brennbar. Eine Gefährdung von Schutzgütern entsteht zusätzlich durch die Verdrängung von Luft und die damit verbundene Erstickungsgefahr. Außerdem können Pflanzen durch Deponiegas geschädigt werden.

Die Spurenkomponenten des Deponiegases können eine zusätzliche Gefährdung darstellen, wenn sie toxisch sind. Als Beispiel sind hier Benzol, Vinylchlorid, die aliphatischen Chlorkohlenwasserstoffe (CKW) oder H₂S zu nennen. Manche dieser Spurenkomponenten können ihre toxische Wirkung auch dadurch entfalten, daß sie Kunststoffleitungen durchdringen und darin befindliches Trinkwasser kontaminieren [vgl. Arge-Ing. R+P/TAUW 1991].

Bei der Bewertung der Stoffgefährlichkeit für das Schutzgut Luft sind der Methan- und CO₂-Anteil am wichtigsten. Die Spurenkomponenten spielen nur eine untergeordnete Rolle.

Die Stoffgefährlichkeit für das Schutzgut Luft kann nur durch direkte Messung der Haupt- und Spurenkomponenten des Deponiegases festgestellt werden. Aus diesen Messungen können aber auch Informationen über die Stoffgefährlichkeit für das Schutzgut Grundwasser abgeleitet werden. So stellen insbesondere BTX und die aliphatischen Chlorkohlenwasserstoffe (CKW) auch eine Gefährdung für das Schutzgut Grundwasser dar. Der Methan- und Kohlendioxidanteil liefert wichtige Informationen über den Restanteil an organischem Material. Daraus kann auf den Verrotungsgrad des Mülls und indirekt auf das Potential an noch freisetzbaren Schadstoffen geschlossen werden.

4.7 Sickerwasser

Sickerwasser aus einer Hausmülldeponie ist mehr oder weniger stark mit Deponieinhaltsstoffen belastet. Menge und Zusammensetzung des Sickerwassers sind deshalb ein direktes Maß für den Schadstoffaustrag und damit indirekt ein Maß für die Stoffgefährlichkeit der Deponie in bezug auf das Schutzgut Grundwasser. Deshalb müßte das primäre Erkundungsziel zur Ermittlung der Stoffgefährlichkeit sein, Menge und chemische Zusammensetzung des Sickerwassers zu ermitteln. In der Praxis kann Sickerwasser jedoch nur repräsentativ beprobt werden, wenn eine gut funktionierende Sickerwasserfassung vorhanden ist, was bei Altablagerungen in der Regel nicht der Fall ist.

Sickerwasser bewegt sich auf Grund der Schwerkraft nach unten bis es entweder auf einen undurchlässigen Horizont trifft oder ins Grundwasser gelangt. Ohne mechanischen Eingriff in den Deponiekörper kann es deshalb nur beprobt werden, wenn künstliche oder natürliche Barrieren dafür sorgen, daß es seitlich aus dem Deponiekörper austritt.

Am Modellstandort Mannheim wurde bei einer Bohrung im Randbereich des Deponiekörpers Sickerwasser angetroffen und beprobt [Arge-Ing. R+P/TAUW 1990]. Neben den in Tab. 7.3

aufgelisteten Parametern waren auch die PAK-Gehalte mit einer Summe von annähernd 1 mg/l und die Chlorbenzol-Gehalte mit einer Summe von 25,8 mg/l auffällig. Da diese Stoffe im Grundwasser jedoch nur punktuell nachgewiesen wurden, konnte dieses Sickerwasser nicht für die gesamte Deponie repräsentativ sein.

Am Modellstandort Osterhofen wird zumindest ein Teil des anfallenden Sickerwassers über eine Drainage gefaßt und in einen Sammelschacht geleitet, von wo es anschließend entsorgt wird [TGU GmbH 1988]. Die durchschnittliche chemische Zusammensetzung ist in Tab. 7.3 dargestellt.

Der Vergleich von Sickerwasseranalysen der Modellstandorte Mannheim und Osterhofen mit Sickerwasseranalysen von modernen Hausmüll- und Sondermülldeponien (Tab. 7.3) zeigt, daß die Schadstoffgehalte im Sickerwasser der beiden Modellstandorte relativ niedrig sind. Allerdings zeigen die Minimalwerte des Sickerwassers von Sondermülldeponien, daß auch dort die Analysenwerte relativ niedrig sein können. Der Rückschluß von Sickerwasseranalysen auf die Art der abgelagerten Stoffe und eventuell deren Wassergefährdungsklasse ist deshalb nur bedingt möglich.

Parameter	Einheit	Sickerwasser von					
		Modellstandort		Hausmülldeponien [2]		Sonderabfalldeponien [3]	
		Mannheim [1]	Osterhofen [2]	Min.	Max.	Min.	Max.
elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	4160	1373	2000	20000	1700	165800
Säurekapazität	mmol/l	56,1	16,9				
Abdampfrückstand	mg/l	5080	748	300	50000	1050	557300
Glührückstand	mg/l	3610	598	800	20000	980	385200
Natrium	mg/l	617	32,4	50	4000	30	110000
Kalium	mg/l	350	30	10	2500	15	84000
Calcium	mg/l	37,8	206	20	2500	7	1700
Magnesium	mg/l	20	23,6	15	1200	5,7	850
Nickel	µg/l	63	< 50	20	2000	180	7800
Zink	µg/l	90	< 50	10	10000	0	1800000
Quecksilber	µg/l	26	< 1	0,2	50	0	356
Chlorid	mg/l	637	24,6	100	5000	100	438000
Ges. Phosphat	mg/l	1,81	0,04			0	980
Sulfat	mg/l	61,4	5,8	50	2500	140	49920
Hydrogencarbonat	mg/l	3420				299	693
Ammonium	mg/l	193	35,7	6	2000	0	15200
Phenole nach Extr.	mg/l	0,59					
Kohlenwasserstoffe	mg/l	0,8	0,09			0,4	1230
AOX	mg/l	0,3	0,09				
DOC	mg/l	180	17,2				

[1]: Arge-Ing. R+P/TAUW 1990;
 [2]: TGU GmbH 1990 (Durchschnittswert von 17 Analysen);
 [3]: MELUF NRW 1985.

Tab. 7.3: Chemische Zusammensetzung von Sickerwasserproben von den Modellstandorten Mannheim und Osterhofen im Vergleich zu Sickerwasser von anderen Hausmüll- und Sondermülldeponien.

4.8 Grundwasser / Oberflächengewässer

Aus der Belastung der Schutzgüter Grundwasser oder Oberflächengewässer kann unter Berücksichtigung der Vorbelastung der Schadstoffeintrag durch den Deponiekörper ermittelt werden. Bedingt kann daraus wiederum auf das Schadstoffinventar bzw. die Stoffgefährlichkeit geschlossen werden.

Verschiedene Schadstoffparameter im Grundwasser oder in Oberflächengewässern sind typisch für bestimmte Müllsorten. So sind zum Beispiel der organische Kohlenstoff (TOC oder DCC) und Bor typische Indikatoren für abgelagerten Hausmüll (Perborate als Bleichmittel in Waschpulver), Sulfat ist ein typischer Bauschuttanzeiger und ein erhöhter AOX-Gehalt gilt als Hinweis auf Sondermüllanteile.

Das Grundwasser im Bereich der drei untersuchten Modellstandorte ist in unterschiedlichem Maße durch Deponie-Schadstoffe belastet (Tab. 7.4). Oberflächengewässer sind bei keinem der 3 untersuchten Modellstandorte gefährdet.

Parameter	Einheit	Grundwasserbelastung im Bereich der drei Modellstandorte								
		Mannheim				Osterhofen			Herten	
		unter Deponie		Abstrom		Hintergrund	Abstrom	Hintergrund	Abstrom	Hintergrund
		Max. [1]	Durchschn. [2]	Max. [3]	Durchschn. [4]					
El.Leitf.	us/cm	2780	2354	2360	1650	<800	1016	<750	4000	800
Ges-Härte							5,5	< 4	36,2	24,4
Natrium	mg/l	462	321	372	211	< 24	23	7,5	290	9,8
Kalium	mg/l	168	103	61	31	< 3,2	16	1,5	275	1,2
Magnesium	mg/l	107	72	122	72	< 50	21	20	64,2	23,7
Chlorid	mg/l	465	339	288	214	<100	30	20	387	19,9
Sulfat	mg/l	175	83	990	499	<250	20	18	48	70,3
Nitrat	mg/l	< 1	< 1	24,5	6,5	< 1	0,8	> 20	10,9	49,1
Ammonium	mg/l	118	65	16,3	5,4	< 0,5	18,8	< 0,1	189	<0,01
AOX	mg/l	0,13	0,09	0,06	0,04	< 0,01	0,02	< 0,01	0,3	<0,01
DOC	mg/l	323	189	239	68,5	2,9	6,3	2	105	2,8
Benzol	µg/l	78	32,8	10	7,5	< 1	< 10	< 10		

[1]: Maximalwert von 5 Grundwasser-Meßstellen im Deponiekörper [Arge-Ing. R+P/TAUW 1991]
[2]: Durchschnittswert von 5 Grundwasser-Meßstellen im Deponiekörper [Arge-Ing. R+P/TAUW 1991]
[3]: Maximalwert von 7 Grundwasser-Meßstellen im unmittelbaren Abstrombereich des Deponiekörpers [Arge-Ing. R+P/TAUW 1991]
[4]: Durchschnittswert von 7 Grundwasser-Meßstellen im unmittelbaren Abstrombereich des Deponiekörpers [Arge-Ing. R+P/TAUW 1991]
[5]: [Arge-Ing. R+P/TAUW 1991]
[6]: Maximalwert als Mittelwert aus zwei Beprobungen im unmittelbaren Abstrombereich der Deponie [TGU GmbH 1990]
[7]: [TGU GmbH 1990]
[8]: [Schlegel & Partner 1988]
[9]: [Schlegel & Partner 1988]

Tab. 7.4: Vergleich der Grundwasserbelastung im Bereich der drei untersuchten Modellstandorte an ausgewählten Analyseparametern.

5. Vergleichende Beurteilung der Erkundungsmethoden

Eine vergleichende Beurteilung der verschiedenen Methoden zur Erkundung der Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien ist stark vereinfacht in Tab. 7.5 dargestellt.

Obwohl einige bewertungsrelevante Sachverhalte zur Stoffgefährlichkeit am ehesten durch mechanische Eingriffe in den Deponiekörper erkundet werden können, zeigt sich, daß die Erkundung auch mit indirekten Methoden möglich ist. So lassen sich Informationen zu abgelagerten Abfallarten, zum Lagerungszustand, zu einer etwaigen Behandlung vor der Ablagerung oder zum Einbau und zur Lagerung unter Umständen schon bei der historischen Erkundung

ermitteln. Verschiedene Informationen zu den abgelagerten Stoffen, wie zum Beispiel Aufzeichnungen zu den angelieferten Müllsorten, können sogar ausschließlich durch historische Erkundung gewonnen werden.

Die wichtigste indirekte Erkundungsmethode ist neben der historischen Erkundung die Erkundung des Grundwassers. Neben dem Schadstoffeintrag, Transport und Wirkung der Schadstoffe kann daraus auch indirekt auf den Schadstoffaustrag und letztendlich auf die Stoffgefährlichkeit geschlossen werden. Der große Vorteil dieser Erkundungsmethode liegt darin, daß die Gesamtheit der eingetragenen Schadstoffe erfaßt werden kann. So kann beispielsweise eine punktförmige Schadstoffquelle in einer Deponie durch direkte Erkundungsmethoden nicht sicher erfaßt werden, durch eine Grundwasser-Beprobung im Abstrombereich kann sie jedoch nachgewiesen werden, falls sie zu einem signifikanten Schadstoffeintrag ins Grundwasser beiträgt und falls die hydrogeologischen Verhältnisse den Nachweis zulassen.

Primäres Erkundungsziel für die Bewertung von Schadstoffaustrag und Stoffgefährlichkeit für das Schutzgut Grundwasser ist Menge und Qualität von Sickerwasser. Diese Daten sind durch technische Erkundung jedoch nur in Ausnahmefälle zu gewinnen (vgl. Kapitel 4.7).

LEGENDE		bewertungsrelevante Sachverhalte	Stoffe und ihre Anteile (Wasser-gefährdungsklasse)	öko- und human-toxische, chemisch-physikalische Eigenschaften	Abfallarten (nach Schlüssel)	Lagerungszustand und Abschirmung	Behandlung vor Ablagerung	Einbau und Lagerung	Ablagerungszeiten	Analyseergebnisse	
											■ möglich
Erkundungsmethoden											
indirekte Erkundung	Historische Erkundung		▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	-
	Technische Erkundung										
	Grundwasser		▨	▨	▨	▨	-	-	-	-	▨
	Sickerwasser		▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	-	■
	Deponiegas-Hauptkomponenten		▨	-	▨	-	▨	▨	▨	▨	-
	Deponiegas-Spurenkomponenten		▨	▨	▨	-	▨	-	-	-	▨
direkte Erkundung	Geophysik		-	-	-	▨	▨	▨	-	-	
	Rammkernsondierungen	inkl. organoleptische Ansprache	▨	-	▨	■	■	■	▨	-	
	Greifbohrungen		▨	-	■	■	■	■	▨	-	
	Schürfe		▨	-	■	■	■	■	▨	-	
	Feldmethoden (z.B. PID, GC/MS)		-	-	-	-	▨	-	-	-	▨
chemische Analytik von Abfall		▨	▨	▨	-	▨	-	-	-	▨	

Tab. 7.5: Beurteilung der verschiedenen Methoden zur Erkundung bewertungsrelevanter Sachverhalte zur Stoffgefährlichkeit.

Deponiegasmessungen (Haupt- und Spurenkomponenten) sind für die Beurteilung der Stoffgefährlichkeit für das Schutzgut Luft unerlässlich. Besondere Bedeutung kommt diesen Messungen zu, wenn sich die Deponie in unmittelbarer Nähe zu benutzten Gebäuden oder Industrieanlagen befindet.

Geophysikalische Methoden und Methoden zur Vor-Ort-Detektion von Schadstoffen können bisher nur wenig zur Erkundung der Stoffgefährlichkeit beitragen. Der Einsatz mancher Vor-Ort-Detektoren, beispielsweise Photoionisationsdetektoren oder Ex-Ox-Warngeräte, ist jedoch aus Arbeitsschutzgründen durchaus angebracht.

Sondierungen in Altablagerungen haben stets einen Stichprobencharakter. Auch mit einem sehr engen Raster können engräumige Schadstoffherde mit den derzeit zur Verfügung stehenden Methoden nicht sicher erfaßt werden. Es ist deshalb im Einzelfall abzuwägen, ob die Qualität der durch einen mechanischen Eingriff in den Deponiekörper zu gewinnenden Daten, den hohen Aufwand beim Arbeitsschutz (vgl. Burmeier 1989) und die Möglichkeit einer zusätzlichen Schadstoffmobilisierung rechtfertigt.

Für die Bewertung der Stoffgefährlichkeit einer ganzen Deponie sind Analysenergebnisse von Abfallproben wegen mangelnder Repräsentativität wenig aussagekräftig. Deshalb kann in der Regel auf die chemisch-physikalische Untersuchung von Abfallproben verzichtet werden. Lediglich um eventuellen Hinweisen auf ungewöhnliche Schadstoffbelastungen nachzugehen - beispielsweise aus der historischen Erkundung - sind entsprechende Untersuchungen angezeigt. Eine Besonderheit stellen auch Altablagerungen dar, bei denen wegen komplizierter hydrogeologischer Verhältnisse - beispielsweise in Karstgebieten - Sickerwasser oder Grundwasser nur mit sehr großem Aufwand erkundet werden kann. Um in einem derartigen Fall überhaupt eine Bewertung der Stoffgefährlichkeit durchführen zu können, kann die chemisch-physikalische Untersuchung von Abfallproben durchaus angebracht sein.

6. Empfehlung

Für die routinemäßige Erkundung der Stoffgefährlichkeit und des Schadstoffaustrages bei ehemaligen Hausmülldeponien wird empfohlen folgendermaßen vorzugehen:

- Durchführung einer fundierten historischen Erkundung. Fortschreibung der historischen Erkundung parallel zur technischen Erkundung.
- Gezielte Erkundung und Beprobung bei Hinweisen auf vorhandene Sickerwasserhorizonte oder bei sonstigen Möglichkeiten Sickerwasser zu gewinnen. Chemisch-physikalische Untersuchung von Sickerwasserproben mit einer umfangreichen Parameterliste.
- Ausführliche Erkundung des Grundwasserpfad. Zur Abschätzung von Sickerwassermenge und -belastung ist die Betrachtung des gesamten Wasserhaushaltes von Bedeutung.
- Erkundung des Gaspfad. [s. Leitfaden Deponiegas, LfU BW Hrsg. 1992].
- Durchführung von Rammkernsondierungen im Deponiekörper nur in Ausnahmefällen zur Erkundung spezieller Fragestellungen zur Stoffgefährlichkeit. Für andere Fragestellungen, beispielsweise zur Abgrenzung des Deponiekörpers zum Nebengestein, können Sondierungen jedoch erforderlich sein.

- Falls natürliche oder künstliche Aufschlüsse vorhanden sind, detaillierte organoleptische Beschreibung der Deponieinhaltsstoffe.
- Entnahme von Rückstellproben aus Sondierungen, Bohrungen oder Schürfen, falls diese für spezielle Fragestellungen erforderlich sind. Es wird empfohlen, nicht nur die Feinfraktion, sondern das gesamte geförderte Bohrgut anteilmäßig als Mischprobe zu beproben. Unter Umständen sind hierfür etwas größere Einzelproben erforderlich (Probenvolumen: 1 -2 l). Teilweise ist dafür auch erforderlich, sehr grobe Fraktionen zu zerkleinern, um sie anteilig beproben zu können. Die Proben sollten bis zum Abschluß der Erkundungsarbeiten in gasdichten Behältern und lichtgeschützt aufbewahrt werden, um sie bei Bedarf (z.B. bei konkreten Hinweisen auf ungewöhnliche Schadstoffbelastungen) chemisch-physikalisch untersuchen zu können. Falls nach Abschluß der Erkundungsarbeiten ein Sanierungsbedarf festgestellt wird, können an diesen Proben Untersuchungen für die Sanierungsplanung durchgeführt werden.
- Routinemäßige chemisch-physikalische Untersuchungen der Abfallproben nur bei konkreten Hinweisen auf ungewöhnliche Schadstoffbelastungen, oder falls weder Schadstoffaustrag noch Schadstoffeintrag mit angemessenem Aufwand erkundet werden können. Chemisch-physikalische Analysen sollten bevorzugt an Eluaten an der Gesamtprobe (einschließlich der Grobfraktion) durchgeführt werden.

7. Literatur

Arge-Ing. Röver + Partner / TAUW Infra Consult (1988-1990):

Berichte zur technischen Erkundung des Modellstandortes Mannheim, Friesenheimer Insel (unveröff.).

Arge-Ing. Röver + Partner / TAUW Infra Consult (1991a):

Kosten-Wirksamkeits-Abschätzung von Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen am Modellstandort Mannheim, Friesenheimer Insel (unveröff.).

Arge-Ing. Röver + Partner / TAUW Infra Consult (1991b):

Modellstandort Mannheim, Friesenheimer Insel - Geostatistische Auswertung der chemischen Zusammensetzung des Müllkörpers (unveröff.).

Burmeier, H. (1989):

Bohrarbeiten in kontaminierten Bereichen - Risiken und Schutzmaßnahmen. - bbr 8/89, S. 418-426.

Daniel B. et al (1990):

Altlasten-Analytik: Parameterliste zur branchenspezifischen Auswahl von Analyseparametern für Altstandorte. in: „Altlastenanalytik“, 132 5, ecomed GmbH Landsberg/Lech.

Friesel, P. et al (1988):

Untersuchung von Bodenproben aus kontaminierten Flächen. in: Franzius et al. [Hrsg.]: - Handbuch der Altlastensanierung, Kapitel 3.2.2.5. R. v. Dekker's Verlag, G.Schenck GmbH, Heidelberg.

Fuchs, D. (1985):

Zusammensetzung der Haus- und Gewerbeabfälle. in: Hösel, Schenkel & Schnurer (Hrsg.): Müll-Handbuch, Kennzahl 1745, Erich Schmidt Verlag, Köln.

Helm, Roeles & Fohrmann-Ritter (1985):

Der Schatz in der Mülltonne; Kölner Volksblatt Verlag, Köln.

Ingenieur-Gemeinschaft Obermeyer/Lurgi (1987):

Historische Erkundung Osterhofen (unveröff.).

LAGA-Richtlinie PN 2/78:

Richtlinien für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen - Entnahme und Vorbereitung von Proben aus festen, schlammigen und flüssigen Abfällen (Stand 12/83). - Berlin: E. Schmidt.

LfU BW Hrsg. (1989):

Grenzwerte und Richtwert für die Umweltmedien Luft, Wasser, Boden 1989. - Umweltschutz in Baden-Württemberg.

LfU BW (1990):

Modellstandortbericht II, Dez. 1990 (unveröff.)

LfU BW (1991):

Verfahrensempfehlungen zur Probenahme von Boden, Abfall, Grundwasser, Sickerwasser für die chemisch-physikalische Untersuchung bei der Altlastenerkundung

LfU BW Hrsg. (1992):

Der Deponiegashaushalt in Altablagerungen - Vorgehensweise und Technik zu seiner Erkundung und Bewertung - (Leitfaden Deponiegas). Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 10.

MELUF NRW (1985):

Hinweise zur Ermittlung von Altlasten - Erfassung, Erstbewertung, Untersuchung und Beurteilung von Altablagerungen und gefahrverdächtigen Altstandorten.

Neifer, H. (1990):

Modellstandortkonzeption Baden-Württemberg, Ergebnisse für die Praxis der Altlastenerkundung. - In: Kongreßband „Altlastensanierung 90“, KfK/TNO (10.-14.12.1990) in Karlsruhe.

Röver + Partner (1987):

Bericht zur Historischen Erkundung des Modellstandortes Mannheim, Friesenheimer Insel (unveröff.)

Röver + Partner (1992):

Die Erkundung der Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmüll- deponien am Beispiel dreier Modellstandorte in Baden-Württemberg. - Studie im Auftrag der LfU BW (unveröff.).

Schlegel & Partner GmbH (1987 bis 1989):

Berichte zur Historischen und Technischen Erkundung des Modellstandortes Herten (unveröff.).

Spillmann, P. (1986):

Wasser- und Stoffhaushalt von Abfalldeponien und deren Wirkungen auf Gewässer. VCH-Verl. Weinheim.

SRU (1990):

Sondergutachten „Altlasten“ des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen. - Drucksache 11/6191 des Deutschen Bundestages. Verlag Dr. Hans Heger, Bonn.

Tabasaran, O. (1983):

Abfallkompostierung. in: Ministerium für Soziales, Gesundheit und Umwelt, Rheinland Pfalz [Hrsg.]: Abfallbeseitigung in Rheinland Pfalz, Symposium am 6.12.82 in Speyer, S.21-33; Mainz.

TGU GmbH (1988 bis 1990):

Berichte zur technischen Erkundung des Modellstandortes Osterhofen (unveröff.).

UM BW (Ministerium für Umwelt Baden Württemberg) (Hrsg.) (1988a):

Altlasten-Handbuch; Teil I Altlasten-Bewertung. 2.Aufl. - Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz. - Wasserwirtschaftsverwaltung, Heft 18.

UM BW (Ministerium für Umwelt Baden Württemberg) (Hrsg.) (1988b):

Altlasten-Handbuch; Teil II Untersuchungsgrundlagen; 2.Aufl. - Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz. - Wasserwirtschaftsverwaltung, Heft 19.

von der Trenck, K.T. & Fuhrmann, P. (1990):

Standardverfahren zur Ermittlung von Sanierungszielen; in: Arendt F. et al. Hrsg. (1990): Altlastensanierung ,90; 3. KfK/TNO Kongreß über Altlastensanierung; Karlsruhe 10.-14.12.1990, pp. 279-304. Kluwer Academic Publishers.

Erkundung des Deponiegashaushaltes von Altablagerungen

Prof. G. Rettenberger, Ingenieurgruppe RUK, Stuttgart, Trier

1. Einleitung

Bei Altablagerungen spielen mögliche Umweltgefährdungen durch Deponiegas eine wesentliche Rolle. Die Erkundung des Deponiegashaushaltes ist daher wesentliche Voraussetzung zu einer Gefährdungsabschätzung. Erstmals wird ein Verfahren, die sogenannte Typisierung, vorgestellt, das es ermöglicht, bereits auf der Basis einfacher, deponiespezifischer Daten aus der historischen Erkundung eine solche Abschätzung vorzunehmen. Auf diesen Befunden aufbauende systematische Untersuchungen ermöglichen eine weitere, rasche und wirtschaftliche Bewertung der Verhältnisse an der Altablagerung. Mit den vorgestellten Verfahren können die vielfach üblichen Techniken und Vorgehensweisen zur Untersuchung von Altablagerungen, und dies zeigten auch die Erfahrungen an den Modellstandorten, gezielt ausgewählt und eingesetzt werden. Damit wird es möglich, die Stoffgefährlichkeit, die von der Altablagerung durch Deponiegas ausgeht, gesichert zu ermitteln und interpretierbare Erkenntnisse über den Gashaushalt zu gewinnen.

Das vorgestellte Verfahren wird hiermit erstmalig der Fachöffentlichkeit vorgestellt. Es ist bislang in der Literatur noch an keiner Stelle publiziert worden. Die Erarbeitung dieser innovativen Methode war sicherlich nicht immer ganz einfach, und auch nicht immer ganz einfach zu akzeptieren. Daß die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg diesen Weg mitgegangen ist, zeugt von ihrer Bereitschaft, Neuentwicklungen mitzutragen. Der Autor möchte sich daher bei den Mitarbeitern der Landesanstalt für deren außerordentlich kooperative und duldsame Bereitschaft zur Zusammenarbeit und zum Mitgehen dieses Weges, dessen Ende oft nicht erkennbar war, bedanken.

2. Erläuterungen zum Gashaushalt von Deponien

Der Gashaushalt von Deponien wird bereits seit längerer Zeit intensiv in der Literatur besprochen. Vielfache Erkenntnisse zu diesem Sachverhalt sind erarbeitet worden. Hierauf aufbauend sind Methoden zur Prognose der Biogasproduktion im erarbeitet worden. Maßnahmen zur Beherrschung der Deponiegasemissionen durch Entgasungsmaßnahmen sowie Technologien zur Verwertung des Deponiegases sind erarbeitet worden. Die offene Frage, die bislang weitestgehend ungeklärt ist, ist die Frage nach dem Langzeitverlauf der Biogasproduktion und den damit zusammenhängenden Gefährdungen. Eine systematische Betrachtung dieses Langzeitverlaufes zeigt, daß sich dieses Deponiegasgeschehen in abgrenzbare Phasen untergliedern läßt, wobei diese Phasen mit einer Abnahme der von dem Deponiegasgeschehen ausgehenden Gefährdungen verknüpft sind.

Welche Gefährdungen gehen nun von Deponiegas aus?

Durch die Biogasproduktion in einem Deponiekörper sind potentielle Gefahren durch Explosion und Brand, sowie durch Anreicherung von giftigen Gasen bzw. Verdrängen von Luftsauerstoff gegeben, wobei sich diese Gefahren sowohl auf den Deponiekörper als auch den umgebenden Boden und die umgebende Atmosphäre erstrecken kann. Desweiteren können Beeinträchtigungen an der Bepflanzung bzw. der Rekultivierung, sowie durch mögliche Geruchsemissionen auftreten. Sofern Deponien bebaut sind oder sich Bauten in der Nachbarschaft befinden, können solche Gefahren selbstverständlich auch in den Gebäuden auftreten.

Wie sind nun solche Gefahren im Zusammenhang mit der abnehmenden Biogasproduktion zu sehen?

Betrachtet man die Biogasproduktion, so ist zunächst festzustellen, daß diese im Laufe der Jahre abnimmt bzw. ausklingt. Abb. 8.1 zeigt eine solche ausklingende Biogasproduktion. Dabei verändert sich mit der ausklingenden Biogasproduktion auch der Zustand in der Deponie bezüglich der Gasphase. So lassen sich aufgrund vielfacher Beobachtungen an Deponien fünf Phasen unterschieden. Die dabei auftretenden Merkmale sind systematisch in der Abb. 8.2 zusammengestellt.

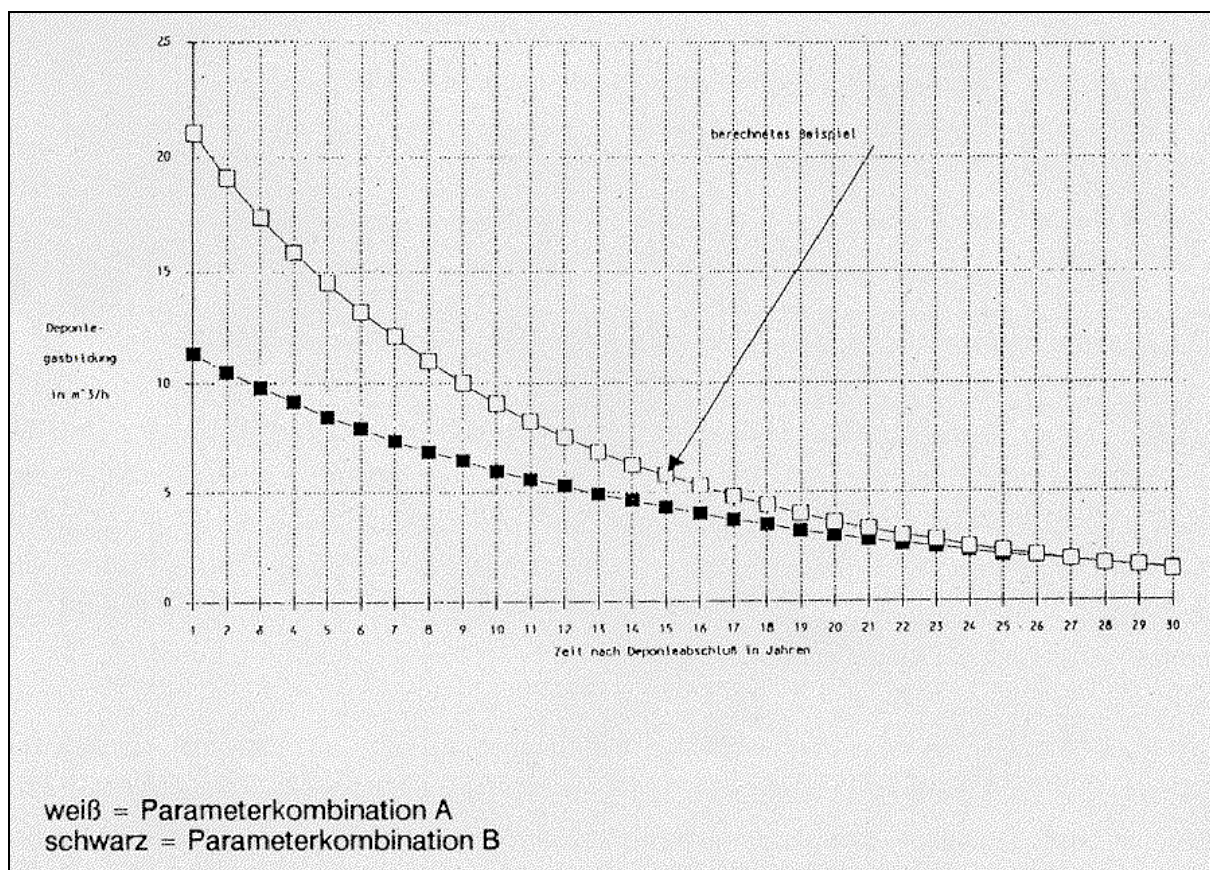


Abb. 8.1: Typische, ausklingende Deponiegasproduktion

Weiß = Parameterkombination A

Schwarz = Parameterkombination B

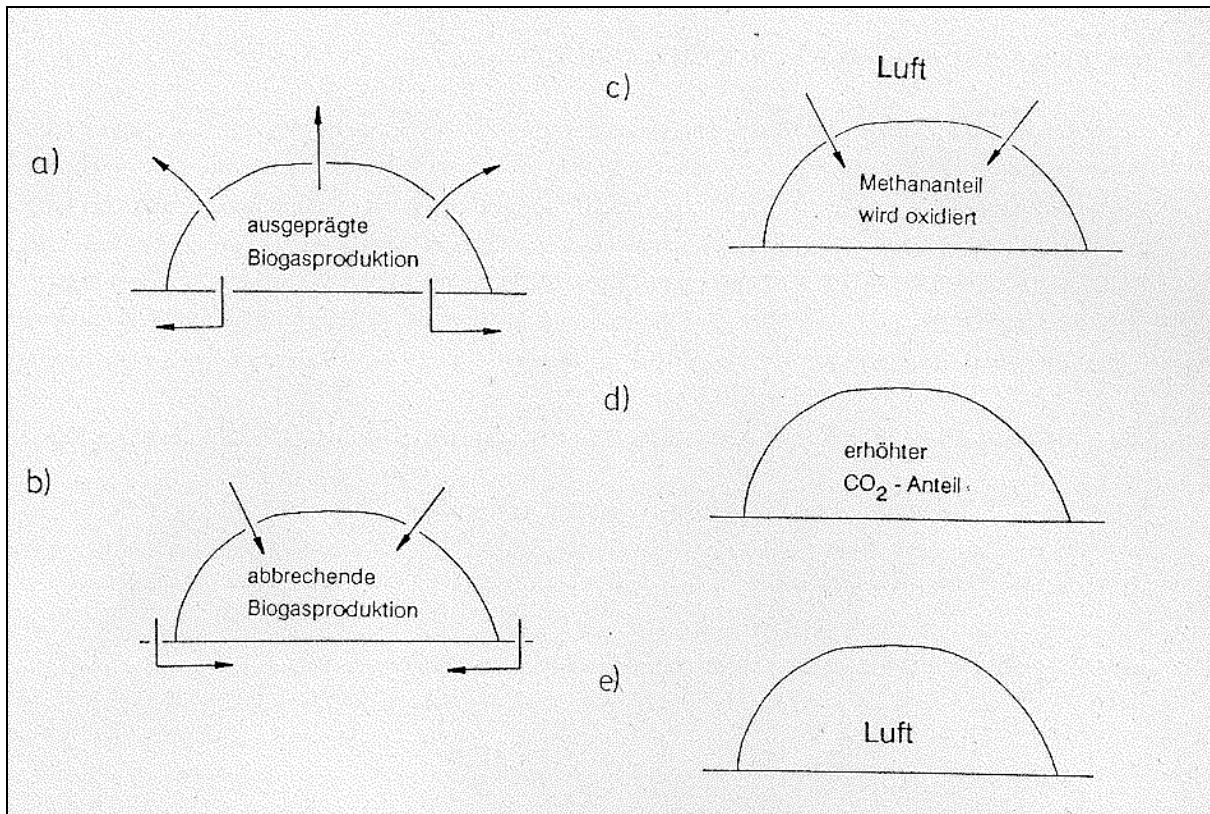


Abb. 8.2: Zustände des Deponiegasgeschehens

In der Phase a) herrscht eine ausgeprägte Biogasproduktion vor. Diese Biogasproduktion führt dazu, daß es zu einem Überdruck in der Deponie kommt, so daß die vorhandenen Biogase aus der Deponie herausgedrückt werden. Gase können von außen nicht in den Deponiekörper eindringen, da der konvektive Biogasstrom größer ist als der durch Diffusion verursachte Gastransport in das Deponieinnere. Die Deponie ist also dadurch gekennzeichnet, daß Gase an der Oberfläche emittieren bzw. in den umgebenden Boden migrieren. Hiermit lassen sich sowohl im Boden der Umgebung als auch an der Oberfläche der Deponie Deponiegase feststellen. Durch diese Situation an der Deponie ist somit ein hohes Gefährdungspotential gegeben.

Im Fall b) tritt die Deponie in eine Phase ein, wo die Biogasproduktion so schwach ist, daß die ausströmenden Gase nicht mehr in der Lage sind, die nunmehr über die Oberfläche eindringende Luft aus der Deponie herauszuspülen. Die Deponie wird sich somit vom Rand bzw. der Oberfläche her wieder mit Luft auffüllen. Es wird zu einem Abbrechen der Biogasproduktion kommen, da sich nunmehr das Milieu vom Rand her vom anaeroben zum aeroben verändert. In dem Moment, wo die Biogasproduktion gering ist bzw. abbricht, wird somit auch der Überdruck in der Deponie gering sein, so daß keine Emissionen mehr in die Umgebung auftreten. Dies bedeutet, daß die Biogase praktisch nur noch im Deponiekörper selbst vorhanden sind. Emissionen in den Luftraum bzw. in den Boden werden nicht mehr oder allenfalls nur noch in geringem Maße vorhanden sein. Damit hat die Gefährdung deutlich abgenommen und beschränkt sich nur noch auf den Deponiekörper selbst.

Ab dem Moment, wo Luft in den Deponiekörper eindringt, und dieses ist der Fall c), wird es zu aeroben Zuständen im Deponiekörper kommen, bei denen auch Methan weitestgehend mikrobiell abgebaut wird. Damit sinkt die Gefährdung auf Grund der Verminderung der brenn-

baren Komponente weiter ab. Eine Gefährdung wird nur noch durch das Kohlendioxid bestehen.

In der Phase d) wird damit der Deponiekörper verstärkt mit Kohlendioxid gefüllt sein. Eine Gefährdung geht damit praktisch nur noch vom Kohlendioxid aus. Allerdings wird das Kohlendioxid dann mehr und mehr abnehmen.

In der Phase e) wird die Deponie schließlich überwiegend mit Luft gefüllt sein. Der Kohlendioxidgehalt wird nur noch wenige Prozente betragen, so daß eine Gefährdung nicht mehr vorhanden ist.

2.1 Gefährdungen durch Deponiegas in Abhängigkeit der Gasproduktion

--

2.2 Das Langzeitverhalten der Deponiegasproduktion

Systematische Untersuchungen der Gaszusammensetzung in der Deponiekörperluft haben nun gezeigt, daß sich die obengenannten Phasen mit typischen Konzentrationsgrößen verknüpfen lassen. In Abb. 8.3 sind diese Konzentrationsverhältnisse in Abhängigkeit der Zeit aufgetragen. Diese Verhältnisse sind tatsächlich an realen Altablagerungen festgestellt worden. Hierbei zeigt sich im wesentlichen die o.a. Situation.

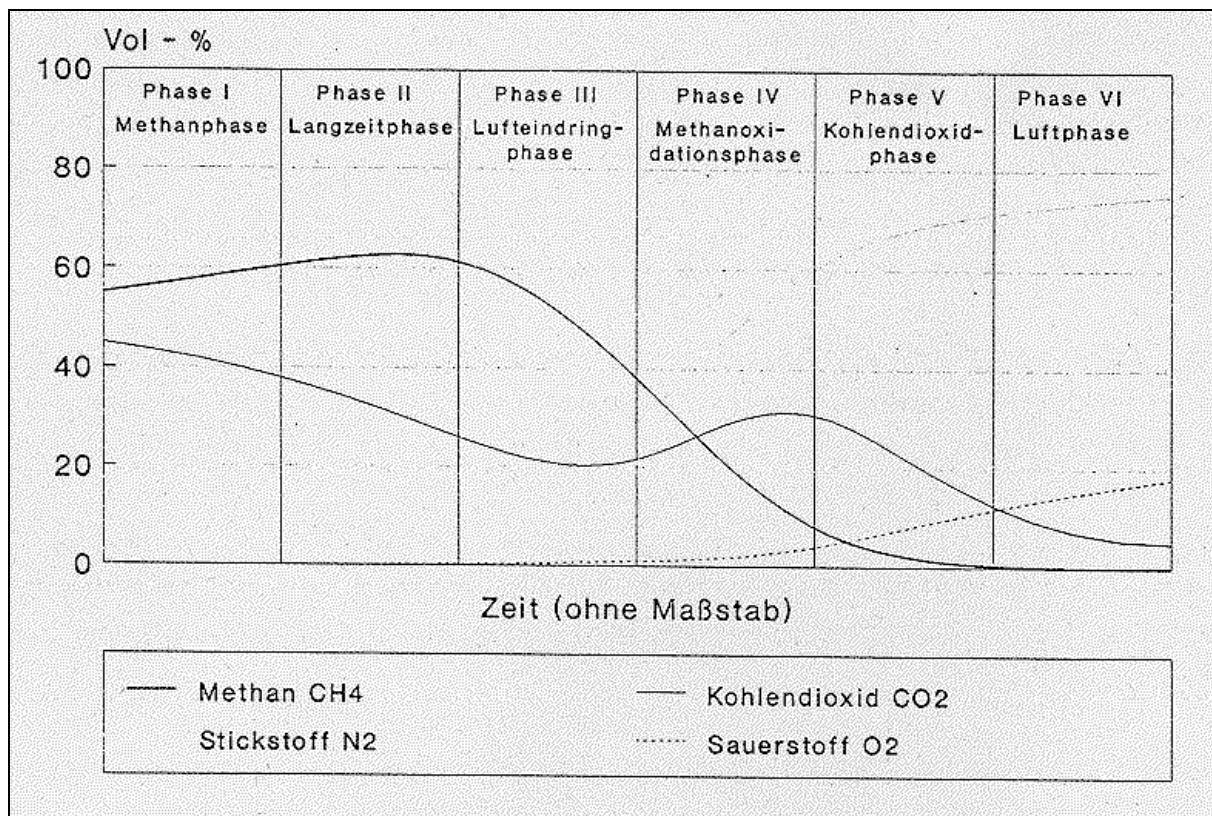


Abb. 8.3: Deponiegas - Langzeitkonzentrationsverlauf bei Altablagerungen

Nach der stabilen Methanphase in der Phase I tritt eine sogenannte Langzeitphase ein, die dadurch gekennzeichnet ist, daß eine deutliche Erhöhung des Methan- zu Kohlendioxidverhältnisses auftritt. In dieser Langzeitphase findet man erste Anzeichen eines Lufteindringens in Form geringer Stickstoffkonzentrationen, ohne daß Sauerstoffkonzentrationen in merkbarer Größenordnung vorhanden sind. In der Phase III, der Lufteindringphase, können deutlich höhere Luftanteile festgestellt werden, die allerdings dadurch gekennzeichnet sind, daß das Stickstoff- zu Sauerstoffverhältnis deutlich von dem der Luft abweicht. Das Verhältnis Methan zu Kohlendioxid wird immer noch relativ hoch sein, wobei die Methan- und Kohlendioxidkonzentrationen in absoluten Werten bereits erniedrigt sind. In der nächsten Phase, der Phase IV, wird man nun feststellen, daß das Methan- zu Kohlendioxidverhältnis wiederum abnimmt, wobei gleichzeitig die Luftanteile zunehmen. In dieser Phase der Methanoxidation wird das Methan zum Kohlendioxidverhältnis sehr klein werden. Die Kohlendioxidkonzentration in absoluten Werten kann sogar wieder ansteigen. In der daraufhin folgenden Phase V, der Kohlendioxidphase, wird dann praktisch kein Methan mehr im Deponiekörper auffindbar sein. Es wird zu erhöhten Kohlendioxidkonzentrationen kommen und das Stickstoff- zu Sauerstoffverhältnis wird mehr in Richtung dem der Luft gehen, so daß dann in der abschließenden Phase VI, der Luftphase, praktisch nur noch geringe Kohlendioxidkonzentrationen auftreten und das Sauerstoff-Stickstoffverhältnis im wesentlichen dem der Luft entsprechen wird. Gefährdungsabschätzungen müssen daher zum Ziel haben, zu ermitteln, in welcher Phase sich eine Deponie befindet, um so einen Zusammenhang zu der Gefährdung herzustellen. Eine solche Zuordnung kann bereits auf deponiespezifischen Daten der historischen Erkundung erfolgen oder aber auf gastechnischen Untersuchungen basieren.

3. Charakterisierung des Langzeitzustandes einer Altablagerung

3.1 Anhand von Daten aus der historischen Erkundung

3.1.1 Der Gedanke der Typisierung

Wie Abschnitt 2 ausführlich darstellt, läßt sich das Langzeitverhalten in bestimmte Phasen untergliedern, wobei mit den einzelnen Phasen eine deutliche Abnahme des Gefährdungsgrades mit der Zeit verbunden ist. Die Frage ist nun, ob sich eine solche Phasenzuordnung bereits auf der Grundlage bestimmter Daten aus der historischen Erkundung vornehmen läßt. Ließe sich eine solche Zuordnung zu einer Phase finden, dann ließe sich damit auch eine Aussage über die Stoffgefährlichkeit bereits im Rahmen der historischen Erkundung machen.

3.1.2 Entwicklung eines Typisierungsverfahrens

Um dies zu prüfen, wurden die Daten von 84 Altablagerungen, von denen einerseits die deponietechnischen Daten vorlagen und andererseits auch Untersuchungen über die Gasphase vorhanden waren, zusammengestellt und ausgewertet. Da aus der historischen Erkundung von Altablagerungen oftmals keine sehr präzisen Daten vorliegen, und dies war natürlich auch in den vorliegenden Untersuchungen so, mußten für die Beschreibung der Deponie relativ einfache Größen gewählt werden. Aus der Literatur ist bekannt, daß die Gasphase bzw. die

Gasproduktion von den verschiedensten Merkmalen beeinflusst werden kann. Hierzu gehört die Abfallzusammensetzung, aber auch die Milieubedingungen, der Wassergehalt usw.. Hierüber existieren in der Regel keine präzisen Angaben, so daß man sie nur anhand von indirekten Merkmalen charakterisieren kann. Die deponietechnischen Merkmale wurden daher wie folgt gewählt:

- Alter
- Größe
- Höhe
- Einbautechnik und Vorbehandlung
- Zusammensetzung

Die Größe charakterisiert im wesentlichen die Milieubedingungen, da ein anaerober Zustand um so wahrscheinlicher einsetzen kann, je größer die Deponie ist.

Auch die Höhe charakterisiert die Milieubedingungen, da flache Deponien, wo die Luft viel leichter eindringen kann, eher aerob sind.

Ebenso haben die Einbautechnik und die Vorbehandlung einen ganz wesentlichen Einfluß auf die Milieubedingungen, da die Art der Lagerung des Abfalls dazu führt, daß eher anaerobe bzw. eher aerobe Zustände bedingt.

Die Zusammensetzung, vor allen Dingen unter dem Aspekt der abbaubaren Stoffe, gibt Auskunft über die Höhe des Gaspotentials.

Altersklasse	
0 - 5 Jahre	1
6 - 10 Jahre	2
11 - 15 Jahre	3
16 - 20 Jahre	4
21 - 25 Jahre	5
26 - 30 Jahre	6
über 30 Jahre	7
Größenklasse	
bis 10 000 m ³	1
10 000 bis 50 000 m ³	2
50 000 bis 150 000 m ³	3
150 000 bis 500 000 m ³	4
über 500 000 m ³	5
Höhenklasse	
bis 1 m	1
1 bis 2 m	2
2 bis 5 m	3
5 bis 10 m	4
über 10 m	5
Zusammensetzung	
Anteil 30 % HM+KS	1
Anteil 50 % HM+KS	2
Anteil 100 % HM+KS	3
HM = Hausmüll	
KS = Klärschlamm	
Einbau	
Brände, Vorrotte	1
Kippkante	2
Lagenweise	3

Abb. 8.4: Zuordnungsschema der Merkmale zu den Klassen

Diese Merkmale wurden nunmehr in bestimmte Klassen aufgeteilt (vgl. Abb. 8.4), so daß damit relativ einfache Zuordnungskriterien entstanden sind. Auf Grund der vorhandenen, gastechnischen Untersuchungen war es desweiteren möglich, die konkreten Altablagerungen in bestimmte Phasen, entsprechend Abb. 8.3 einzuteilen.

Mit diesen Datensätzen konnten nunmehr in einer statistischen Untersuchung einer Varianzanalyse, untersucht werden, ob ein bestimmter Zusammenhang zwischen deponietechnischen Merkmalen und einer Langzeitphase besteht. Dabei konnte festgestellt werden, daß die einzelnen Merkmale zwar eine unterschiedliche Bedeutung für die Zuordnung zu einer Phase haben, bei Kenntnis der entsprechenden Angaben aber, lassen sich mit hoher statistischer Sicherheit Deponien zu einer bestimmten Phase zuordnen. Damit ist es möglich, bereits auf der Stufe der historischen Erkundung, mit einem relativ einfachen Datensatz, eine vergleichsweise präzise Aussage über die Stoffgefährlichkeit einer Altablagerung zu treffen.

Es muß aber sehr deutlich angemerkt werden, daß diese Aussagen und diese Erkenntnisse ausdrücklich an Altablagerungen gewonnen wurden, sich also der Definitionsbereich der gemachten Aussagen nur auf Altablagerungen beziehen. Eine Aussage für Betriebsdeponien ist damit nicht ohne weiteres möglich.

Neben der Aussage bzgl. der Stoffgefährlichkeit ist aber auch noch eine weitere Einschätzung der Deponie bzgl. des Emissionsgeschehens möglich. Nach diesem Emissionsgeschehen ist, wie in Abschnitt 2 deutlich wurde, auch die Untersuchungsstrategie festzulegen. Wenn z.B. aus der Phasenzuordnung bekannt ist, daß Ausgasungen aus einer Deponie unwahrscheinlich sind, dann sind natürlich Messungen an der Oberfläche einer Deponie nicht mehr sinnvoll. Umgekehrt zeigen nennenswerte Gasaustritte an der Oberfläche einer Deponie, daß diese sich noch in einer sehr frühen Phase befindet, so daß weitere Untersuchungen zu einer Aussage der Stoffgefährlichkeit nicht mehr erforderlich sind. Somit läßt sich über die Erkenntnis der Phasenzuordnung sehr viel schneller und sehr viel präziser eine optimale Untersuchungsstrategie wählen.

3.1.3 Vorgehensweise bei einer Typisierung anhand eines Beispiels

Für den Modellstandort Deponie Osterhofen, ist in der nachfolgenden Abb. 8.5, eine Typisierung durchgeführt worden. Die wesentlichen Daten der Deponie Osterhofen sind wie folgt:

Jahr des Deponieabschlusses	1976
Größe der Deponie	300.000 m ³
Deponiehöhe	bis 9 m
Zusammensetzung:	70% Hausmüll, 20% Bauschutt, 10% Sperrmüll
Einbau:	ungeordnet über Kippkante.

		Alter						
		1	2	3	4	5	6	7
Größe	5	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
	4	2	2,5	2,7	2,9	3,4	3,7	4
	3	3	3,75	3,9	3,9	4	4,2	4,5
	2	3,5	4	4,5	4,7	4,9	5	5,5
	1	4	4,5	4,7	5	5,3	5,6	6
Höhe	5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
	4	1,5	2	3	3,5	3,7	4	5
	3	3	3	4,25	4,4	4,5	4,5	5
	2	4,5	4,5	5	5	6	6	6
	1	5	5	5	6	6	6	6
Zusammen- setzung	3	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
	2	2	2,2	2,8	3,6	4	4,6	5
	1	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Einbau	3	1	1,33	2	2,5	2,7	3	3,3
	2	2	2,25	3	3,6	3,8	4	4,6
	1	3	3,5	4	4,5	5	5,5	5,5

Wertetabelle für die Typisierung des Modellstandortes
Osterhofen bezogen auf das Jahr 1991

Abb. 8.5: Typisierung des Modellstandortes Osterhofen

Damit ergeben sich die in der Abb. 8.5 angegebenen statistischen Kenngrößen. In der Summe ergibt sich ein Wert von 10,7. Hieraus errechnet sich die Phase zu:

$$\frac{10,7}{\text{Anzahl der Merkmale}} = \frac{10,7}{4} = 2,6$$

Somit ergibt sich nach Rundung eine Zuordnung zur Phase III.

Aufgrund der technischen Erkundung wurde der Modellstandort Osterhofen der Phase II zugeordnet. Dieses Beispiel veranschaulicht somit, daß mit der Typisierung eine erste Einschätzung in Bezug auf den Gashaushalt möglich ist. Allerdings muß eine genauere Zuordnung durch technische Erkundung in bestimmten Fällen noch zusätzlich gewährleistet werden.

3.2 Mittels Untersuchungsmethoden

3.2.1 Gaskonzentrationsmessungen

Gaskonzentrationsmessungen haben, aufgrund der Aussagen in Abschnitt 2, im Grundsatz die Aufgabe festzustellen, wie der Zustand der Deponie bzgl. des Lufteindringens ist. Vielfache Untersuchungen an einer Deponie haben gezeigt, daß sich dieses Lufteindringen im wesentli-

chen an den Porengradienten feststellen läßt. Damit dient die Gaskonzentrationsmessung überwiegend der Feststellung dieser Gradienten. Um solche Gradienten feststellen zu können, bedarf es des Niederbringens von Gasmeßstellen in Form von Sondiereinrichtungen, wie sie beispielhaft in der Abb. 8.6 dargestellt ist. Wichtig bei der Durchführung solcher Untersuchungen ist es, daß die Gasprobe aus einem ganz bestimmten Deponiebereich stammt und daß die Probeentnahme, aber auch die Sonde selber, den Zustand der Gasphase nicht stören darf. Daher muß das Entnahmevermögen auf das Volumen der Sonde abgestimmt sein. Nach Einbringen der Sonde muß sich der Ausgangszustand wieder hergestellt haben. Sollte der Porengradient ausführlich gemessen werden, ist es erforderlich, eine tiefendifferenzierte Gasmeßstelle, wie sie in Abb. 8.7 dargestellt ist, anzubringen. Nach den Erkenntnissen der Modellstandorte ist es ausreichend, wenn bis zwei Hektar drei tiefendifferenzierte Meßstellen eingerichtet werden.

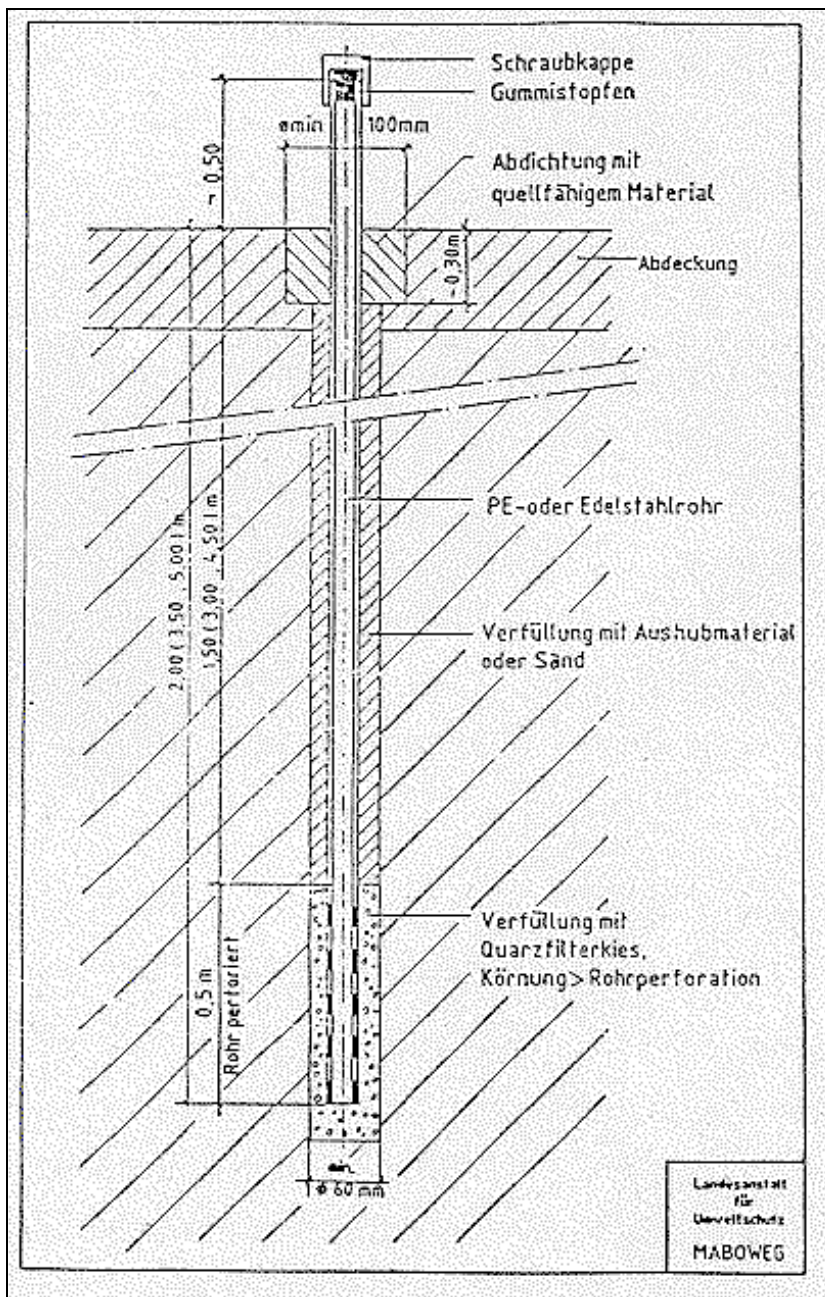


Abb. 8.6: Temporäre Gasmeßstelle Standardausbau mit Vorsondierung

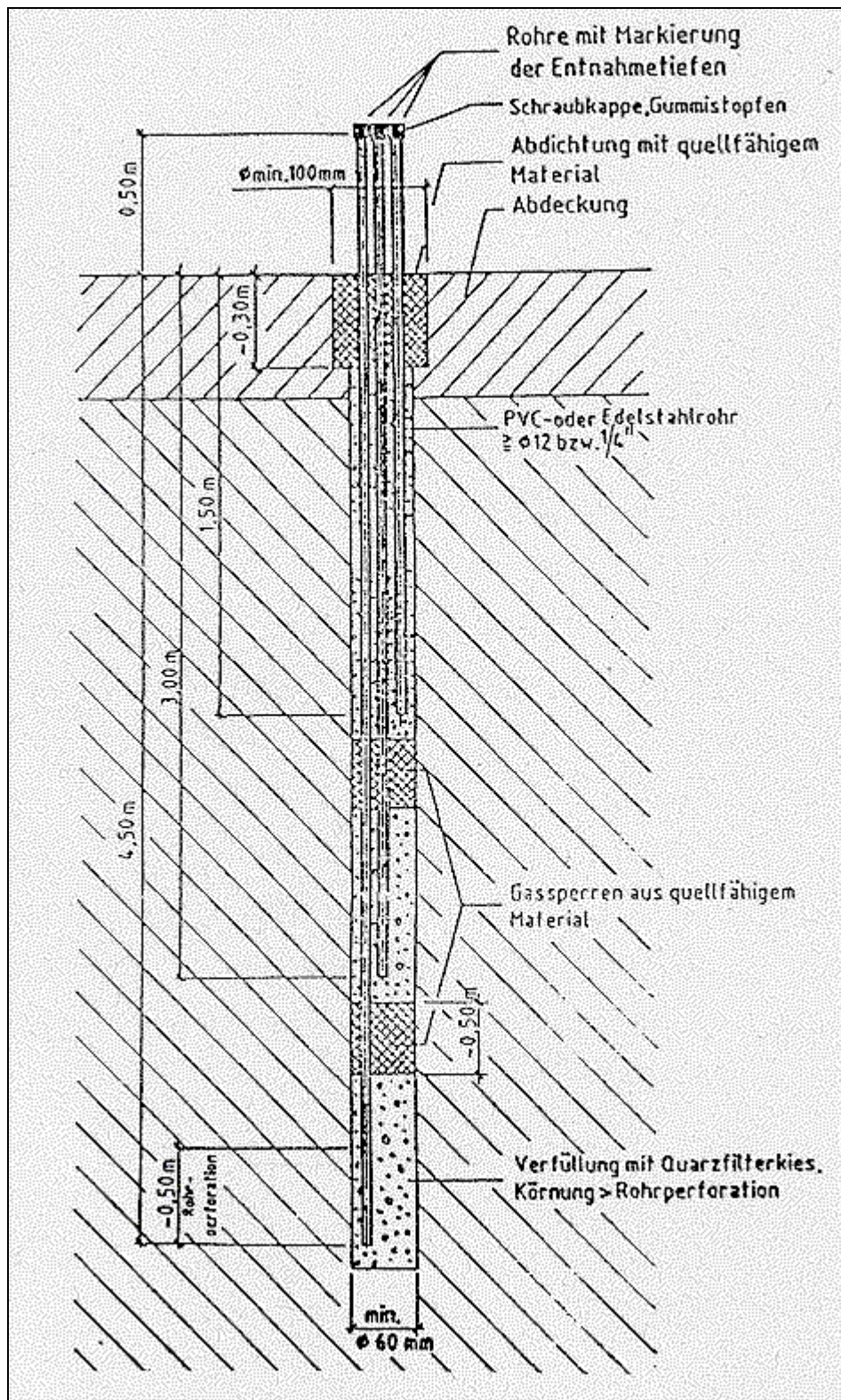


Abb. 8.7: Temporäre, tiefendifferenzierte Gasmessstelle, Standardausbau mit Vorsondierung

Sonden können auch zur Entnahme von Gasproben für eine Spurengasuntersuchung eingesetzt werden. Desweiteren können Sonden für die Durchführung eines Absaugversuches herangezogen werden. Zum Nachweis der Deponiegasfreiheit einer Deponie ist es notwendig einen größeren Deponieraum zu beproben, so daß es erforderlich ist, eine größere Gasmenge abzusaugen.

3.2.2 Gasemissionsmessungen

Gasemissionsmessungen sind nur dann sinnvoll wenn zu erwarten ist, daß solche Emissionen auftreten was nach den obigen Ausführungen nur dann erfolgen kann, sofern sich die Deponie in den Phasen I oder II befindet. In der Praxis haben sich Gasspürgeräte mit Flammenionisationsdetektor bewährt. Eine Anwendung erfolgt, wie in Abb. 8.8 dargestellt, durch die Begehung der Deponie mit der Probeentnahme unmittelbar an der Deponieoberfläche. Sofern bei einer solchen Untersuchung auch ein Rückschluß gezogen werden soll auf die Gasmenge, so ist dies mit dem Flammenionisationsdetektor nicht möglich. Hierzu kann das Verfahren nach dem Prinzip der Gasboxen eingesetzt werden (Abb. 8.9). Hierbei wird festgestellt, in welchem Maße sich eine auf der Deponieoberfläche aufgesetzte Box mit Gas füllt. Durch eine entsprechende Auswertung läßt sich auf den Gasvolumenstrom zurückführen. Diese Methode läßt sich allerdings nur einsetzen, sofern der Gasvolumenstrom einen gewissen Wert nicht unterschreitet.

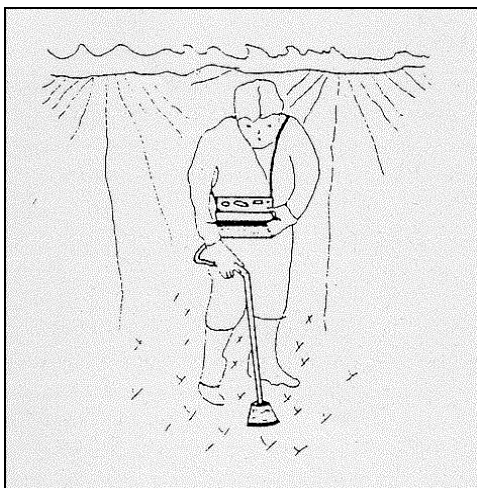


Abb. 8.8: Gasspürgerät mit FID im Feldeinsatz

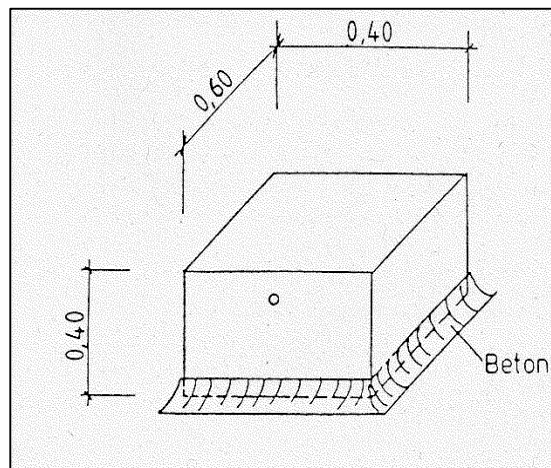


Abb. 8.9: Prinzipskizze einer Gasbox

3.2.3 Sonderuntersuchungen

Sonderuntersuchungen im Zusammenhang mit der Untersuchung von Verdachtsflächen können erforderlich werden z.B. als Kondensat- und Sickerwasseruntersuchungen, als Untersuchungen der Gasdrücke bzw. der Temperaturen im Deponieinneren bzw. als Untersuchungen entnommener Materialien. Hierbei lassen sich gewisse Rückschlüsse auf den Zustand der Deponie und damit auf die Gasphase ziehen. In der Regel sind solche Untersuchungen nicht erforderlich, da die Zuordnung zu einer Phase über die Ermittlung der Gasphasen möglich ist. In Zweifelsfällen jedoch können solche Untersuchungen zur Absicherung o. g. Vorgehensweise herangezogen werden.

3.2.4 Raumlufmessungen

Raumlufmessungen stellen in gewisser Weise eine besondere Untersuchung dar, die dann gewählt werden muß, wenn ein Gasmigrationsgeschehen bzgl. eines ganz bestimmten Schutzbereiches untersucht werden muß. Raumlufmessungen orientieren sich in ihrer Durchführung an der GUV 17.4, wobei insbesondere daraufhinzuweisen ist, daß die Meßgeräte einer Eignungsprüfung unterworfen sein müssen. Vor allen Dingen sind bei Raumlufmessungen Sofortmaßnahmen zu ergreifen, wenn außerhalb des Gebäudes der Methangehalt zwischen 20 und 40 Vol.% liegt, sowie die Spurenstoffe größer als 0,5 Vol.% des MAK-Wertes betragen. Sollte innerhalb des Gebäudes der Methangehalt über 5% liegen und die Spurenstoffe über 0,1 Vol.% des MAK-Wertes betragen, so sind ebenfalls Sofortmaßnahmen erforderlich.

3.2.5 Vorgehensweise bei einer Charakterisierung des Langzeit-verhaltens anhand eines Beispiels

Als Grundlage für die Untersuchungsstrategie, (im Kontext des Ablaufschemas der Erkundung des Deponiegaspfades handelt es sich hierbei um die technische Erkundung E₁₋₃, gemäß der Vorgehensweise in Baden-Württemberg) dient die historische Erkundung. Abhängig von der hier ermittelten Phase sind spezielle Meß- und Untersuchungsstrategien anzuwenden, die

- besonders aussagekräftig in Bezug auf die Deponiegassituation sind und
- in der Erkundungsstufe entsprechend mit angepaßtem technischen Aufwand durchgeführt werden können.

Deponiegasspurenstoffe werden je nach vermuteten Inhaltsstoffen in das Analysenprogramm mit aufgenommen.

Es wird davon ausgegangen, daß evtl. notwendige Sofortmaßnahmen bereits durchgeführt wurden bzw. es ist bei der Erkundung fortlaufend zu prüfen, ob Sofortmaßnahmen zu Risikominderung zu treffen sind. Somit wird eine Abschätzung der Stoffgefährlichkeit durch Bestätigung bzw. Korrektur der Zuordnung zu einer Phase nach der historischen Erkundung durchgeführt. Hierbei sind ggfs. unterschiedliche Fälle zu unterscheiden:

- a) historische Erkundung ergibt Phase I oder II

Aufgrund der zu erwartenden Emissionen über der Ablagerungsfläche ist als Untersuchungsmethode für o. a. Fragestellung eine Begehung mit dem Gasspürgerät (FID) sinnvoll. Ergeben sich hier Meßwerte größer 100 ppm bei mindestens 10% der Meßpunkte auf der Ablagerungsfläche (25 zufällig ausgewählte Punkte pro Hektar), so ist dies eine Bestätigung für Phase I und II. Werden bei der Begehung Meßwerte größer 100 ppm an weniger als 10% der Meßpunkte festgestellt, so ist wie bei b) zu verfahren.

- b) historische Erkundungen ergibt Phase III oder IV

Zur Überprüfung der Stoffgefährlichkeit werden tiefendifferenzierte Gasmeßstellen auf der Altablagerung eingerichtet und auf die Komponenten Methan, Stickstoff und Sauerstoff beprobt. Die genaue Anzahl der Gasmeßstellen richtet sich nach der Fläche der Altablagerung:

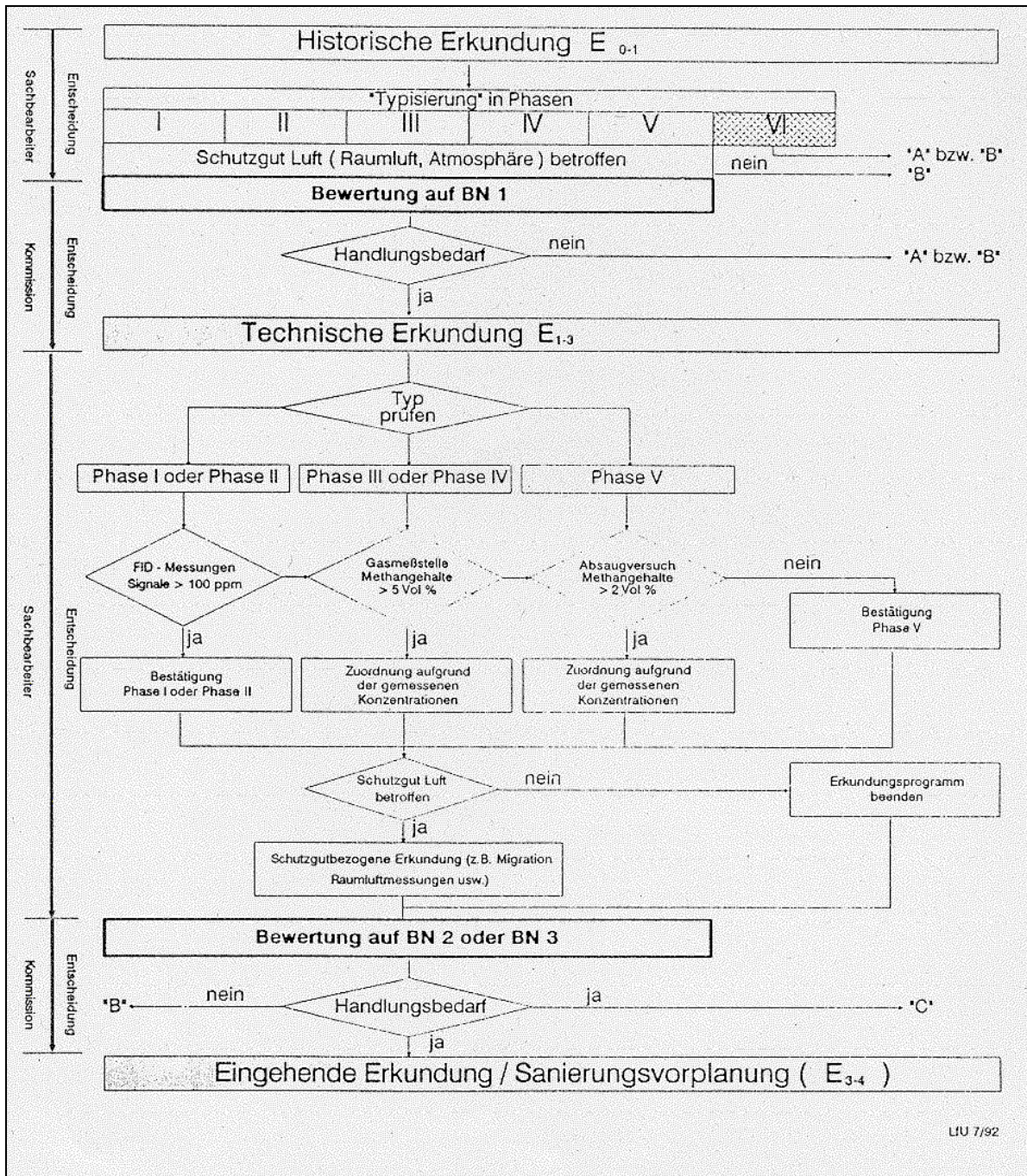
Bis 2 Hektar sind drei tiefendifferenzierte Gasmeßstellen und je angefangenen weiteren Hektar ist eine weitere tiefendifferenzierte Gasmeßstelle erforderlich. Die Tiefe der einzelnen Entnahmehorizonte ist abhängig von der Oberflächenabdeckung. Durch Erstellen von Schichtenverzeichnissen kann eine spätere Kontrolle durchgeführt werden ob Hausmüll angetroffen wurde. Bei 1m mächtiger Oberflächenabdeckung werden Entnahmehorizonte bei 1,5m, 3m und 4,5 m empfohlen. Werden an einer oder mehreren Proben folgende Konzentrationsverhältnisse der Deponiegashauptkomponenten gemessen, so ist dies eine Bestätigung von Phase III und IV:

- Methan zwischen 5 und 50 Vol.%
- Kohlendioxid zwischen 20 und 30 Vol.%
- Stickstoff zwischen 10 und 60 Vol.%

Bei abweichenden Konzentrationsverhältnissen ist die Zuordnung der Phasen gemäß Abb. 8.3, fest-zulegen.

c) die historische Erkundung gibt Phase V.

Zur Überprüfung der Stoffgefährlichkeit wird ein Abaugversuch durchgeführt. Ziel ist die Beprobung des Porenraumes der Altablagerung und der Nachweis der Hauptkomponenten Methan und evtl. Kohlendioxid, Stickstoff und Sauerstoff. Es muß noch darauf hingewiesen werden, daß zusätzlich zu dieser Charakterisierung des Langzeitverhaltens bei dieser Stufe der Erkundung ggfs. auch noch Untersuchungen bzgl. des Schutzgutes Luft durchzuführen sind.



LIU 7/92

Abb. 8.10: Ablaufschema der Erkundung der Deponiegaspfades

4. Handlungsanweisung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung

In der Abb. 8.10 ist das Ablaufschema der Erkundung des Deponiegaspfades zusammenfassend dargestellt. Danach wird folgende generelle Vorgehensweise empfohlen:

1. "Typisierung" durchführen
2. Prüfen, ob Phase VI vorliegt; wenn ja, Einstufung nach A = Archivieren bzw. B = Belassen auf Wiedervorlage vornehmen. Damit wird die Erkundung für den Luftpfad als beendet betrachtet. In Zweifelsfällen sollte bei der "Typisierung" die Phase V angesetzt werden.
3. Die "Typisierung" hat eine Phase zwischen I und V ergeben: Prüfen, ob Schutzgut Luft (Raumluft/Atmosphäre) aufgrund der durch "Typisierung" ermittelten Phase (Stoffgefährlichkeit) betroffen ist. Wenn nein, wird die altlastverdächtige Fläche für das Schutzgut Luft auf B = Belassen eingestuft. In Zweifelsfällen sollte die Entscheidung in der Bewertungskommission herbeigeführt werden.
4. Die Bewertung für das Schutzgut Luft ergab Handlungsbedarf (E1-3): je nach ermittelter Phase wird mit der entsprechenden Erkundungsmethode (Kapitel 4.2) die Phase überprüft. Aufgrund der gemessenen Konzentrationen wird die Phase ggf. korrigiert.
5. Prüfen, ob Schutzgut Luft betroffen ist. Wenn ja, werden die schutzgutbezogenen Erkundungsschritte eingeleitet. Ergibt die Prüfung nein, wird die Erkundung abgebrochen.
6. Bewertung auf BN 3 durch die Bewertungskommission.

Schutzgut Raumluft ist betroffen, wenn sich z.B. Gebäude auf bzw. in der Nähe der altlastverdächtigen Fläche befinden.

Schutzgut Atmosphäre ist betroffen, wenn z.B. die altlastverdächtige Fläche als Kleingartenanlage, Grill-, Zelt- oder Sportplatz genutzt wird.

Historische Erkundung (E₀₋₁)

- Maßnahmen:** Auswertung von deponiegasrelevanten Daten aus der E₀₋₁
(Alter, Höhe, Größe, Einbauart und Zusammensetzung der Deponie)
Durchführung der "Typisierung" mit Plausibilitätskontrolle
Zuordnung zu einer Phase
Feststellung der Gefährdung des betroffenen Schutzgutes Luft
(Atmosphäre/Raumluft)
- Ziel:** Stoffgefährlichkeit (r_0) (Die Stoffgefährlichkeit kann gemäß Abb. 8.11 ermittelt werden, wobei der Anteil toxischer Spurenkomponenten erhöhend zu berücksichtigen ist, vgl (1))
Gefährdungsabschätzung ($m_I - m_{IV}$), zu Details siehe (1)
Handlungsbedarf (A,B,E₁₋₃) ermitteln

Technische Erkundung (E₁₋₃)

- Erster Schritt:** Stoffgefährlichkeit (Phase) überprüfen

Maßnahmen: Abhängig von Ergebnis E₀₋₁ (FID, Gasmeßstellen, Absaugversuch)

Ziel: Entscheidung, ob Schutzgut betroffen -> zweiter Schritt

Zweiter Schritt: Maßnahmen zur Durchführung der Gefährdungsabschätzung für das Schutzgut Luft

Maßnahmen: Schutzgutbezogene Maßnahmen (z.B. Raumluftmessungen)

Ziel: Handlungsbedarf (B,C oder E₃₋₄) ermitteln

Eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung (E₃₋₄)

Maßnahmen: Gegenüberstellung der Sicherungs- und Sanierungsalternativen in Abhängigkeit von den Sanierungszielen, Kosten- Wirksamkeits-Abschätzung

Ziel: Sanierungsempfehlung

Herbeiführen der Sanierungsentscheidung

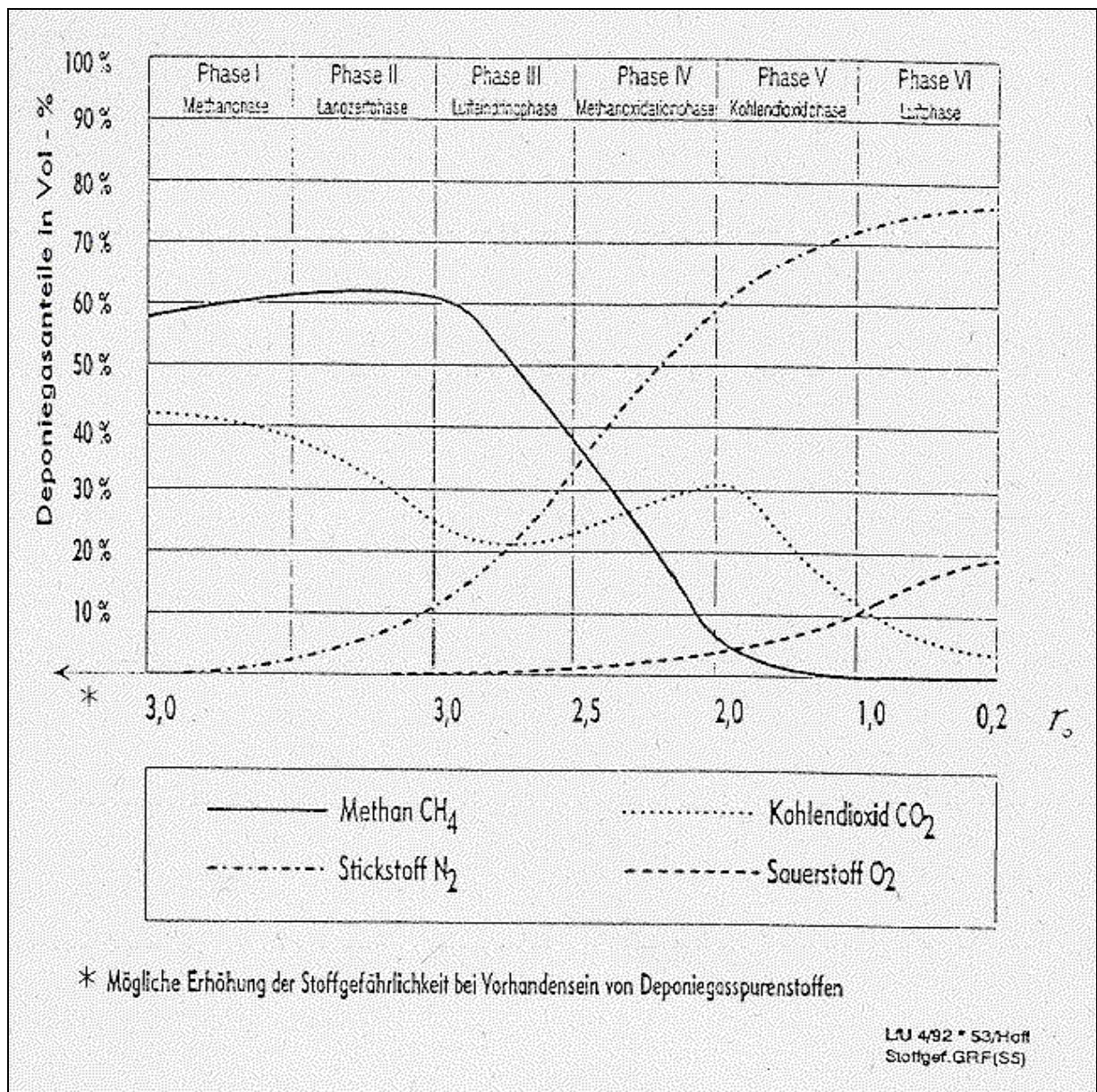


Abb. 8.11: Stoffgefährlichkeit r_0 in Abhängigkeit von der Phase bzw. vom Konzentrationsverhältnis des Deponiegases

Bezüglich weiterer Details sei auf das Handbuch Altlasten "Der Deponiegashaushalt in Altablagerungen, - Leitfaden Deponiegas-" verwiesen. Hierbei werden vor allen Dingen Angaben zur genauen Ermittlung der Stoffgefährlichkeit in Abhängigkeit der Phase der Deponie angegeben, wobei hierzu noch eine Berücksichtigung möglicher Bestandteile an Gasspurenstoffen berücksichtigt werden. Solche Erhöhungsfaktoren sind in der angegebenen Literatur aufgeführt.

5. Literatur

- (1) **Rettenberger G., Mezger H., (1992):** Handbuch Altlasten
Der Deponiegashaushalt in Altablagerungen, -Leitfaden Deponiegas-; herausgegeben von der
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Griesbachstr. 3, 7500 Karlsruhe 21.

In der angegebenen Literatur finden sich noch weitere Literaturhinweise.

Erkundung und Sanierung ehemaliger Gaswerksstandorte

- Erfahrungen aus den Niederlanden und am Modellstandort Geislingen -

Ir. J. M. H. Vijgen, TAUW Infra Consult bv, Denventer, NL

1. Einleitung

In den Niederlanden wurden in den letzten zehn Jahren insgesamt 234 Gaswerksstandorte einer Ersterkundung unterzogen. Bis 1992 waren 10 bis 15 % der Standorte saniert bzw. gesichert. Nach zehn Jahren Altlastenbearbeitung ist eine Bewertung des zwischenzeitlichen Sachstands von großem Nutzen. Die Erfahrungen sind sicherlich für diejenigen wertvoll, die sich noch in einer frühen Phase der Gaswerkstandortbearbeitung befinden.

TAUW wurde 1992 aufgrund ihrer Erfahrungen in den Niederlanden gebeten, den Modellstandort des Gaswerks Geislingen in einer Arbeitsgemeinschaft mit dem Ingenieurbüro Röver und Partner, Bensheim, zu bearbeiten. Die gesammelten Erfahrungen werden in diesem Beitrag wiedergegeben.

2. Erfahrungen mit Gaswerksstandorten in den Niederlanden

2.1 Bearbeitungsstand 1993

In den Niederlanden wurden 234 **Gaswerksstandorte** erkundet. Mit der Ersterkundung dieser Standorte wurde 1983 begonnen. In zehn Jahren wurden etwa 35 Gaswerksstandorte saniert oder gesichert. In 1986 wurde geschätzt, daß die Sanierung oder Sicherung aller Gaswerksstandorte insgesamt 700 Millionen hfl kosten würde (etwa 3 Millionen hfl pro Fall). Bis 1992 wurden 500 Millionen hfl ausgegeben, womit ca. 10 bis 15 % der Standorte saniert bzw. gesichert wurden. Aufgrund einer erneuten Einschätzung ist damit zu rechnen, daß die gesamten Sanierungskosten etwa 4 Milliarden hfl betragen. Die Kostenschätzungen sind damit innerhalb von sechs Jahren auf 17 Millionen hfl pro Standort gestiegen.

Auf nahezu allen Standorten ist die Ersterkundung abgeschlossen. Für die meisten Standorte werden zur Zeit nähere Erkundungen durchgeführt. Für relativ viele Standorte liegt bereits ein Sanierungsplan vor. Die Durchführung der Sanierungsmaßnahmen verzögert sich jedoch erheblich, weil für die gesamte Altlastensanierung jährlich nur 300 Millionen hfl zur Verfügung stehen.

Die Standorte, auf denen die Sanierung bereits abgeschlossen ist, gefährdeten entweder die Trinkwasserversorgung oder waren aufgrund einer Nutzungsänderung als Wohngebiete geplant. Einige Standorte mit einer bereits bestehenden Wohnbebauung wurden ebenfalls saniert. Die umfangreichen Projekte befinden sich jedoch zum großen Teil noch in der Vorbereitungsphase.

Die getroffenen Maßnahmen waren schwerpunktmäßig Auskofferungen in Kombination mit einer Grundwassersanierung. Mehrere Grundwassersanierungen laufen seit mehr als fünf Jahren.

Die Sanierungsziele wurden meist unter Anwendung der Hollandliste bestimmt, wobei die Sanierungen zu Beginn auf den B-Wert der Hollandliste (PAK (16): 20 mg/kg) saniert wurden; nach 1986 wurden zunehmend die A-Werte (PAK (16): 1 mg/kg) als Sanierungsziel zugrunde gelegt (Multifunktionalitätsprinzip). Die Anwendung der A-Werte wird damit begründet, daß sanierte Standorte langfristig für jede denkbare Funktion oder Nutzung geeignet sein sollten.

Sicherungs- oder Isolierungsmaßnahmen wurden auf Standorten durchgeführt, die schwer zugänglich waren (z.B. unter Gebäuden) und in Fällen, bei denen die Sanierungskosten sehr hoch waren. Das Ministerium für Wohnungsbau, Raumordnung und Umwelt läßt bei etwa 10 % der Sanierungsfälle eine Abweichung des Multifunktionalitätsprinzips zu. Die bis jetzt durchgeführten Maßnahmen - hauptsächlich Auskofferungen - sind im Hinblick auf die Nutzung als angemessen zu bezeichnen.

Für Standorte mit einer weniger kritischen Nutzung, die in Zukunft saniert werden müssen, sind sicherlich alternative Verfahren anzuwenden. Unter anderem werden für einige Standorte in-situ Maßnahmen geplant. Der vor zehn Jahren geplante Ablauf kann nicht eingehalten werden, da zur Zeit nicht genügend finanzielle Mittel zur Verfügung stehen. In den letzten Jahren wird überlegt, die Finanzierung der Gaswerksstandorte u.a. auch mit anderen Mitteln zu finanzieren; so wird zum Beispiel an die Einführung eines Zuschlags auf den Gaspreis (Gaspfennig) gedacht.

2.2 Praxiserfahrungen bei der Bearbeitung

Die zehnjährige **Erfahrung mit Gaswerkstandorten** zeigt, daß die Standorte sehr oft erweitert oder abgebaut wurden, was eine erhebliche Verschleppung von Kontaminationen verursacht hat. Deswegen ist eine intensive historische Erkundung unabdingbar. Aber selbst dann sind nicht alle Verdachtsflächen ermittelt. Während der Sanierung erlebt der Bauherr aufgrund neu entdeckter Schadstoffherde Überraschungen, die zu Kostenerhöhungen führen. Die Geländeerkundung muß deshalb sehr konsequent durchgeführt werden. Es gab Fälle, in denen bereits begonnene Maßnahmen wieder gestoppt werden mußten, weil das Budget überschritten wurde. In anderen Fällen mußten zusätzlich enorme Zuschüsse gezahlt werden. Es hat sich herausgestellt, daß der Aufwand für die technische Erkundung im Laufe der Jahre erheblich zugenommen hat.

Die Sanierungsvorplanung läuft in den Niederlanden und in Baden-Württemberg im Prinzip strukturell ähnlich ab. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, daß es sehr wichtig ist, die Sanierungsziele in einer sehr frühen Phase festzulegen und die Anzahl verschiedener Sanierungsva-

rianten bereits von Anfang an stark zu beschränken. Eine Vielzahl an Sanierungsvarianten erschwert die Bearbeitung und verhindert den Durchblick für entscheidende Gremien.

Die niederländische Regierung hat das Ziel, die Altlasten prinzipiell in einem Zeitraum von 50 bis 100 Jahren so zu sanieren, daß die Standorte wieder multifunktionell nutzbar sind. In Einzelfällen ist eine Abweichung dieses Hauptziels erlaubt. Die Motivation für diese Vorgehensweise ist, daß Behörden verhindern möchten, daß im Laufe der Jahre neue Anforderungen entstehen, bei denen langfristige Verpflichtungen bleiben. Deswegen besteht die Tendenz, daß mehr für vollständige Sanierungen als für Sicherungsmaßnahmen entschieden wird.

Die Ausschreibung, Vergabe und Durchführung der Gaswerkstandortsanierungen ist mittlerweile ein branchenübliches Vorgehen. Im Jahr 1987 wurden vom Rationalisierungsinstitut für Bauwesen auf Bodensanierung zugeschnittene Leistungsverzeichnisse und Ausschreibungsbedingungen erstellt, die auch dem Arbeitsschutz entsprechen.

Für die Reinigung von kontaminierten Böden bestehen gute Möglichkeiten. Die Landesregierung hat den Bau thermischer Reinigungsanlagen von Anfang an stimuliert. Zur Zeit gibt es 5 thermische Anlagen mit genügend Kapazität. In den letzten Jahren wurde die Reinigung teilweise mittels Waschverfahren durchgeführt, weil mit diesem Verfahren auch Schwermetalle mitbehandelt werden. Um die Durchführung von Sanierungen nicht wegen Unterkapazitäten bei den Reinigungsanlagen zu verzögern, haben die Sanierungsträger Zwischenlager eingerichtet.

3. Gaswerksstandort Geislingen

3.1 Einleitung

Das **Gaswerk Geislingen** nahm im Jahre 1890 seine Produktion mit der Erzeugung von Leuchtgas für die Stadtbeleuchtung auf. Infolge der ständig zunehmenden Gaserzeugung von anfänglich 66.000 m³ im Jahre 1891 auf 9,7 Mio. m³ im Jahre 1964 wurden die technischen Anlagen mehrfach erweitert und modernisiert. Die endgültige Stilllegung des Gaswerks erfolgte im Mai 1965.

Erste Boden- und Grundwasseruntersuchungen erfolgten 1986 im Zuge des beabsichtigten Abbruchs des ehemaligen Apparatehauses. Im Jahre 1987 wurde das Gaswerk Geislingen zum Modellstandort der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg erklärt. Hiermit begann eine Reihe umfangreicher Untersuchungen, die Gegenstand dieses Beitrages sind.

Das Gelände ist 0,7 ha groß und liegt auf der Gemarkung Geislingen/Steige; es befindet sich im Tal der Eyb, im Umfeld eines Wohngebietes. Das Gelände ist Eigentum der Stadtwerke Geislingen.

3.2 Technische Erkundung

Auf dem Gelände wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Dabei kamen geophysikalische Techniken, biologische Untersuchungsmethoden, Pumpversuche, Schürfgruben, Eluat- und Schnelltests zur Anwendung. Es wurde aber auch mit mobiler GG-MS sowie mit

allgemein üblichen Techniken wie Bohrungen, Sondierungen und chemisch-physikalischen Messungen gearbeitet.

Das Areal des ehemaligen Gaswerks wurde intensiv beprobt; es wurden 28 Grundwassermeßstellen eingerichtet und über 160 Bohrungen und Sondierungen niedergebracht.

3.2.1 Geologie und Hydrogeologie

Der Untergrund gliedert sich von oben nach unten in 1 bis 2 m künstliche Auffüllung, in ca. 8 m Hangschutt und in darunterliegende Tonsteine des obersten Braunjura.

Der natürliche Hangschutt unter der künstlichen Auffüllung besteht vorwiegend aus steinigem bis schluffig-sandigem Kies. Teilweise ist der Feinkornanteil so hoch, daß es sich eher um einen kiesig-sandigen Schluff handelt. Hauptbestandteil der Grobfraction bilden Kalksteine des Weißjura.

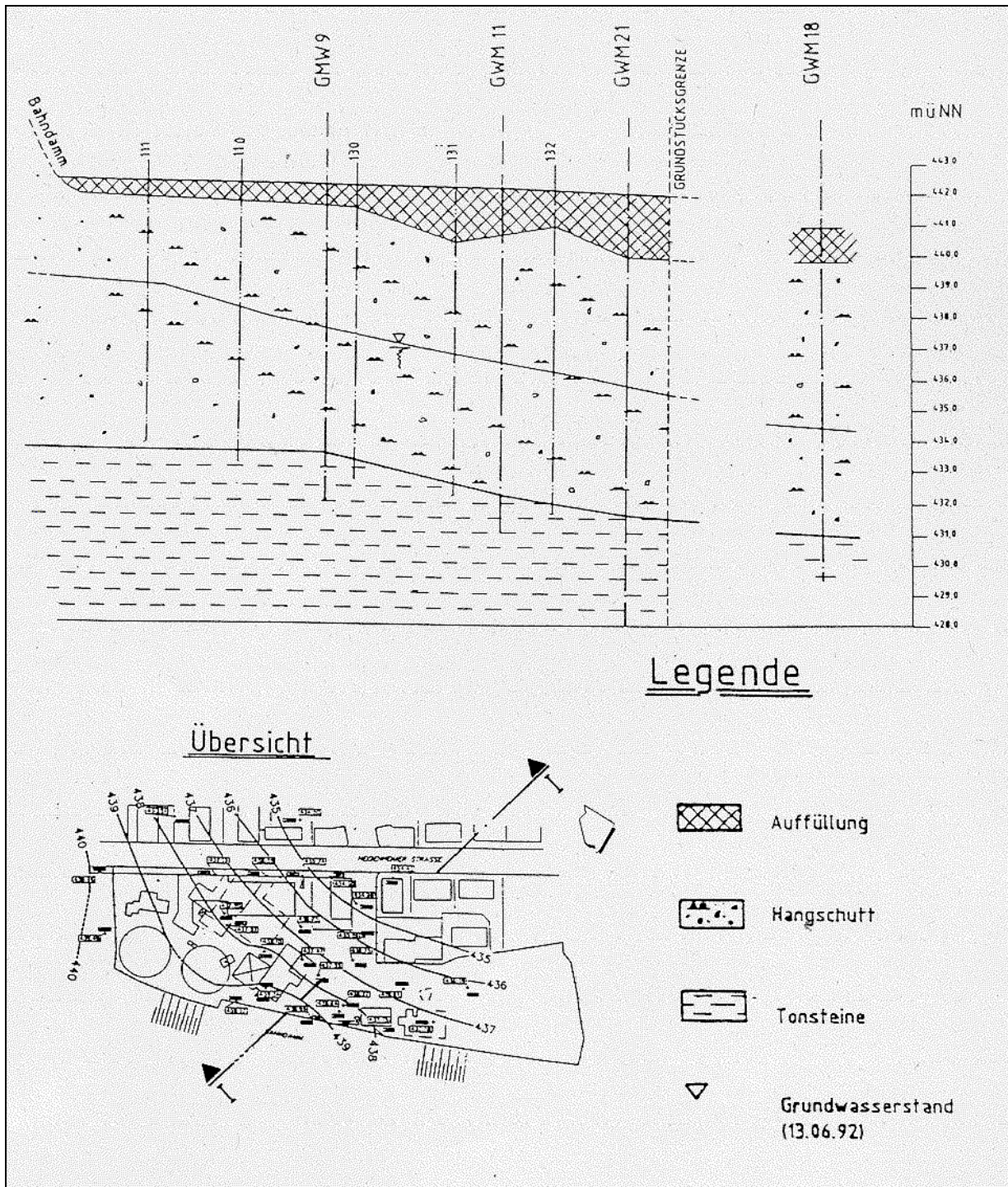


Abb. 9.1: Geländegeologie im Querschnitt

Der Hangschutt-Aquifer ist von relativ geringer Mächtigkeit. Die gesättigte Zone ist im Durchschnitt nur 3 m mächtig; teilweise ist das Grundwasser auch gespannt. Nach einer längeren Trockenperiode können vereinzelt Grundwassermeßstellen trockenfallen.

Das Grundwasser fließt, weitgehend unabhängig vom Wasserstand, einheitlich nach Nord-nordwesten. 1992 hatte der Grundwasserspiegel ein Gefälle zwischen 4 und 7 %.

Die Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers liegen bei Niedrigwasser zwischen 0,6 und 2,7 m pro Tag und bei Hochwasser zwischen 1 und 4 m pro Tag. Aufgrund der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse können Schadstoffe des ehemaligen Gaswerkes relativ ungehindert ins Grundwasser gelangen. Die vertikale Ausbreitung ist hingegen nur im begrenzten Umfang möglich. Eine laterale Schadstoffausbreitung mit dem Grundwasser oder in Form einer Phasenströmung an der Basis des Grundwasserleiters kann ungehindert stattfinden.

3.2.2 Eintragstellen

Mögliche **Eintragstellen** wurden anhand der Ergebnisse einer historischen Erkundung, einer Geländebegehung und Leitungssuche festgestellt und erkundet.

Abb. 9.2 zeigt die wichtigsten Eintragstellen.

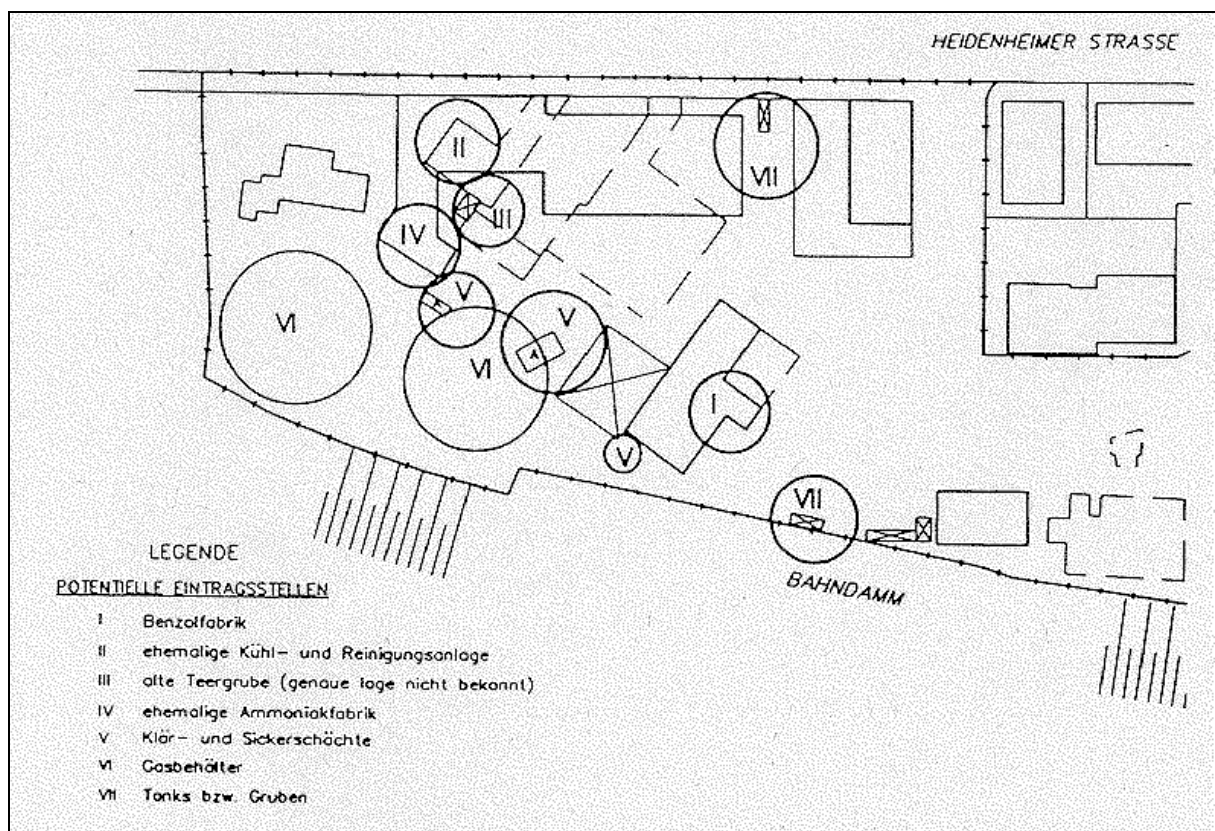


Abb. 9.2: Wichtigste Eintragstellen

In der Teerabscheidegrube und der Ammoniakwassergrube lagerten ca. 200 m³ Dickteer und rund 120 m³ verunreinigtes Wasser. Im unmittelbaren Umfeld der Gruben bzw. ausgehend von den Gruben sind Teerinhaltsstoffe bis in den Grundwasserbereich abgesickert und wurden verfrachtet. Die Verunreinigungen sind in Form von teerartigen Rückständen im Grundwasserschwankungsbereich bis etwa 50 m von den Haupteintragstellen entfernt feststellbar.

Bei Gaswerkstandorten ist zudem auch in Bereichen mit Bodenkontaminationen zu rechnen, für die kein direkter Verdacht besteht. Freie Geländeflächen innerhalb des Firmenareals dienen oft der Lagerung und Deponierung belasteter Abfälle.

Die Erkundung zeigte, daß das oberflächennahe Auffüllmaterial Kohle, Schlacke, Teer und Gasreinigungsmasse enthielt. Insbesondere die PAK-Belastung dieser Auffüllung ist zum Teil sehr hoch.

3.2.3 Schadstoffausbreitung

Die Kontaminationen im Boden und Grundwasser wurden erfaßt und ausgewertet. Die Differenzierung der Schadstoffe im Boden erfolgt in die Gruppen PAK 15, Naphthalin, Phenole und Cyanide (gesamt). Das Auffüllmaterial, der natürliche Hangschutt und die gesättigte Zone wurden getrennt ausgewertet.

3.2.4 Gefährdungsabschätzung

Es stellte sich heraus, daß die Auffüllung bis etwa 3 m u. GOK und verschiedene Eintragstellen - teilweise bis zur Aquifersohle (10 m u. GOK) - die Schadensschwerpunkte bildeten.

Die relevanten Expositionspfade sind Infiltration durch Niederschlag (A), Ausbreitung durch Grundwasserströmung (B) und direkter Kontakt (C). Abb. 9.3 zeigt die Expositionspfade.

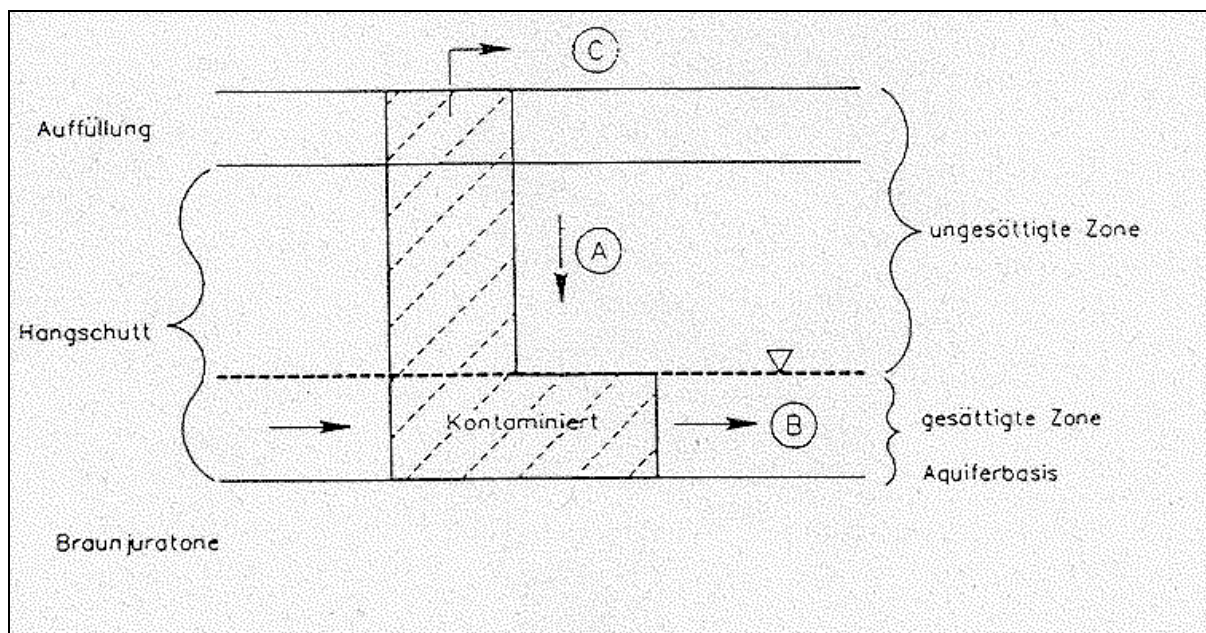


Abb. 9.3: Expositionspfade

Der Standort wird derzeit gewerblich genutzt. Aufgrund der festgestellten Grundwasserfließgeschwindigkeiten und die ermittelten Verteilungskoeffizienten ist mit einer Verbreitung der Schadstoffe im Grundwasser zu rechnen.

3.3 Eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung

Das Ziel der Sanierungsvorplanung ($E_{3.4}$) ist die planerische Erarbeitung von Entscheidungsgrundlagen für eine Sanierung oder die fachtechnische Kontrolle. Außerdem beinhaltet sie die Erarbeitung von Sanierungszielen und den Vergleich grundsätzlich geeigneter Sanierungsverfahren in Form einer Kostenwirksamkeitsabschätzung. Auf der Grundlage dieser Vorarbeiten können durch die Bewertungskommission die Sanierungsziele und bei Bedarf geeignete Sanierungsverfahren vorgeschlagen werden.

Die Sanierungsvorplanung wurde nach dem neu erarbeiteten Leitfaden der LfU durchgeführt. Die Sanierungszielbestimmung wurde nach der neu entwickelten Orientierungsschrift "Orientierungswerte bei der Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen" (Stand 29.09.92) der LfU bearbeitet. In Abb. 9.4 ist die Vorgehensweise bei der Sanierungsvorplanung schematisch dargestellt.

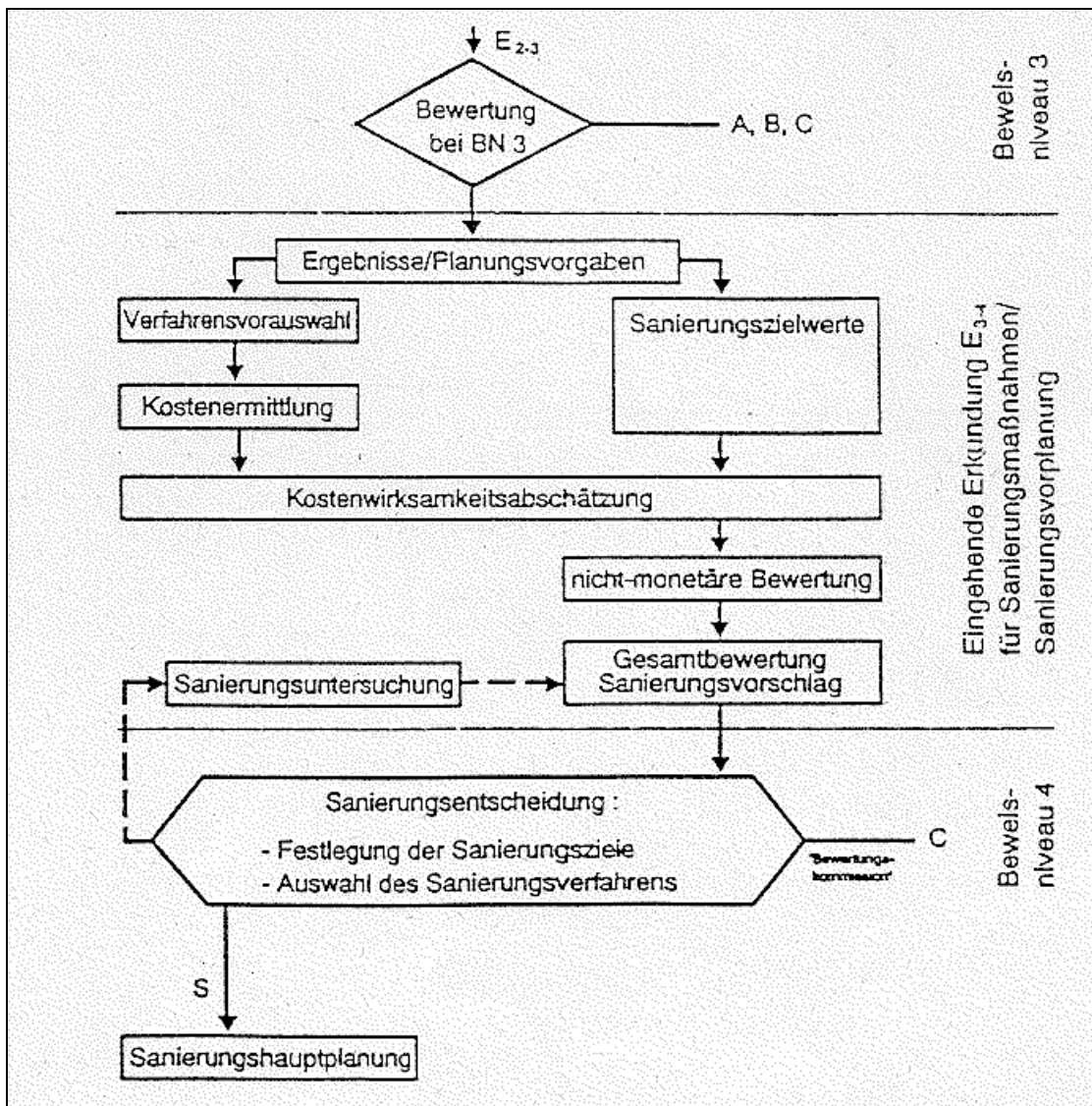


Abb. 9.4: Vorgehen bei der $E_{3.4}$ -Bearbeitung

3.3.1 Ermittlung von Sanierungszielen

Die Informationsschrift "Orientierungswerte bei der Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen" (Stand 29.09.92) enthält Richtlinien zur Ermittlung von Sanierungszielen.

Die ermittelten Sanierungszielwerte sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt:

Schadstoffe	Sanierungszielwerte (mg/kg TS)*			
	SZA-BA ¹	Ausdampfung	SZA-BGW ₁	SZA-BGW ₂
Cyanid	600	-	5,0	30,0
PAK ₁₅	12	-	0,25	0,75
Naphtalin	6		0,1	1,0
0 - 2 m u. GOK		60		
2 - 4 m u. GOK		120		
4 - 6 m u. GOK		160		
6 - 8 m u. GOK		765		
> 8 m u. GOK		1020		

* Diese Sanierungszielwerte sind eine wichtige Grundlage für die Festlegung von Varianten.

Tab. 9. 2: Berechnete Sanierungszielwerte

3.3.2 Gesamtbewertung/Sanierungsvorschlag

Nach der Verfahrensvorauswahl wurden die relevanten Maßnahmen in fünf Sanierungshauptvarianten ausgearbeitet.

Ausgehend von der monetären und nicht-monetären Bewertung wurden verschiedene Sanierungsvarianten einer Gesamtbewertung unterzogen. In Tab. 9.3 sind die Verfahrenskombinationen und die Kosten der einzelnen Varianten dargestellt. Die Böden werden mittels thermischem Verfahren gereinigt.

Variante	Beschreibung	Kosten in Mio. DM
I	Oberflächenabdichtung mit Sicherungsmaßnahmen für das Grundwasser	5,5 *
II	Bodenaushub bis zum Sanierungszielwert, der eine nutzungsfähige Qualität (bei der derzeitigen Nutzung) des Bodens garantieren. Sicherungsmaßnahmen für das Grundwasser.	7,6 *
III a+b	In situ-Maßnahmen für den Boden mit Auskoffering der "Hot Spots". Sicherungsmaßnahmen für das Grundwasser.	10,6 (a) * 12,0 (b) *
IV a+b	Totale In situ-Maßnahmen für den Boden mit Sicherungsmaßnahmen für das Grundwasser	11,8 (a) * 13,6 (b) *
V a+b	Bodenaushub und hydraulische Bodensanierung, die Restkonzentrationen im Eluat gewährleisten, die den SZ-W-Werten entsprechen. Keine weiteren Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers erforderlich.	26,5 (a) 33,2 (b)
* Die Kosten basieren auf hydraulischer Sicherung statt Umspundung als Maßnahme für das Grundwasser		

Tab. 9. 3: Sanierungsvarianten und deren Kosten

Da sich die Wirksamkeit aller vorgeschlagenen Varianten im 100 %- Bereich bewegt, ist die Wirksamkeit ein entscheidendes Kriterium für die Gesamtbewertung. Deshalb wurden der Gesamtbewertung folgende Überlegungen zugrunde gelegt:

- Es sind grundsätzliche Unterschiede festzustellen zwischen den Varianten, die Sicherungsmaßnahmen für das Grundwasser beinhalten und Varianten, bei denen das Grundwasser belassen werden kann. Die Sicherungsmaßnahmen für das Grundwasser bedingen über Jahrzehnte hin aufwendige Kontroll-, Reparatur- und Ersatzarbeiten. Bei den Varianten V und VI bestehen kaum Nachsorgeverpflichtungen, aber die Kosten dieser Varianten sind jedoch sehr hoch.
- Die Varianten III a+b, die In situ-Maßnahmen mit Auskoffering der „Hot Spots“ kombinieren, sind einer reinen In situ-Reinigung (Variante IV) bei gleicher Wirksamkeit, niedrigeren Kosten und einer vorteilhafteren nicht-monetären Bewertung vorzuziehen.
- Zur Sicherung des Grundwassers kann entweder eine hydraulische Sicherung oder eine Umspundung eingesetzt werden. Beiden Maßnahmen ist eine vergleichbare Wirksamkeit zuzurechnen. Bei der Durchführung einer Umspundung ist aber mit wesentlich höheren Kosten zu rechnen und die Bewertung fällt ungünstiger aus in Bezug auf Kriterien wie „technischer Aufwand“, „Störung des Untergrundes“, „Dauer der Installation“, „Flexibilität“ usw. Aus diesen Gründen ist eine hydraulische Sicherung einer Umspundung vorzuziehen.

Die obengenannten Überlegungen stellen einige Varianten klar in den Vordergrund:

- Variante I:
Aufgrund der relativ geringen Kosten für die Oberflächenabdichtung und die hydraulische Sicherung des Grundwassers ist diese Variante als kostenwirksamste Variante einzustufen.
- Variante II:
Variante II beinhaltet eine Verbesserung gegenüber Variante I in Bezug auf die Nutzung des Bodens durch den Eigentümer oder Benutzer.

- Variante III:
Variante III sieht Maßnahmen vor, mit denen - neben einer langfristigen Sicherung - das Schadstoffpotential im Boden auf ein niedrigeres Niveau reduziert wird. Damit verringert sich der Sicherungsaufwand, obwohl im Moment noch keine Aussagen über das Ausmaß der Verringerung der Sicherungsmaßnahmen gemacht werden können.
- Variante V:
Sofern die Nachteile der mit den Sicherungsmaßnahmen für das Grundwasser verbundenen Nachsorgeverpflichtungen die Vorteile einer Lösung ohne Nachsorgeverpflichtungen nicht aufwiegen, schneiden die Varianten V und VI am besten ab. Variante V gilt als weitaus günstiger, da ihre Kosten erheblich niedriger sind und auch die nicht-monetäre Bewertung günstig ausfällt. Die Restbelastung des Grundwassers ist bei Variante V akzeptabel.

4. Besondere Themen bei der Modellstandortbearbeitung

Während der technischen Erkundung wurde festgestellt, daß die Teerabscheidegrube und die Ammoniakwassergrube noch Produktionsrückstände enthalten.

Die Grubeninhalte wurden mit höchster Priorität entsorgt, wobei verschiedene Bergungstechniken angewandt wurden. Ein nicht pumpfähiges Gemisch aus Teer und Gasreinigungsmasse wurde nachträglich getrennt und verwertet.

4.1 Teergrubenentsorgung als Sofortmaßnahme

Neben der Beseitigung der potentiellen Gefährdung durch möglicherweise undichte Gruben war das Ziel der **Grubenentsorgung**, die Grubeninhalte im Hinblick auf zukünftige Gaswerkssanierungen modellhaft zu bergen und zu entsorgen. Zur Entsorgung der Teerrückstände wurde eine Wiederverwertung angestrebt.

Bei einem Ideenwettbewerb wurde die Bergung mittels Kryotechnik gewählt.

Vor der Bergung des Teers wurde das überstehende Wasser aus den Gruben abgepumpt und einer Wasseraufbereitungsanlage zugeführt.

Die Teerbergung begann mit dem Aufsägen der Betonabdeckung der beiden Gruben. Anschließend wurde der pumpfähige Anteil des Teers abgesaugt. Die restlichen Teerrückstände wurden mit flüssigem Stickstoff verfestigt und bergmännisch abgebaut. Der gesamte Teer wurde durch Vermischen mit Feinkohle rieselfähig gemacht und konnte in dieser Form als Energieträger genutzt werden.

Ein Problem stellte die beim Abpumpen des Teers in der Teerabscheidegrube unerwartet vorgefundene Gasreinigungsmasse dar. Dadurch erhöhte sich die Menge des kryotechnisch zu bergenden Materials. Das Gemisch aus Gasreinigungsmasse und Teer konnte nicht verwertet werden und wurde am Standort zur Entsorgung bereitgestellt.

Zur Reinigung der Bausubstanz von Teerresten wurden die Grubenwände in gefrorenem Zustand flächenhaft abgespritzt.

Die Vorteile der Kryotechnik im Hinblick auf die Emissionsminderung sowie die Verwertung des geborgenen Teers waren groß.

4.2 Trennung und Verwertung des Gemisches Gasreinigungsmasse-Teer

Für die mit Teer vermengte Gasreinigungsmasse wurde vom Institut Dr. Jungbauer und Partner ein erfolgversprechendes Konzept zur mechanischen **Trennung** und anschließenden Verwertung der abgetrennten Fraktionen vorgelegt.

Die Trennung des Gemisches erfolgte in zwei Stufen:

- Erste Reinigungsstufe:
Wäsche des Teer-Gasreiniger-Gemisches mit einer biologisch abbaubaren Waschlösung (Tensid A/Wasser) zur Abtrennung der Teerfraktion und Vorreinigung der Gasreinigungsmasse;
- Zweite Reinigungsstufe:
Extraktive Nachreinigung der Gasreinigungsmasse mit einer biologisch abbaubaren hochkonzentrierten Waschlösung (Tensid B/Wasser) bis zum Erreichen der Schüttfähigkeit.

In der ersten Reinigungsstufe konnte die Gasreinigungsmasse weitgehend vom Teer befreit werden. Die zweite Reinigungsstufe brachte nochmals eine deutliche Verbesserung.

Der abgetrennte Teer wurde durch Vermischen mit Feinkohle als Energieträger einsetzbar gemacht.

4.3 Vor-Ort-Analytik mittels PAK-Feldanalyse

Im Rahmen der Geländeerkundung wurde für die PAK-Bestimmung eine Feldanalyse eingesetzt. Diese **PAK-Feldanalyse** ermöglichte eine Steuerung der Probenahme im Gelände und ermöglichte eine große Anzahl Meßergebnisse zu relativ geringen Kosten. Bei der Feldanalyse handelt es sich um eine halbquantitative Methode mit kollektiver Quantifizierung. Nach Zugabe eines Reagens wird über Chemolumineszenz die Lichtintensität über eine Fozelle gemessen. Die Ergebnisse der Feldanalyse wurden mit konventionellen Analysemethoden kontrolliert. Zu Beginn der Arbeiten wurde ein standortspezifischer Eichfaktor festgestellt. Insgesamt wurden über 300 PAK-Feldanalysen durchgeführt.

Die Abbildungen 9.5 und 9.6 zeigen das Meßprinzip und die Ergebnisse der Regressionsanalyse.

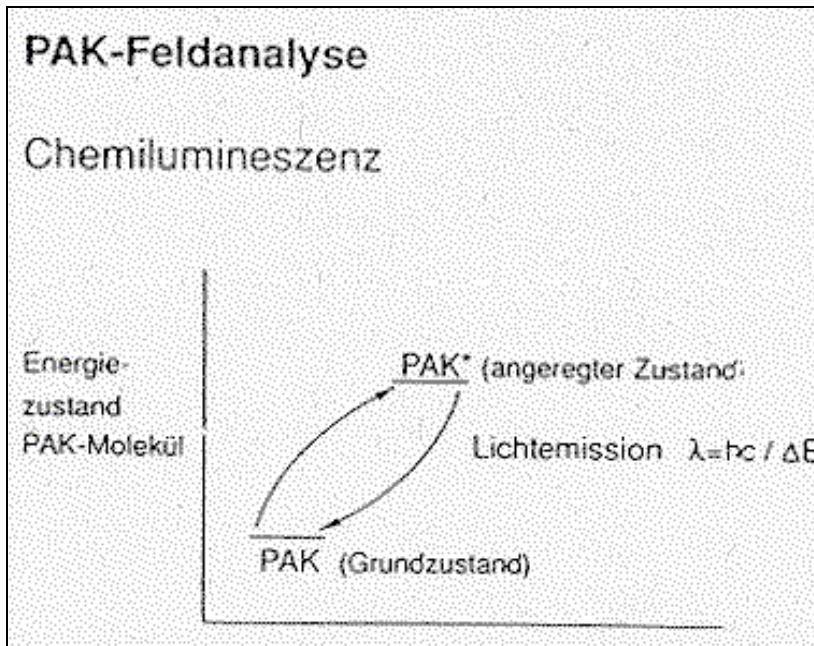


Abb. 9.5: Meßprinzip der PAK-Feldanalyse

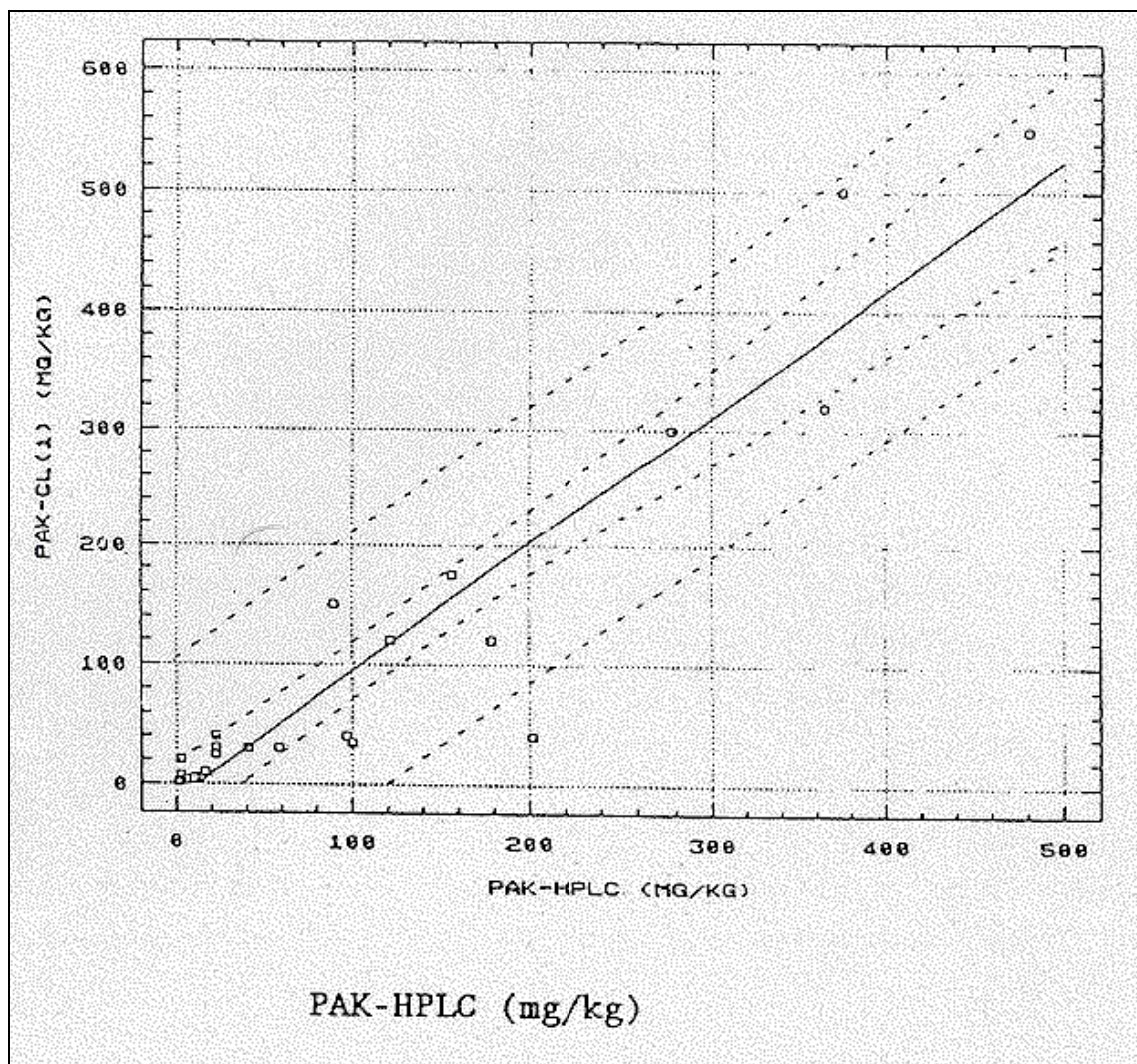


Abb. 9.6: Regressionsanalyse zur Bewertung des Eichfaktors

Zur Bestimmung des Eichfaktors wurden insgesamt 29 HPLC-Analysen bei einer Gesamtanzahl von ca. 300 PAK-Feldanalysen durchgeführt. Anschließend wurden die Resultate des Eichfaktors mittels Regression weiter analysiert. Der Korrelationskoeffizient (r) betrug 0,94 für Messungen am gleichen Extrakt mittels PAK-Feld und PAK-HPLC. Das bedeutet, daß die PAK-Feldanalyse als semiquantitative Analyse durchaus geeignet ist. Eine Klassifikation der Bodenproben bildet denn auch eine reelle Möglichkeit.

Bei der Interpretation der vorhandenen Daten gilt es zu bedenken, daß die Ergebnisse von PAK-HPLC-Analysen bei Ringversuchen je nach PAK-Derivat und Konzentrationen Schwankungen zwischen 10 und über 20 % aufweisen. Die Reproduzierbarkeit verschiedener Laboratorien variierte in einem Ringversuch von 48 bis 61 %. Diese Werte zeigen, daß die PAK-Feldanalyse trotz ihrer semiquantitativen Art ein sinnvolles Hilfsmittel ist, wenn es darum geht, bereits im Feld erste Hinweise auf die Verunreinigungssituation zu erhalten.

Die Feldtestergebnisse wurden zusammen mit den konventionellen PAK-Ergebnissen über das Krigeverfahren statistisch bearbeitet und in Schadstoffverbreitungsbildern festgelegt.

4.4 Elutionsversuche im Vergleich

Als Grundlage für die Festlegung von Sanierungszielwerten für den Boden in Bezug auf den Schutz des Grundwassers wurden verschiedene **Elutionsversuche** durchgeführt.

Die Elutionsversuche wurden auf ihre Eignung bewertet und die Ergebnisse wurden benutzt für die Berechnung von Verteilungskoeffizienten zwischen Boden und Grundwasser am Standort.

Der DEV-S4-Test, der Kaskadentest (Vornorm NVN 2508) und ein Säulentest (NVN 2508) wurden mit leicht-, mäßig und hochkontaminiertem Bodenmaterial durchgeführt. Der DEV-54-Test ist ein einfacher Schütteltest. Der Kaskadentest ist ein mehrfacher Schütteltest, bei dem das Schüttelwasser fünfmal erneuert wird. Der Säulentest ist ein Eluatversuch, bei dem der Boden nicht berührt wird.

Die Tests wurden folgendermaßen bewertet:

Der DEV-S4-Test ist eine Momentaufnahme. Der durch diesen Test bestimmte Verteilungskoeffizient war im Gegensatz zu den anderen Testverfahren niedrig. Vermutlich wird beim DEV-54-Test nicht nur die Schadstoffkonzentration der gelösten PAK gemessen, sondern auch die Mengen, die an Feinstpartikeln adsorbiert sind sowie Schadstoffe, die in Feinporen in ungelöster Form anwesend sind. Die hierbei bestimmten Verteilungskoeffizienten könnten deshalb zu einer Überschätzung der Schadstoffmobilität führen.

Die Verteilungskoeffizienten, die sich aus den Kaskadentests ergeben, liegen höher als die Verteilungskoeffizienten des einfachen Schütteltests. Mit einem zunehmenden l/s (liquid/solid)-Verhältnis werden die Verteilungskoeffizienten über ein größeres l/s (liquid/solid)-Verhältnis weitgehend konstant. Diese Verteilungskoeffizienten entsprechen etwa den Literaturwerten. Mit dem Kaskadentest läßt sich auch der Einfluß der Elutionsdauer auf den Verteilungskoeffizienten bestimmen. Der Verteilungskoeffizient bei z.B. einem l/s -

Verhältnis von 25 entspricht einem Elutionsverhalten nach einer vielfältigen Durchspülung mit Grund- bzw. Sickerwasser.

Der Kaskadentest ist einfach durchzuführen und geeignet, den wirklichen Verteilungskoeffizienten zu bestimmen.

Bei den Säulentests ist bei höheren l/s-Verhältnissen eine teilweise exponentielle Zunahme des Verteilungskoeffizienten zu beobachten. Bei den Säulentests wird der wirkliche Verteilungskoeffizient zwischen der festen und der flüssigen Bodenphase nicht bestimmt, sondern ein Verteilungskoeffizient, der durch Säuleneffekte, Kurzschlußströmungen und Schichtung des Materials sowie durch Diffusion beeinflusst wird. Dieser Verteilungskoeffizient kann als ein „scheinbarer“ Verteilungskoeffizient betrachtet werden.

Aus der Bewertung der drei verschiedenen Testvarianten wird deutlich, daß keine der Testvarianten zur Beurteilung der Elutionsfähigkeit uneingeschränkt brauchbar ist. Zur Bestimmung des wirklichen Verteilungskoeffizienten liefert der Kaskadentest die besten Resultate.

Wegen der unterschiedlichen Stoffeigenschaften kann nicht nur ein K_{OC} -Wert berechnet werden, sondern werden für alle verschiedenen PAK-Gruppen eigene Kurven erstellt, nämlich: 2-2,5 Benzolringe, 3-3,5 Benzolringe, 4-4,5 Benzolringe und > 4,5 Benzolringe.

In Abb. 9.7 sind einige Testergebnisse für Naphthalin dargestellt.

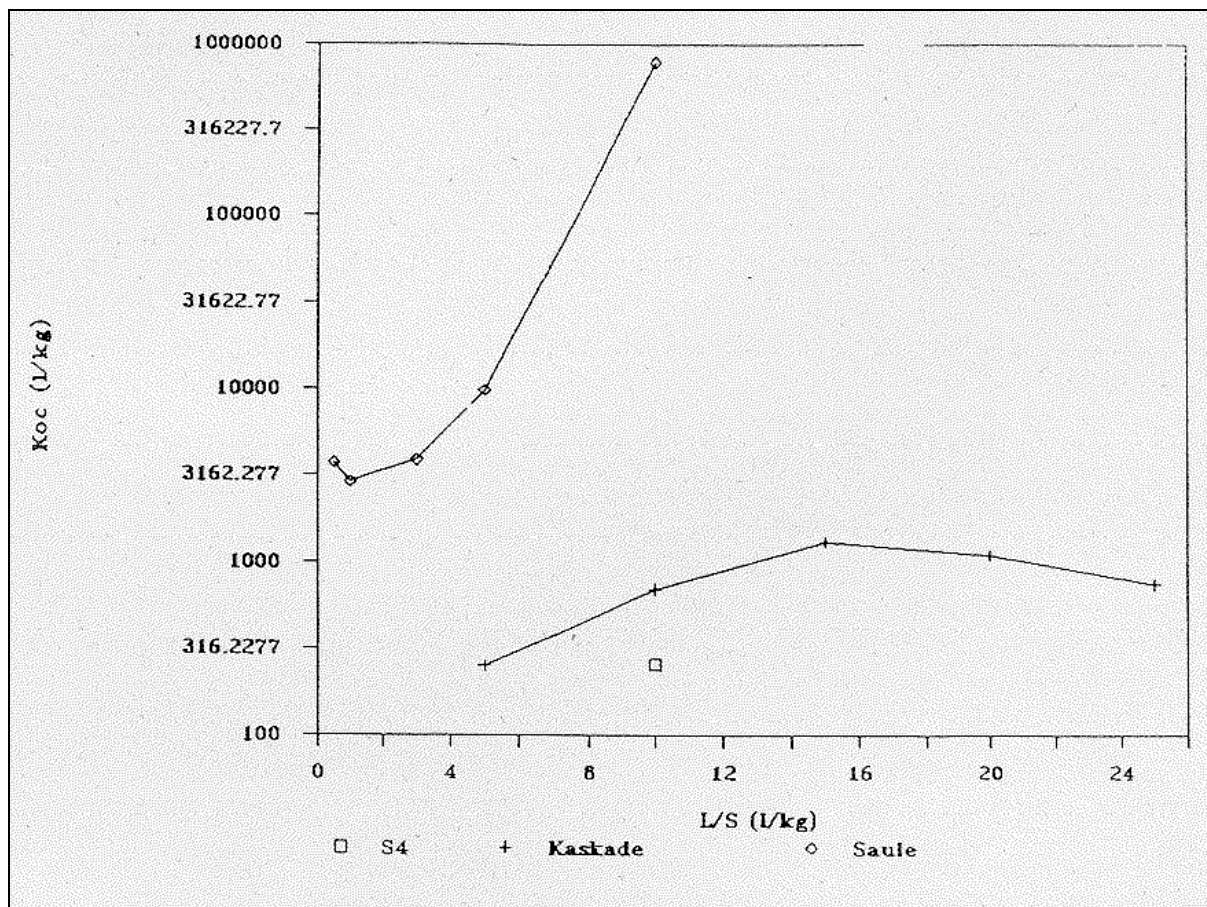


Abb. 9.7: K_{OC} -Werte für Naphthalin bei einem Kontaminationsniveau von 100 mg/kg TS

Die Streuung der K_{OC} -Werte ist der Tab. 9.4 zu entnehmen.

Parameter	K_{OC} -Bereich
Ring 2 - 2,5 minus Naphtalin	$3 \cdot 10^3 - 10^5$
Ring 3 - 3,5	$2 \cdot 10^4 - 10^7$
Ring 4 - 4,5	$5 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^8$
Ring > 4,5	$5 \cdot 10^3 - 10^7$

Tab. 9.4: Streuung der K_{OC} -Werte

Anhand der obengenannten Tests wurden die wahrscheinlichsten Verteilungskoeffizienten berechnet, die als Grundlage für die Erarbeitung der in Kapitel 3 genannten Sanierungszielwerte für PAK dienen.

4.5 Datenverarbeitung und Datenauswertung

Alle Erkundungsergebnisse, Profilaufnahmen, Analysenergebnisse, topographischen Daten sowie Hoch- und Rechtswerte der Meßpunkte wurden in eine zentrale Datenbank eingeführt und mit dem für Altlasten geeigneten EDV-System „BISON“ verarbeitet.

BISON bietet die Möglichkeit, die Erkundungsergebnisse schnell und nach verschiedenen Kriterien in ein Interpretationsmodell zu verarbeiten und graphisch darzustellen.

BISON kann zusätzlich benutzt werden für die geostatistische Auswertung, für Wahrscheinlichkeitsberechnungen, Meßwertvergleiche, für die Berechnung von Sanierungsvarianten und von Sanierungsvolumen.

Einige Vorteile, die der Einsatz von BISON diesem Projekt verschafft hat, sind:

- einfache Erweiterung des gesamten Datenbestandes;
- schnelle kartographische Darstellung der Ergebnisse;
- Möglichkeiten zur Berechnung der Volumen an kontaminiertem Material unter Annahme verschiedener Ausgangspunkte;
- Verbesserung der Erkundungsergebnisse durch statistische Datenbearbeitung, unter Berücksichtigung von z.B. PAK-Schnelltestergebnissen.

5. Übereinstimmung und Unterschiede bei der Bearbeitung

Bei der Bearbeitung von Gaswerkstandorten in Baden-Württemberg und in den Niederlanden gibt es sowohl Übereinstimmungen wie auch Unterschiede. In der nachfolgenden Übersicht werden die Vorgehensweisen in Baden-Württemberg und in den Niederlanden kurz skizziert:

- Mittlerweile sind in beiden Ländern alle Gaswerksstandorte erhoben.
- Die historische Erkundung wird in Baden-Württemberg sehr genau und systematisch durchgeführt. Diese Vorgehensweise ist sehr gut und für eine erfolgreiche technische Erkundung grundlegend.
- Alle Ersterkundungen sind in den Niederlanden abgeschlossen. Die Ergebnisse haben gezeigt, daß auf allen Standorten Kontaminationen und Rückstände vorkommen. Dies wird sicherlich auch in Baden-Württemberg der Fall sein.
- Die eingehende Erkundung/Gefährdungsabschätzung ist im Ablauf vergleichbar. In den Niederlanden ist der Aufwand für diese Geländeerkundung im Laufe der Jahre erheblich angestiegen. Wenn bereits vorab der Sanierungsablauf festgelegt ist, kann in bestimmten Fällen eine eingeschränkte Erkundung erfolgen.
- Die Gefährdungsabschätzung und Bewertung ist in Baden-Württemberg mehr Pfad- und Nutzungsorientiert. In den Niederlanden liegen die Schwerpunkte mehr bei den Schutzgütern und richten sich auf die Multifunktionalität.
- Die Sanierungszielwerte befinden sich in Baden-Württemberg noch in der Entwicklung; im Gegensatz dazu existiert die Hollandliste bereits seit 1983. In der Praxis haben die Sanierungszielwerte oft vergleichbare Auswirkungen, obwohl in Baden-Württemberg wahrscheinlich öfter zugunsten „Sicherheit und Kontrolle“ entschieden werden wird.
- Die Sanierungsvorplanung ist in der Vorgehensweise vergleichbar, aber in konkreten Fällen bestehen doch große Unterschiede.
- Die Bewertung der Sanierungsvarianten wird letztendlich auf Basis von Kosten, Effektivität und Machbarkeit vorgenommen. Die Effektivität wird nicht quantifiziert. Auch die nicht-monetäre Bewertung spielt in den Niederlanden eine untergeordnete Rolle. Diese Aspekte werden zwar überlegt, aber nicht ausführlich in Form eines Berichtes dokumentiert.
- Die Ausschreibungen und Projektspezifikationen müssen in Baden-Württemberg noch genauer strukturiert werden.
- Für die Reinigung von kontaminierten Böden bestehen in Deutschland relativ wenig Möglichkeiten. Diese Kapazitätsmängel wurden in den Niederlanden in der Anfangsphase durch den Bau temporärer Zwischenlager aufgehoben. Der Bau von Reinigungsanlagen wurde von Anfang an von den Behörden stimuliert.

6. Aussicht

Gaswerksstandorte werden in den kommenden Jahren ein aktuelles Thema für die Altlastensanierung bleiben.

Allein schon die enormen Kosten werden die Behörden zu einem stufenweisen Vorgehen zwingen.

Je mehr die Erfahrungen bezüglich der Untersuchungstechniken, Gefährdungsabschätzung und Einführung von Normen zunehmen und je mehr neue Technologien entwickelt werden, wird sich auch die Vorgehensweise ändern.

Zur Zeit werden noch viele Gaswerksstandorte vollständig saniert. Bei weniger kritischer Anwendung werden zukünftig eher alternative und weniger eingreifende Maßnahmen als Lösung gewählt werden. Dabei haben auch die in situ Techniken eine Chance.

Eine nutzungsorientierte Vorgehensweise, wobei der Akzent oft auf Sicherungsmaßnahmen liegen wird, ist in diesem Verband unter der Voraussetzung verantwortbar, daß die Kosten der "vorläufigen" Maßnahmen begrenzt bleiben.

Zurückblickend auf zehn Jahre Bodensanierung in den Niederlanden können wir den Schluß ziehen, daß die Annäherung an den Kostenprozeß nicht festliegt, sondern in Bewegung ist.

Auch in den kommenden Jahren werden aufgrund neuer Ansichten die Normsetzung und die Richtlinien weiter angepaßt. Das gilt ebenfalls für die Finanzierungsweise eines Projektes. Neben den Behörden und den Verursachern werden auch Grundstücksbesitzer, -benutzer und Projektentwickler zunehmend an den Kosten beteiligt werden.

Modellhafte Sanierung von Altlasten

F. u. E. Vorhaben des Bundesministers für Forschung und Technologie

Dr. H. J. Stietzel, Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn

1. Einleitung

Altlasten sind ein Erbe, das uns durch eine Abfallbeseitigungspraxis hinterlassen wurde, die bis in die 70er Jahre fast keine Rücksicht auf den Schutz der Umwelt nahm. Erst durch das Inkrafttreten des Abfallbeseitigungsgesetzes im Jahre 1972 wurde die unkontrollierte Ablagerung von Abfällen in den alten Bundesländern gestoppt. Auf dem Gebiet der ehemaligen DDR verlief die Abfallbeseitigung bis in die Gegenwart u. a. aufgrund rechtlicher Vollzugsdefizite weitgehend unkontrolliert, so daß sich das Altlastenproblem hier in besonderer Schärfe stellt.

Derzeitige Schätzungen gehen in den alten und neuen Bundesländern bei einer Anzahl von 76.000 erfaßten Verdachtsflächen von einer Gesamtzahl von 180.000 Altlastenverdachtsflächen aus. Altlasten beeinträchtigen dabei nicht nur verschiedene Schutzgüter der Umwelt, sondern verursachen auch wirtschaftliche Probleme, in dem durch altlastenverdächtige Flächen der strukturelle Wandel verzögert und Flächen für die industrielle und städtebauliche Entwicklung blockiert werden.

Das Bundesministerium für Forschung und Technologie hat die Förderung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten zu der Altlastenproblematik gleichzeitig mit der politischen Wahrnehmung der Altlasten in den 70er Jahren aufgenommen. Der Förderschwerpunkt „Altlasten“ ist dabei ein Teil des BMFT-Programms „Umweltforschung und Umwelttechnologie“ 1989 - 1994.

2. Umweltforschung und Umwelttechnologie

Die **Umweltforschung** hilft nicht nur die Komplexität ökologischer Systeme und ökosystemarer Prozesse besser zu verstehen, sondern auch umweltpolitische Entscheidungen zielgenauer zu treffen. Ohne Umweltforschung lassen sich aber auch die Rückwirkungen politischen Handelns auf Mensch und Biosphäre nicht kontrollieren. Dementsprechend ist die Umweltforschung das Anfangsglied einer in sich rückgekoppelten logischen Kette mit den 4 Eckpunkten Umweltforschung - Umweltgesetze - Umweltschutzmaßnahmen - bewahrte Umwelt.

Das Umweltforschungsprogramm des Bundesministers für Forschung und Technologie spiegelt diese Strategie wider, in dem es aus 2 Arbeitsrichtungen besteht, der ökologischen Forschung und der Entwicklung von Umwelttechnik, die aufeinander aufbauen und sich gegenseitig ergänzen.

Am Beispiel der Altlastenproblematik läßt sich diese Arbeitsteilung konkret nachvollziehen. Hier ist es die Aufgabe der ökologischen Forschung Grundlagen zur Beurteilung der Gefährdung durch Altablagerungen und Altstandorte zu schaffen.

Basis und Orientierungswissen z. B. über die Human- und Ökotoxizität von altlastenrelevanten Stoffen ermöglichen es, die potentiellen Risiken zu erkennen und Risikoabschätzungen vorzunehmen. Aufbauend auf diesem Wissen können Strategien zur Regeneration und Sanierung der gestörten und geschädigten Ökosysteme z. B. von Fließgewässern und Grundwasserleitern erarbeitet werden. Wissen wir nun, in welchem Maß die untersuchten Stoffe schädigend wirken, muß die Umwelttechnologie spezielle Sanierungstechniken und Verfahren entwickeln. Durch die Förderung dieser Umwelttechniken kann dann ein Stand der Technik festgelegt werden, der überhaupt die Voraussetzung ist, Grenzwerte festzulegen, die von der Wirkung her notwendig sind.

Insofern ist es die staatliche Aufgabe im Vorfeld eines Gesetzes in Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Technik den Stand der Technik festzulegen, der dann auch in der Gesetzgebung festgeschrieben wird. Als Beispiele seien hier genannt das Abfallgesetz mit TA Sonderabfall und TA Siedlungsabfall, die TA Luft und das Wasserhaushaltsgesetz mit den Abwasseruntersuchungsvorschriften.

Besonders zu betonen ist in diesem Zusammenhang jedoch auch, daß die Forschungs- und Technologiepolitik von einer Aufgabenteilung zwischen Staat und Wirtschaft ausgeht. Grundsätzlich kommt der Einsatz staatlicher Mittel nur dann in Betracht, wenn ein erhebliches öffentliches Interesse vorliegt und die Marktkräfte allein nicht ausreichen, eine technische Entwicklung hervorzubringen. Auch fördert der BMFT nicht flächendeckend, sondern gibt vielmehr nur dort Anstöße, wo zukunftssträchtige Entwicklungen zu vermuten sind.

Der **Umwelttechnikbereich** gliedert sich in 5 Schwerpunkte die teilweise medienpezifisch, teilweise jedoch auch medienübergreifend sind:

Es sind:

- Die Emissionsarmen Verfahren und Produkte,
- die Abfallwirtschaft und die Altlastensanierung,
- die Wassertechnologie,
- die Luftreinigung,
- die Sicherheitsforschung und Technik.

3. Förderschwerpunkt „Altlastensanierung“

Die **Altlastenforschung** ist eng an die Abfallforschung gekoppelt, weil Altlasten einerseits die Folge eines unsachgemäßen Umgangs mit Abfällen sind, andererseits die Technologien zur Altlastensanierung denen der Abfallbehandlung sehr ähnlich sind.

Gleichzeitig mit der politischen Wahrnehmung der Altlastenproblematik hat das BMFT Mitte der 70er Jahre die Förderung von F+E in diesem Bereich aufgenommen.

Die **F+E-Fördermaßnahmen** zur Altlastenproblematik sind dabei im Förderschwerpunkt „Abfallwirtschaft, Altlastensanierung“ im Förderbereich Umwelttechnologien konzentriert. Die Abwicklung der Fördermaßnahmen des BMFT erfolgt über den beim Umweltbundesamt eingerichteten Projektträger Abfallwirtschaft und Altlasten (UBA PT-AWAS). Daneben sind auch F+E-Fördermaßnahmen in anderen Förderschwerpunkten des BMFT unmittelbar relevant für die Altlastenproblematik, so z. B. in den Bereichen Bodenforschung, Ökotoxikologie.

Die F+E-Förderung des BMFT bezieht sich auf die gesamte Aufgabenkette der Altlastenbewältigung, die die folgenden Stufen umfaßt:

- Erfassung/ Erkundung
- Gefährdungsabschätzung/Bewertung
- Sicherung
- Sanierung.

Zur Zeit wird das Förderkonzept überarbeitet, wobei speziell auf die Altlastenproblematik der neuen Bundesländer Rücksicht genommen wird.

Der Gesamtaufwand der Mittel für die verschiedenen Aufgabenbereiche der Altlastenproblematik betrug von 1976 - 1991 180 Mio. DM. Dabei hat sich die Schwerpunktsetzung in den vergangenen Jahren eindeutig von den Sicherungs- zu den Sanierungsverfahren (im Sinne einer Dekontamination) verschoben. Sicherungsmaßnahmen wurden exemplarisch anhand der beiden Deponien **Georgswerder** und **Gerolsheim** erprobt. Ziel war es in beiden Fällen das Wandern der Schadstoffe in den Untergrund und in das Grundwasser zu verhindern und die Emissionen schädlicher Gase zu minimieren.

4. Vermeidung von Altlasten

Zur Vermeidung der Fehler, die bei der oberirdischen Ablagerung von Abfällen in der Vergangenheit gemacht wurden und unter der Prämisse, daß die Deponie ein unverzichtbarer Pfeiler der Abfallwirtschaft bleibt, liegen die Schwerpunkte des BMFT Förderkonzeptes bei der Ablagerung von Abfällen bei folgenden Themen:

- Verbesserung der Methoden für Standortuntersuchungen.
- Untersuchungen und Beschreibungen der im Deponiekörper ablaufenden Vorgänge.
- Entwicklung von Konzepten zur Risiko- und Zuverlässigkeitsanalyse für das Emissionsverhalten.

Die Forschungsförderung des BMFT wird in diesem Bereich im Rahmen von Verbundvorhaben, die sich mit den 3 Barrieren des Multibarrierenkonzeptes beschäftigen, durchgeführt.

Der Untergrund von Deponien, die geologische Barriere ist als letzte und wichtigste Barriere zur Vermeidung und Verminderung des Schadstoffaustrages anzusehen.

Die Erkundung dieser geologischen Barriere ist das Hauptziel des von der BGR in Hannover betreuten BMFT-Verbundvorhabens "Methoden zur Erkundung und Beschreibung des Untergrundes von Deponien und Altlasten", das der BMFT mit über 20 Mio. DM fördert. In 28 Einzelvorhaben mit 37 beteiligten Forschungseinrichtungen, darunter auch eine größere Anzahl aus den neuen Bundesländern, werden die vorhandenen geophysikalischen, geochemi-

schen und hydrogeologischen Methoden zur Analyse des Deponieuntergrundes bewertet, weiterentwickelt und an ausgesuchten Teststandorten erprobt.

Mit der zweiten Barriere, der Dichtung und Dränage, beschäftigt sich das BMFT-Verbundvorhaben „Weiterentwicklung von Deponieabdichtungssystemen“, welches von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung fachlich betreut wird. Ziel der 28 Teilvorhaben ist die Optimierung der Abdichtungssysteme, die dafür sorgen sollen, daß die in der Deponie enthaltenen Schadstoffe langfristig dem Biozyklus entzogen werden.

Die dritte Barriere des Multibarrierenkonzeptes wird vom Abfall selbst, also vom Deponiekörper gebildet. Das neue BMFT-Verbundvorhaben „Deponiekörper“, das z. Z. konzipiert wird, hat das Ziel, die im Deponiekörper ablaufenden Reaktionen zu untersuchen und das zukünftige Emissionsverhalten zu prognostizieren. Weiterhin soll erforscht werden, welche Auswirkungen die Vorbehandlung der Abfälle auf das Emissionsverhalten hat und inwieweit das Deponieverhalten gesteuert werden kann.

5. Sanierung von Altlasten

Für den Aufgabenbereich „Sanierung“ hat das BMFT in der Vergangenheit auf breiter Ebene die in Frage kommenden Verfahren der thermischen, der chemisch-physikalischen und biologischen Sanierung in den möglichen Varianten der On-site, Off-site und In-situ Technik gefördert.

Da kontaminierte Altstandorte und Altablagerungen in der überwiegenden Anzahl der Fälle nicht nur mit einem Schadstoff kontaminiert sind, sondern über verschiedene Schadstoffquellen auf verschiedenen Migrationswegen unterschiedliche Schutzgüter bedrohen, kann die Dekontamination von Boden und

Grundwasser zumeist nicht mit einem Sanierungsverfahren, sondern nur mit einer Kombination von Verfahren erreicht werden.

6. BMFT-Programm „Modellhafte Sanierung von Altlasten“

Ein großer Anteil von Verfahren zur Sanierung von kontaminierten Standorten wurde im Rahmen von BMFT-Forschungsvorhaben entwickelt. Da jedoch für diese Einzelentwicklungen noch konkrete Aussagen zur Leistungsfähigkeit, zu den Einsatzgrenzen und zu Kosten-Nutzen-Analysen unter Berücksichtigung ökologischer Erfordernisse fehlten, hat der BMFT im Jahr 1989 ein Sonderprogramm „Modellhafte Sanierung von Altlasten“ vorgestellt. Innerhalb dieses Programms ist die ganzheitliche modellhafte Sanierung ausgewählter Altlasten vorgesehen, wobei verschiedene Sanierungstechniken besonders im Verfahrensverbund in der Praxis erprobt werden sollen. Aus über 100 Vorschlägen für Sanierungsprojekte wurden 8 Projekte ausgewählt, die im Zeitraum 1990 - 1995 mit über 92 Mio. DM gefördert werden. Dabei handelt es sich um ein ehemaliges Hüttengelände in Saarbrücken, ein Gaswerk in München, eine Rüstungsaltlast in Stadtallendorf, sowie Chemie-Recycling-Betriebe in Berlin und Hannover, ein Gelände einer Batteriefabrik in Hannover, eine Maschinenfabrik in Konz

und eine Altablagerung in Stade. Die Ausschreibung wurde inzwischen auch auf die neuen Bundesländer ausgeweitet.

Im folgenden werden 6 der ausgewählten **Modellprojekte** näher beschrieben (s. Anlage):

6.1 Haynauer Straße 58 in Berlin

Bei dem Modellstandort Haynauer Straße 58 handelt es sich um einen 3.030 m² großen Altstandort, auf dem von der Kalisch/Kolhoff, ehemals Flutonalchemikalien Entgiftungs- und Verarbeitungs-KG Dr. Kalisch GmbH & Co., in der Zeit von 1952 bis 1986 Altöle sowie flüssige Chemieabfälle aus chemischen Reinigungen und metallverarbeitenden Betrieben aufbereitet bzw. entsorgt wurden. In Zeiten der Hochkonjunktur wurden bis zu 100 t verunreinigter Lösungsmittel im Monat weiterverarbeitet.

Ab 1967 wurde darüber hinaus zumindest zeitweise eine Altölverarbeitung betrieben, bei der auch Trafoöle, Testbenzin und Petroleum aufbereitet wurden. Im Jahr 1986 wurde die verarbeitende bzw. die entsorgende Tätigkeit auf dem Firmengelände eingestellt.

Aus diesen Tätigkeiten resultiert die Verunreinigung des Geländes mit aromatischen und chlorierten Kohlenwasserstoffen sowie Mineralölkohlenwasserstoffen, die zum Teil in hohen Konzentrationen vorliegen. Die Kontamination reicht lokal bis in etwa 50 m Tiefe und hat das Grundwasser in mehreren hydraulischen Stockwerken erfaßt.

Ziel der Sanierung ist es, daß dekontaminierte Erdreich weiterzuverwenden und die anfallenden Reststoffe zu minimieren. Es kommen dabei neben Bodenluftabsaugung und mikrobiologischen Verfahren auch Bodenwaschverfahren zum Einsatz, deren aufkonzentrierte Reststoffe in einer zirkulierenden Wirbelschichtverbrennung dekontaminiert werden.

6.2 Gaswerk, München

Das Gaswerksgelände, im Norden der Stadt an der Dachauer Straße 148 gelegen, ist einer von vier Gaswerkstandorten in München. Vom Jahre 1909 bis 1965 wurde hier durch Entgasung der Steinkohle Stadtgas produziert. Parallel dazu fand von 1957 an eine Umstellung auf die Nutzung des heimischen Erdgases statt. Die eigene Produktion endete 1975 mit dem vollen Anschluß an das internationale Erdgasversorgungssystem. Damals wurden auch die ehemaligen Produktionsanlagen mit Ausnahme von Verwaltungs-, Lager- und Werkstattgebäuden abgebrochen.

Das Gesamtgelände umfaßt eine Fläche von ca. 30 ha, wobei sich die festgestellte Altlast über eine Fläche von etwa 10 ha erstreckt und zwar den Standort der ehemaligen Ofenbatterien, die Anlagen zur Gewinnung der Kohlewertstoffe sowie die Kohlelagerplätze. Bei den festgestellten Schadstoffen handelt es sich vorwiegend um Kohlenwasserstoffkontaminationen (Kwges.; PAK), teerhaltige Cyanidverunreinigungen (gebunden) sowie Blei.

Zur Sanierung des Geländes wurden bisher verschiedene Bodenwaschverfahren und biologische Verfahren eingesetzt, die jedoch noch nicht zum gewünschten Sanierungsziel führten. Zur Zeit werden als ergänzende Variante Verfahren zur Vakuumdestillation und zur Wasserdampfdesorption untersucht.

6.3 Kertess Chemie, Hannover

Das ca. 1 ha große Gelände der ehemaligen Kertess Chemie liegt in der Südstadt von Hannover und befindet sich heute im Besitz der Deutschen Bundesbahn. Im Zeitraum von 1943 bis 1985 wurden hier in Großbehältern angelieferte Chemikalien in kleinere Verkaufsbehältnisse umgefüllt und aus unterschiedlichen Chemikalien Produkte wie z. B. Kaltreiniger hergestellt.

Auf dem Gelände sind durch Leckagen, unsachgemäße Umfüllvorgänge und Unfälle eine Reihe chemischer Verbindungen - im wesentlichen chlorierte und aromatische Kohlenwasserstoffe - mit einer Gesamtgrößenordnung von ca. 200 t in den Untergrund gelangt. Das Grundwasser ist auf eine Fläche von 6 km² mit ca. 40 t halogenierten Kohlenwasserstoffen verunreinigt.

Ziel der Sanierung ist die weitgehende Reduzierung der Schadstoffe, die in flüssiger Phase, in der Bodenmatrix, in Boden- und Grundwasser gelöst sowie in der Bodenluft vorliegen. Das Sanierungskonzept besteht aus der Erkundung und Entnahme der Schwerphase, Entnahme der Schadstoffe aus der ungesättigten Bodenzone durch in-situ Bodenwäsche. Die verbliebenen Schadstoffe werden durch eine on-site Wasseraufbereitung des Grundwassers entfernt.

6.4 VARTA-SÜD, Hannover

Das 45 ha große Gelände „Varta-Süd“ liegt im Nordwesten von Hannover im Stadtteil Marienwerder. Es grenzt unmittelbar an das Betriebsgelände der Varta Batterie AG an, wo seit 1940 Akkumulatoren produziert werden und bis Mitte der 50er Jahre auch eine Bleihütte und Bleimühlen betrieben wurden. Das Gelände war seinerzeit für eine spätere Ausweitung der Produktionsstätten reserviert worden, die aber nicht realisiert wurde. Während des Krieges befanden sich hier militärische Einrichtungen und das Außenlager Stöcken des KZ Neuengamme. Nach dem Krieg wurde das Gelände vorwiegend landwirtschaftlich und kleingärtnerisch genutzt. Heute ist ein großer Teil der Fläche mit Gras- und Buschbestand besiedeltes Brachland. Einige Bereiche sind für den Arten- und Biotopschutz als besonders wertvoll anzusehen. In W-O-Richtung wird das Gelände vom Roßbruchgraben durchflossen, der von der VARTA AG für die Einleitung von Betriebsabwässern als örtlicher Vorfluter genutzt wird. Das Gelände ist durch die langjährige Produktion der VARTA AG sowie durch Abfallablagerungen in unterschiedlichem Maße mit Blei, Antimon, Cadmium und PAK kontaminiert.

Zur Beseitigung der Kontamination wurde ein Sanierungskonzept auf der Basis eines Einsatzes von physikalischen oder physikalisch-chemischen Bodenwaschverfahren entwickelt. Es wurden Bodenwaschversuche mit 4 ausgewählten Waschverfahren mit dem Ergebnis durchgeführt, daß nur ein kombiniertes Verfahren, aus einer physikalischen Behandlung in Form einer naßmechanischen Aufbereitung und einer chemischen Nachbehandlung geeignet ist, die vorgeschlagenen Sanierungszielwerte zu erreichen.

6.5 Burbacher Hütte, Saarbrücken

Die Burbacher Hütte wurde 1857 gegründet und hatte in ihrer Blütezeit eine Ausdehnung von ca. 60 ha. Als Folge der allgemeinen Stahlkrise wurden nach und nach wesentliche Produktionsbereiche aufgegeben. Demzufolge liegt ein großer Teil des Produktionsgeländes (ca. 40

ha) bereits seit einigen Jahren brach. Die Tätigkeit in den verschiedenen Betriebs- und Lagerstätten, vor allem Kokereien, Öllager, Gaserzeugung und Benzolfabrik verursachten Kontaminationen des Bodens mit aromatischen Kohlenwasserstoffverbindungen, Phenolen, Schwermetallen sowie Sulfiden und Cyaniden.

Als Reinigungsverfahren wurden im on-site Betrieb mehrere physikalisch-chemische, thermische und biologische Verfahren in Vorversuchen erprobt. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Pilotversuche wird zur Zeit eine Gesamtsanierungskonzeption erstellt und die Auslegung und Spezifikation der großtechnischen Anlagen definiert.

6.6 Rüstungsaltlast „Stadtallendorf“

Das DAG-Werk (DAG = Dynamit Aktiengesellschaft) in Stadtallendorf ca. 20 km östlich von Marburg/Hessen diente in den Jahren 1941 - 1945 zur Produktion des Sprengstoffes 2, 4, 6-Trinitrotoluol (TNT) sowie zur Herstellung von Bomben und Granaten. Die Untersuchungen auf dem ca. 42 ha großen DAG-Gelände haben bisher ergeben, daß sowohl Boden wie auch Grundwasser im DAG-Gelände mit Schadstoffen aus der Gruppe der Nitroaromate kontaminiert sind. Als Schadstoffe sind in erster Linie das TNT, daneben aber auch eine Reihe von Vor- und Abbauprodukten des Sprengstoffs (z. B. Mono-, Dinitrotoluole, Aminotoluole u. ä.) zu nennen.

Auf dem ehemaligen Betriebsgelände leben heute ca. 10.000 Menschen.

Das Hauptziel des Sanierungsprojektes ist die Verfahrensentwicklung zur Beseitigung der TNT Kontamination im Boden. Auf der Basis von Labor und Pilotversuchen wird eine zweistufige Bodenreinigungsanlage aus einer naßmechanischen Bodenwäsche und einer thermischen Schadstoffentsorgung der Schadstoffkonzentrate konzipiert.

7. Praxiserfahrungen

Welche Praxiserfahrungen wurden bei der Planung und Durchführung der o. g. Sanierungsmaßnahmen gemacht? Zusammenfassend lassen sich folgende Punkte anführen:

1. Die Erkundung und Untersuchung der vorhandenen Kontaminationen und der geologischen und hydrogeologischen Bedingungen muß äußerst detailliert und sorgfältig erfolgen. Hierfür vermeintlich eingesparte Ausgaben, können später bei der Durchführung der Sanierung zu unliebsamen Kostenexplosionen führen.
2. Eine umfassende technisch-wissenschaftliche Steuerung der Aktivitäten ist bei großen und komplexen Sanierungsprojekten unabdingbar. Besonders wichtig ist eine genaue Dokumentation und Zusammenführung der teilweise immensen Datenmengen.
3. Von herausragender Bedeutung ist eine stringente Qualitätssicherung, von der Probenahme im Gelände bis zur Laboranalytik. Die Teilnahme des Analyselabors an Ringversuchen oder eine entsprechende Akkreditierung des Labors ist zu fordern.
4. Eine rechtzeitige und genaue Unterrichtung der Anwohner, bzw. der Altlastenbetroffenen über die geplanten Maßnahmen begünstigt den Sanierungsablauf.
5. Das Vorhalten von Arbeitsschutzausrüstungen und die Organisation von geeigneten Arbeitsschutzmaßnahmen ist als wichtiger Aspekt jeder Sanierung sorgfältig zu planen.
6. Bei der Auskofferung des zu behandelnden Bodenmaterials ist peinlich genau auf die saubere Trennung und Zuordnung der Materialien zu den Sanierungsverfahren zu achten.
7. Bevor großtechnische Anlagen vor Ort eingesetzt werden, müssen Voruntersuchungen zur Eignung dieser Verfahren für den speziellen Sanierungsfall durchgeführt und sorgfältig ausgewertet werden.
8. Die vorgegebenen Sanierungsziele lassen sich teilweise nur durch technische intensive Optimierungsarbeiten an den Verfahren oder durch Verfahrenskombinationen erreichen, die jedoch auch sehr kostenintensiv sind.

Erfahrungen bei der mikrobiellen Sanierung von Gaswerksgeländen

P. Werner, M. Stieber

*DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut
der Universität Karlsruhe, Richard-Willstätter-Allee 5, 7500 Karlsruhe*

1. Einleitung

Ehemalige Gaswerksgelände sind aus der Zeit der Gasgewinnung durch Kohle stark schadstoffbelastet, wobei die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK), bedingt durch ihre hohe Toxizität und Kanzerogenität, schwerpunktmäßig die bedenklichste Stoffgruppe darstellen. Daneben sind an Schadstoffen in solchen Arealen noch einfache Aromaten, Mineralölkohlenwasserstoffe, i. d. R. komplex gebundene Cyanide und stellenweise auch Schwermetalle zu nennen. Es gibt keine größere deutsche Stadt ohne ein ehemaliges Gaswerk oder eine stillgelegte Kokerei mit den entsprechenden Problemstoffen in Boden und Grundwasser. Mehrere hundert solcher Standorte wurden als sanierungsbedürftig eingestuft, wobei aber über sinnvolle und wirtschaftlich vertretbare Sanierungsstrategien noch weitgehend Unklarheit herrscht. Auf keinen Fall ist es wie früher üblich und möglich, den schadstoffbelasteten Boden auszuheben und unter bestimmten Vorkehrmaßnahmen zu deponieren.

Es ist vielmehr das Ziel, den Schadstoffgehalt durch umweltfreundliche Verfahren soweit zu reduzieren, daß die betroffenen Gelände einer neuen Nutzung zugeführt werden können, wobei hier vom Gesetzgeber verschiedene Grenz- und Richtwerte vorgegeben werden. Sowohl von den einzelnen Bundesländern als auch vom Bund wurden in den letzten Jahren die verschiedensten Programme zur Erkundung von Altlasten und zur Entwicklung von vertretbaren Sanierungsstrategien ins Leben gerufen. Es liegt daher nahe, daß auch mikrobielle Verfahren, bei denen die natürlichen Abbauvorgänge durch Mikroorganismen zur Schadstoffbeseitigung ausgenutzt werden, auf ihre Tauglichkeit überprüft werden. Prinzipiell gibt es die Möglichkeit der Behandlung der kontaminierten Bereiche durch in-situ wie auch durch on-site Verfahren, deren Wirkungsgrad sowie die Vor- und Nachteile in bezug auf die Sanierung von Gaswerkstandorten vorgestellt und skizziert werden.

2. Abbauverhalten von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen

PAK sind prinzipiell mikrobiell abbaubar, was durch eine Vielzahl an Laborversuchen bereits belegt ist. Das Grundprinzip der mikrobiellen Sanierung besteht in einer Optimierung der für die Mineralisierung erforderlichen Milieubedingungen in Boden und Wasser der kontaminierten Bereiche. Allerdings hat die Praxis gezeigt, daß es eine ganze Reihe von limitierenden Faktoren gibt, die zunächst labormäßig näher untersucht und charakterisiert werden müssen, um sie dann gezielt überwinden zu können. Eines der Hauptprobleme ist die geringe Biover-

füßbarkeit der Schadstoffe, die einerseits auf der schlechten Wasserlöslichkeit insbesondere der höher kondensierten PAK, und andererseits auf der festen Einbindung der Schadstoffe in die Bodenmatrix bei Lehmen und Tonen beruht. Daneben haben sowohl hydraulische und andere geologische Gesichtspunkte einen nicht zu unterschätzenden Einfluß auf die Abbaubarkeit der Kontaminanten. Die in Laborexperimenten gefundene nahezu vollständige Mineralisierung gewisser PAK läßt sich nicht ohne weiteres auf die Sanierung von realen Gaswerksstandorten übertragen.

In Abb. 11.1 und 2 sind Ergebnisse aus Perkolationsexperimenten dargestellt, in denen PAK-kontaminierte Böden mit Wasser, dem die für Wachstum und Vermehrung der Bakterien wichtigen Mineralien beigelegt waren, durchspült wurden. Diese Systeme wurden im Kreislauf geführt, der Eintrag des Sauerstoffs erfolgte über die Wasserphase. Die in den Abbildungen erkennbaren Konzentrationsabnahmen wurden durch die Abbauaktivität hinzugegebener PAK-adaptierter Mischkulturen bewirkt. Es handelte sich dabei um Bakterien-Mischkulturen, die ursprünglich aus kontaminierten Standorten entnommen und im Labor selektiv angereichert wurden.

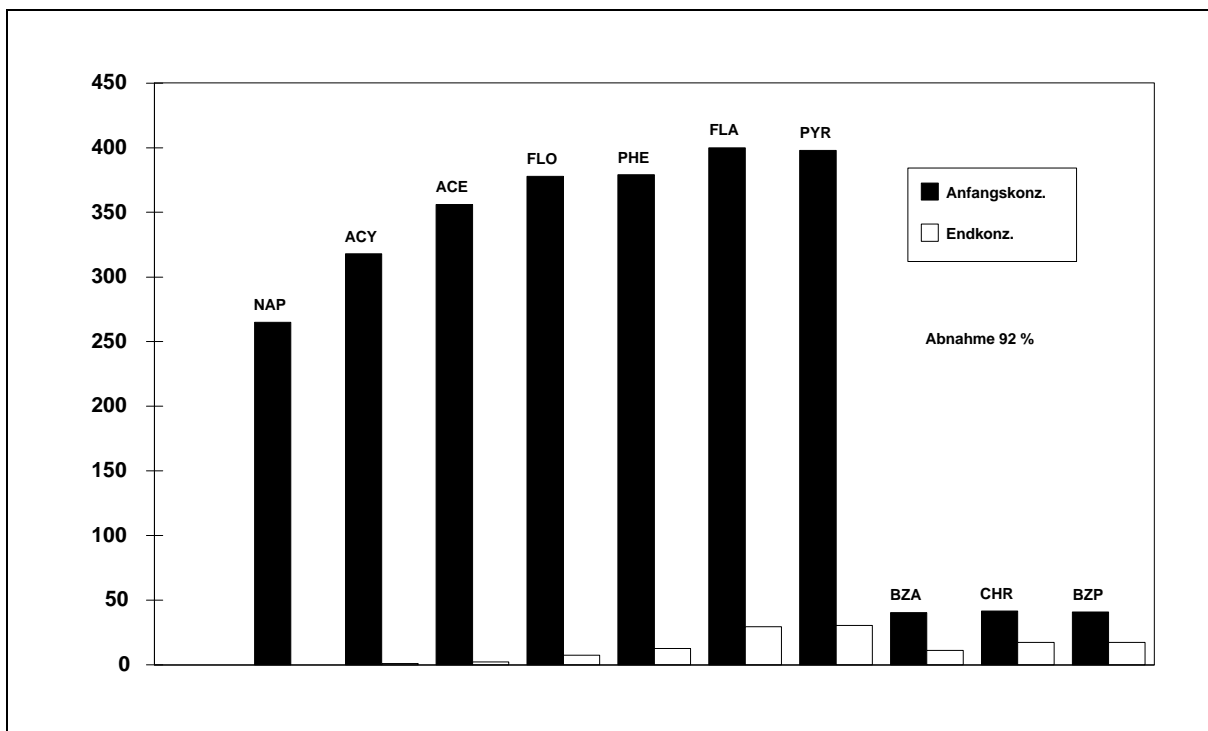


Abb. 11.1: Änderung der PAK-Konzentrationen in einem kontaminierten Modellboden (Quarzsand) durch mikrobiellen Abbau in einem Perkolationsexperiment, Angaben in mg/kg

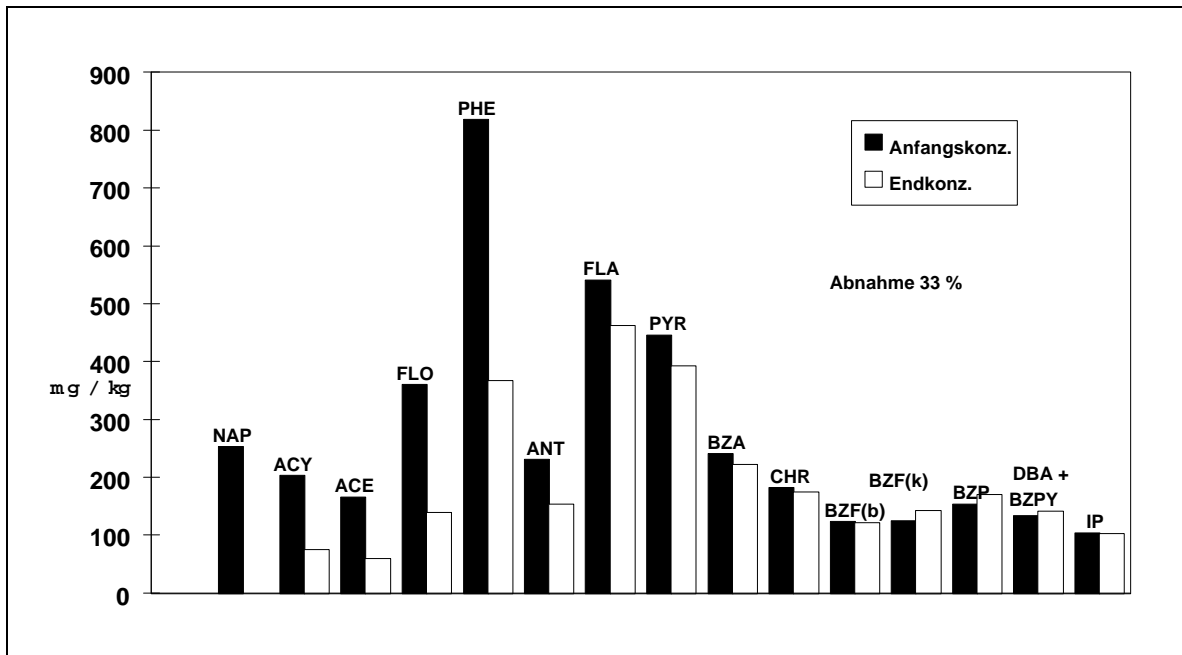


Abb. 11.2: Änderung der PAK-Konzentrationen in einem kontaminierten Gaswerksboden durch mikrobiellen Abbau in einem Perkolationsexperiment, Angaben in mg/kg

In beiden Diagrammen sind die Endzustände der Versuche dargestellt, d. h. diese Konzentrationen hatten sich nach zwei bis dreimonatiger Versuchsdauer eingestellt und nahmen im weiteren Verlauf nicht mehr ab. Bei beiden Experimenten waren am Versuchsende im Bodenspülwasser keine PAK mehr nachweisbar.

Diese sehr unterschiedlichen Versuchsergebnisse wurden für den vorliegenden Artikel aus einer Serie von Abbauprobungen ausgewählt und gegenübergestellt, um einmal aufzuzeigen, wie unterschiedlich die mikrobiellen Abbauleistungen im Boden trotz identischer Behandlung ausfallen können. Aus diesen Ergebnissen wird deutlich, daß nicht alleine die biologische Abbaubarkeit der Substanzen entscheidend den Abbaueffekt einschränkt, sondern offensichtlich noch andere Faktoren eine limitierende Rolle spielen.

Die wichtigste Rolle spielt in diesem Zusammenhang die Bioverfügbarkeit der PAK, die in Abhängigkeit von Art und Zusammensetzung des Bodens unterschiedlich stark in die Bodenmatrix adsorptiv eingebunden werden. Infolgedessen liegen sie oft so immobil im Boden vor, daß sie nur in sehr geringem Maß in die wässrige Phase übergehen und daher dem biologischen Abbau nicht zur Verfügung stehen. Eine wichtige Rolle spielt in diesem Zusammenhang auch das Alter der Kontamination, da PAK eine gewisse Zeit benötigen, um in die Mikroporen des Bodens vorzudringen. Darüber hinaus stellt die unvermeidbare Bildung besonders gut wasserlöslicher Metabolite und Dead-end-Produkte während des Abbaus ein wichtiges Kriterium für die Anwendbarkeit der mikrobiellen Sanierung dar. Die ökotoxikologische Relevanz dieser gebildeten Substanzen gilt es näher zu charakterisieren, um eine umfassende Bewertung dieses Verfahrens im Hinblick auf die Grundwassergefährdung vorzunehmen.

Um bei Abbauprobungen in Perkolationsanlagen eine bessere Abbaubilanzierung durchführen zu können, wurden Laborperkolationsanlagen eingesetzt, die mit einem Meßdatenerfassungssystem gekoppelt sind, wodurch Belüftungsrate, Durchfluß, pH-Wert und Temperatur automatisch kontrolliert und geregelt werden. Mit der Abluft der Versuchsanlagen werden konti-

nuierlich arbeitende Gasanalysatoren durchströmt und die O₂- und CO₂-Konzentrationen online aufgezeichnet. Alle für die Versuchseinrichtungen verwendeten Materialien bestehen aus Glas, Teflon und Edelstahl, wodurch Schadstoffverluste durch Adsorption und Diffusion nur in sehr geringem Maß auftreten. Die on-line Daten werden während eines Versuchs direkt auf einem Monitor graphisch über der Versuchszeit aufgetragen.

Im folgenden sind Ergebnisse aus Experimenten mit diesen Perkolatoren dargestellt.

Abb 3. zeigt die Konzentrationen der Verbindungen Naphthalin, 1-Methylnaphthalin, 2-Methylnaphthalin, Acenaphthylen und Acenaphthen, die sich während des Perkolationsbetriebes im Wasser einstellen. Es handelte sich dabei um ein Modellexperiment, in dem ein mit diesen PAK beladener Quarzsand im Kreislauf gespült wurde, das Spülwasser wurde mit einer PAK-adaptierten Bakterienmischkultur beimpft.

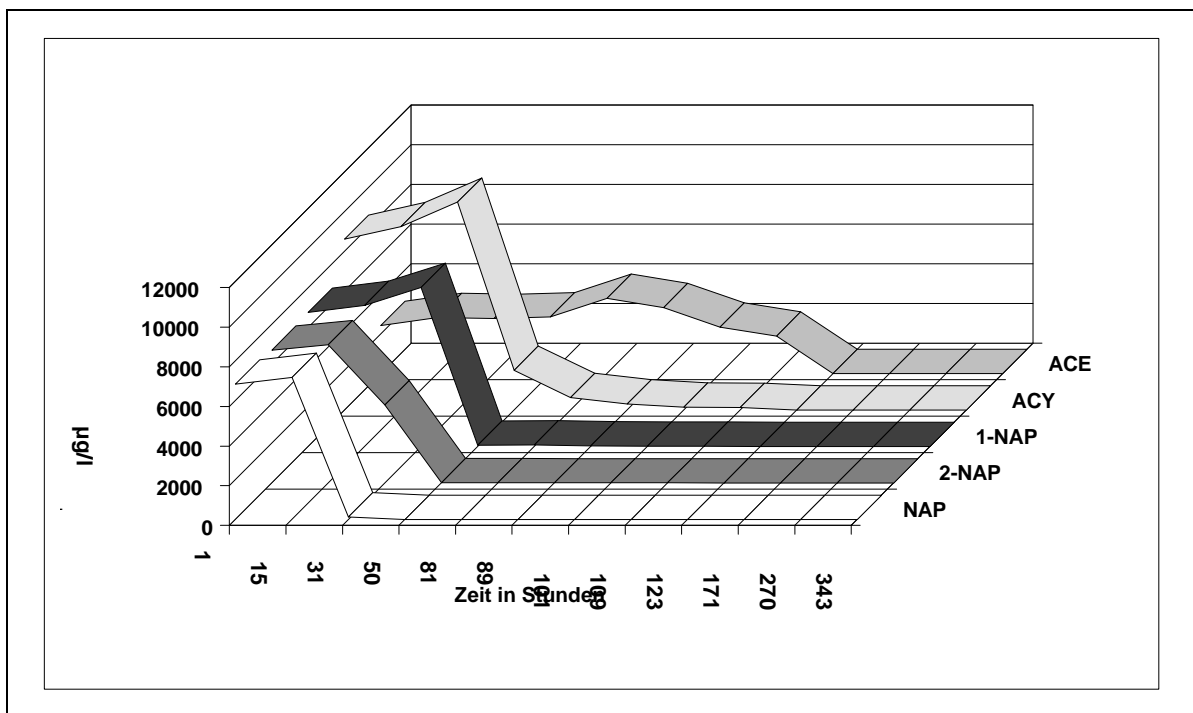


Abb. 11.3: PAK-Konzentrationen (Naphthalin, 2-Methylnaphthalin, 1-Methylnaphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen) im Spülwasser einer Perkolationsanlage, Angaben in µg/l

Es ist deutlich zu erkennen, daß nach 15 bis 30 Stunden bei vier der fünf Verbindungen eine sehr starke Konzentrationserniedrigung einsetzte, lediglich Acenaphthen lag weiterhin in konstanter Konzentration vor und verschwand erst deutlich später. Diese schnelle Abnahme der Konzentrationen zeigt den Beginn des mikrobiellen Abbaus an, die Schadstoffe wurden in die Bakterienzellen aufgenommen und waren daher im Wasser kaum noch zu analysieren. Der Abbau lief zum Teil über Abbauzwischenprodukte, die in das Medium ausgeschieden, und nach einer phasenweisen Anreicherung weiter abgebaut wurden.

Abb. 11.4 zeigt den Verlauf der CO₂-Produktion und der O₂-Zehrung während diese Experiments.

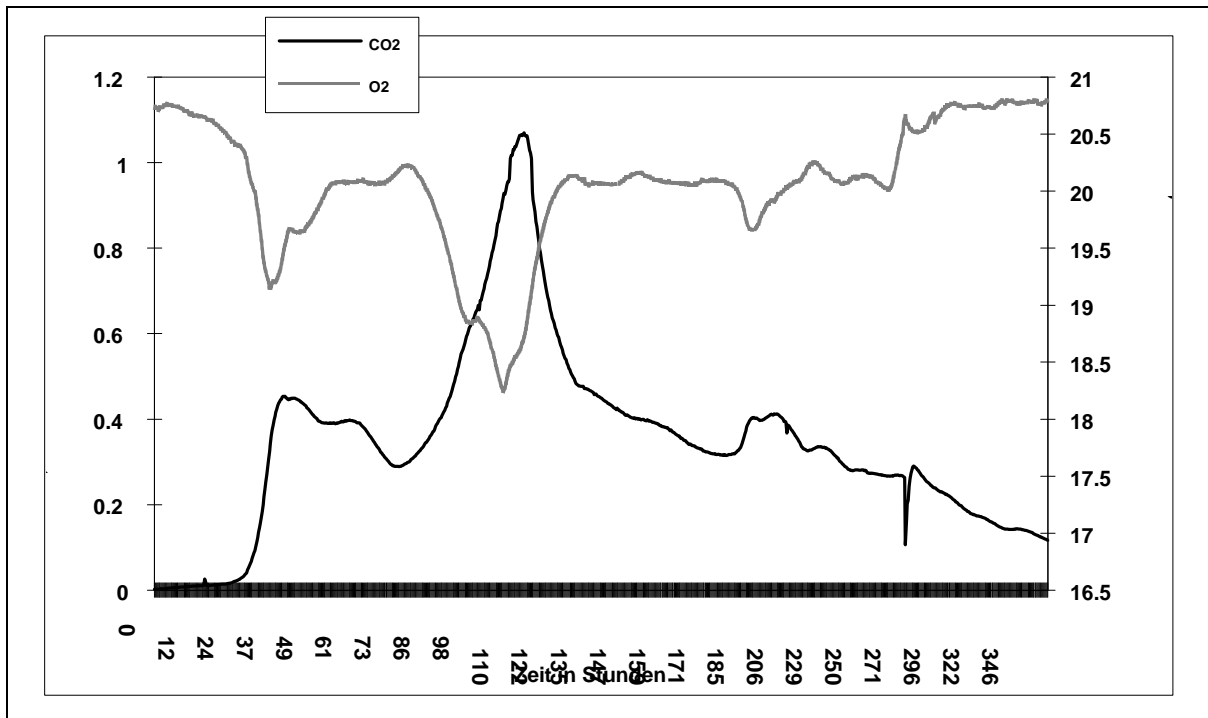


Abb. 11.4: O₂- und CO₂-Konzentrationen in der Abluft der Perkolationsanlage, Angaben in Vol.%

Die nach etwa 20 Stunden beginnende CO₂-Produktion bzw. O₂-Zehrung belegt deutlich, daß die in Abb. 11.3 dargestellte Konzentrationserniedrigung auch gleich mit einem Umsatz der Verbindungen in den Bakterienzellen verbunden war. Die mikrobielle Abbauaktivität stieg an und ging anschließend in ein leicht abfallendes Plateau über. In dieser Phase wurde Naphthalin, 1-Methylnaphthalin, 2-Methylnaphthalin und Acenaphthylen metabolisiert. Der zweite große Peak zeigt den Abbau der Metabolite an, die sich zwischenzeitlich im Bodenspülwasser angereichert hatten. Ab der 140. Stunde ließ die Abbauaktivität aufgrund des eingetretenen Substratmangels langsam nach. In dieser Phase wurde auch ein Teil des gelösten organischen Kohlenstoffs und der Biomasse abgebaut.

Am Ende dieses Experiments wurde über die Daten der CO₂- und O₂-Abluftanalysen eine Berechnung der Mineralisationsrate durchgeführt. Diese Bilanzierung ergab über die CO₂-Produktion eine Mineralisation von 51% und über die O₂-Zehrung von 72%, d. h. rund 50% der aus dem Boden entfernten PAK lagen zum Ende dieses Versuchs noch in Form von Biomasse und nicht näher identifizierbaren organischen Verbindungen vor.

Bei den üblicherweise vorliegenden Mischkontaminationen konnte gezeigt werden, daß der Abbau der verschiedenen Substanzen mit unterschiedlichen Kinetiken verläuft.

3. Zusammenfassung

Der derzeitige Kenntnisstand über die limitierenden Faktoren bei der mikrobiellen Sanierung ist noch zu gering, als daß bereits schon jetzt der großtechnische Einsatz von Mikroorganismen für die Reinigung von Gaswerksgebieten möglich ist. Mit Sicherheit kann eine ausschließlich auf Mikrobiologie basierende Sanierung ausgeschlossen werden, und lediglich Teilbereiche, in denen die optimalen Milieubedingungen eingestellt und aufrecht erhalten werden können, kommen dafür in Frage. Es ist auf jeden Fall für die komplizierten Verhältnisse im Gaswerksbereich eine Kombination verschiedener Technologien, in denen auch die mikrobielle Variante ihre Daseinsberechtigung hat, anzustreben.

4. Verwendete Literatur

- (1) Riehemann, K. (1988):
Biologische Abbaubarkeit von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe. Literaturstudie, Bergbau-Forschung GmbH, Abtlg. Entsorgungstechnik, Essen.
- (2) Neff, J.M. (1979):
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment. Applied Science Publishers LTD, London.
- (3) Franzius, V., Stegmann, R., Wolf, K. (1992):
Handbuch der Altlastensanierung. R. v. Decker's Verlag, G. Schenck, Heidelberg.
- (4) Cerniglia, C.E. (1984):
Microbial Transformation of Aromatic Hydrocarbons. In: Petroleum Microbiology (Atlas, R.M. ed.) Macmillan Publ. New York, 99-128.
- (5) Stieber, M., Böckle, K., Werner, P., Frimmel, F.H. (1990):
Abbauverhalten von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen im Untergrund. Altlastensanierung 1990 (Arend, F., Hinsenveld, M., van den Brink, W.J./Hrsg.), Kluwer Academic Publishers, S. 551-557.

Anmerkung: In dem Beitrag wurde auszugsweise auf bereits veröffentlichte Ergebnisse zurückgegriffen. Der Autor dankt dem PWAB sowie dem BMFT für die großzügige finanzielle Unterstützung des F. + E. Vorhabens.

Konzeptionelle Vorgehensweise bei der Sanierungsvorplanung oder: Wie kommt man zu einer fundierten Sanierungsentscheidung?

*A. Hettler; K. Noe
Trischler und Partner GmbH
Niederlassung Karlsruhe*

1. Einführung

In Baden-Württemberg ist eine stufenweise Erkundung von Altlasten bzw. altlastverdächtigen Flächen vorgesehen (siehe Abb. 12.1).

Die erste Stufe beinhaltet die historische Erkundung des einzelnen Standorts. Ergibt die Bewertung ein handlungsbestimmendes Risiko mit $R_{HB} > 2$ (siehe Abb. 12.2 „Handlungsmatrix“), wird eine technische Erkundung durchgeführt.

Die technische Erkundung setzt sich aus zwei Stufen, nämlich der „Orientierenden Erkundung“ (E₁₋₂) und der „Näheren Erkundung“ (E₂₋₃) zusammen.

Anschließend an die technischen Erkundungen folgt die Bewertung auf Beweisniveau 3. Hier wird auf Grundlage einer Einzelfallentscheidung festgestellt, ob eine „Eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung (E₃₋₄)“ notwendig ist.

Die Bearbeitung der Stufe E₃₋₄ schließt mit der Sanierungsentscheidung ab. Falls eine fachtechnische Kontrolle (C) nicht ausreicht, folgen die Schritte Ausführungsplanung und Durchführung der Sanierung (D). Im folgenden sollen die wesentlichen Schritte bei der E₃₋₄ Bearbeitung dargestellt und an einem Beispiel erläutert werden.

2. Bezug zu Modellstandorten

Ausgangsbasis des vorliegenden Handbuchs, Teil E₃₋₄ war ein Grundlagenpapier der LfU mit dem Titel „Fortschreibung des Altlastenhandbuchs, Teil II, Eingehende Erkundung E₃₋₄ inklusive der Prüfung und Möglichkeiten zur Gefahrenminderung und Durchführung der Sicherung/Sanierung (D)“. Dieses Grundlagenpapier wurde überarbeitet, indem die Erfahrungen aus den sieben Modellstandorten

- Bitz
- Eppelheim
- Friesenheimer Insel
- Gaswerk Geislingen/Steige

- Leonberg
- Mühlacker
- Osterhofen

einbezogen wurden. Dazu wurde im Juli 1991 ein Workshop veranstaltet. Teilnehmer waren die LfU, einige Vertreter von WBA's und die beteiligten Ingenieurbüros. Das Ergebnis der Diskussion floß dann direkt in die Überarbeitung des Handbuches ein. Die Endfassung wurde im Oktober 1991 auf der 5. Fortbildungsveranstaltung Altlasten vorgestellt.

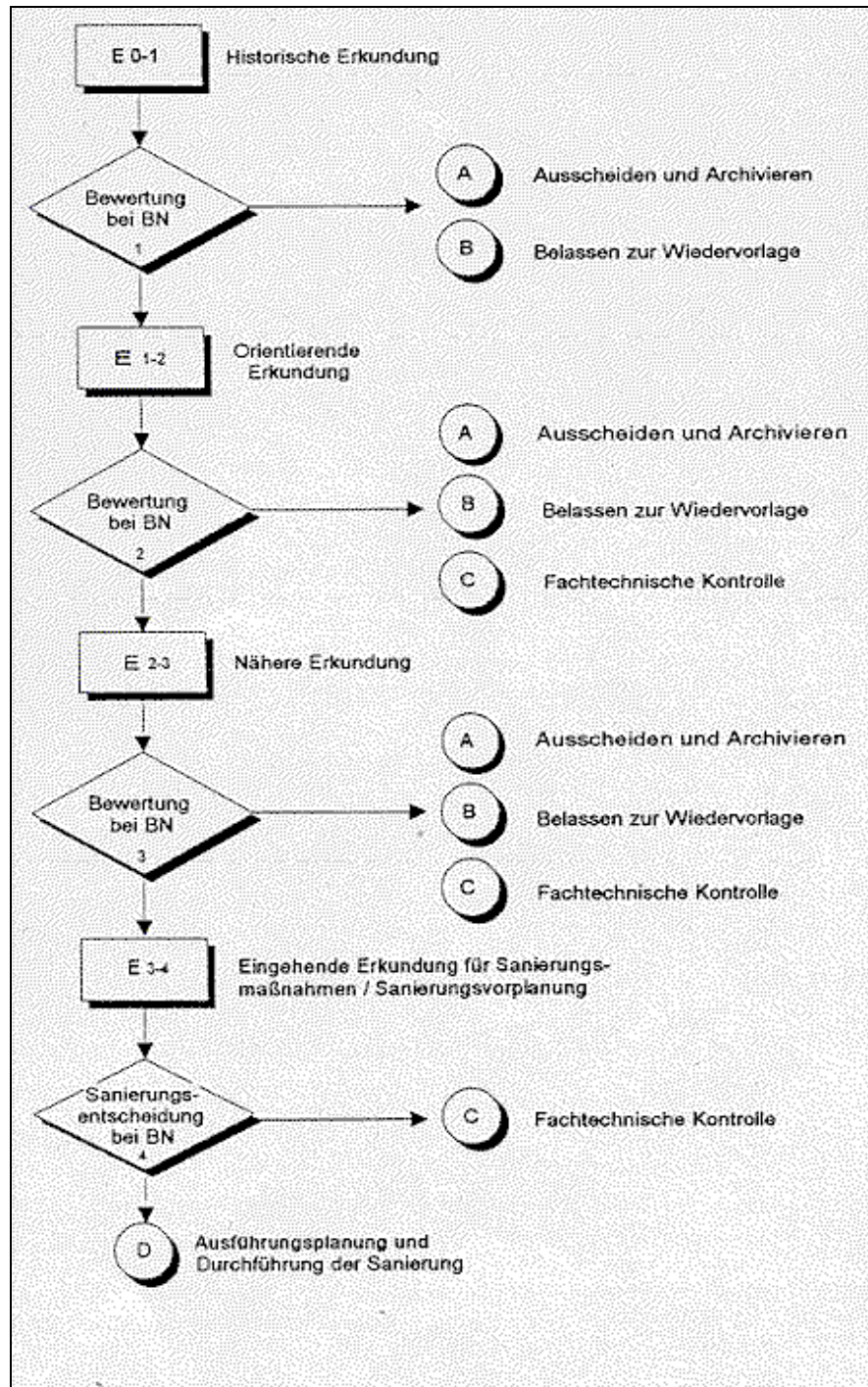


Abb. 12.1: Ablaufschema stufenweiser Erkundung und Bewertung eines Einzelfalls

3. Allgemeines

Im Zuge der Fortschreibung des Altlastenhandbuchs wurden für die Bearbeitungsstufe E₃₋₄ einige neue Begriffe eingeführt. Der neue Titel lautet: „Eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen / Sanierungsvorplanung (E3-4)“.

Die Begründung liegt darin, daß im wesentlichen Arbeiten anfallen, die im klassischen Sinn einer Vorplanung entsprechen. Die Leistungsbilder der HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) im Rahmen der Vorplanung - hier vereinfacht wiedergegeben -

- Ermittlung der Grundlagen
- Abstimmung der Zielvorstellungen
- Aufstellen eines Zielkatalogs
- Erarbeiten eines Planungskonzepts einschließlich Untersuchung alternativer Lösungsmöglichkeiten
- Vorverhandlungen mit Behörden und anderen an der Planung fachlich Beteiligten
- Kostenschätzung

sind wesentliche Bestandteile. Die HOAI kann auch als Grundlage für die Honorarfindung herangezogen werden.

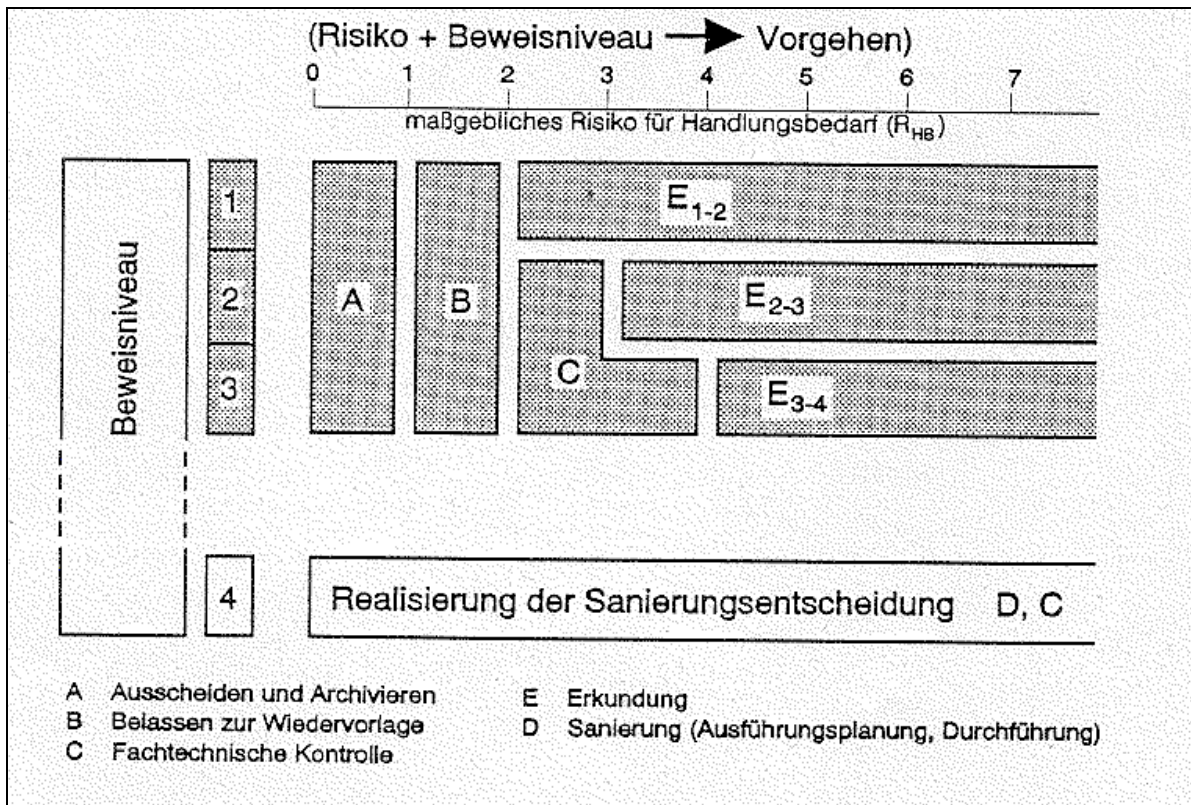


Abb. 12.2: Handlungsmatrix

Grundlage der Eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/ Sanierungsvorplanung sind die Ergebnisse der vorangegangenen Erkundungsstufen, die Bewertung auf Beweismiveau 3 sowie die Abstimmungsgespräche mit den Behörden. Im wesentlichen handelt es sich um die Ergebnisse der Historischen und technischen Erkundung sowie der Vorgaben durch die Behörden. Sie sollen zu Beginn in übersichtlicher Form zusammengestellt werden.

4. Wesentliche Punkte bei der E3-4 Bearbeitung

Um zu einer fundierten Sanierungsentscheidung zu kommen, müssen folgende Punkte bearbeitet werden (siehe auch Abb.3):

- Verfahrensvorauswahl
- Kostenermittlung
- Sanierungsziele
- Kostenwirksamkeitsabschätzung
- Nicht-monetäre Bewertung
- Gesamtbewertung mit Sanierungsvorschlag.

Grundsätzlich sind alle Punkte abzuhandeln, weil es den einfachen Altlastentyp von vornherein nicht gibt. Im Einzelfall ist hinsichtlich der Tiefe der Bearbeitung ein gewisses Maß an Flexibilität erforderlich. Kleinere Altlasten wie z. B. ein aufgefüllter Bombenrichter oder Fälle, bei denen sich ein Sanierungsverfahren als Stand der Technik hinreichend bewährt hat (z. B. hydraulische Sanierung bei CKW-Grundwasserkontamination), erfordern eine weniger intensive und detaillierte Ausarbeitung als komplexe Fälle (z. B. Gaswerk).

Bei komplexen Fällen kann zur Vereinfachung eine Aufsplittung in verschiedene Teilbereiche und Schutzgüter sinnvoll sein. So können eventuell größere Altlastenflächen mit unterschiedlichen Schadstoffen und verschieden hoher Belastung in Teilflächen unterteilt werden. Sind bei einer anstehenden Sanierung mehrere Schutzgüter (Boden, Grundwasser, etc.) betroffen, gilt es zu klären, inwieweit eine getrennte Bearbeitung sinnvoll ist.

4.1 Verfahrensvorauswahl

In einem ersten Schritt werden alle für Altlasten marktgängigen Sanierungsverfahren und Verfahrenskombinationen auf Eignung überprüft. Die Aufstellung in Tabelle 1 kann als Grundlage dienen.

		vollständige Deponierung
Dekontaminationsverfahren	ex - situ (off-site) bzw. on-site)	Naßmechanische Behandlung (Bodenwaschverfahren) Thermische Behandlung Mikrobiologische Behandlung (Miete, Beet, Reaktor) Chemische Behandlung (Extraktion, Ozonierung, Oxidation)
	in - situ	Mikrobiologische Behandlung Chemische Behandlung (Extraktion, Ozonierung, Oxidation) Elektrokinetische Behandlung Hydraulische Verfahren (In-situ-Strippen, Durchspülen, UVB) Pneumatische Verfahren (Bodenluftabsaugung)
Sicherungsverfahren	ex - situ bzw. in - situ	Verfestigungen Oberflächenabdeckung Oberflächenabdichtung Umschließung (vertikale Dichtwände) Sohlabdichtung Hydraulische Maßnahmen (Grundwasserabsenkung, -umleitung u.a.)

Tab. 12.1: Übersicht über Sanierungsverfahren

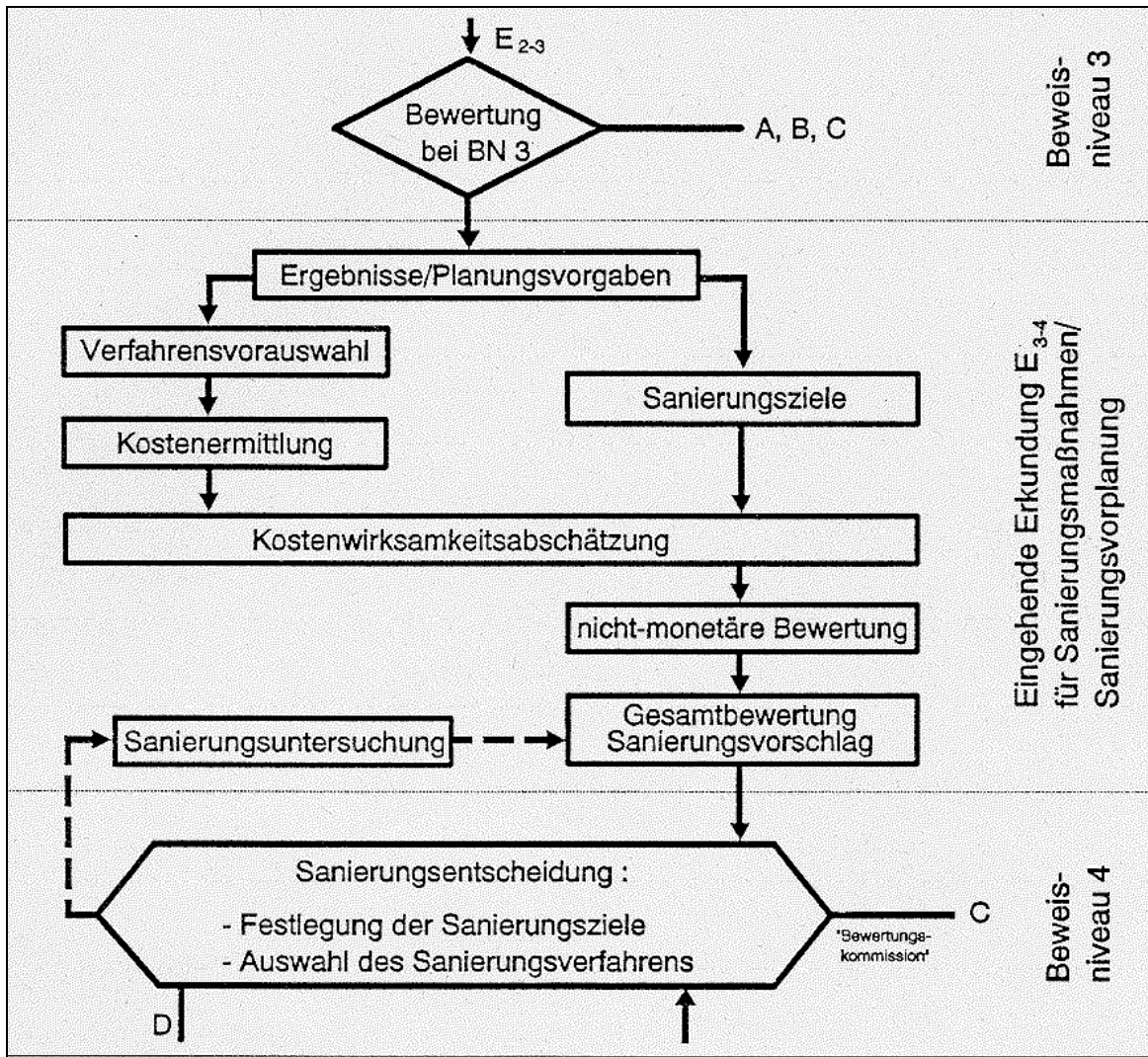


Abb. 12.3: Ablaufschema der eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung

In einer ersten Auswahl werden im Einzelfall nicht einsetzbare Verfahren unter Angabe einer Begründung ausgeschieden. Somit reduziert sich die Anzahl der zur Sanierung der Altlast einschätzbaren Verfahren mehr oder weniger stark.

Die am Standort grundsätzlich einsetzbaren Verfahren werden kurz beschrieben. Dabei ist es sinnvoll, ein Datenblatt mit den Eckdaten des Sanierungsverfahrens zu erstellen. Die Beschreibung soll im wesentlichen folgende Informationen enthalten:

- Verfahrensbeschreibung mit Verfahrensskizze
- Stand der Technik/Referenzen
- Wirksamkeit
- Zeitbedarf
- Kosten
- Vorteile
- Nachteile
- Anbieter

4.2 Ermittlung der Sanierungsziele

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Sanierungsziele wird zur Zeit überarbeitet (Stand November 1992). Deshalb wird auf die neuesten Vorgaben der LfU verwiesen. Auf einige grundlegende Punkte soll jedoch hingewiesen werden.

Die Sanierungsziele hängen von vielen Randbedingungen ab wie:

- Art und Ausmaß der Kontamination
- Mobilität der Schadstoffe
- Gefährdungspotential
- Mögliche Schadstofffracht
- Spätere Nutzung
- Art der Bebauung
- Kosten-Nutzen-Verhältnis im Sinne einer optimalen Ökobilanz.

Gerade der letzte Punkt führt häufig dazu, daß eingeschränkte Nutzungen und entsprechende Schadstoffrestkonzentrationen toleriert werden müssen. In diesen Fällen müssen die Sanierungsziele einzelfallbezogen festgelegt werden.

4.3 Kostenermittlung

Die Kosten können anhand von Preisanfragen bei Sanierungsfirmen ermittelt werden, wobei möglichst ein breites Firmenspektrum zu berücksichtigen ist. Bei den Firmenanfragen ist es notwendig, so detailliert wie möglich den Schadensfall mit seinen Randbedingungen zu schildern. Wichtig ist die Vergleichbarkeit der angefragten Preise.

Z.B. sind für Dekontaminationsverfahren die in Tabelle 12.2 aufgeführten Punkte zu berücksichtigen. Bei Sicherungsverfahren sind häufig Folgekosten einzurechnen, z. B. für langjährige Überwachungsphasen, für eventuell anfallende Reparaturen oder gar eine Erneuerung der Bauwerke nach einer abzuschätzenden Lebensdauer.

Dekontaminationsverfahren (ohne in situ-Maßnahmen)

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Infrastruktur (Platz, Versorgungseinrichtungen, Zugänglichkeit u. a.)• Volumina (Fläche, Tiefe)• Bodenart (Beschreibung, Korngrößenanalysen)• Schadstoffspektrum (Art, Menge, Konzentration und Bindung)• Schadstoffausbreitung• geforderte Dekontaminationsleistung (Konzentration, (Menge/Zeiteinheit))• Besonderheiten• Arbeitsschutzmaßnahmen |
|--|

Tab. 12.2: Wichtige Punkte für Firmenanfragen

4.4 Kostenwirksamkeitsabschätzung

In der Kostenwirksamkeitsabschätzung werden die Kosten und die Wirksamkeit verschiedener Verfahren einander gegenübergestellt.

Die Wirksamkeit wird zweckmäßigerweise als Schadstoffkonzentration, Schadstoffgesamtmenge bzw. -potential oder als Schadstofffracht ausgedrückt. Meistens wird man mit Konzentrationen arbeiten, worauf sich die folgenden Ausführungen beschränken.

Die Schadstoffkonzentrationen unterliegen immer gewissen Streuungen. Es empfiehlt sich daher, mit repräsentativen Mittelwerten und den dazugehörigen Streubreiten zu arbeiten. Erst dadurch läßt sich die Wirksamkeit und der Erfolg der Sanierung sinnvoll kontrollieren. Bei einem breiten Schadstoffspektrum arbeitet man sinnvollerweise mit einem Leitparameter, der hinsichtlich Mobilität und Toxizität das sensibelste Glied der Stoffgruppe darstellt.

Die Wirksamkeit von Dekontaminationsverfahren kann an der Schadstoffrestkonzentration im dekontaminierten Material gemessen werden. Die Sanierungsfirmen geben für ihr Verfahren erreichbare Reinigungsleistungen an, bzw. solche Werte sind in der Literatur angegeben. Verbindliche Werte können im Stadium der Preisanfragen nicht erwartet werden.

Die Wirksamkeit von Sicherungsmaßnahmen drückt sich dadurch aus, in welchem Maß der Schadstofftransport aus der Altlast heraus unterbrochen wird. Das Schadstoffpotential bzw. die Schadstoffkonzentration in der Altlast bleiben unberührt.

Häufig ist die Abschätzung des Schadstofftransports vor allem im Hinblick auf die Langzeitwirkung sehr schwierig oder überhaupt nicht möglich. Somit ist die Wirksamkeit von Dekontaminations- und Sicherungsverfahren oft nur unzureichend vergleichbar, so daß auf die nicht-monetäre Bewertung zurückgegriffen werden muß.

Der Vergleich von Kosten und Wirksamkeit verschiedener Verfahren erfolgt am besten graphisch (siehe Abbildung 4) oder bei einfachen Fällen in einer Tabelle.

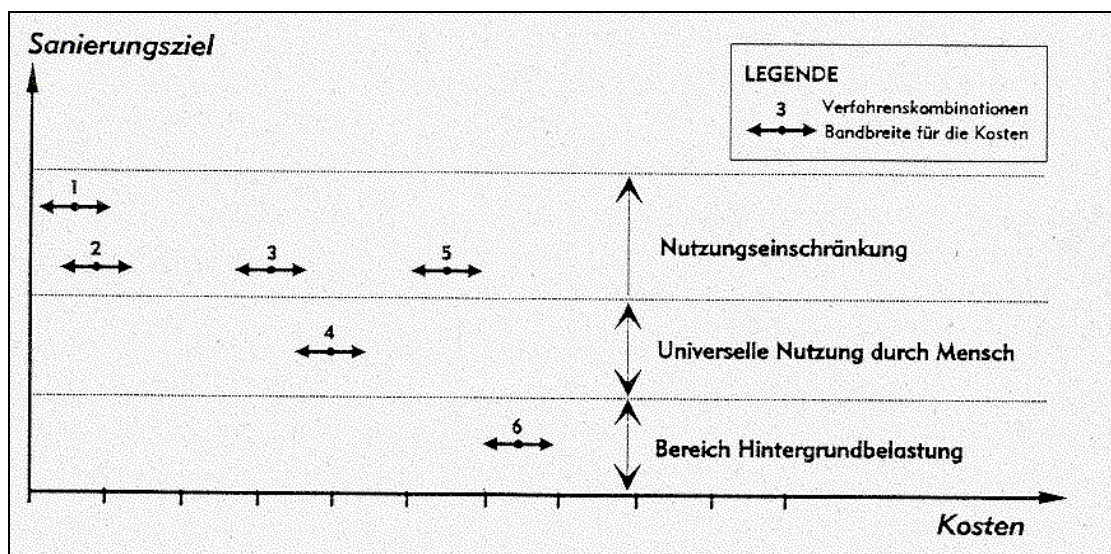


Abb. 12.4: Beispiel für Kostenwirksamkeitsabschätzung

4.5 Nicht-monetäre Bewertung

Neben der Bewertung der Sanierungsverfahren auf Grundlage einer Kostenwirksamkeitsabschätzung müssen zur Herbeiführung einer Sanierungsentscheidung weitere Kriterien herangezogen werden, die monetär nicht oder nur schwierig zu fassen sind.

Für die Bewertung werden eine Reihe von nicht-monetären Kriterien verwendet, die in Tabelle 3 dargestellt sind. Im Einzelfall sind dieser Liste weitere relevante Kriterien zuzufügen und für den Standort nicht maßgebliche Kriterien zu streichen.

Zur nicht-monetären Bewertung empfiehlt sich die Verwendung einer Entscheidungsmatrix. Dabei werden die einzelnen Sanierungsverfahren bezüglich der nicht-monetären Kriterien mit Hilfe eines Punktesystems bewertet. (Bsp. siehe Abschnitt 5).

4.6 Gesamtbewertung mit Sanierungsvorschlag

Für den endgültigen Sanierungsvorschlag sind die monetäre und nicht-monetäre Bewertung der einzelnen Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen in einer Gesamtbewertung abzuwägen.

Aus der Kostenwirksamkeitsabschätzung kann das Verfahren bzw. die Verfahrenskombination angegeben werden, mit dem bzw. mit der für einen angemessenen Kostenrahmen die Sanierungsziele erreicht werden.

Für die nicht-monetären Kriterien kann ebenso eine Reihenfolge angegeben werden.

Die Entscheidung für ein Verfahren bzw. eine Verfahrenskombination erfolgt durch Gegenüberstellung und Wichtung. Man wird in der Regel rein beschreibend die Gesamtbewertung vornehmen können. Der Grundsatz „Dekontamination vor Sicherung“ ist dabei zu berücksichtigen.

Umweltauswirkungen/-verträglichkeit

- Dauer bis Erreichen der vollen Wirksamkeit
- Dauer der vollen Wirksamkeit/Langzeitverhalten
- Kontroll-/Reparaturmöglichkeit
- Auswirkungen auf Biotop und Landschaft
- Emission Lärm
- Emission Abgas, Staub, Geruch
- Emission Abwasser
- Emission Schadstoffkonzentrat
- Eingriff in den Untergrund/Störung der Untergrundverhältnisse
- Energieverbrauch
- Bilanz: Schadstoffaufkonzentrierung, -vernichtung, -verdünnung, -verlagerung, -metabolisierung
- Restprodukte: Anfall und Verwertbarkeit
- Störfallsicherheit

Technische Kriterien

- Entwicklungsstand/Referenzen
- Betriebssicherheit
- Verfügbarkeit
- Reparatur-/Wartungsfreundlichkeit
- Regelbarkeit der Inputschwankungen
- Kompatibilität zu anderen Maßnahmen
- Komplexität
- Flexibilität
- Arbeitsschutzmaßnahmen
- Automatisierbarkeit

Organisatorische Kriterien

- öffentliche/politische Akzeptanz
- Flächenbedarf
- Infrastrukturbedarf
- zusätzliche Verkehrsbelastung
- Genehmigungsanforderungen
- Koordinationsbedarf

Tab. 12.3: Nicht-monetäre Kriterien

Ziel der Gesamtbewertung ist ein Sanierungsvorschlag. Der Vorschlag soll dabei eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens beinhalten.

Die Gesamtbewertung erfolgt zweckmäßigerweise in Form einer Prioritätenliste:

- 1. Priorität: Sanierungsvorschlag**
- 2. Priorität: 1. Alternativvorschlag**
- 3. Priorität: 2. Alternativvorschlag**

Im Einzelfall kann der Sanierungsvorschlag auch darin bestehen, keine Sanierung durchzuführen.

5. Sanierungsentscheidung

Auf Beweisniveau 4 wird auf der Grundlage des Gutachtens die Sanierungsentscheidung getroffen. Sofern sich eine fachtechnische Kontrolle (C) als ausreichend erweist, wird deren Art und Umfang festgelegt. Im Fall einer Sanierung werden das Sanierungsziel bzw. die Sanierungsziele endgültig festgelegt und ein Sanierungsverfahren ausgewählt. Die Sanierungsentscheidung betrifft lediglich das Verfahren als solches und ist keine Entscheidung für einen bestimmten Anbieter. Die Sanierungsfirma wird im Rahmen der Ausführungsplanung über eine Ausschreibung ermittelt.

Bestehen bei der Entscheidung auf Beweinsniveau 4 Zweifel an der Einsetzbarkeit der vorgeschlagenen Sanierungsverfahren, kann eine Sanierungsuntersuchung beschlossen werden. Die Sanierungsuntersuchung dient dabei ausschließlich der Entscheidungsfindung für ein Sanierungsverfahren. Sie macht wieder eine Gesamtbewertung notwendig.

Die Gesamtbewertung mündet wiederum in einem Vorschlag für das Beweinsniveau 4.

Bei größeren Sanierungsprojekten mit komplexen Fragestellungen hat sich die Einrichtung einer Arbeitsgruppe begleitend zur E₃₋₄-Bearbeitung bewährt. Sie kann z. B. zusammengesetzt sein aus Vertretern der betreffenden Umweltbehörde, des Amtes für Abfallwirtschaft, des Amtes für Wasserwirtschaft- und Bodenschutz, des Regierungspräsidiums, der LfU, des Rechtsreferates, der Gewerbeaufsicht, des Planers und bei Bedarf aus weiteren Behörden. Auf diese Weise können auch bei schwierigsten Problemen relativ schnell Lösungen erarbeitet werden.

6. Beispiel: E₃₋₄-Bearbeitung des Gaswerks Rastatt

6.1 Erkundungsergebnisse und Planungsvorgaben

Das ehemalige Gaswerk Rastatt liegt mitten im Stadtgebiet von Rastatt in der Nähe der Murg. Das Gelände umfaßt eine Fläche von ca. 8.000 m². Gegenwärtig wird die ehemalige Gaswerksfläche als Parkplatz und Lagerfläche genutzt.

Geologisch gesehen liegt das ehemalige Gaswerk im Bereich des alten Rinnensystems der Murg. Das jüngste Schichtglied bilden anthropogene Auffüllungen aus Erdaushub und Bauschutt. Die mittlere Mächtigkeit der Auffüllungen beträgt 4,0 m.

Im Liegenden folgt eine Torf-/Schluffschicht mit einer stark schwankenden Mächtigkeit bis 2,70 m. Sie wirkt aufgrund des sehr hohen Feinkornanteils als stauendes Medium, so daß sich in der Auffüllung ein Stauwasserbereich ausgebildet hat.

Im Liegenden der Torf-/Schluffschicht folgen Feinsande, die in die sandigen Kiese des Oberen Kieslagers übergehen. Die Mächtigkeit des Oberen Kieslagers schwankt zwischen 6 und 9 m. Das Obere Kieslager bildet den Oberen Grundwasserleiter, der unterhalb der Torf-/Schluffschicht gespannt ist.

Der Obere Grundwasserleiter im Oberen Kieslager besitzt eine nach Norden gerichtete Fließkomponente. Die mittlere Grundwasserfließgeschwindigkeit kann mit 0,5 m/d angegeben werden.

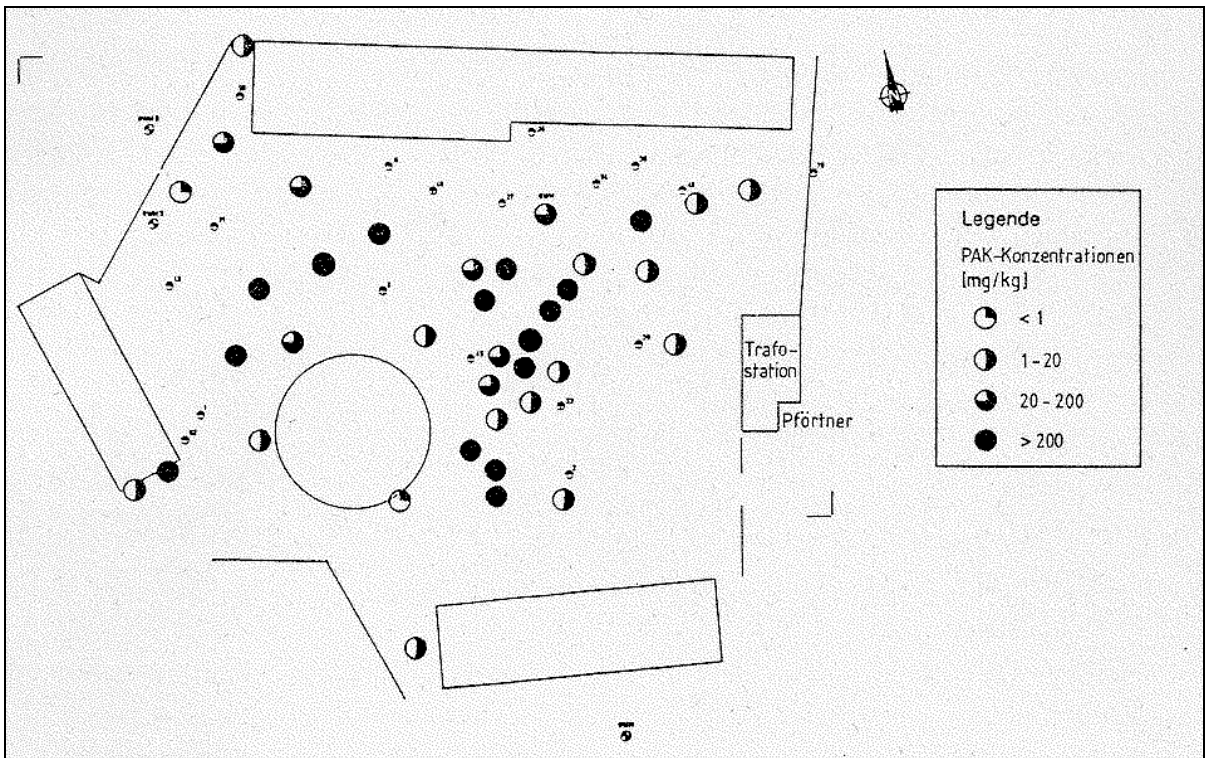


Abb. 12.5a: PAK-Konzentrationen im Boden des ehemaligen Gaswerksgeländes

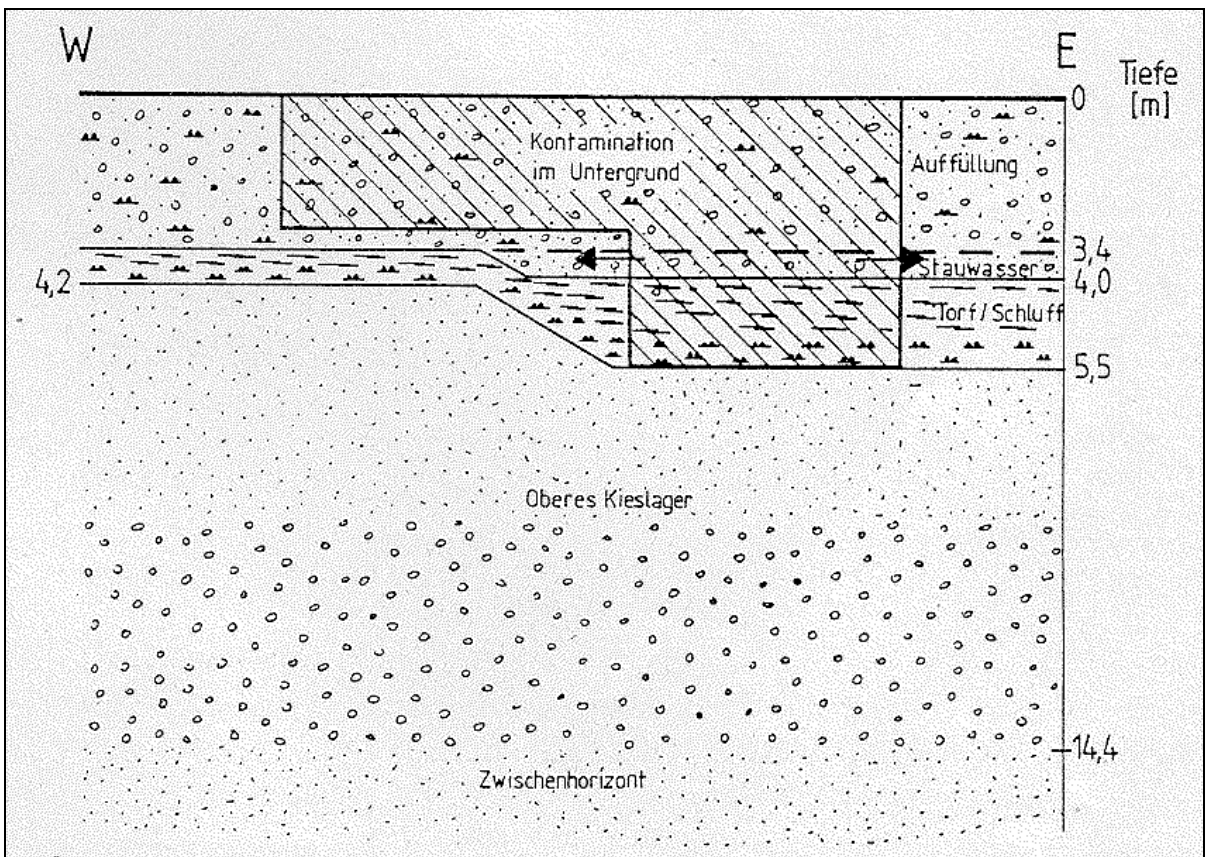


Abb. 12.5b: Geländeprofil

Die technischen Erkundungen des Untergrunds haben gezeigt, daß auf dem Gelände des ehemaligen Gaswerks Rastatt für das Schutzgut Boden eine Kontamination besonders durch polycyclische aromatische Verbindungen vorliegt. Hierbei weist der westliche Geländeabschnitt nur eine Kontamination im oberen Auffüllungsbereich (0 bis 3 m) auf, während der zentrale bis östliche Abschnitt des ehemaligen Gaswerksgeländes bis zur Torf-/Schluff-schicht (bis 5,5 m Tiefe) kontaminiert ist. Tabelle 4 gibt auszugsweise die Ergebnisse wieder.

Tab. 12.4: Schadstoffkonzentrationen im Boden

PAK (EPA-Liste ohne Naphthalin)	< 1 bis	7.337 mg/kg
Naphthalin	< 0,05 bis	3.600 mg/kg
BTEX	< 1 bis	499 mg/kg
Phenolindex	< 0.2 bis	58 mg/kg
Cyanide (gesamt)	< 1 bis	650 mg/kg
Ammonium	< 1 bis	477 mg/kg

Neben dem Boden weist auch das Stauwasser über der Torf-/ Schluffschicht eine Belastung, vorrangig mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, auf. Der Boden in den angegebenen Bereichen und das Stauwasser verfügen über ein sehr hoch einzuschätzendes Gefährdungspotential für die Umwelt.

In Tabelle N 5 sind die Schadstoffkonzentrationen im Stauwasser auszugsweise dargestellt.

Tab. 12.5: Schadstoffkonzentrationen im Stauwasser

PAK (EPA-Liste ohne Naphthalin)	3.035 µg/l
Naphthalin	16.000 µg/l
BTEX	11 µg/l
Phenolindex	3.500 µg/l
Cyanide (gesamt)	160 µg/l
Ammonium	13.000 µg/l

Das Grundwasser kann insgesamt als gering belastet eingestuft werden. Als unproblematisch kann die Situation der Bodenluft eingeordnet werden.

Nach Abschluß der technischen Erkundungsstufen E₁₋₂ und E₂₋₃ Anfang 1992 wurde durch die Bewertungskommission ein maßgebliches Risiko von 5,8 und damit ein Handlungsbedarf zur Durchführung einer „Eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung (E₃₋₄)“ festgelegt.

Die zukünftige Nutzung sieht die Neubebauung der Fläche mit einem Lager- und Werkstattgebäude sowie einer Tiefgarage der Stadtwerke vor. Die geplante Bebauung im Rahmen der Neuordnung der Stadtwerke Rastatt soll im Anschluß an die Sanierung des Altstandorts erfolgen.

6.2 Sanierungsziele

Ein Handlungsbedarf für die Sanierung einer Altlast ist spätestens dann gegeben, wenn die Sanierungsziele, die lediglich die aktuelle Nutzungs- und Ausbreitungssituation berücksichtigen, überschritten werden (Informationsschrift der LfU über Orientierungswerte bei der Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen).

Dabei können zum Schutz des Grundwassers vor Schadstoffeinträgen aus verunreinigtem Boden die Sanierungsziele aus folgenden Bedingungen abgeleitet werden.

1. Die Schadstoffemissionen aus der Altlast dürfen höchstens so groß sein, daß damit maximal 25 l/s oder $2 \cdot 10^6$ l/d unbelastetes Wasser bis zum allgemeinen Orientierungswert für das Sanierungsziel zum Schutz von Grundwasser kontaminiert werden kann.
2. In keinem genutzten oder nutzungswürdigen Grundwasservorkommen dürfen durch die Zulassung von Restbelastungen Schadstoffkonzentrationen über den allgemeinen Orientierungswerten auftreten.

Zur Überprüfung der ersten Bedingung wurden die tatsächlich aus der Altlast austretenden Schadstoffmengen (TTS) den maximal zulässigen (MTS) gegenübergestellt.

$$\text{TTS [mg/d]} = Q_1 \text{ [l/d]} \cdot x_s \text{ [mg/l]}$$

Q_1 = täglicher Grundwassereintrag über die Torf-/Schluffschicht

x_s = Schadstoffkonzentration im Stauwasser über der Torf-/Schluffschicht

$$\text{MTS [mg/d]} = 2 \cdot 10^6 \text{ [l/d]} \cdot \text{SZ-W [mg/l]}$$

	TTS [mg/d]	MTS [mg/d]
PAK (EPA-Liste ohne Naphthalin)	6.070	300
Naphthalin	32.000	4.000

Zur Vereinfachung werden weitere Schadstoffe im folgenden nicht näher betrachtet.

Die modellhafte Berechnung des tatsächlichen täglichen Schadstoffaustrags zeigt, daß ein Sanierungsbedarf gegeben ist. Für die PAK (EPA-Liste ohne Naphthalin) und Naphthalin liegen die TTS-Werte um ein Vielfaches über den MTS-Werten.

Weiterhin werden im Grundwasser für PAK, BTEX, Phenole, Cyanide (gesamt) und Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) die SZ-W-Werte überschritten. Da die Emissionen aus der Altlast in ein nutzungswürdiges Grundwasservorkommen erfolgen, wird durch die Überschreitung der allgemeinen Orientierungswerte (SZ-W) ebenfalls ein Sanierungsbedarf angezeigt.

Zur Abgrenzung des kontaminierten Bereichs, für den eine Sanierung erforderlich ist, wurden einzelfallspezifisch die SZA-W-Werte herangezogen. Diese Werte sind Eluatwerte bzw. -konzentrationen in dem Wasser, das mit Schadstoffen beladen den Bereich der Altlast verläßt. Da bei der Bearbeitung nur Gesamtgehaltanalysen existierten, wurde auf folgende Art und Weise eine Abschätzung vorgenommen.

Mit Hilfe von Transferfaktoren ist es möglich, den Übergang der Schadstoffe von der Bodenmatrix in die Wasserphase zu beschreiben. Im vorliegenden Fall unterliegt das Stauwasser in der kontaminierten Auffüllung einem ständigen, natürlichen Eluivorgang. Es ist anzunehmen, daß sich zwischen der Schadstoffkonzentration im Stauwasser und der Bodenmatrix ein quasi-natürliches Gleichgewicht eingestellt hat.

Es kann folgender Transferfaktor berechnet werden:

$$T = (\text{Schadstoffkonzentration im Stauwasser [mg/l]} / (\text{Schadstoffkonzentration im Boden [mg/kg]})$$

$$T_{\text{PAK}} = 0,0034 \text{ kg/l}$$

$$T_{\text{Naphthalin}} = 0,0667 \text{ kg/l}$$

Mit Hilfe des MTS (maximal zulässiger täglicher Schadstoffaustrag) und dem Austrag von kontaminiertem Stauwasser ins Grundwasser Q_1 von 2.000 l/d können maximal zulässige Schadstoffkonzentrationen (E_{max}) am Austritt der Altlast angegeben werden:

E_{max} :	PAK (EPA-Liste ohne Naphthalin)	0,15 mg/l
	Naphthalin	2 mg/l

Bei Division der E_{max} -Konzentrationen durch den jeweiligen Transferfaktor erhält man Richtwerte für zulässige Schadstoffkonzentrationen im Boden (x_B). Auf Grundlage der Transferbetrachtung kann für Konzentrationen im Boden unterhalb dieser Richtwerte gefolgert werden, daß der maximale tägliche Schadstoffaustrag aus dem Boden unterhalb dem maximal zulässigen Schadstoffaustrag aus der Altlast (MTS) liegt. D. h. bei Einhaltung diese Konzentrationen im Boden kann das Gefährdungspotential für das Grundwasser im erforderlichen Umfang, die keine Besorgnis einer relevanten Verunreinigung des Grundwassers beinhaltet, reduziert werden.

$$x_B \text{ [mg/kg]} = E_{\text{max}} \text{ [mg/l]} / T \text{ [kg/l]}$$

$$x_B \text{ für PAK} = 44,1 \text{ mg/kg}$$

$$x_B \text{ für Naphthalin} = 30 \text{ mg/kg}$$

Die Bewertungskommission war der Auffassung, die errechneten Werte mit einem Sicherheitsfaktor von ca. 0,5 zu belegen, um den Unsicherheiten bei der Transferberechnung Rechnung zu tragen. Somit wurden als Sanierungsziele für den Boden zum Schutz des Grundwassers folgende Konzentrationen angegeben:

PAK (EPA-Liste ohne Naphthalin)	20 mg/kg
Naphthalin	15 mg/kg

Auf Grundlage der Sanierungsziele wurden drei Sanierungsbereiche in Fläche und Tiefe abgegrenzt.

6.3 Verfahrensvorauswahl

Aus dem Spektrum der grundsätzlich einsetzbaren Sanierungsverfahren (siehe Aufstellung in Kap. 3.1). wurden die im vorliegenden Sanierungsfall einsetzbaren Verfahren herausgefiltert. Alle nicht einsetzbaren Verfahren wurden unter Angabe einer Begründung ausgeschieden. Das Ergebnis der Verfahrensvorauswahl ist in Abb. 12.6 dargestellt.

Verfahren		Bodenschicht		
		Auffüllung 0 - 3 m	Stauwasserbereich 3 - 4 m	Torf-/Schluffschicht 4 - 5,5 m
S1	Thermische Behandlung (off site)	×	×	×
S2	Mikrobiologische Behandlung (on site, ex situ)	×		
S3	Naßmechanische Behandlung (off site)	×		
S4	Naßmechanische Behandlung (on site, ex situ)	×		
S5	Umschließung und Sohlabdichtung		×	×

Abb. 12.6: Sanierungsverfahren und ihr Einsatzbereich für das ehemalige Gaswerk Rastatt

Da infolge der geplanten Neubebauung ein Erdaushub bis 3 m Tiefe vorgenommen wird, kann eine Sicherung nur für die tieferen Bodenschichten in Frage kommen.

Aus den 5 Einzelverfahren S1 bis S5 ergeben sich insgesamt 8 verschiedene Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen, die für die vollständige Sanierung des ehemaligen Gaswerksgeländes praktikabel sind (siehe Kap. 5.4).

6.4 Kostenermittlung

Anhand von Preisanfragen bei Sanierungsfirmen, gängigen Marktpreisen und eigenen Erfahrungen wurden für die 8 Sanierungsverfahren bzw. -kombinationen Kostenermittlungen in Form von Abschätzungen durchgeführt.

K1: Thermische Behandlung (S1):	DM 9,25 Mio.
K2: Mikrobiologische Behandlung 0 bis 3 m (S2), thermische Behandlung 3 bis 5,5 m (S1):	DM 8,82 Mio.
K3: Naßmechanische Behandlung (off site) 0 bis 3 m (S3), thermische Behandlung 3 bis 5,5 m (S1):	DM 9,60 Mio.
K4: Naßmechanische Behandlung (on site) 0 bis 3 m (S4), thermische Behandlung 3 bis 5,5 m (S1)	DM 9,44 Mio.
K5: Thermische Behandlung 0 bis 3 m (S1), Sicherung 3 bis 5,5 m durch Umschließung und Sohlabdichtung (S5)	DM 10,27 Mio.

- K6: Mikrobiologische Behandlung 0 bis 3 m (S2), Sicherung 3 bis 5,5 m durch Umschließung und Sohlabdichtung (S5): DM 9,84 Mio.
- K7: Naßmechanische Behandlung (off site) 0 bis 3 m (S3), Sicherung 3 bis 5,5 m durch Umschließung und Sohlabdichtung (S5): DM 10,62 Mio.
- K8: Naßmechanische Behandlung (on site) 0 bis 3 m (S4), Sicherung 3 bis 5,5 m durch Umschließung und Sohlabdichtung (S5): DM 10,46 Mio.

6.5 Kostenwirksamkeitsabschätzung

In Abb. 12.7 ist die Kostenwirksamkeit dargestellt. Auf der Ordinate ist die Wirksamkeit in Form der bestmöglichst erreichbaren Sanierungsziele aufgetragen. Die Abszisse gibt die jeweiligen Kosten der Verfahren bzw. der Verfahrenskombinationen wieder.

Im vorliegenden Fall besteht die Kontamination fast ausschließlich aus polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen. Zur Vereinfachung genügt es, die Kostenwirksamkeit nur für PAK darzustellen.

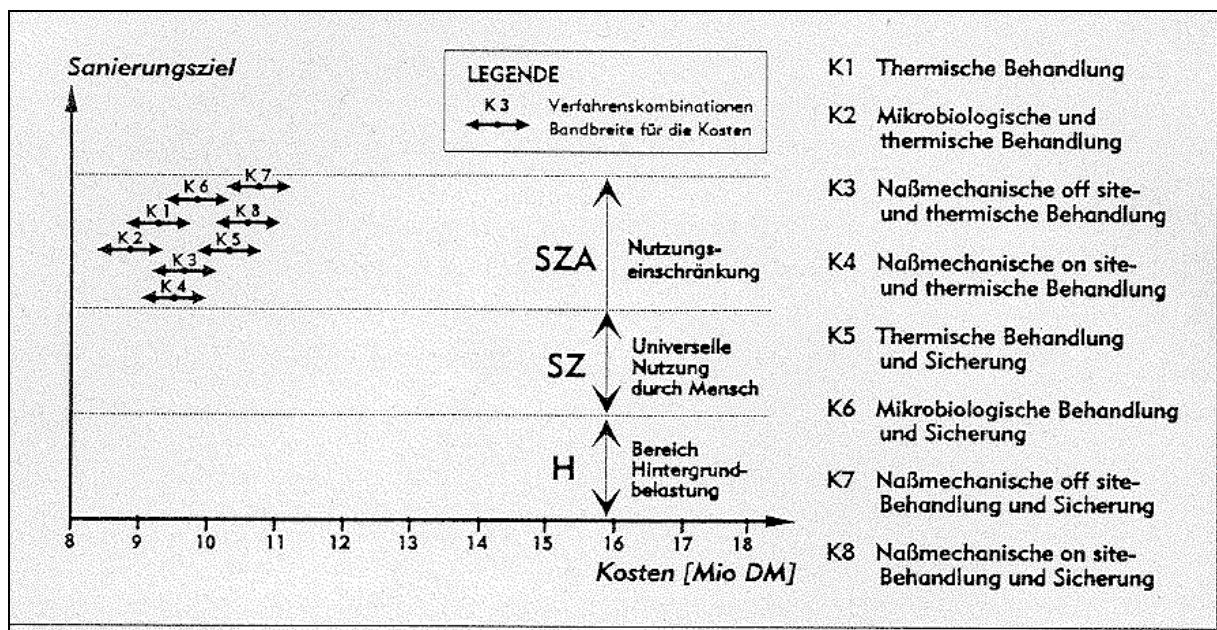


Abb. 12.7: Kostenwirksamkeitsabschätzung

Die Kostenwirksamkeitsabschätzung hat zum Ergebnis, daß die reinen Dekontaminationsverfahren sowohl von ihrer Wirksamkeit als auch von ihren Kosten den Verfahrenskombinationen aus Dekontamination und Sicherung vorzuziehen sind.

Unter den reinen Dekontaminationsverfahren (K1 bis K4) besitzt die thermische Behandlung (K1) die beste Wirksamkeit, gefolgt von den Verfahrenskombinationen mit naßmechanischer Behandlung (K3, K4) und mit mikrobiologischer Behandlung der Auffüllung (K2). Da sich die Vertrauensbereiche der Kosten für die einzelnen Dekontaminationsverfahren (K1 bis K4) überlappen, müssen die 4 Verfahren hinsichtlich ihrer Kosten gleichrangig beurteilt werden.

6.6 Nicht-monetäre Bewertung

Die Frage, welches Sanierungsverfahren am Standort zum Einsatz kommen kann, ist nicht alleine durch eine monetäre Bewertung bzw. Kostenwirksamkeitsabschätzung zu entscheiden. Deshalb wurden weitere Bewertungskriterien herangezogen, die monetär nicht oder nur schwer zu fassen sind.

Zur Bewertung wurde eine Entscheidungsmatrix verwendet.

Die Bewertung erfolgte in Form einer Skala von "+" über "o" bis "-", wobei "+" eine positive, "o" eine mittlere und "-" eine negative Einschätzung zugrunde liegt. Die Summe setzt sich aus Addition zusammen, wobei sich eine positive und eine negative Wertung in der Summe aufheben.

Die Bewertung erfolgte für die am Standort einsetzbaren 5 Einzelverfahren S1 bis S5, anschließend wurde für die Verfahrenskombinationen K1 bis K8 durch Bildung des arithmetischen Mittels aus den Einzelbewertungen eine nicht-monetäre Gesamtbewertung vorgenommen.

Nichtmonetäre Kriterien	Sanierungsverfahren				
	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5
Langzeitverhalten/ Sanierungsdauer	+	-	+	+	-
Kontroll-/ Reparatur- möglichkeiten	+	+	+	+	-
Emission (Abwasser, Lärm, Staub, Geruch)	+	o	+	-	-
Restprodukte, nega- tive Sekundärfolgen	+	-	-	-	-
Entwicklungsstand/ Erfolgsaussichten	+	-	o	o	-
Verfügbarkeit	+	+	+	+	+
öffentliche / politische Akzeptanz	-	+	o	o	o
Flächenbedarf	+	-	+	-	+
Zusätzliche Verkehrsbelastung	-	o	-	o	+
Summe	+ 5	- 1	+ 3	± 0	- 2

Tab. 12.6: Nicht-monetäre Bewertung der am Standort einsetzbaren Sanierungsverfahren S1 bis S5

In der Summe der nicht-monetären Bewertung ist der thermischen Behandlung (S1) eindeutig der Vorzug vor den anderen Verfahren zu geben. Die Bodenwäsche in einem Sanierungszentrum (S3) folgt an zweiter Stelle. Weiter abgeschlagen folgen die on site-Verfahren der Bodenwäsche (S4) und der mikrobiologischen Mietenbehandlung (S2). Die Sicherung mittels Dichtwänden und Sohlabdichtung (S5) verfügt über die schlechteste Gesamtbewertung.

Aus der Einzelbewertung der Sanierungsverfahren S1 bis S5 kann nun die Bewertung der Verfahrenskombinationen K1 bis K8, die die umfassende Sanierung beinhalten, abgeleitet werden.

Es ergibt sich folgendes nicht-monetäres Gesamtergebnis:

- Die thermische Behandlung der Auffüllung (0 bis 3 m), des Stauwasserbereichs (3 bis 4 m) und der Torf-/Schluffschicht (4 bis 5,5 m) in einer Verbrennungsanlage als umfassendes Sanierungsverfahren ist eindeutig zu präferieren (K1).
- Als Alternative kann die Kombination aus der naßmechanischen Bodenbehandlung in einem Sanierungszentrum für die Auffüllung (0 bis 3 m) und der thermischen Behandlung für den Stauwasserbereich (3 bis 4 m) und die Torf-/Schluffschicht (4 bis 5,5 m) angegeben werden (K3).

6.7 Gesamtbewertung mit Sanierungsvorschlag

Unter Zugrundelegung der monetären und nicht-monetären Bewertung wurden die 8 Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen (K1 bis K8) einer Gesamtbewertung unterzogen werden.

Dabei muß dem Verfahren K1, d. h. der ausschließlichen thermischen Behandlung des kontaminierten Bodens, der Vorzug vor den übrigen Verfahren gegeben werden. Die thermische Behandlung schneidet unter allen bewerteten Verfahren sowohl hinsichtlich der Wirksamkeit (Reinigungsleistung des Verfahrens) als auch hinsichtlich der nicht-monetären Bewertung bei vergleichbar günstigen Kosten am besten ab.

Die vorliegende E_{3.4}-Bearbeitung wurde in der Bewertungskommission (Beweisniveau 4) als Sanierungsentscheidung für das ehemalige Gaswerk Rastatt angeordnet.

Die Sanierungsvorplanung am Beispiel des Modellstandortes Mühlacker

R. Crocoll, Weber-Ingenieure Pforzheim GmbH

1. Einleitung

Die ehemalige Sondermülldeponie „Eckenweiher Hof“ der Stadt Mühlacker gehört seit 1987 zu den Modellstandorten des Landes Baden-Württemberg. Im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz wurden von der, zu diesem Zweck gegründeten Ingenieurgesellschaft WEBER - TAUW - IFU zunächst in den Jahren 1987 bis 1990 umfangreiche, vergleichende Erkundungsmaßnahmen durchgeführt, deren Ergebnisse z.T. bereits veröffentlicht sind (TNO,1991).

Erste Sanierungsüberlegungen erfolgten schon vor Beginn der eigentlichen Modellstandortbearbeitung in den Jahren 1986/87 im Rahmen eines vom Land geförderten Forschungsprojektes (PWAB) an der Universität Karlsruhe. Die damalige wissenschaftliche Zielsetzung war die vergleichende Erprobung aller technisch realisierbaren Verfahren. Entsprechend hoch war die Anzahl der vorgeschlagenen Sanierungstechnologien.

Bereits 1986 erfolgten durch private Firmeninitiativen erste Absaugversuche im Deponiekörper, die überraschend gute Gaswegigkeiten lieferten, verbunden mit sehr hohen Schadstofffrachten.

Zur näheren Erkundung dieses Aspektes wurden im Rahmen der Modellstandortbearbeitung 1989 weitere Absaugversuche durchgeführt, ebenfalls mit positiven Ergebnissen.

Eine erste Feasibility-Studie zur Sanierungsplanung wurde 1990 erarbeitet und führte zu einer Verfahrensvorauswahl, auf deren Grundlage interessante Techniken für Vorversuchszwecke ausgewählt wurden.

Ein „Vorläufiges Gutachten zur Kosten-Wirksamkeits-Abschätzung von Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen“, lag im Juli 1991 vor. Es wurde unter Zugrundelegung der damaligen Vorgaben der Lf U erstellt („Eingehende Erkundung E₃₋₄ incl. der Prüfung von Möglichkeiten zur Gefahrenminderung und Durchführung der Sicherung/Sanierung“, 25.9.90)

Dabei erfolgte die Ermittlung der wünschenswerten Sanierungsziele noch nach dem „Verfahren zur Ermittlung von Sanierungszielen, SES“.

Mit der Vorlage des Entwurfes eines Handbuchs „Eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung (E3-4)“ und der Informationsschrift „Orientierungswerte bei der Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen“ im Herbst 1992 war eine neue Grundlage für die sogenannte E₃₋₄-Bearbeitung geschaffen. Auf dieser sowie auf der Grundlage aller Ergebnisse bislang durchgeführter Maßnahmen wurde ein abschließendes Gutachten erstellt, dessen Inhalte hier zusammenfassend dargestellt werden.

Bei der Ausarbeitung des Gutachtens haben mitgewirkt:

Dipl. Geol.	Denzel	Weber Ingenieure GmbH
Dipl. Ing.	v.d. Eisen	TAUW Infra Consult bv.
Dipl. Ing.	Fluri	Weber-Ingenieure GmbH
Dipl. Ing.	Kastner	Weber-Ingenieure GmbH
Dipl. Ing.	v.d. Molen	TAUW Infra Consult bv.
Dipl. Ing.	Spuy	TAUW Infra Consult bv.

2. Standortbeschreibung

2.1 Historische Entwicklung

Die folgende Zusammenstellung gibt einen Überblick zur **Entwicklung** des Standortes:

- 1964: Eignung des Standorts zur Ablagerung von Industrieabfällen, „naturdichter Untergrund“
- 4/68: Das LRA Vaihingen erteilt die wasserrechtl. Erlaubnis zur Ablagerung von Industrieabfällen entsprechend dem Antrag der Stadt Mühlacker
- 1968: Die Stadt Mühlacker legt vier Becken in der Verwitterungsschicht aus Mergeln an.
- 1968-76: Verfüllung lt. Lieferscheinen (Zeitraum 1973 - 1977) mit 5400 m³ Sonderabfällen (Deponievolumen 6500 m³):
- Abscheidegut aus Leichtstoff-Fängern, Ölbinder, Bohr- u. Schleifemulsionen
 - Lösungsmittelhaltige Stoffe, Lacke und Farben
 - Galvanikschlamm, Metallhydroxidschlamm, Wasserentgiftungsabfälle
- 1976: Einstellungsverfügung des Regierungspräsidiums Karlsruhe
- 1977-81: Abdeckung mit Lehm und drei Rekultivierungsversuche
- 1980: Reparatur einer unter der Deponie verlegten Rohrleitung, die zum Ableiten bergseitigen Oberflächenwassers dient; Nachweis erhöhter Schwermetallgehalte im Ablauf
- 1983: Erster Nachweis leichtflüchtiger chlorierter Kohlenwasserstoffe (CKW) in der Rohrleitung
- 5/86: Aufbringen einer provisorischen Oberflächenabdeckung (1 mm PVC-Folie)
- 1984-91: Intensive Beobachtung, Historische und Technische Erkundung der Deponie und ihres Umfeldes
- 1991-92: Vorversuche zur Bodenluftabsaugung und Sanierungserkundung
- Lage: Im Gewann Hochberg nordöstlich der Stadt Mühlacker, Staatsforst, Osttangente, Industriegebiet und ein Wohngebiet ca. 200 m entfernt. Die ehemalige SAD liegt an einer Kreuzung von Waldwegen, die Zufahrt ist asphaltiert.
- Aufbau: 4 Einzelbecken, je 5 - 6 m tief, Kantenlänge 23 m, getrennt durch schluffig-tonige Absperriegel, abflußlos. Natürliche Basis, Schluff, tonig bis max. 1 m unter Deponiesohle, darunter Mergelstein. 1,2 - 2,0 m Lehmabdeckung unter provisorischer Folienabdichtung (PVC- Folie, 1 mm Stärke), bislang keine größeren Lecks festgestellt.
- Nutzung: Der Wald wird forstwirtschaftlich genutzt (Eichen- Hainbuchenwald) und dient Spaziergängern zur Naherholung. Der Standort ist mit einer ruderalen Vegetation bewachsen, die in der ca. 20 cm starken Kiesschicht über der Folie wurzelt. Die Fläche ist nach der Sanierung zur Aufforstung vorgesehen.
- Infrastruktur: Seit 1990 steht unmittelbar neben der Deponie eine 2500 qm große, asphaltierte und entwässerte Fläche für Sanierungsarbeiten zur Verfügung.

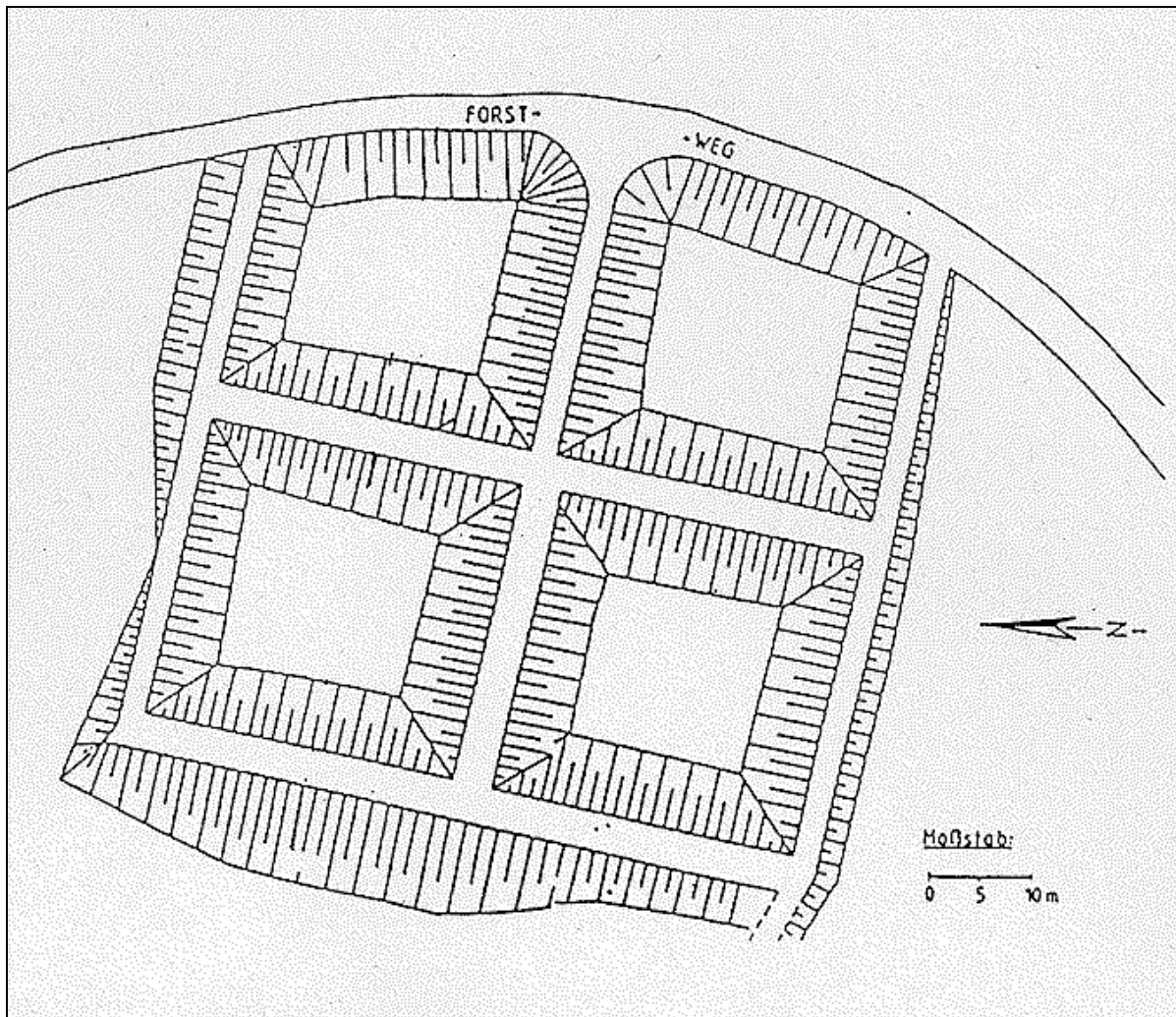


Abb. 13.1: Lageplan der Deponieteilbecken

Untergrund:

Mächtigkeit:	30 m
Gestein:	Tonsteine, Residualschluffe als Schichtwasserstauer lokal ausgebildet
Abstandsgeschwindigkeit der Vertikal-sickerung:	$V_A = 1 \text{ m/d}$ (Markierungsversuch)

GESÄTTIGTE ZONE**Grundwasserleiter I (Gipskeuper/km 1):**

Kluft- und Karstgrundwasserleiter des Gipskeupers, in Bereichen mit Gipsauslaugung einschl. Bereich des Grenzdolomites (Unterer Keuper); ungespannt. Im Bereich nördlich der Deponie mit Gipsershaltung bildet der Bereich des Grenzdolomites möglicherweise einen eigenen Grundwasserleiter und ist dann gespannt.

mittlere Transmissivität:	$T = 1,2$ $k_f = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$; geringe räumliche Variation
Gebirgsdurchlässigkeit:	$k_f = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$, (berechnet aus T)

Zwei Bereiche sind hydraulisch unterscheidbar:

Dunkelrote Mergel (DRM):

Ungespannt, gering ergebnis, hier erfolgen nur rund 20 - 30 % des gesamten Zuflusses im Gipskeuper

Ergiebigkeit:	0,1 - 0,2 l/s
grundwassererfüllte Mächtigkeit:	16 m (Mittel)
Mittlere Transmissivität:	$T = 9,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
dominante Abstandsgeschwindigkeit:	$V_{\text{dom}} = 0,4 - 0,6 \text{ m/d}$

Bochinger Horizont und Grundgipsschichten (BH + GGS):

Sehr ergebnisiger Kluft-/Karstgrundwasserleiter, hier erfolgen 70 - 80 % des gesamten Zuflusses im Gipskeuper.

Ergiebigkeit:	bis 3 l/s
grundwassererfüllte Mächtigkeit:	ca. 15 m
Mittlere Transmissivität:	$T = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
dominante Abstandsgeschwindigkeit:	$V_{\text{dom}} = 1,4 - 5 \text{ m/d}$

Grundwasserleiter II (Unterer Keuper/ku)

Kluftgrundwasserleiter mit gespannten Verhältnissen im Unteren Keuper, schichtgebundener Grundwasserleiter mit Druckniveau über dem des Gipskeupers. Hydraulische Barriere zum darunterliegenden Oberen Muschelkalk.

Grundwasserleiter III (Oberer Muschelkalk/mo)

Gespannter Kluft- und Karstgrundwasserleiter im Oberen Muschelkalk. Druckniveau unterhalb des Gipskeuperdruckspiegels. Hydraulisch ist keine Verbindung zu den darüberliegenden Grundwasserleitern nachgewiesen.

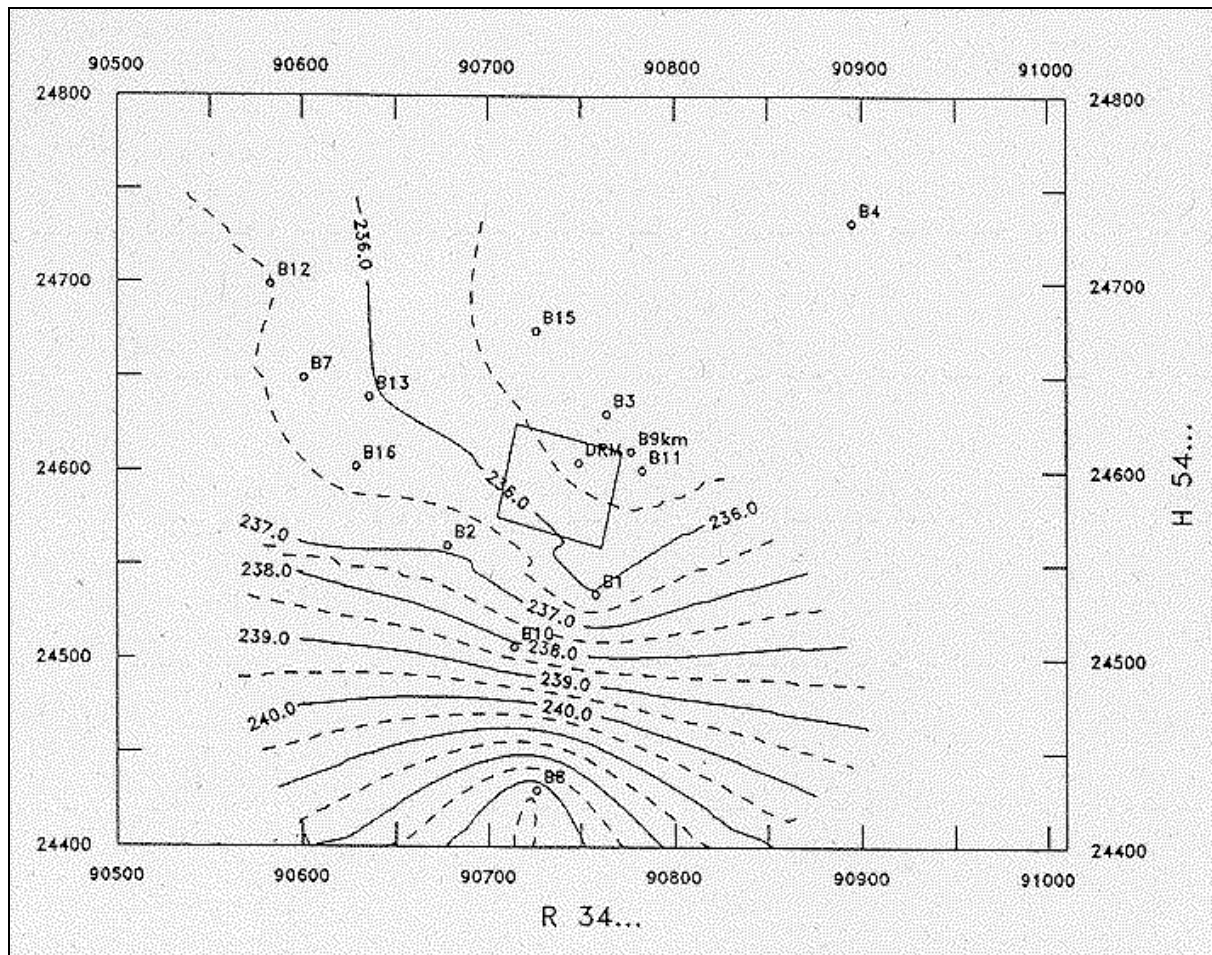


Abb. 13.3: Grundwassergleichenplan - Dunkelrote Mergel

2.3 Schadstoffverteilung

Hinsichtlich der Umweltgefährdung der Altablagerung sind folgende Kompartimente zunächst getrennt zu betrachten:

- oberflächennaher Ablagerungsbereich/Boden
- Ablagerungsgut
- Ungesättigte Zone
- Grundwasser

Als repräsentative Parameter sind zu nennen:

- leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe CKW
- Aromatische Kohlenwasserstoffe BTEX
- Kohlenwasserstoffe KW

- Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe PAK
- Polychlorierte Biphenyle PCB
- Schwermetalle SM

OBERFLÄCHENNAHER ABLAGERUNGSBEREICH / BODEN

Der oberflächennahe Ablagerungsbereich besteht aus der 1986 aufgebrachten provisorischen Oberflächenabdichtung. Die Abdeckung der Folie aus Kies ist als unbelastet anzusehen. Darunter liegt die bis 2 m mächtige Lehmabdeckung, die praktisch als unbelastet anzusehen ist.

ABLAGERUNGSGUT

Zur Gefährdungsabschätzung des Ablagerungsgutes werden die Schadstoffkonzentrationen im Ablagerungsgut (Gesamtgehalte im Feststoff) und die Sickerwasseranalysen herangezogen.

Tab. 13.1: Schadstoffgehalte im Ablagerungsgut

Ablagerungsgut [mg/kg TS]	Mittel	Max	Anzahl
Cadmium	55,1	172	14
Chrom (gesamt)	49039,0	129525	14
Chromat	0,2	1,72	14
Kupfer	27036,2	64771	14
Quecksilber	0,7	1,7	14
Nickel	246,8	615	14
Blei	15684,5	36242	14
Zink	83507,6	230099	14
Cyanid (gesamt)	50,0	327,5	14
Benzol	1,4	14,9	23
BTXE	1392,7	10109,7	23
CCl ₄ , 1,2 Dichlorethan, VC	0,1	8	23
Summe CKW	3195,9	159541,07	23
Kohlenwasserstoffe	4372,0	27883	19
Naphthalin	10,0	180	15
EPA-PAK o. Napht.	81,8	790	15
PCB	6,1	281	15
Pestizide	5,0	58,2	15
TS [%]	53,8	80,7	24

Die Beschaffenheit des Ablagerungsgutes wird von den Galvanikschlämmen geprägt:

Beschaffenheit:	pastös-breiig
Wassergehalt:	50 - 70 %
Dichte, feucht:	1,2 g/cm ³
Dichte, trocken:	0,42 g/cm ³
Durchlässigkeit:	4,3 · 10 ⁻⁹ m/s

Tab. 13.2: Schadstoffgehalte im Sickerwasser

Sickerwasser [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	Mittel	Max	Stdabw	Anzahl
Arsen	2,8	7,9	2,4	9
Cadmium	86,6	270,0	92,4	9
Chrom (gesamt)	46,1	240,0	76,4	8
Chromat	0,0	0,0	0,0	5
Kupfer	1843,8	4340,0	1503,4	8
Quecksilber	0,5	1,5	0,5	9
Nickel	721,3	2110,0	717,5	8
Blei	3,6	25,0	7,7	9
Zink	65058,8	117200,0	36277,5	9
Cyanid (gesamt)	19,8	90,0	28,0	9
Ammonium	46228,9	203600,0	60244,3	9
Benzol	13,0	56,4	20,0	9
BTXE	2220,4	6816,4	2138,1	9
CCl ₄ , 1,2 Dichlorethan, VC	791,1	8820,0	1801,4	22
Summe CKW	847228,4	6256606,5	1574903,6	22
Kohlenwasserstoffe	28602660,7	373900000,0	79802469,1	21
Naphthalin	15,0	47,0	13,1	9
EPA-PAK o. Napht.	102,2	573,0	173,4	9
PCB	8,0	25,5	8,0	10
pH	6,8	7,3	0,2	20

Seit 1991 fällt praktisch kein Sickerwasser mehr in den Deponiepegeln an.

Die Deponiebasis wurde hinsichtlich der Schwermetallbelastung untersucht. Ein Austrag an Schwermetallen ist in keinem Becken nachweisbar. Unterhalb einer stark mit Schwermetallen imprägnierten Zone (bis 0,5 m) erreichen die Konzentrationen 1 m unter der Deponiesohle geogene Hintergrundgehalte. Das starke Retentionsvermögen des verwitterten Gipskeupers wird auch durch die Schichtwassergehalte in 15 m Tiefe belegt. Der Transferfaktor Schichtwasser/Sickerwasser ist für Kohlenwasserstoffe um vier Zehnerpotenzen, für Kupfer zwei und für Nickel um eine Zehnerpotenz kleiner als der für CKW oder BTEX.

Eine Massenbilanzierung der in der Altablagerung vorhandenen Schadstoffen ergibt folgende hochgerechnete Werte:

CKW gesamt:	20 Mg
BTEX gesamt:	5,6 Mg
KW:	18,4 Mg

UNGESÄTTIGTE ZONE

In der ungesättigten Zone (UZ) konnten folgende maximalen Schadstoffkonzentrationen ermittelt werden:

Verwitterungsdecke bis 5 m Tiefe:
Summe CKW <1mg/kg
tieferer Untergrund bis 15 m Tiefe (Stichproben)

	Mittel	Max	
Summe CKW	100	1207	mg/kg TS
kanzerog. CKW	1,9	3,3	mg/kg TS
Schwermetalle	geogener Hintergrund		

Die Bodenluftgehalte zeigen dort folgende Werte:

Summe CKW ca.	100.000
kanzerog. CKW	306
Benzol	14,74
BTEX	145

Für die ungesättigte Zone liegen die zu erwartenden Schadstoffkonzentrationen unmittelbar zu Beginn der Absaugung vor. Mit den sich aus dem Adsorptionsgleichgewicht ergebenden Bodenkonzentrationen wurde eine Schadstoffbilanzierung für die ungesättigte Zone erstellt. Dabei wurde eine Schadstoffdispersion in der UZ unterhalb der Deponiefläche angenommen.

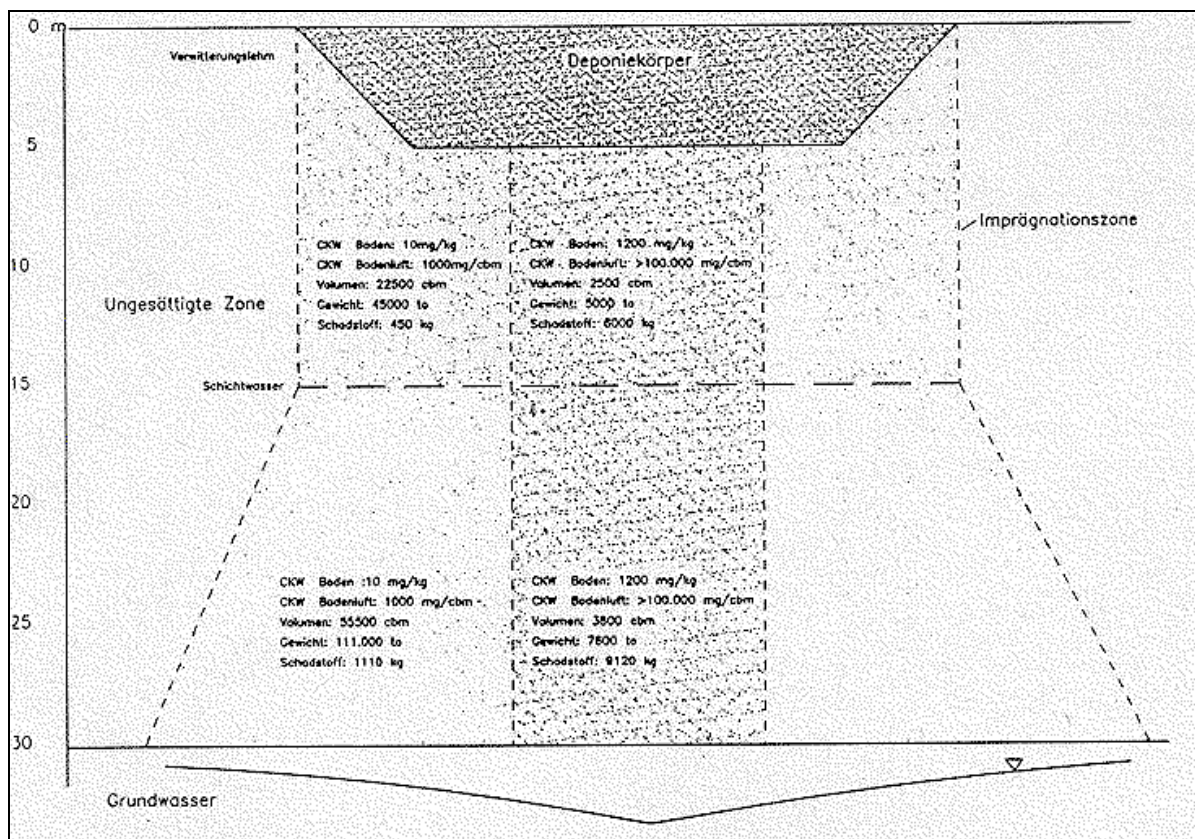


Abb. 13.4: Schadstoffbilanzierung - Ungesättigte Zone

Die Konzentrationen von 100.000 mg/m^3 entsprechen einem $1/4$ des Satttdampfdruckes; z.T. liegen demnach CKW in Phase vor. Die daraus ermittelte Gesamtmenge an CKW in der ungesättigten Zone von $16,68 \text{ Mg}$ ist aufgrund der Annahme einer gleichmäßigen Schadstoffverteilung als schlechtesten Fall anzusehen. Die Größenordnung muß jedoch für die Sanierungsplanung zugrunde gelegt werden.

GRUNDWASSER

Der Gipskeuper-Grundwasserleiter zeigt zwei vertikal differenzierte Bereiche mit unterschiedlichen Schadstoffgehalten. Der Flurabstand zum Grundwasser beträgt ca. 30 m. Aufgrund mehrjähriger umfangreicher Grundwasseruntersuchungen waren in erhöhten Konzentrationen nachweisbar:

- leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe
- aromatische Kohlenwasserstoffe (untergeordnet).

Tab. 13.3: Schadstoffgehalte im Grundwasser

Meßstellen Dunkelrote Mergel	DRM	B11	B 9 ku	B 3	B 14
Abstand zur Ablagerung [m]	15	40	40	45	55
Summe CKW [µg/l]	24800	21000	130700	2542	37560
kanzerog. CKW [µg/l]	3,19	n.n.	80	n.n.	42,4
Benzol [µg/l]	n.n.	n.n.	3,46	n.n.	
BTXE [µg/l]	n.n.	n.n.	653,4	n.n.	14,68

Meßstellen Dunkelrote Mergel	B 1	B 2	B 13	B 15	B 10
Abstand zur Ablagerung [m]	60	70	90	90	90
Summe CKW [µg/l]	34850	1613	262	0,38	n.n.
kanzerog. CKW [µg/l]	883	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Benzol [µg/l]	3,11	n.n.	n.n.*	n.n.*	n.n.
BTXE [µg/l]	14,11	n.n.	n.n.*	n.n.*	3,1

Meßstellen Dunkelrote Mergel	B 16	B 7	B 8	B 12
Abstand zur Ablagerung [m]	115	155	160	195
Summe CKW [µg/l]	20,2	0,24	n.n.	n.n.
kanzerog. CKW [µg/l]	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Benzol [µg/l]	n.n.*	n.n.	n.n.**	n.n.*
BTXE [µg/l]	n.n.*	n.n.	n.n.**	n.n.*

Meßstellen Grundgipsschichten	GGG	B 19	B 18	B 20	B 21
Abstand zur Ablagerung [m]	15	5	65	65	85
Summe CKW [µg/l]	1285	5,53	13629	166,3	38,12
kanzerog. CKW [µg/l]	n.n.	n.n.	28,8	n.n.	n.n.
Benzol [µg/l]	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
BTXE [µg/l]	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Meßstellen Grundgipsschichten	B 17 km	B 6	B 4	B5
Abstand zur Ablagerung [m]	180	195	215	260
Summe CKW [µg/l]	n.n.	0,32	n.n.	n.n.
kanzerog. CKW [µg/l]	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Benzol [µg/l]	-	n.n.*	n.n.	n.n.*
BTXE [µg/l]	-	n.n.*	n.n.	n.n.*

Die Tabelle zeigt die Schadstoffkonzentrationen von CKW und BTEX für die beiden Aquiferbereiche DRM (= Dunkelrote Mergel) und GGS (= Grundgipsschichten). Schwermetalle, PAK, PCB und Kohlenwasserstoffe waren unterhalb der Grenz- und Orientierungswerte. Lo-

kal erhöhte Zinkgehalte (max. 4,3 mg/l) konnten auf den Meßstellenausbau mit verzinkten Stahlrohren zurückgeführt werden.

Die Hauptschadstoffkomponenten bei den CKW sind:

- Trichlorethen
- cis 1,2-Dichlorethen.

Die Sulfat- und Nitratgehalte sind im Deponieumfeld erniedrigt, die Chlorid-Gehalte und Leitfähigkeiten sind erhöht. Eine deutliche Korrelation zwischen CKW- und Chloridkonzentration wurde statistisch belegt.

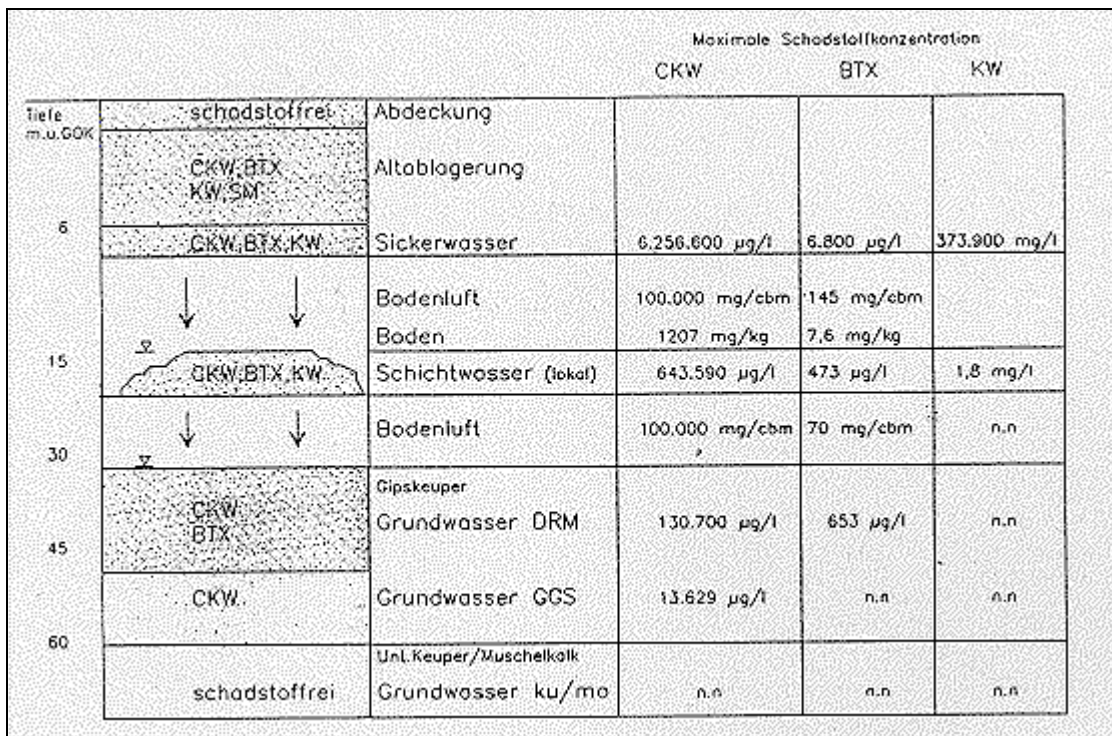


Abb. 13.5: Zusammenfassende Darstellung der Schadstoffverteilung

Es ergibt sich insgesamt gesehen das Bild eines vertikal differenzierten Gipskeupergrundwasserleiters. Der obere Kluftgrundwasserleiter (DRM) besitzt ein hohes Aufnahmevermögen für CKW aufgrund von:

- geringem nutzbaren Kluftvolumen
- geringen Fließgeschwindigkeiten
- hoher Adsorptionsfähigkeit aufgrund des hohen Verwitterungsgrades des Gebirges

Ein maßgeblicher Schadstofftransport ist nicht nachweisbar.

Für den unteren Kluft- und Karstgrundwasserleiter (GGS) wurde im Langzeitpumpversuch eine Drainagewirkung der Störungszone (105°) festgestellt. Trotz dieses hydraulischen Elementes ist der Einfluß auf die Schadstoffverteilung gering. Die Verteilung der CKW weist eine Verlagerung des Schadstoffzentrums nach Osten (B 18) auf. Ein maßgeblicher Schadstofftransport ist auch hier nicht nachweisbar.

Die tieferliegenden Grundwasserleiter Unterer Keuper und Oberer Muschelkalk gelten als unbelastet.

3. Ermittlung von Sanierungszielen

3.1 Grundlagen

Grundlage für die Ermittlung der Sanierungsziele ist die Informationsschrift "Orientierungswerte bei der Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen" der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) Baden-Württemberg, Stand 29. September 1992.

Die in der o.g. Informationsschrift angegebenen Orientierungswerte beziehen sich auf den Schutz des Menschen, wobei dem Schutz des Grundwassers besondere Bedeutung zukommt. Werden die Gesundheit des Menschen und die Nutzungen der Umwelt durch den Menschen geschützt, werden zumindest erhebliche Beeinträchtigungen der Ökosysteme vermieden, d.h. auch die Umwelt wird (eingeschränkt berücksichtigt) geschützt.

Sanierungseinstieg

Bei der Festlegung des Schwellenwertes für einen Sanierungseinstieg (SE) werden nur die potentiellen Risiken für die o.g. Schutzgüter betrachtet, d.h. daß nicht berücksichtigt wird, daß im Einzelfall bestimmte Expositionswege abgeschnitten sind oder bestimmte Nutzungen nicht stattfinden.

Der SE-Wert ist als Wertebereich angegeben. Untere und obere Grenze des Wertbereiches sind die Werte:

SZ: Das vernachlässigbare potentielle Risiko; wird es eingehalten bzw. unterschritten, kann davon ausgegangen werden, daß die betroffenen Schutzgüter nicht gefährdet sind.

SE(max): Das maximal akzeptierbare Risiko, wird es überschritten, ist davon auszugehen, daß die betroffenen Schutzgüter in Gefahr sind.

SZ- und SE(max)-Werte werden in der Informationsschrift wiedergegeben. Innerhalb der Spanne SZ - SE(max) ist einzelfallspezifisch der maßgebliche SE-Wert festzulegen.

Eine Überschreitung des SE-Wertes bedeutet nicht ohne weiteres, daß eine Sanierung notwendig ist, wohl aber, daß eine detaillierte und begründete Entscheidung über Erfordernis, Maß und Ziel einer Sanierung zu treffen ist.

Sanierungsziel

Ausgangspunkt der in der Informationsschrift angegebenen Orientierungswerte für das Sanierungsziel (SZ) ist, daß das potentielle Risiko für die betroffenen Schutzgüter sich auf eine vernachlässigbare Größe beschränkt.

Aus technischen oder rechtlichen Gründen oder aus Gründen der Umweltbilanz ist es nicht immer möglich, das potentielle Risiko in vernachlässigbarer Größe zu halten.

Dann ist es notwendig, anstelle des potentiellen Risikos (SZ) das vernachlässigbare aktuelle Risiko (SZ-A) zu betrachten. Werden empfindliche Nutzungen nicht wahrgenommen oder sind Expositionspfade abgeschnitten, brauchen die entsprechenden SZ-Werte nicht eingehalten werden bzw. es können höhere Restbelastungen (SZ-A) zugelassen werden. Die maßgeblichen SZ-A-Werte sind einzelfallspezifisch zu ermitteln.

Schutz des Grundwassers

Besondere Beachtung bei der Festlegung von Sanierungszielen ist dem Schutz des Grundwassers vor einer Schädigung durch künftige oder weiterhin stattfindende Schadstoffeinträge, wie sie Altablagerungen und kontaminierte Böden verursachen, zu schenken.

Im Fall eines genutzten oder nutzungswürdigen Grundwasservorkommens gilt für die mit dem Schichtwasser oder Sickerwasser eingetragenen Schadstoffe, daß die zugehörigen SZ-Werte eingehalten werden müssen. Für einen Schadstoffeintrag in Phase, bei dem von einem reinen Produkt gesprochen werden kann, sind keine quantitativen Orientierungswerte anzugeben. Eine Unterbindung dieser Transportform ist jedoch als Prämisse zu betrachten.

Wenn das Grundwasservorkommen nicht genutzt wird oder als nicht nutzungswürdig zu betrachten ist, bezieht sich der Orientierungswert weder auf die mit dem Schicht- oder Sickerwasser eingetragenen Schadstoffgehalte noch auf das Grundwasservorkommen selbst, sondern auf den gesamten Schadstoffeintrag. Durch den gesamten Schadstoffeintrag darf (rechnerisch) maximal 25 l/s unbelastetes Grundwasser bis zum SZ-Wert kontaminiert werden.

3.2 Sanierungseinstieg

3.2.1 Boden/oberflächennaher Deponiebereich

Zur Festlegung des SE-Wertes sind die standortbezogenen Expositions- und Nutzungsbedingungen zu beachten. Hierbei gilt:

- es liegt keine Nutzung vor
- spielende Kinder möglich, jedoch durch einfache Umzäunung auszuschließen.

→SE = SE(max)

Das heißt, für die Betrachtung des Sanierungseinstiegs „Boden“ wird der SE(max)-Wert verwendet.

Da die Deponie an der Erdoberfläche von einer PE-Folie mit einer einige Zentimeter mächtigen Kiesschicht abgedeckt ist, beschränkt sich die Einstiegsfrage für den Boden / oberflächennahen Deponiebereich auf die oberen ca. 1,5 Meter der an die Deponie angrenzenden Verwitterungsdecke.

Um die Notwendigkeit eines Sanierungseinstiegs abzuklären, sind dem erkundeten Schadstoffinhalt (CKW, BTEX, Schwermetalle, s. Kapitel 2.4.1) die in der Informationsschrift angegebenen Orientierungswerte gegenüberzustellen. Zur Zeit sind die Orientierungswerte für CKW und BTEX aber noch nicht in der Informationsschrift aufgenommen.

Da die gemessenen Werte unter der Nachweisgrenze liegen bzw. bei den Schwermetallen dem geogenen Hintergrundwert entsprechen, ist davon auszugehen, daß die Konzentrationen in jedem Fall den SE(max)-Wert unterschreiten.

Es besteht deshalb für die an die Deponie angrenzende Verwitterungsdecke kein Sanierungsbedarf.

3.2.2 Grundwasser

Zur Beurteilung des Sanierungseinstiegs „Grundwasser“ ist der Eintrag aus der Altlast maßgeblich.

Zur Festlegung des SE-Wertes sind die standortbezogenen Nutzungsbedingungen bzw. die Bedeutung des Grundwassers zu betrachten. Hierbei gilt:

- geringes Grundwasservorkommen
- keine Schadstoffausbreitung bzw. -verdünnung
- Standort liegt voraussichtlich in einem zukünftigen, noch auszuweisenden Wasserschutzgebiet (Zone III a) der Trinkwassergewinnung Illingen.

→SE = SZ

Es muß davon ausgegangen werden, daß durch die mögliche Lage im zukünftigen Wasserschutzgebiet ein prinzipielles Risiko für die Trinkwassergewinnung gegeben ist. Deshalb wird für die Betrachtung des Sanierungseinstiegs „Grundwasser“ der SZ-Wert verwendet.

Die Orientierungswerte beziehen sich auf den Austrag aus der Altlast in gelöster Form, für den Austrag durch Diffusion sind keine Werte angegeben.

Betrachtet man also nur den Transport in Lösung oder in reiner Phase, so stehen zur Beurteilung des Sanierungseinstiegs in-vitro-Eluat, Schicht- und Sickerwasseranalysen zur Verfügung.

Für die folgenden Schadstoffe besteht deswegen ein Sanierungsbedarf:

Tab. 13.4: Sanierungseinstieg Schichtwasser

Schadstoff	Schichtwassergehalt [$\mu\text{g/l}$]	SE-Wert = SZ [$\mu\text{g/l}$]
Summe CKW	> 800.000	10
kanzerog. CKW	996	3
BTEX	1.242	10
Benzol	60	1
KW	1.800	50
Phenol	160	30
PCB (LAGA)	1,48	0,05
PAK (ohne Naphtalin)	0,51	0,1
Arsen	48	10
Quecksilber	3	0,7
Nickel	40	40

Aus dem Vergleich der Werte kann zum Schutz des Grundwassers ein Sanierungseinstieg abgeleitet werden.

3.3 Festlegung der Sanierungsziele

Da der Standort aller Wahrscheinlichkeit nach im zukünftigen Wasserschutzgebiet liegt und es sich folglich um ein genutztes Grundwasservorkommen handelt, gilt zur Festlegung des

Sanierungszieles:

1. Die Zulassung von Restbelastungen über dem SZ-Wert, ist außerhalb der Altlast nicht zulässig.
2. „Die Schadstoffemission aus der Altlast darf höchstens so groß sein, daß damit maximal 25 l/s unbelastetes Wasser bis zum SZ-W-Wert kontaminiert werden kann.“

Da am Standort die Ergiebigkeit des Grundwasserleiters sehr viel geringer ist als 25 l/s, ist die Erfüllung der 1. Bedingung hinreichend.

Nach dem Ansatz

$$\text{SZ-W } Q_{\text{ab}} = \text{SZ-A } Q_{\text{zu}}$$

erhält man die maximal zulässigen SZ-A-Werte, mit denen die Eintragswassermenge belastet sein darf, damit nach rechnerischer Verdünnung mit der - hier außerordentlich geringen - Grundwasserströmung der SZ-Wert nicht überschritten wird.

In den Jahren nach der Aufbringung der Oberflächenabdichtfolie wurde eine durchschnittliche Sickerwassermenge von $2,9 \text{ m}^3/\text{a}$ erfaßt.

Annahmen:

- dieselbe Menge wird nicht erfaßt und sickert ab
- Grundwasserströmung unterhalb der Deponie: $275 \text{ m}^3/\text{a}$ (Berechnung s. Kap. 4.3.2)

$$SZ-A/SZ-W = Q_{ab}/Q_{zu} = 275/2,9 = 95$$

Bei einer intakten Oberflächenabdichtung wäre also im Deponiekörper der 95fache SZ-W-Wert als Eluatwert zulässig.

Tab. 13.5: Sanierungsziele Schichtwasser

Schadstoff	Schichtwassergehalt [$\mu\text{g/l}$]	SE-Wert = SZ [$\mu\text{g/l}$]	SZ-A [$\mu\text{g/l}$]
Summe CKW	> 800.000	10	950
kanzerog. CKW	996	3	285
BTEX	1.242	10	950
Benzol	60	1	95
KW	1.800	50	4700
Phenol	160	30	2850
PCB (LAGA)	1,48	0,05	4,75
PAK (ohne Naphtalin)	0,51	0,1	9,5
Arsen	48	10	950
Quecksilber	3	0,7	66,5
Nickel	40	40	3800

Vergleicht man die SZ-A-Werte mit den Schichtwasser-Werten, so besteht lediglich für die Schadstoffgruppen CKW und BTX ein Sanierungsbedarf. Bislang konnten nur diese Stoffe im Grundwasser nachgewiesen werden.

Die Notwendigkeit eines Sanierungsbedarfs für das mit CKW (Mittelwert Summe CKW ca. 11.000 $\mu\text{g/l}$, Höchstwert ca. 130.000 $\mu\text{g/l}$) und BTEX (Mittelwert BTEX ca. 170 $\mu\text{g/l}$, Höchstwert ca. 650 $\mu\text{g/l}$) verunreinigte Grundwasser besteht nach der Informationsschrift der LfU.

Es ist allerdings abzuwägen, ob bei einem genutzten GW-Vorkommen die Reparatur an der Quelfassung oder am Schadensherd zweckmäßiger ist. Im vorliegenden Falls stellt sich die Grundwasserkontamination als Schadstoffglocke dar, weshalb die Reinigung am Schadensherd vorzuziehen ist.

Um sicherzustellen, daß künftige oder weiterhin stattfindende Schadstoffausträge aus der Deponie keine Überschreitung der o.g. zulässigen Restgehalte im Schichtwasser verursachen, muß der Schadstoffübergang von der Bodenluft ins Schichtwasser auch unterbunden werden.

Die Transportvorgänge vom Deponiekörper in die ungesättigte Zone lassen sich nicht modellieren, so daß man sich mit Sanierungszielmodellen behilft.

Wird vorausgesetzt, daß der CKW-Eintrag in flüssiger Phase unterbunden werden muß, läßt sich die Formulierung des Sanierungsziel (nachfolgend als Sanierungszielmodell I genannt) folgendermaßen schematisch darstellen:

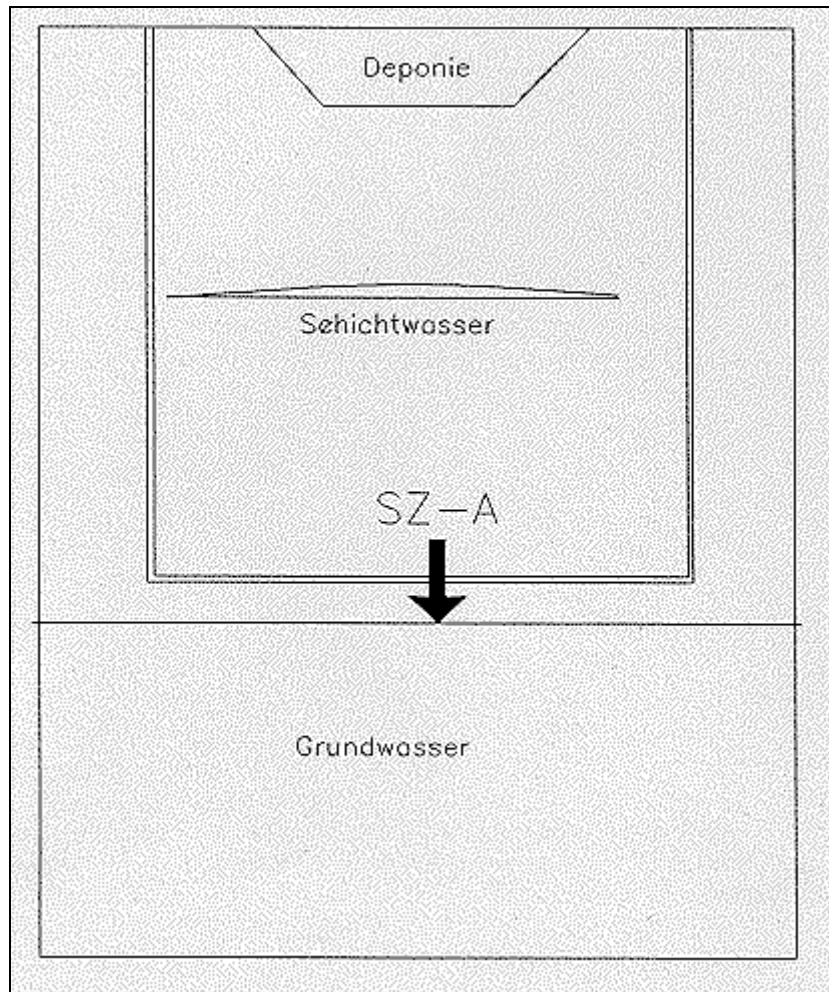


Abb. 13.6: Sanierungszielmodell I

Der Schadstoffeintrag führt nicht zu einer Überschreitung von SZ-W im Grundwasser.

Wenn die o.g. SZ-A-Werte für die mit dem Schichtwasser eingetragenen Schadstoffe aus technischen oder finanziellen Gründen nicht bzw. nicht kurzfristig eingehalten werden können, greift ein zweites Sanierungszielmodell, das sogenannte Modell II, bei dem sich die o.g. SZ-Werte auf die Verbreitung der Schadstoffe im Grundwasser (Gipskeuper) beziehen. Eine Sanierung wird dadurch erreicht, daß kein über SZ-W belastetes Grundwasser aus dem Schadensherd abströmt.

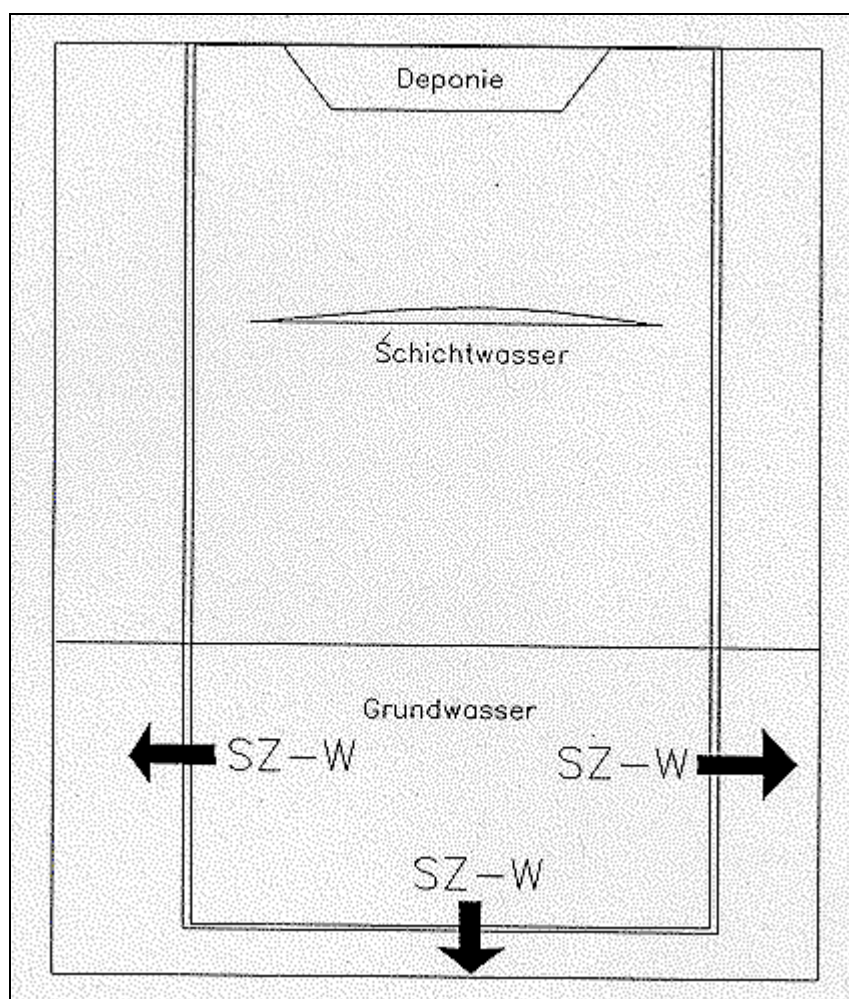


Abb. 13.7: Sanierungszielmodell II

Modell II ist als vorübergehende Lösung zu betrachten, wenn Modell I aus technischen Gründen erst zu einem späteren Zeitpunkt realisierbar ist.

4. Verfahrensvorauswahl

Wenn bei der Sanierungsentscheidung (auf Beweisniveau 4) Zweifel an der Einsetzbarkeit des oder der vorgeschlagenen Sanierungsverfahren(s) besteht, sieht die eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung (E₃₋₄) vor, daß eine Sanierungsuntersuchung beschlossen werden kann. Die Sanierungsuntersuchung dient dabei ausschließlich der **Entscheidungsfindung für ein Sanierungsverfahren**. Entsprechend den Fragestellungen des Einzelfalls sind dies insbesondere chemisch-physikalische, bodenkundliche und hydrogeologische Spezialuntersuchungen. Die Sanierungsuntersuchung kann im Falle von Dekontaminationsverfahren auch labormäßige oder großtechnische Probesanierungen beinhalten.

Im Rahmen der Modellstandortbearbeitung wurden einige der Einzelverfahren mit Hilfe von Tests und Vorversuchen überprüft. Dies sind:

- Desorption
- Verfestigung (4 verschiedene Firmen)
- Verglasung
- Hydrometallurgie (TNO, ROM)
- Elektrokinetik (Geokinetics)
- Aktivkohle-Adsorption
- UV-Oxidation

Die Einsetzbarkeit der bekannten Verfahren zur Altlastensanierung wurde nach folgenden Kriterien überprüft:

1. Schadstoffspezifische Wirkung
2. Untergrundverhältnisse
3. Grundsätzliche Funktionsfähigkeit
4. Grundsätzliche Verfügbarkeit
5. Platzbedarf

Die Nutzung des Standortes als zusätzliches Kriterium hat in diesem Fall nur untergeordnete Bedeutung, weil die Fläche nur 2500 m² beträgt und nach der Sanierung aufgeforstet werden soll.

Ein Verfahren wird nur dann mit „ja“ (= geeignet) bewertet, wenn alle fünf Kriterien erfüllt sind. Falls ein Verfahren ausgeschlossen werden muß, ist die Nummer des Kriteriums, das zum Ausschluß führt, verzeichnet.

Tab. 13.6: Ausschluß von Verfahren

Verfahren	In situ	Ex situ	Ausschluß	Bemerkung
Entsorgung	-	ja		
Dekontaminationsverfahren				
Hydraulische Verfahren	ja	-		Kluft- und Karstgrundwasserleiter
Bodenluftabsaugung	ja	-		Laufende Sanierung
Desorption, Entgasung	-	ja		Vorversuch Fa. Weiss
Pyrolyse	-	nein	1,(4)	Keine ausr. Rauchgasreinigung
Verbrennung	-	ja		SAV wg. Flücht. Me-/ClVerb
Verglasung	nein	nein	4	Anlage in Planung
Bodenwäsche				
- mit Wasser	nein	nein	1,2	80% d. Kornverteilg. < 20 µg
- org. Extraktionsmittel	-	nein	1	k. befriedigende Abreinigung
Hydrometallurgie	-	nein	1,3,4,	Entwicklungsbedarf, k. Anlage vorh.
Elektrokinetik	nein	nein	1,2,3	Säureverbrauch zu hoch
Biolog. Verfahren	nein	-	2,(3)	Erprobung am MoSt Eppelheim
Abwasserbehandlung				
Strippen	-	ja		Ifd. Sanierung
Aktivkohle-Adsorption	-	ja		Ifd. Sanierung
Ionentauscher	-	nein	1	keine SM-Belastung des GWs
Membranverfahren	-	nein	1	keine SM-Belastung des GWs
Biolog. Verfahren	-	nein		Erprobung am MoSt Eppelheim
Fällung	-	nein	1	keine SM-Belastung des GWs
Chemische Oxidation	-	ja		Vorversuch erforderlich (auch UV)
Abluftbehandlung				
Hochtemperaturverbrennung	-	ja		
Katalyt. Nachverbrennung	-	ja		Vorversuch z. Dimensionierung erforderlich
UV-Oxidation (Gasphase)	-	nein	1	Problemat. wg. Schadstoffgemisch
Adsorption	-	ja		Ifd. Sanierung
Adsorption/Gaswäsche	-	ja		Vorversuch erf.
Semipermeable Membran	-	nein	1	keine geeignete Membran
Biolog. Verfahren	-	nein		Erprobung am MoSt Eppelheim
Sicherungsverfahren				
Oberflächenabdichtung	-	ja		provisor. Abdichtung vorh.
vertikale Dichtwand	-	ja		horizont. Wasserzutritte mögl.
Injektionssohle	nein	-	(1),2	klüftiger Untergrund, Undichtigkeit
Verfestigung	nein	ja		
Dep.-Neueinrichtung	-	ja		

Demnach ergeben sich folgende, am Standort einsetzbaren Verfahren und notwendige Techniken:

1. BODENLUFTABSAUGUNG IM DEPONIEKÖRPER UND IN DER UNGESÄTTIGTEN ZONE
2. GRUNDWASSERSANIERUNG - HYDRAULISCHE SICHERUNG
3. SCHICHTWASSERSANIERUNG
4. REINIGUNG VON BODENLUFT UND GRUNDWASSER
5. ABLUFTBEHANDLUNG
6. WASSERBEHANDLUNG
7. NACHTRÄGLICHE ABDICHTUNG
8. OBERFLÄCHENABDICHTUNG
9. DICHTWAND
10. AUSKOFFERUNG DES ABLAGERUNGSGUTES
11. THERMISCHE DESORPTION
12. VERFESTIGUNG
13. DEPONIENEUEINRICHTUNG
14. ENTSORGUNG

Auf eine detaillierte Beschreibung dieser Einzelbausteine einer möglichen Gesamtanierung wird an dieser Stelle verzichtet. Sie ist jedoch Bestandteil der E_{3,4}-Bearbeitung und sollte die Aspekte

- Verfahrensprinzip
- Wirksamkeit / Vorversuchsergebnisse
- Zeitbedarf
- Vor- und Nachteile

beinhalten.

5. Sanierungskonzepte

5.1 Ansatz

Bei der Ermittlung der Sanierungsziele (vgl. Kap. 3) wurde ein Sanierungsbedarf für die Schadstoffe CKW, BTEX in der ungesättigten Zone (UZ) festgestellt.

Um sicherzustellen, daß künftige Schadstoffausträge aus der Deponie keine Überschreitungen der zulässigen Schadstoffeinträge ins Grundwasser verursachen, muß der Schadstoffaustrag unterbunden werden.

Die Sanierungskonzepte werden mit den aus der Verfahrensvorauswahl verbliebenen Verfahren erstellt. Zunächst wird das **Sanierungszielmodell I** (Kapitel 3.3) angestrebt:

Für die mit dem Schichtwasser eingetragenen Schadstoffe gilt, daß die zugehörigen SZ-A-Werte eingehalten werden müssen. Außerdem muß der Phasentransport von CKW in die UZ verhindert werden.

Dieses Sanierungszielmodell ist kurzfristig nur realisierbar, wenn sowohl der Deponiekörper als auch die gesamte ungesättigte Zone (UZ) ausgekoffert werden (Ex-situ-Sanierung), da alle In-situ-Maßnahmen das Sanierungsziel nicht unmittelbar, sondern erst nach mehrjähriger Sanierungsdauer gewährleisten können.

Es kann von vornherein festgestellt werden, daß wegen des großen Unterschiedes zwischen der horizontalen (beschränkt) und vertikalen Verbreitung (bis ca. 30 m u. GOK) des kontaminierten UZ-Bereiches eine Auskoffertung der UZ sowohl aus technischen als aus finanziellen Gründen als ein nicht realistisches Sanierungskonzept beurteilt werden kann. Aus diesem Grund wird dieses Konzept nicht weiter betrachtet.

Sanierungszielmodell I ist kurzfristig also nicht erreichbar, deshalb behilft man sich zeitweise mit **Sanierungszielmodell II**. Bei diesem Modell beziehen sich die einzuhaltenden SZ-Werte nicht auf die mit dem Schichtwasser eingetragenen Schadstoffe, sondern auf die Verbreitung der Schadstoffe im Grundwasser.

Mit der hydraulischen Sicherung des Grundwassers steht ein Verfahren zur Verfügung, um jetzt und künftig die SZ-Werte außerhalb des Sanierungsbereiches mit guter Sicherheit einzuhalten. Das sofortige Erreichen der vollen Wirksamkeit ist im Hinblick auf die Lage des Standortes im zukünftigen Wasserschutzgebiet unabdingbar. Sollten zusätzliche Verfahren im Laufe der Zeit das Sanierungszielmodell I erreichen, kann die hydraulische Sicherung beendet werden.

Die **Sanierung der UZ** zur Verminderung des Schadstoffeintrages ins Grundwasser kann durch zwei Verfahren erreicht werden:

1. Schichtwasserfassung

Die Schichtwasserfassung vermindert den Eintrag von Schadstoffen in Phase und in Lösung. Durch die Inhomogenität des Untergrundes ist vermutlich keine 100-%ige Drainage zu ga-

rantieren, die Absickerung in sog. „Fenstern“ ist nach wie vor, wenn auch in reduziertem Maße möglich.

2. Bodenluftabsaugung

Um die Überführung der Schadstoffe von der flüssigen oder adsorbierten Phase in die Gasphase zu ermöglichen, wird Bodenluft aus der ungesättigten Zone abgesaugt. Gleichzeitig wird so eine diffuse Schadstoffausbreitung verhindert. Der Absenktrichter, der durch die GWAbsenkung erzeugt wird, wird mitabgesaugt, weil die adsorbierten Schadstoffe schneller gasförmig als gelöst ausgetragen werden.

Nicht gesichert ist dabei die Effizienz der Sanierung der ungesättigten Zone. Ausgehend von den Prognoseberechnungen (vgl. Kap. 4.3.1) ergibt sich eine Laufzeit von ca. 10 Jahren. Sollte diese Maßnahme jedoch nicht greifen, so ist eine ständige hydraulische Sicherung erforderlich.

Der Sanierungserfolg ist durch das Erreichen des Sanierungszieles beim Austrag aus der UZ ins Grundwasser gekennzeichnet. Daher darf aus der Altablagerung weniger nachgeliefert werden, als nach dem Passieren der UZ noch als Eintrag in das Grundwasser zulässig ist.

Dieses Ziel kann im Prinzip durch zwei unterschiedliche Methoden erreicht werden, wobei sich für die Methoden auch noch Varianten ergeben können.

Beim **Sanierungskonzept I** handelt es sich um eine Ex-site-Maßnahme. Um die Nachlieferung aus der Altablagerung in die UZ umgehend zu unterbrechen, ist hier die sofortige Auskofferrung des Deponiekörpers vorgesehen.

Nach einem angemessenen Zeitraum, über den die ungesättigte Zone abgesaugt und drainiert wurde, ist zu überprüfen, ob der SZ-Wert für den Austrag aus der ungesättigten Zone eingehalten wird (SZ-Modell I).

Ist der SZ-Wert erreicht, sind alle Sanierungsmaßnahmen zu beenden.

Werden jedoch durch die Inhomogenität des Untergrundes nicht alle Bereiche von der Sanierung erfaßt und ein weiterer Eintrag über die ungesättigte Zone ist nachweisbar, so muß die hydraulische Sicherung weiterbetrieben werden (Sanierungszielmodell II).

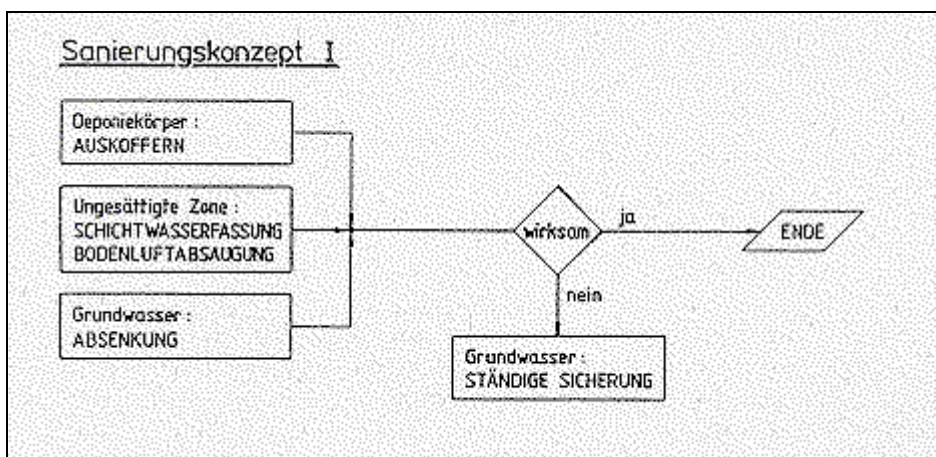


Abb. 13.8: Sanierungskonzept I - Ablaufschema

Beim **Sanierungskonzept II** handelt es sich um eine In-situ-Maßnahme.

Seit einigen Jahren konnten keine nennenswerten Sickerwassermengen am Standort erfaßt werden, so daß sich derzeit der Austrag aus der Deponie überwiegend als Diffusionsstrom darstellt. Eine Absaugung des Deponiekörpers kann also, solange die Maßnahme aufrecht erhalten wird, verhindern, daß weitere Austräge aus der Deponie stattfinden.

Die Entscheidung über den Sanierungserfolg der UZ fällt analog wie unter Sanierungskonzept I beschrieben. Darüber hinaus ist die Dekontamination des Deponiekörpers zu beurteilen:

- Falls die Maßnahme die gewünschte Wirkung zeigt, kann die Deponie mit einer hochwertigen Abdichtung versehen werden und die Bodenluftabsaugung des Deponiekörpers ist als abgeschlossen zu betrachten.
- Zeigt sich der Sanierungserfolg nicht, so ist zu entscheiden, ob ständig der Deponiekörper abgesaugt werden soll oder ob eine Auskoffnung angezeigt ist.

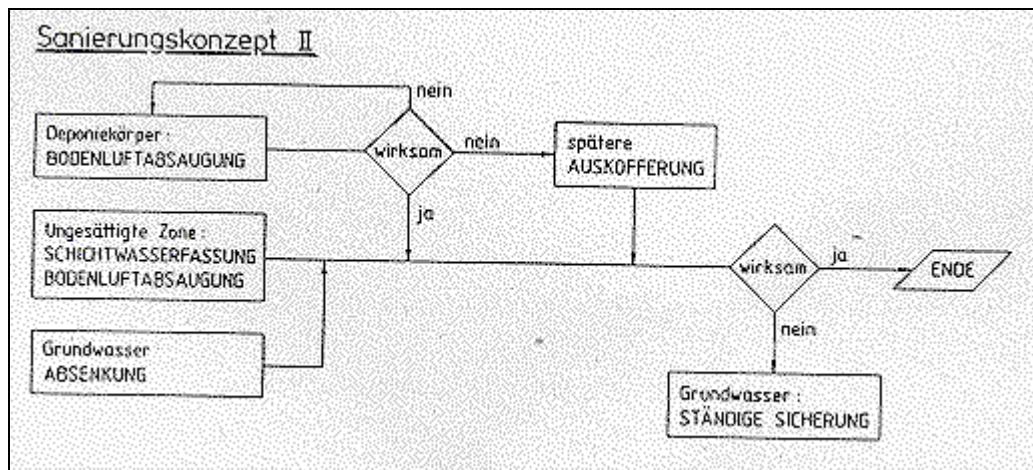


Abb. 13.9: Sanierungskonzept II - Ablaufschema

5.2 Sanierungskonzept I

Die folgende Abbildung zeigt den modularen Aufbau des Sanierungskonzeptes.

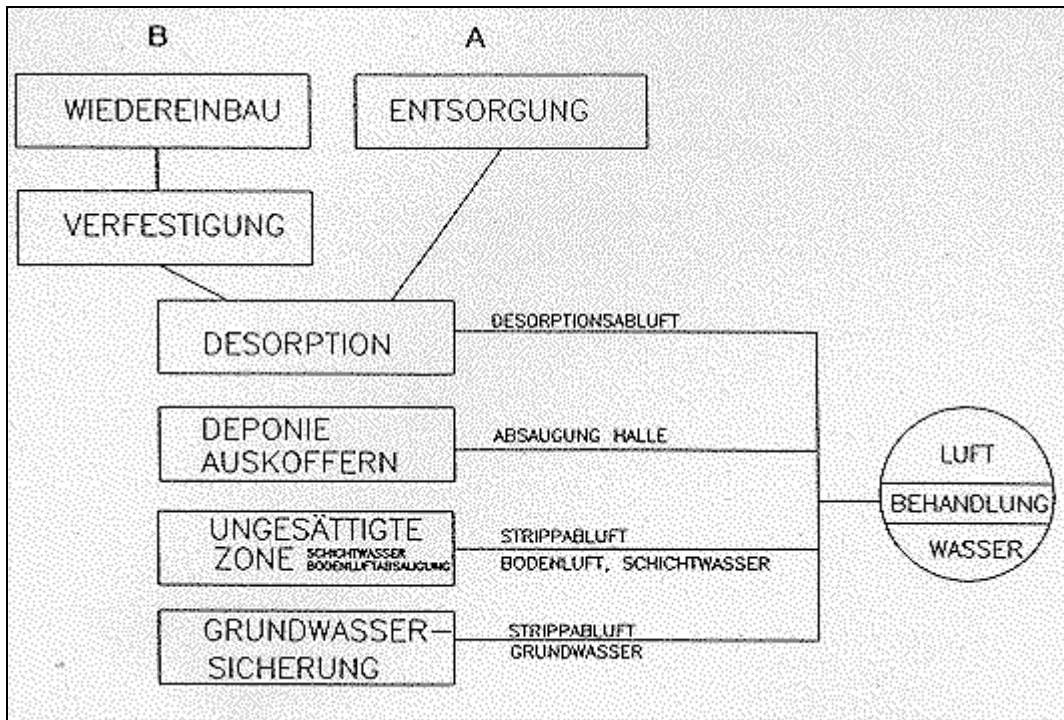


Abb. 13.10: Sanierungskonzept I - Modularer Aufbau

Es ergeben sich nach der Auskoffern zwei Varianten:

Die **Variante A** beinhaltet ebenfalls eine Vorbehandlung durch thermische Desorption. Der Wiedereinbau des desorbierten Materials erfolgt am Standort. Dies entspricht einer Neuanlage einer Deponie nach dem Stand der Technik neben der Altablagerung. Zur Verbesserung der Standfestigkeit kann das Deponiematerial verfestigt werden.

Die **Variante B** sieht die Entsorgung des Deponiematerials vor. Nach Auskunft der SBW ist eine Ablagerung des durch thermische Desorption vorbehandelten Materials auf der SAD Billigheim möglich. Eine direkte Entsorgung ohne Vorbehandlung ist zwar prinzipiell bei der HIM möglich, die Anwesenheit der Lösungsmittel im Ablagerungsgut würde jedoch eine Anlieferung in 200-l-Fässern bedingen. Zudem ist die Anlage ausgelastet, so daß eine Entsorgung frühestens 1 Jahr nach der Genehmigung des Entsorgungsnachweises erfolgen kann. Für die Genehmigung des Entsorgungsnachweises werden nochmals 8 Monate veranschlagt.

Für beide Varianten wird eine Vorhaltefläche zur Beschickung der Desorptionsanlage bzw. zum Verfestigen oder Aufladen des behandelten Materials benötigt. Der Aufwand für den Arbeitsschutz ist bei diesem Konzept sehr hoch.

5.3 Sanierungskonzept II

Beim Sanierungskonzept II wird, parallel zur Sanierung der ungesättigten Zone, der Deponiekörper abgesaugt, um eine weitere Verschleppung von Schadstoffen aus dem Deponiekörper in den Untergrund zu verhindern.

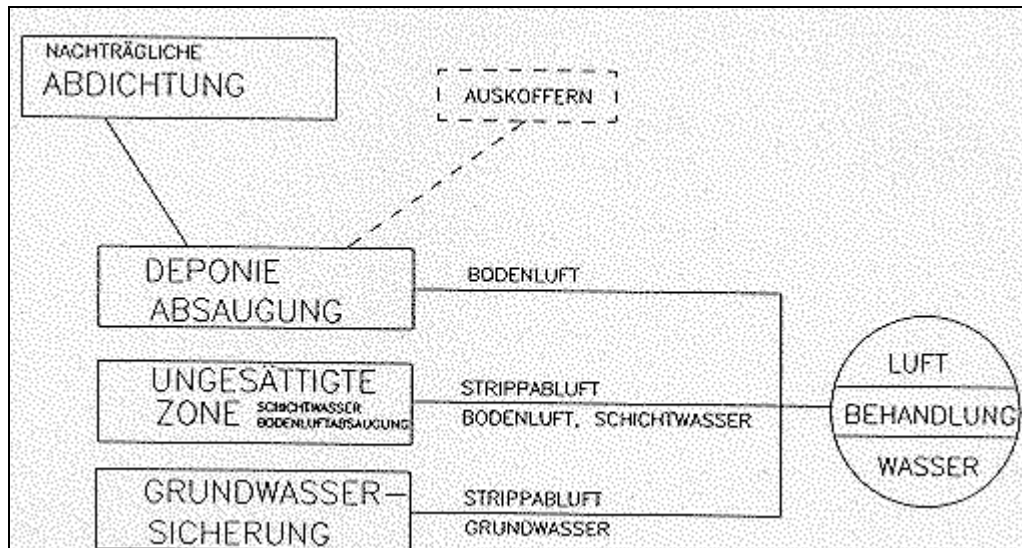


Abb. 13.11: Sanierungskonzept II - Modularer Aufbau

Nach der Dekontamination des Deponiekörpers wird zur Sicherung des Erfolges eine Oberflächenabdichtung nach dem Stand der Technik und eine Dichtwand installiert.

Falls der Deponiekörper durch die In-situ-Maßnahme nicht nachhaltig dekontaminiert werden kann, ist jederzeit ein Umschwenken auf die im Sanierungskonzept I beschriebene Auskoffierung möglich. Diese Variante ist insbesondere im Hinblick auf die Fortentwicklung der Technologien zur Abfallbehandlung interessant. Möglicherweise stehen bis dahin durchführbare Recycling-Techniken für die hohen Metallgehalte (ca. 50 Gew.-%) der Altablagerung zur Verfügung. Bis zu diesem Zeitpunkt verhindert eine permanente Absaugung einen Schadstoffeintrag in die (teil-)sanierte UZ.

Diese Möglichkeit stellt nur eine Eventualität dar und wird im Vergleich der Sanierungsvarianten nicht weiter betrachtet. Nach dem bisherigen Kenntnisstand wird eine Dekontamination der Deponie mittels Bodenluftabsaugung auf akzeptable Werte als wahrscheinlich angesehen.

6. Kosten-Wirksamkeitsabschätzung

Bei der Beurteilung der Wirksamkeit gilt, daß die Wirksamkeit dann 100 % beträgt, wenn durch die getroffene Maßnahme das festgelegte Sanierungsziel erreicht wird. Die Wirksamkeit von Dekontaminationsverfahren wird im allgemeinen an der Schadstoffkonzentration in dekontaminiertem Material gemessen. Im vorliegenden Fall ist die Wirksamkeit von Dekontaminationsverfahren jedoch nur als effektiv zu betrachten; wenn die Sanierungsziele für den Eintrag von Schadstoffen ins Grundwasser eingehalten werden können, d.h. wenn Sanierungszielmodell I realisiert werden kann. Die Wirksamkeit kann dann als "100 %" betrachtet werden.

Für das hier definierte Sanierungszielmodell II bedeutet dies, daß das Sanierungsziel erreicht ist, wenn im Grundwasser kein Schadstofftransport bzw. keine -ausbreitung stattfindet.

Aufgrund der hydraulischen Sicherungsmaßnahme wird dieses Ziel durch alle vorgestellten Sanierungskonzepte erreicht, d.h. die Wirksamkeit der Sanierungskonzepte ist 100 %.

Dies hat zur Konsequenz, daß sich die Kosten-Wirksamkeitsbetrachtung zunächst nur auf die Betrachtung der Kosten beschränkt.

Grundlage der Kostenermittlung sind Kostenvoranschläge und Angebote verschiedener Firmen. Gemäß dem modularen Aufbau der Sanierungsvarianten werden zunächst die Kosten der einzelnen Blöcke ermittelt (hier nicht aufgeführt) Als Vergleichszeitraum werden 10 Jahre angesetzt. Dies ist der Zeitraum, in dem die Sanierung der UZ voraussichtlich abgeschlossen werden kann.

VERGLEICH DER VARIANTEN

Sanierungsvariante I A: Sofortige **Auskoffierung mit Wiedereinbau** Angaben in Tausend DM

Maßnahme	1.	2.	3.	4.u.5.	6.	7.-9.	10. Jahr
GW-Absenkung	394	194	194	194	194	194	194
Sanierung UZ	481	211	511	211	361	211	211
Auskoffern	4010						
Therm. Desorption	7220						
Verfestigung	5780						
Wiedereinbau	3175	90	90	90	90	90	90
Luftbehandlung (Katalyse)	1621	271	271	271	271	271	271
Summe	22681	766	1066	766	916	766	766
Ingenieurleistung	900	100	150	100	120	60	50
Unvorhergesehenes gerundet							
Gesamt	25500	900	1300	900	1100	850	850

Sanierungsvariante I B: Sofortige **Auskoffierung mit Entsorgung** Angaben in Tausend DM

Maßnahme	1.	2.	3.	4.u.5.	6.	7.-9.	10. Jahr
GW-Absenkung	394	194	194	194	194	194	194
Sanierung UZ	481	211	511	211	361	211	211
Auskoffern	4010						
Therm. Desorption	7220						
Entsorgung	6800						
Luftbehandlung (Katalyse)	1621	271	271	271	271	271	271
Summe	20526	676	976	676	826	676	676
Ingenieurleistung	700	100	150	100	120	60	60
Unvorhergesehenes gerundet							
Gesamt	23000	800	1200	800	1000	750	750

Sanierungsvariante II: **Absaugung des Deponiekörpers** Angaben in Tausend DM

Maßnahme	1.	2.	3.	4.u.5.	6.	7.-9.	10. Jahr
GW-Absenkung	394	194	194	194	194	194	194
Sanierung UZ	481	211	511	211	361	211	211
Absaugung Deponie	356	166	416	166	346	166	166
Nachträgliche Abdichtung							835
Luftbehandlung (Katalyse)	1621	271	271	271	271	271	271
Summe	2852	842	1392	842	1172	842	1707
Ingenieurleistung	200	100	150	100	150	80	200
Unvorhergesehenes gerundet							
Gesamt	3300	1000	1600	1100	1400	950	2000

Die Kostengegenüberstellung der Varianten zeigt, daß nicht die laufenden Kosten sondern vielmehr die Kosten im 1. Jahr zu einer deutlichen Differenzierung führen. Der Kostenvorteil der Variante „Absaugung des Deponiekörpers“ beträgt dabei mehr als 19 Mio. DM.

7. Nicht-monetäre Bewertung

Bei der **nicht-monetären Bewertung** handelt es sich um eine Relativbewertung. Das heißt, die möglichen Varianten werden für ausgewählte Kriterien untereinander verglichen. Techniken oder Maßnahmen, die bei allen Varianten greifen, sind folglich nicht zu bewerten. Dies sind hier:

- hydraulische Sicherung einschließlich der Ableitung bzw. Einleitung des gereinigten Wassers
- Bodenluftabsaugung in der ungesättigten Zone
- Schichtwasserfassung
- Reinigung der anfallenden Wässer bzw. Abluftströme

Die wichtigsten Aspekte einer nicht-monetären-Bewertung zu diesen Verfahrensschritten werden bei der Verfahrensvorauswahl (Vor- und Nachteile) erörtert.

Tab. 13.7: Nicht-monetäre Gesamtbewertung

Kriterien	Variante			Wichtungsfaktor
	I A	I B	II	
Dauer bis Erreichen der vollen Wirksamkeit	+	+	-	2
Langzeitverhalten	+	+	-	5
Auswirkung auf Biotop und Landschaft	o	-	+	5
Emission Lärm	-	-	+	2
Emission Staub, Geruch	-	-	+	2
Emission Abwasser	-	-	+	2
Emission Schadstoffe	-	-	+	2
Energieverbrauch	-	o	-	2
Restprodukte	-	o	o	1
Entwicklungsstand/Referenzen	o	o	+/-	3
Betriebssicherheit/Wartungsbedarf	o	o	-	1
Verfügbarkeit	-	-	+	2
Regelbarkeit der Inputschwankungen	+	+	-	2
Kompatibilität	-	-	+	1
Komplexität	-	-	+	1
Flexibilität	-	-	+	1
Arbeitsschutz	-	-	+	3
Automatisierbarkeit	-	-	+	1
Akzeptanz	o	-	+	3
Flächenbedarf	o	-	+	2
Infrastruktur	-	o	o	1
Zusätzliche Verkehrsbelastung	-	o	+	1
Genehmigungsanforderungen	o	-	+	3
Koordinationsbedarf	-	-	+	1
Unsicherheiten	o	o	+	4

Es zeigt sich ein wesentlicher Vorteil der In-situ-Variante, der sich bei einer Betrachtung der Annuität noch verstärken würde.

Die nicht-monetäre Bewertung ergibt folgende Punkteverteilung:

Sanierungskonzept I A	-11	-12
Sanierungskonzept I B	-11	-20
Sanierungskonzept II	+11	+20

Auch hier bestätigt sich der Vorteil der In-situ-Lösung; insbesondere durch die geringen ökologischen Eingriffe und die bessere Durchsetzbarkeit.

Der wesentliche Nachteil dieser Variante besteht in der Unsicherheit der endgültigen Wirksamkeit. Die bisherigen Versuchsergebnisse lassen zwar eine gute Effizienz der Absaugung erkennen, ungewiß bleibt jedoch, ob damit die geforderte Austragsreduzierung langfristig eingehalten werden kann.

Im schlechtesten Fall ist nach Ablauf der geplanten Sanierungsdauer von etwa 10 Jahren eine Totalsanierung (Auskoffern, Behandeln oder Entsorgen) notwendig, deren Kosten dann in etwa denen des Sanierungskonzeptes I entsprechen können.

Unter Berücksichtigung der positiven Versuchsergebnisse und der deutlichen monetären und nicht-monetären Vorteile sowie unter Berücksichtigung möglicher, in der Zukunft zur Verfügung stehender Technologien zur Abfallbehandlung, wurde die Realisierung des Sanierungskonzeptes II empfohlen - der In-situ-Behandlung des Deponiekörpers durch Absaugung bei gleichzeitiger Dekontamination der ungesättigten Zone und hydraulischer Sicherung des Grundwassers.

Damit ergibt sich folgende Bewertung der Sanierungskonzepte:

Variante	I A	I B	II
ungewichtet	-11	-11	+11
gewichtet	-12	-20	+20

Sie belegt den Vorteil der Variante II (Sanierungskonzept II), der sich bei Gewichtung der Kriterien noch stärker manifestiert. Der Schwerpunkt der Gewichtung lag dabei bei den Faktoren Ökologie und Durchsetzbarkeit.

8. Gesamtbewertung

Die E₃₋₄-Bearbeitung hat zeigt, daß für die Sanierung des Modellstandortes „Mühlacker“ zwei Sanierungskonzepte in Frage kommen, die sich im wesentlichen in dem Aspekt Entnahme des Ablagerungsgutes oder In-situ-Behandlung unterscheiden.

Bei einer Auskoffnung kann noch differenziert werden nach On-site-Behandlung und Wiedereinbau oder Off-site-Behandlung bzw. -Ablagerung.

Bei allen drei Varianten ist eine länger dauernde Sanierung (voraussichtlich 10 Jahre) der gesättigten und ungesättigten Zone notwendig, die dazu führt, daß die laufenden Kosten der Varianten sich nur unwesentlich unterscheiden.

Deutliche Abweichungen sind im 1. Betriebsjahr erkennbar, da hier entweder einmalige Investitionen notwendig sind oder für die Behandlung des gesamten Ablagerungsgutes unmittelbar hohe Sanierungskosten auftreten.

Dabei ergibt sich folgender Kostenvergleich [in Mio. DM]:

	1. Jahr	2. - 10. Jahr
Sanierungskonzept I A	25,0	8,5
- Auskoffern		
- Behandlung		
- Wiedereinbau		
Sanierungskonzept I B	23,0	7,8
- Auskoffern		
- Entsorgen		
Sanierungskonzept II	3,3	10,8
-Absaugung		

Einsatz der UV-Oxidationstechnik zur Abreinigung CKW-kontaminierter Bodenluft am Modellstandort Mühlacker

*Sibylle Fluri,
Weber-Ingenieure Pforzheim GmbH
Prof. Dr. K. Kleineremanns,
Universität Düsseldorf*

1. Vorbemerkung

Die ehemalige Sonderabfalldeponie in Mühlacker ist seit 1987 einer der Modellstandorte des Landes Baden-Württemberg. Seit 1990 laufen umfangreiche Sanierungsuntersuchungen an der mit Galvanikschlamm und Lösungsmittelrückständen verfüllten Altablagerung. Die 5600 m³ Sonderabfall beinhalten ein Schadstoffpotential von rund 20 Mg CKW.

Nachdem sich durch Absaugversuche im Deponiekörper die Bodenluftabsaugung als geeignetes Sanierungsverfahren herausgestellt hatte, wurde ein Verfahren gesucht, welches das Schadstoffgemisch aus Trichlorethen, cis 1,2-Dichlorethen, Dichlormethan und anderen Chlorierten Kohlenwasserstoffen (1,1,1 -Trichlorethan, Chloroform, trans 1,2-Dichlorethen, 1,2-Dichlorethan, Vinylchlorid) abzureinigen vermag.

Zunächst war vorgesehen, daß die CKW/BTX-Frachten der abgesaugten Bodenluft auf regenerierbarer Aktivkohle adsorbiert werden. Vinylchlorid ist jedoch stark flüchtig und läßt sich nur schwer auf Aktivkohle zurückhalten, weshalb man sich für die UV-Oxidation als zusätzliche Abreinigungseinheit entschied. Die UV-Oxidation in der Gasphase ist ein in den USA patentiertes Verfahren, das in der Bundesrepublik bisher nur von wenigen Firmen angeboten wird.

Erste Erfahrungen am Standort lassen auf weitere Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie hoffen. So können auch andere Moleküle außer Vinylchlorid damit zerstört werden. Da bisher nur wenige veröffentlichte Forschungsdaten vorliegen, die sich mit dem photochemischen Abbau von Molekülen mittels ultravioletter Strahlung befassen, hat sich der Arbeitskreis „Modellstandort Mühlacker“ entschlossen, ein Versuchsprogramm durchzuführen, das die Leistungsfähigkeit und den technischen Stand der UV-Oxidation in der Gasphase unter realen Einsatzbedingungen zeigen soll.

2. Verfahrensprinzip der UV-Oxidation

2.1 Grundlagen

Bei der UV-Oxidation handelt es sich um ein physikalisch-chemisches Verfahren zur Zerstörung organischer Schadstoffe. Bisher wurde die UV-Oxidation in der Umwelttechnik als Naß-

oxidation bei der Trinkwasseraufbereitung, der Behandlung von Deponiesickerwasser und - vereinzelt - bei Grundwasserschadensfällen eingesetzt. Ein Oxidationsmittel, Ozon oder Wasserstoffperoxid, wird zugesetzt und dissoziiert durch die UV-Bestrahlung zu hochreaktiven Radikalen, welche die Schadstoffe angreifen und zerstören.

Wie die Benennung bereits aussagt, wird mit Licht im ultravioletten Bereich gearbeitet. Die Abbildung zeigt, daß der UV-Bereich zwischen Wellenlängen von 10 bis 400 nm liegt, ab 400 nm wird reflektiertes Licht vom menschlichen Auge als Farben registriert.

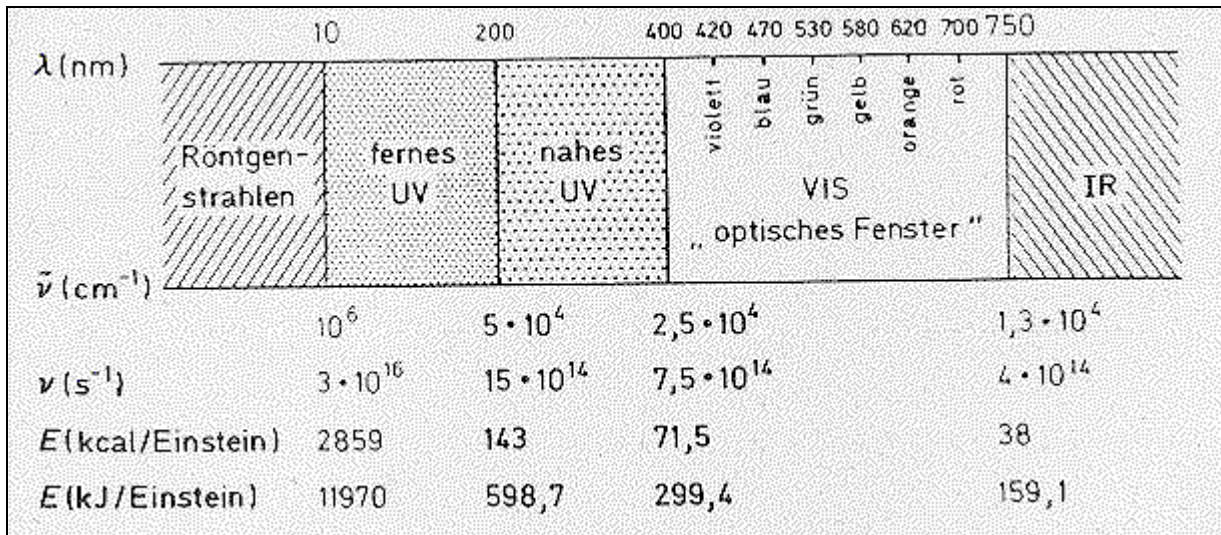


Abb. 14.1: UV/VIS-Sektor des elektromagnetischen Spektrums (1 Einstein = 1 mol Lichtquanten); aus: Spektroskopische Methoden in der organischen Chemie, Thieme- Verlag Stuttgart 1991

Aus der Intention heraus, mehr über Bindungs- und Atomstrukturen zu erfahren, wird seit 1960 intensiv auf dem Gebiet der Spektroskopie gearbeitet, allerdings ist die UV-Spektroskopie für sich allein keine aussagekräftige Analysemethode. Mit dem gestiegenen Interesse an der Photochemie erlangt sie jedoch eine neue Bedeutung.

Die Absorption von Licht im sichtbaren und im UV-Bereich führt bei Molekülen zu Anregungen der Valenzelektronen. Valenzelektronen bilden im Molekül die gemeinsame Elektronenwolke (Orbitale) zwischen den Atomkernen, worauf die chemische Bindung beruht. Absorption kann als Schwächung der Lichtintensität nach dem absorbierenden Medium (hier: Gas) gemessen werden. Die so erhaltene Extinktion (optische Dichte) wird zudem durch Reflexions- und Streuverluste beeinflusst. Für ein einzelnes Gas ergeben sich aus Messungen für verschiedene Wellenlängen sog. Bandenspektren.

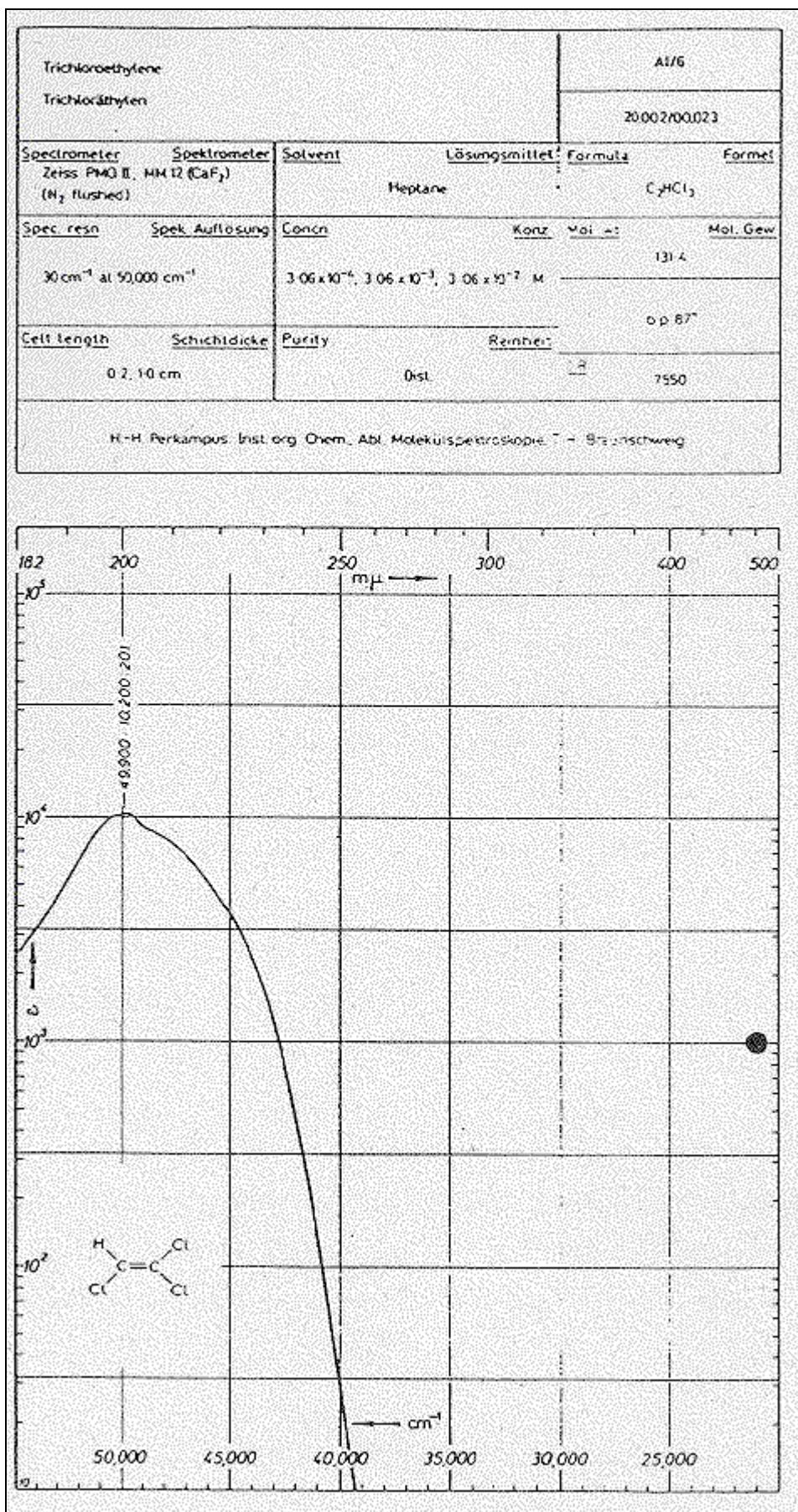


Abb. 14.2: Bandenspektrum von Trichlorethylen; aus: UV-Atlas Organische Verbindungen, Verlag Chemie 1966

Dies liegt an der Energiebreite der elektronischen Niveaus. Die Banden sind charakteristisch für bestimmte (Bindungs-)orbitale bzw. Elektronenübergänge: Die „verschluckte“ Energie hebt die (Bindungs-)elektronen auf ein höheres Energieniveau, welches auch ein nichtbindendes Orbital sein kann. Dieser Effekt kann bei genügend hohem Energieeintrag einen Zerfall des Moleküls bewirken.

2.2 Technische Oxidation von Chlorkohlenwasserstoffen

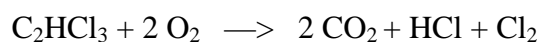
Die UV-Oxidationseinheit besteht aus dem Reaktor und einem nachgeschalteten Gaswäscher. Das Kernstück des Reaktors bildet die UV-Lampe. Der erreichbare Umsatz hängt u.a. von der Zusammensetzung des Schadstoffgemisches und den Strahlungsspektren der eingesetzten Lampen ab.

Im Sanierungsfall „Mühlacker“ wurde eine 10-kW-Quecksilber-Dampflampe eingesetzt. Diese Hochdrucklampe produziert Licht im VIS- und im nahen UV-Bereich (Strahlungskontinuum). Der Hauptanteil, schätzungsweise 85 %, wird in Wärme umgesetzt (Betriebstemperatur der Lampe: ca. 2000 °C). Sie wird von der durchströmenden Bodenluft gekühlt. Eine Wasserkühlung wurde im nachfolgend gebauten 4-kW-Reaktor realisiert. Bei voller Leistung haben Hochdruck-Quecksilberdampflampen eine Nutzlebensdauer von 2000 - 3000 Stunden. Häufiges An- und Abschalten verkürzt, Drosselung erhöht die Nutzlebensdauer. Eine Drosselung der Lampe ist aber nur bis etwa 60 % ihrer Leistung möglich. Weitere Drosselung läßt den Lichtbogen flackern. Die nötige Zündspannung wird unterschritten und der Strahler erlischt.

An der Verbesserung des Wirkungsgrades für die UV-Ausbeute wird noch gearbeitet. Die Firma Heraeus hat z.B. eine Niederdrucklampe mit einem Linienspektrum von 185 und 254 nm entwickelt, deren Wirkungsgrad für UV-Licht bei über 25 % liegt.

Der Gasstrom wird im Ringraum zwischen der Stahlwand des Reaktors und dem Quarzglasrohr der Lampe vorbeigeführt. Dabei sorgen Anströmung und Einbauten für eine optimierte Einstrahltiefe. Die mittlere Verweilzeit beträgt nur wenige Sekunden. Einer Erhöhung der Verweilzeit ist durch die Erwärmung des Gasstromes Grenzen gesetzt, die nur bei effektiver Kühlung verschoben werden können.

Eine zusätzliche Schwierigkeit stellt die optimale Luftfeuchte dar. Einerseits benötigt die Umsetzung von höher chlorierten Kohlenwasserstoffen (Tri, Per) zu HCl (und nicht zu Chlor!) Wasser:



Andererseits absorbiert Wasserdampf praktisch alle Wellenlängen unter 185 nm und entzieht diesen Teil des Spektrums der eigentlichen Oxidationsreaktion. Mitteldruckstrahler zeigen allerdings ohnehin unterhalb 200 nm keine relevante Emission mehr. Die 185 nm Strahlung des Hg-Niederdruckstrahlers wird von Sauerstoff effizient absorbiert und führt zur Ozonbildung, das allerdings in Anwesenheit größerer Menge photolyasierter chlorierter Kohlenwasserstoff und damit von Cl-Atomen im Cl-O₃-Zyklus schnell zerstört wird. Auf diese Weise wird

auch ein Teil der kurzwelligeren Emission des Niederdruckstrahlers dem photolytischen Schadstoffabbau entzogen.

Ebenso können feinste Filme auf dem Quarzglasrohr bzw. das Quarzglas selbst die kürzeren Wellenlängen absorbieren. Gerade aber bei Wellenlängen unter 185 nm liegen die Energieabsorptionsmaxima der zu „knackenden“ Bindungen. Die Breite der Absorptionsbande ermöglicht zwar eine Spaltung bei Wellenlängen, die etwas über der Resonanzwellenlänge liegen. Allerdings muß dann mit höherer Lampenintensität bestrahlt werden, da die Absorption der Substanzen bei diesen längeren Wellenlängen kleiner ist.

Chromophor	Beispiel	Wellenlänge/nm
C-H	CH ₄	122
C-C	H ₃ C-CH ₃	130
C=C	H ₂ C=CH ₂	165
-O-	H ₂ O	167
-Cl	H ₃ C-Cl	173

Tab. 14.1: Energieärmste Elektronenübergänge; aus: Spektroskopische Methoden in der organischen Chemie, Thieme Verlag Stuttgart 1991

Doppelbindungen brechen bevorzugt auf. Aus dem Sauerstoff der Bodenluft entstehen Ozonradikale. Radikale sind hochreaktive Bruchstücke des aufgebrochenen Moleküls mit einem freien Elektron. Sie greifen die vorhandenen CKW an. Bei der so initiierten Kettenreaktion entstehen neue Radikale, die ihrerseits wieder andere Verbindungen angreifen. Die Stahlwand des Reaktors wirkt als Bremse, da an der Oberfläche die Radikale rekombinieren und die Kettenreaktion dort zum Stillstand kommt.

Als Endprodukte der UV-Oxidation von Chlorkohlenwasserstoffen entstehen Kohlendioxid, Wasser und HCl. Letzteres wird im Waschturm, der mit Natronlauge alkalisiertes Wasser enthält, ausgewaschen und zu Kochsalz neutralisiert.

3. Durchführung eines Vorversuchs

3.1 Zielsetzung

Die Erfahrungen am Modellstandort haben gezeigt, daß die UV-Oxidation in der Gasphase für die Zerstörung verschiedener CKW und BTX prinzipiell geeignet ist. Es stellt sich als nächster Schritt die Aufgabe, die Grenzen der technischen Leistungsfähigkeit abzustecken. In Abhängigkeit von den vorliegenden Konzentrationen sollte der minimale Energieeintrag für einen Höchstumsatz an Schadstoffen ermittelt werden. Dies ist der entscheidende Parameter zur Dimensionierung einer Sanierungsanlage und für den Kostenvoranschlag.

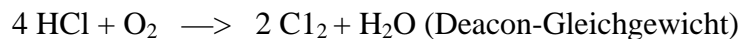
Am Standort wird bereits mit der Sanierung des Grundwassers begonnen. Verfahrenstechnisch wäre eine kombinierte Bodenluft-Grundwasserbehandlungsanlage günstig, die Strippluft der Grundwasserbehandlung könnte in derselben Anlage wie die Bodenluft behandelt werden.

Die Abreinigung der Strippabluft aus der Grundwassersanierung durch UV-Oxidation ist deshalb Teil des Versuchsprogrammes.

Weiterhin soll der Versuch zeigen, ob und in welchem Umfang Nebenprodukte gebildet werden. Im Reaktor stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Radikalneubildung durch Bestrahlung, Kettenreaktion und Rekombination ein, mit den zugehörigen Ausgangsstoff-, Radikal-, Zwischen- und Endproduktkonzentrationen. Ziel der Verfahrenstechnik ist, das Gleichgewicht möglichst weit auf die Seite der gewünschten Produkte zu schieben, im vorliegenden Fall also zu Kohlendioxid, Wasser und HCl.

Allerdings weiß man, daß die Oxidation von z.B. Benzol über Phenol abläuft, bzw. beim Abbau von Tetrachlorethen Trichloracetylchlorid und Phosgen entstehen kann. Um diesem Aspekt bei der Versuchsdurchführung gerecht zu werden, begleitete Herr Prof. Kleinermanns das Untersuchungsprogramm als wissenschaftlicher Berater. Seine in der Vorbereitungsphase des Untersuchungsprogramms erstellte Studie hat ein breites Spektrum von organischen Oxidationsprodukten aufgezeigt, welches jedoch analytisch z.T. schwierig zu bestimmen ist.

Auch mit unvollständig oxidierten anorganischen Produkten wie Kohlenmonoxid und Stickoxiden ist zu rechnen. Ein erwünschtes Reaktionsprodukt ist HCl, welches im Beisein von Sauerstoff mit Chlor und Wasser im Gleichgewicht steht. Die Reaktionskinetik bevorzugt zwar HCl als Produkt, thermodynamisch aber liegt die Gleichgewichtsreaktion



bei Temperaturen unter 800 °C auf der Chlorseite. Diese Temperatur wird bei der UV-Oxidation mit max. 120 °C im Abgasstrom bei weitem unterschritten, weshalb zu überprüfen ist, ob Chlor in nicht zu vernachlässigenden Mengen entsteht.

Bei der UV-Oxidation handelt es sich quasi um eine „kalte Verbrennung“. Die Bodenluft des Standortes enthält chlorierte Aromaten, aus denen sich unter ungünstigen Reaktionsbedingungen Dioxine bilden könnten. Eine Dioxin-Beprobung der unbehandelten wie auch der behandelten Bodenluft rundet das Untersuchungsprogramm ab.

3.2 Versuchsaufbau

Die bereits am Standort installierte Bodenluft-Sanierungsanlage der Firma Sax und Klee wurde entsprechend dem umseitigen Anlagenschema umgebaut. Die Bodenluft wird mittels Seitenkanalverdichtern aus dem Untergrund gefördert. Danach kann wahlweise direkt auf die UV-Einheit, oder auf 2 x 250 kg Braunkohlekoks und 2 x 250 kg Regenerierkohlepatronen oder über die Füllkörperkolonne gefahren werden.

Die UV-Anlage besteht aus drei in Reihe geschalteten Reaktoren. Der erste Reaktor enthält eine 10-kW-Hochdruck-Quecksilberdampfampe und ist luftgekühlt. Der Mantel des zweiten Reaktors ist wassergekühlt und enthält einen 4-kW-Hochdruckstrahler. Der dritte Reaktor ist mit sechs Niederdrucklampen bestückt. Der zweite und dritte Reaktor kann durch einen Bypass umfahren werden.

Zur HCl-Abreinigung der Abluft wurde ein Strahlgaswäscher mit Aerosol-Abscheidung eingesetzt. Die Anlage arbeitet abwasserfrei, das Waschwasser, ca. 1,8 cbm, wird im Kreislauf geführt. Eine kontinuierliche pH-Wertüberwachung dosiert Natronlauge aus dem Vorratsbehälter zu, damit das Wasser durch ausgewaschenes HCl nicht aufgesäuert wird.

Zwei „Polizeifilter“ sind nachgestellt. (250 und 100 kg regenerierbare Aktivkohle).

Die Probenahmestellen sind mit den Buchstaben A bis E bezeichnet.

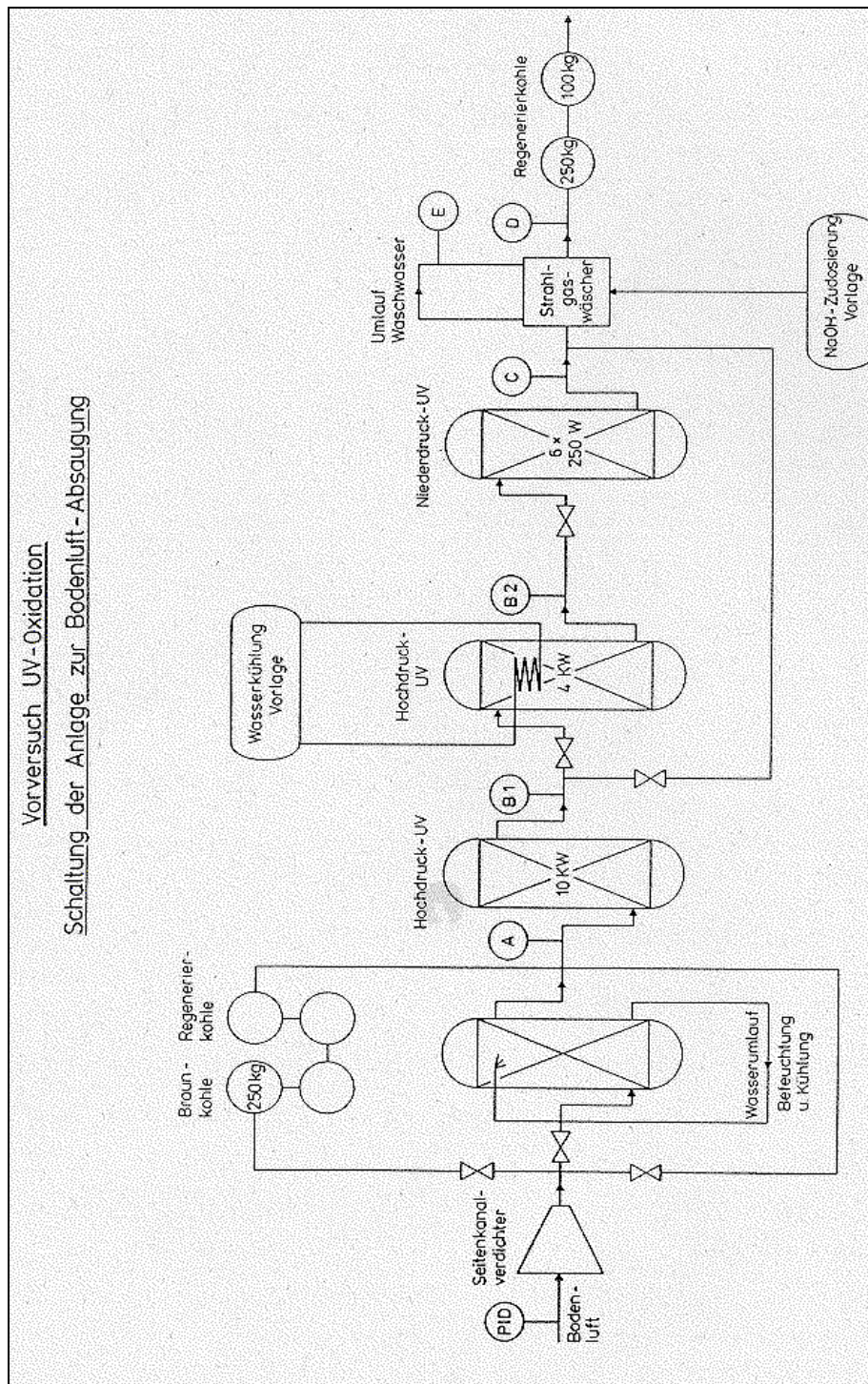


Abb. 14.3: Versuch UV-Oxidation - Schaltung der Anlage zur Bodenluftabsaugung

3.3 Einstellung eines stationären Zustandes

Es stehen sechs Absaugbereiche mit unterschiedlicher Schadstoffkonzentration und -zusammensetzung zur Verfügung:

- Bohrungen im Deponiekörper, die paarweise getrennt nach vier Becken abgesaugt werden
- Zwei Bohrungen in der ungesättigten Zone (UZ) unter dem Deponiekörper
- Ein Sanierungsbrunnen im dunkelroten Mergel (DRM). Das Grundwasser aus den Pumpversuchen sowie das anfallende Schichtwasser wurde in einem Tankwagen zwischengespeichert und anschließend in eine Füllkörperkolonne eingedüst. Die beladene Strippluft wurde in der Versuchsanlage abgereinigt.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über alle bisher gefahrenen Versuche. Die Versuchsbezeichnung setzt sich zusammen aus der Leistung der Hochdruck-Quecksilberdampflampe und der Codierung des Absaugbereiches, also z.B.

0 Pl: 0 kW (Hochdrucklampe abgeschaltet), Becken 1

2,5 UZ: 2,5 kW, **u**ngesättigte **Z**one

4 GW: 4 kW, **G**rund**w**asser.

Datum	Versuchsbezeichnung	Maßstelle A °C	Nm ³ /h	g H ₂ O/Nm ³	Vorlage mol/l	Zudos. mol/h	weißer Rauch	Bemerkung
24.7.	10 P1	n.b.	n.b.	n.b.	0,80	n.b.	ja	Abbruch wg. starker Geruchsbelästigung
27.7.	6 P4	33	93	37,7	0,80	0,80	nein	GC/MS, ohne Wasserkühlung 4 kW-Lampe
28.7.	6 P4	29	110	27,8	0,80	0,85	nein	GC/MS, ohne Wasserkühlung
29.7.	10 P4	32	119	19,6	0,80	1,60	ja	ohne Wasserkühlung
29.7.	0 P4	31	117	20,3	0,80	1,92	nein	
30.7.	4 P4	31	117	20,0	0,80	n.b.	nein	
30.7.	2,5 P4	37	115	20,8	0,80	1,37	nein	
6.8.	0 P2	28	132	26,3	1,44	4,07	(ja)	
7.8.	4 P2	28	123	26,6	1,44	4,51	(ja)	
11.8.	10 P2 trocken	28	107	19,8	1,44	n.b.	nein	ohne Befuchtung der Rohluft
11.8.	10 P2 naß	30	108	27,4	1,44	3,40	nein	mit Befuchtung der Rohluft
13.8.	6 P2	22	112	17,6	1,47	8,02	nein	
18.8.	0 P3	28	113	27,1	1,47	-	nein	k. Zudos., weil 45%ige Lauge direkt in Wäscher geg.
19.8.	10 P3	32	111	25,5	0,88	2,88	nein	
19./20.8.	10 P2	38	108	23,0	0,88	n.b.	nein	19.8.: Temp. abschaltung d. HD-Lampe; Forts. 20.8.: GC/MS
21.8.	6 P3	29	108	24,2	0,88	4,37	nein	
24.8.	2,5 P3	24	114	15,5	0,88	6,03	nein	Schaum im Strahlwäscher
25.8.	4 P3	27	111	15,9	0,88	6,67	nein	GC/MS
8.9.	4 GW	16	116	12,4	n.b.	n.b.	nein	840 l/h GW
8.9.	10 GW	16	126	n.b.	n.b.	n.b.	nein	540 l/h GW, ohne Wasserkühlung
14.9.	4 P2 0 % Bypass	18	114	n.b.	n.b.	n.b.	nein	
14.9.	4 P2 25 % Bypass	18	87	n.b.	n.b.	n.b.	nein	
14.9.	4 P2 50 % Bypass	18	57	n.b.	n.b.	n.b.	nein	
14.9.	4 P2 75 % Bypass	18	29	n.b.	n.b.	n.b.	nein	
18.9.	4 P2 95 % Bypass	18	6	14,3	n.b.	n.b.	nein	
22.9.	4 P2 0 % Frischluft	19	109	14,8	n.b.	n.b.	nein	
22.9.	4 P2 23 % Frischluft	19	104	14,8	n.b.	n.b.	nein	
22.9.	4 P2 50 % Frischluft	19	117	14,8	n.b.	n.b.	nein	
22.9.	4 P2 77 % Frischluft	19	109	14,8	n.b.	n.b.	nein	
22.9.	4 P2 86 % Frischluft	19	119	14,8	n.b.	n.b.	nein	
24.9.	10 UZ	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	ja	Abbruch wg. starker Geruchsbel.
8.10.	10 P2 Dioxin	15	88	10,7	n.b.	n.b.	(ja)	Probenahme mittels Dräger-Handpumpe
19.10.	4 UZ1	35	23,8	16,8	n.b.	n.b.	ja	Probenahme mittels Dräger-Handpumpe
20.10.	4 UZ2	54	40,2	8,3	n.b.	n.b.	ja	Probenahme mittels Dräger-Handpumpe

Tab. 14.2: Übersicht aller bisher gefahrener Versuche

Zur Optimierung des Energieeintrags durch die kurzwellige Strahlung wurden zwei Leistungsstufen mit einer Hochdrucklampe durchfahren. Der am Versuch jeweils nicht beteiligte Hochdruckstrahler war abgeschaltet. Die Niederdrucklampe wurde mit dem Durchschlag des Hochdruckreaktors beschickt. So kann mit einer Einstellung der Umsatz an beiden Reaktoren ermittelt werden. Zusätzlich wurde für jeden Absaugbereich eine Einstellung mit ausgeschalteter Hochdrucklampe gefahren, so daß die Abreinigungsleistung des Niederdruck-Reaktors bezogen auf das gesamte Schadstoffspektrum berechnet werden kann.

Der pH-Wert im Strahlgaswäscher wurde ebenfalls mittels Schreiber überwacht, er lag konstant bei ca. pH 8,7 - 8,9.

Zur CO/O₂/NO-Messung wurde ein Rauchgasmeßgerät herangezogen (Testo 33), welches diese Parameter in chemischen Zellen analysiert. Die Übereinstimmung mit der aufwendigeren Binos-Messung ist gut:

Meß- stelle	CO ₂ [%]			O ₂ [%]		CO [ppm]	
	Dräger	Testo 33*	Binos	Testo 33	Binos	Dräger	Testo 33
A	5,2	9,3	9,4	11,7	11,47	12	19
B2	9,5	9,2	9,4	11,8	11,45	10	16

*berechnet unter der Annahme, Molenbrüche von CO₂ und O₂ ergänzen sich zu 21 %

Tab. 14.4: Vergleich direktanzeigender Meßmethoden; Versuch 10 P2 am 11.8.92

Für die Bestimmung von Kohlenmonoxid mittels sofort anzeigender Drägerröhrchen wird aufgrund der CKW/HCl-haltigen Abluft ein Vorsatzröhrchen benötigt. Kohlenmonoxid- und -dioxidbestimmung durch Dräger-Schnelltests sind erheblich ungenauer als die Binos-Auswertung oder das Rauchgasmeßgerät.

Zu Beginn einer Einstellung wurde die abgesaugte Bodenluft zuerst über die vorgeschalteten Aktivkohlebetten gefahren, danach über die UV-Einheit. Gleichzeitig wurden die für den betreffenden Versuch vorgesehenen UV-Lampen gezündet. Die Hochdrucklampen brauchen bis zum Erreichen der Nennleistung etwa 20 - 30 Minuten. Die Niederdrucklampen benötigen praktisch keine Vorwärmzeit, die Strahlungsemission ist jedoch temperaturabhängig. Für eine konstante Leistung während des Versuches ist deshalb ein Vorlauf angebracht, damit sich die Strahler auf die Fluidtemperatur einstellen können.

Dann wird die Anlage umgestellt, so daß die Bodenluft direkt die UV-Einheit passiert. Wenn die Konzentrations-, Temperatur- und Feuchteverhältnisse in der Anlage konstant bleiben, hat sich ein stationärer Zustand herausgebildet. Dies wird durch zwei übereinstimmende Messungen im Abstand von ca. 1/2 Stunde dokumentiert.

Für eine Einstellung sind in der folgenden Abbildung die gemessenen Parameter aufgetragen:

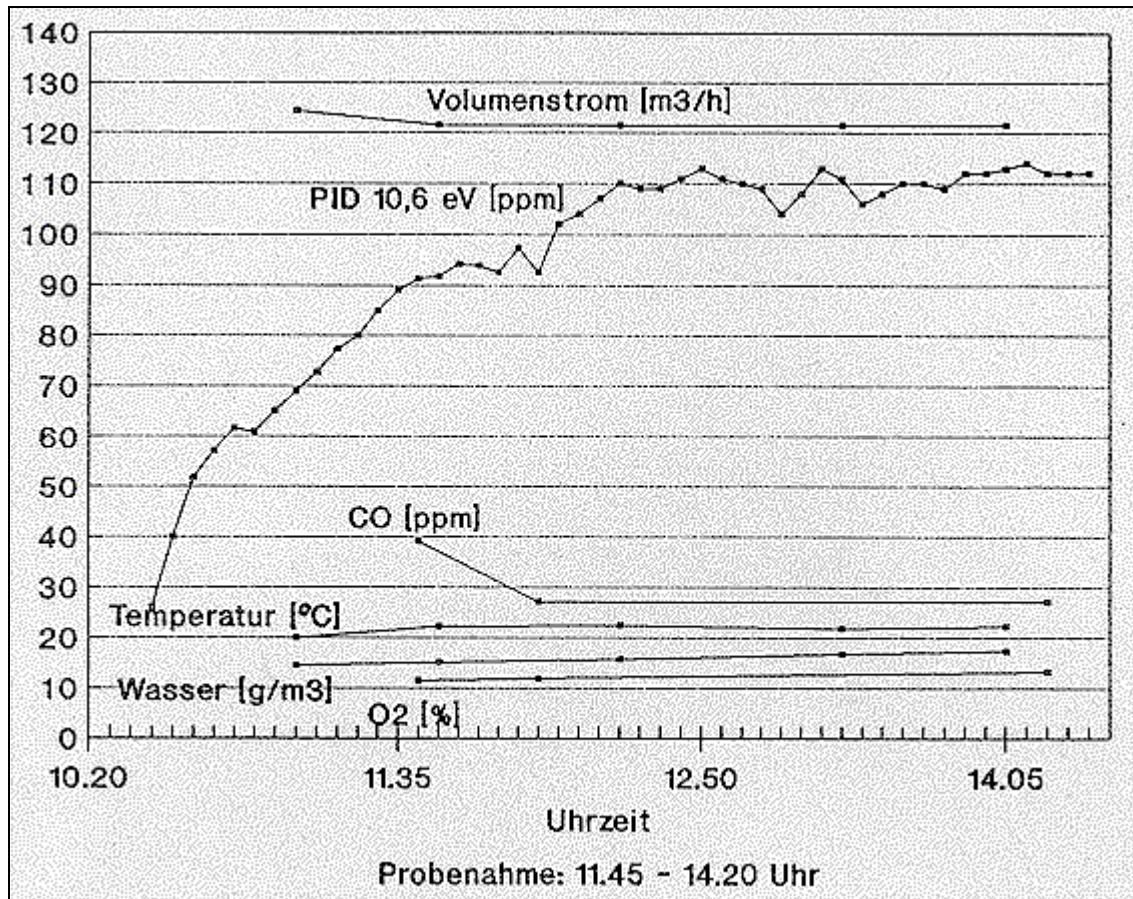


Abb. 14.4: Erfasste Parameter während der Probenahme am 13.08.92, Becken 2

Die Umgebungstemperaturen stiegen an diesem Tag stark an, was sich auch an den steigenden Temperaturen am Eingang vor der UV-Einheit bemerkbar macht. Die Zunahme des Sauerstoffgehaltes während des Versuchs sowie der leichte Abfall der PID-Anzeige dokumentiert den Nachfluß von geringer belasteter Bodenluft in das abgesaugte Becken.

Am 3.8.92 wurde der Bypass um die Füllkörperkolonne zur Mischung von trockener und angefeuchteter Bodenluft eingebaut. Damit war - in Abhängigkeit von der Außentemperatur (Sonneneinstrahlung und Erwärmung des Umlaufwassers) - eine Konstanz des Wassergehaltes am Eintritt in die UV-Oxidation über die Zeitdauer der Probenahme zu erreichen.

Die Bodenluft wurde mit ca. 100 cbm/h abgesaugt (zunächst ohne Verdünnung mit Frischluft). Der Volumenstrom wurde kontinuierlich mittels Rotameter gemessen. Beim Nachmessen mit dem Anaemometer stellte sich heraus, daß der beim 50-mm-Rohr ermittelte Volumenstrom kleiner als der beim 100-mm-Rohr war. Angegeben sind in der Versuchsübersicht die Werte am 100-mm-Rohr, umgerechnet auf Normkubikmeter.

Die Eingangskonzentrationen werden an der Unterdruckseite in 2 - 5minütigen Intervallen vom PID abgespeichert.

Luftfeuchte und Temperatur wurden mit einem Testotherm-Meßgerät erfaßt. Es wurde durch die aggressiven Gase angegriffen und deshalb bevorzugt nur für die Messung an der Probenahmestelle A verwendet. Es zeigte, ebenso wie das Rauchgasmeßgerät, zu niedrige Temperaturen an, weil aufgrund der gekapselten Probenahme die Sonde nicht unmittelbar in den Ab-

luftstrom gehalten werden konnte. Die Temperaturmessung des Gastroms war bei fest in der Rohrleitung installierten Thermometern (Meßstellen B1, B2 und C) am zuverlässigsten.

Meßstelle	Versuch	10 kW-Lampe*		4 kW-Lampe*		ND-Lampe
		100 %	60 %	100 %	60 %	
A	nach Seitenkanalverd.	15 - 43	16 - 34	18 - 36	20 - 40	31 - 32
B1	nach 10 kW-Reaktor	88 - 112	69 - 82	n.b.	22 - 38	n.b.
B2	nach 4 kW-Reaktor	22 - 52	35 - 47	37 - 54	48 - 54	31 - 32
C	nach ND-Lampe	30 - 45	24 - 28	31 - 45	n.b.	33 - 35
D	nach Wäscher	35 - 36	n.b.	26 - 36	36 - 41	34 - 35
E	Waschwasser	25 - 31	24 - 29	25 - 27	22 - 24	19 - 25

*und ND-Lampe eingeschaltet

Tab. 14.3: Temperaturen an verschiedenen Anlagepunkten; Volumenstrom 100-120 Nm³

Die Messung der Strahlungsintensität erfolgt mit einer UV-sensiblen Photozelle. Der Sensor ist für einen Spektralbereich von 180 - 349 nm ausgelegt. Eine Restempfindlichkeit besteht bis etwa 430 nm und bei 650 nm. Bei der Inbetriebnahme des neuen Niederdruckstrahlers wurde ein Wert von 100 % am Abgleich des Schreibers eingestellt. Die Nennstrahlerleistung von 120 kW liegt erst nach einer Einbrennzeit von einigen Stunden vor, in denen die Anfangsintensität drastisch absinkt. Mit fortschreitender Alterung kann die Leistung bis auf etwa 50 % der Nennleistung absinken. Die Nutzbrenndauer der Niederdrucklampen beträgt nach Herstellerangaben ca. 8000 Stunden. Schadstoffkonzentration und Gastemperatur beeinflussen die Intensität der Niederdruckstrahler.

Zeitweise entstanden Meßfehler durch Kondensation und Belagbildung auf dem Sensor, der an der Reaktoraußenwand angebracht war.

3.4 Probenahme und Analyse

Zunächst war geplant, die Umsätze vor Ort zu optimieren, und dann Proben zur Laboranalyse zu ziehen. Dies setzt voraus, daß der Umsatz der Anlage auf relativ einfache Weise vor Ort zu bestimmen ist. Hierzu wurden verschiedene Meßmethoden ausgetestet:

Photoionisationsdetektor (PID)

Eine Vor-Ort-Umsatzermittlung über angezeigte Konzentrationen vor und nach dem Reaktor hat sich als nicht praktikabel erwiesen, weil der PID starke Temperaturempfindlichkeiten aufwies.

Bestimmung der anorganischen Reaktionsprodukte HCl/Cl₂ mittels Dräger-Schnelltest

Der zulässige Temperatur- bzw. der Feuchtegehalt war an den meisten Meßpunkten überschritten. Deshalb ging man zur Chlorid/Chloranreicherung in Absorptionsflüssigkeiten über, die dann im Labor analysiert wurden.

Bestimmung der Laugenzudosierung in den Wäscher

Die Menge an Lauge, die im Wäscher zur Neutralisation des gebildeten Chlorwasserstoffgases benötigt wird, damit der pH-Wert konstant bleibt, sollte ein Maß für den Umsatz bilden. Die Messungen ergaben jedoch Anteile von rd. 10 % an CO₂ in der abgesaugten Bodenluft. Der CO₂-Wert ergibt sich aus der Ergänzung der gemessenen Sauerstoffwerten zu 21 %. Die Zuverlässigkeit dieser Abschätzung wurde in Kap. 3.3 belegt. In diesem Fall heißt dies, daß der Wäscher außer HCl auch Kohlendioxid absorbiert und Na₂CO₃ ausfällt. Der Niederschlag wurde bereits nach kurzer Zeit beobachtet.

O ₂ -Werte [ppm]		Meßstelle A		B		C		D		Methode
Datum	Versuch	Bereich	Mittel	Bereich	Mittel	Bereich	Mittel	Bereich	Mittel	
30.7.	4 P4	16	16	14,2	14,2	14,5	14,5	15	15	ber. / Dräger
30.7.	2,5 P4	15	15	15,2	15,2	15,5	15,5	16	16	"
6.8.	0 P2	n.b.	n.b.	5,3-9,1	7,2	5,3-9,1	7,2	n.b.	n.b.	Testo 33
7.8.	4 P2	10,3-11,8	11,1	10,1-11,9	11	10-12	11	n.b.	n.b.	"
10.8.	10 P2	9,5-12,2	10,9	8,8-12,1	10	9,2-12,1	10,7	n.b.	n.b.	"
11.8.	10 P2 tr.	11,7-12,8	12,3	11,8-12,7	12,3	12,7	12,7	n.b.	n.b.	"
11.8.	0 P2 naß	13,5-13,8	13,7	13,5-13,8	13,7	13,5-13,8	13,7	n.b.	n.b.	"
13.8.	6 P2	11,5-13,3	12,7	11,4-13,2	12,2	11,5-13,2	12,3	n.b.	n.b.	"
18.8.	0 P3	n.b.	n.b.	9-9,2	9,1	9-9,3	9,2	9,1-9,3	9,2	"
19.8.	10 P3	9,5-10	9,7	9,3-10,7	9,7	9,3-10	9,7	9,4-10	9,7	"
19.8.	10 P2	10,2-12,7	11,3	10,1-12,7	11,3	10,2-11	11,3	10,2-12,8	11,4	"
21.8.	6 P3	10,3-10,7	10,5	10,2-10,8	10,5	10,1-10,4	10,3	10,5	10,5	"
24.8.	2,5 P3	10,3	10,3	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	"
25.8.	4 P3	11,3	11,3	11,2	11,2	11,5	11,5	11,4	11,4	"

Tab. 14.5: Sauerstoffgehalte in der Bodenluft

Es stand also keine einfache und zuverlässige Meßmethode zur Verfügung, um den Umsatz vor Ort zu bestimmen.

Um Kurzzeitschwankungen der Bodenluftkonzentrationen auszugleichen, wurden für die Probenahme Samplerpumpen mit konstantem Fluß gewählt. Anhand von Rotametern wurde der eingestellte Fluß ständig überwacht (Abb. 14.5, oben). Da die Verweilzeiten in der UV-Einheit nur wenige Sekunden betragen, wurden die Proben mit drei (vier) Pumpen an den Entnahmestellen A, B, C (D) gleichzeitig gezogen. Am 24.8., Versuch 2,5 P3, wurde sofort nach der gleichzeitigen Probenahme eine aufeinanderfolgende Beprobung mit einer einzigen Pumpe durchgeführt.

Es hat sich für die Probenahme als zweckmäßig herausgestellt, die Wasserkühlung des 4-kW-Reaktors auch bei den 10- und 6-kW-Versuchen zu nutzen. Die Meßstelle B₁ wurde zur Probenahme nicht mehr herangezogen, statt dessen wurde die gekühlte B₂ verwendet.

Für die Analyse der CKW und BTX durch das Institut für Umwelttechnik (IFU) wurde eine Luftmenge von 0,3 bis 0,5 l über zwei in Reihe geschaltete Aktivkohle-Röhrchen, Typ Niosh, gezogen (Probenahmedauer: 5 min). Die Analyse erfolgt nach gemeinsamer Extraktion beider Röhrchen über Headspace-Aufgabetechnik im GC (ECD/FID-Detektor). Die Nachschicht des 2. Röhrchens ergab einen gelegentlichen Durchschlag von Vinylchlorid.

Zur Anreicherung von Kohlenwasserstoffen auf einem Dräger Röhrchen, Typ G wurde pro Meßstelle eine Luftmenge von 8 l benötigt (Probenahmedauer 30 min). Die Kohlenwasser-

stoffanalyse wurde nach der FT/IR-Methode durchgeführt, welche genauer als die bisherige IRKW-Bestimmung ist.

Zur GC/MS-Analyse erwies sich, aufgrund des relativen Überdruckes in der Anlage, die Probenahme in Luftsäcken als besonders leicht handhabbar. Im Screening ließen sich die meisten verschiedenen Substanzen aus den Luftsäcken nachweisen. Quantitativ sind die Resultate bei direkter Aufnahme des Gases aufgrund des verwendeten inneren Standards ungenauer als bei der Flüssig-Einspritzung des Extraktes (Pentan-, Toluol- oder CS₂-Extraktion vom Adsorptions-Röhrchen). Es wurden 6 l Bodenluft pro Aktivkohle-Röhrchen (Typ G) verwendet.

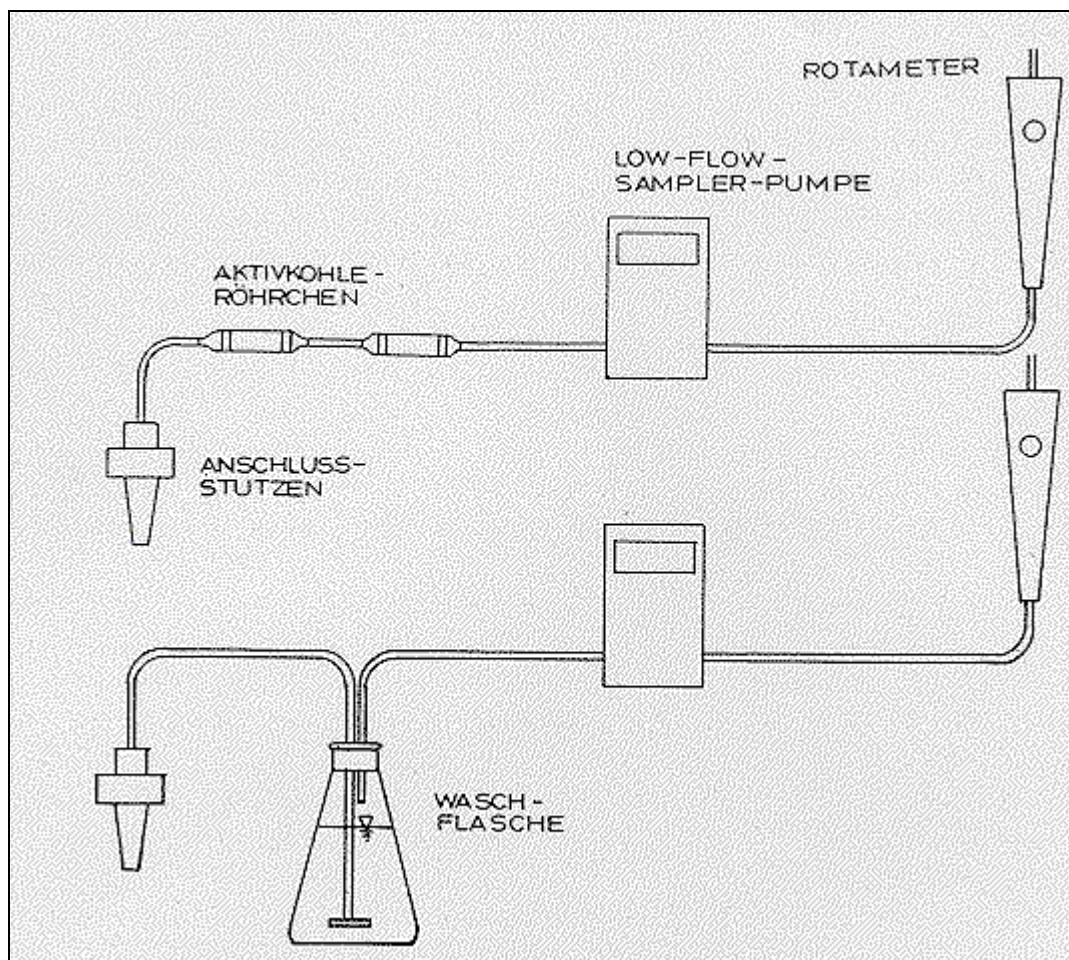


Abb. 14.5: Probenahme mittels Samlerpumpen

Abb. 14.5, unten zeigt die Absorption in Waschflaschen, mittels deren Inhalt der HCl- und Chlorgehalt der Abluft bestimmt wurde. Die Absorption von HCl erfolgte in Natronlauge, danach wurde der Chloridgehalt bestimmt. Die Absorptionslösung von Chlor enthält u.a. Methylorange, Quecksilber und Schwefelsäure (s. „Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe“ Bd. 1, Verl. Chemie, Hrsg. Prof. Dr. D. Henschler).

Am 12.01.93 wurde der Versuch zur Variation der Verweilzeit (Bypass-Versuch 4 P2) wiederholt, die Analysen wurden von Herrn Prof. Kleinermanns durchgeführt. Die Proben wurden mittels Dräger-Handpumpen auf A-Kohle-Röhrchen, Typ G gezogen, mit Pentan extrahiert und im GC/MS analysiert. Zusätzlich wurde Natronlauge (1 n) analysiert, in welcher der oxidierte Gasstrom gewaschen wurde.

4. Auswertung

4.1 Nebenprodukte

Der Vergleich einiger Chlormessungen zeigt, daß keine interpretierbaren Werte gewonnen wurden, vermutlich ist die Meßmethode querempfindlich gegenüber anderen Schadstoffen. Der in der TA Luft genannte Grenzwert liegt bei 5 mg/m^3 (ab Frachten $> 50 \text{ g/h}$).

Chlor [mg/m ³]		Meßstelle				
Datum	Versuch	A	b*	B1	B2	C
19.8.	10 P3	15,8	n.b.	n.b.	12,7	14,4
	10 P2	8,9	n.b.	n.b.	8,9	9,9
11.8.	10 P2	n.b.	81,3	86,5	89,5	86,5

*letztes Drittel 10 kW-Reaktor

Tab. 14.6: Ausgewählte Chlormessungen

Cyanwasserstoffgas konnte mittels Dräger-Schnelltests nicht nachgewiesen werden. Die Gehalte an Stickstoffmonoxid lagen unter der Nachweisgrenze des Rauchgasmeßgerätes.

Bereits in der abgesaugten Bodenluft ist Kohlenmonoxid enthalten, es zeigt sich jedoch eine deutlich zunehmende Tendenz nach jeder UV-Lampe. Zum Teil wird der in der TA Luft für MVAn angesetzte Wert von $0,1 \text{ g/m}^3$ um fast das Doppelte überschritten ($1 \text{ ppm} = 1,164 \text{ mg/m}^3$).

CO-Werte [ppm]		Meßstelle A		Meßstelle B		Meßstelle C		Meßstelle D		Methode
Datum	Versuch	Bereich	Mittel	Bereich	Mittel	Bereich	Mittel	Bereich	Mittel	
30.7.	4 P4	10	10	30	30	50	50	50	50	Drägerröhrchen
30.7.	2,5 P4	5	5	15	15	30	30	30	30	"
6.8.	0 P2	n.b.	n.b.	36-61	49	47-85	66	n.b.	n.b.	Testo 33
7.8.	4 P2	n.b.	n.b.	42-72	57	66-91	79	n.b.	n.b.	"
10.8.	10 P2	20-39	30	139-171	155	124-157	141	n.b.	n.b.	"
11.8.	10 P2 tr.	8-19	14	16-111	64	132	132	n.b.	n.b.	"
11.8.	0 P2 naß	17-28	23	96-114	105	28-132	80	n.b.	n.b.	"
13.8.	6 P2	27-39	31	73-91	83	82-102	89	n.b.	n.b.	"
18.8.	0 P3	n.b.	n.b.	58-87	73	71-107	89	82-108	95	"
19.8.	10 P3	50-74	63	63-80	69	74-102	86	80-103	93	"
19.8.	10 P2	27-60	42	137-177	157	153-182	165	166-187	176	"
21.8.	6 P3	27-94	58	36-95	61	62-71	67	105	105	"
24.8.	2,5 P3	31	31	39	39	n.b.	n.b.	65	65	"
25.8.	4 P3	52	52	58	58	60	60	64	64	"

Tab. 14.7: Kohlenmonoxidgehalte in der Bodenluft

Phosgen und Trichloracetylchlorid konnten trotz bekannter Retentionszeit in keiner GC/MS-Analyse gefunden werden. Die Phosgen-Schnelltests, welche auf beide Substanzen reagieren, haben hingegen am 27., 28. und 29.7.92 $1 - 2,5 \text{ ppm}$ nach beiden Reaktoren nachgewiesen, allerdings war mehr HCl in der Abluft, als für dieses Meßverfahren zulässig ist ($100 \text{ ppm} = 151 \text{ mg/m}^3$).

Beim Versuch 6 P4 vom 27.7. wurde *Chlorethin* nach der UV-Oxidation nachgewiesen. Diese Beobachtung wurde beim Versuch 10 P2 vom 20.08. bestätigt.

Rohrleitungen aus PVC waren nach kurzer Betriebszeit mit einem dünnen, gelblich-braunen, harzähnlichen Belag bedeckt. Der aus Normalstahl gefertigte Kopf des Hochdruckreaktors wies nach den Versuchen so starke Korrosion auf, daß dieser Werkstoff künftig nicht mehr zum Einsatz kommen kann. In der Edelstahl-Innenwand wurde Lochkorrosion durch Chlor-Ionen festgestellt. Dichtungen, die der direkten UV-Bestrahlung ausgesetzt waren, mußten nach etwa 2000 Betriebsstunden ausgewechselt werden.

4.2 Dioxinanalyse

Im Zeitraum vom 6. bis 8. Oktober 1992 wurden von der TAUW Infra Consult B.V. die PCDD/F-Konzentrationen an drei Meßstellen der Abgasreinigungsanlage untersucht. An dem mit Chlorbenzolen höchst belasteten Becken 2 wurden Proben des Eingangsluftstroms, nach der 10 kW-Lampe sowie nach der 4 kW-Lampe mit nachgeschalteter Niederdrucklampe entnommen.

Die Emissionsbestimmung der Dibenzodioxine und Dibenzofurane wurde gemäß NPR 2788 und VDI 3499 durchgeführt und beruht auf dem Verdünnungsprinzip. Dibenzodioxine und Dibenzofurane werden beprobt, indem ein Teilstrom des Gases in einer Mischsektion des Probenahmegerätes mit gereinigter und trockener Umgebungsluft auf eine Temperatur unter 40 °C abgekühlt wird. Dabei kondensieren die gasförmigen Verbindungen und werden quantitativ an Staubteilchen adsorbiert. Diese Staubteilchen werden in einem geeigneten Filter aufgefangen. Sehr feine Teilchen und gasförmige Verbindungen werden auf einem Florisil-Adsorbens adsorbiert. Der Filter und das Florisil werden nach der Aufbereitung auf PCDD und PCDF analysiert.

Die Gastemperatur wurde mit Hilfe eines Thermoelementes gemessen. Der Volumenstrom wurde mit Prandtlrohr und Präzisionsdruckmesser bestimmt. Der Feuchtegehalt wurde gemäß EPA-Methode 4 gravimetrisch erfaßt. Die Probenahme erfolgte über eine Dauer von vier bis fünf Stunden. Der Feuchtigkeitsgehalt und der Gasvolumenstrom wurden zweimal bestimmt. Die Gastemperatur wurde kontinuierlich gemessen und registriert.

Meßstelle		Datum	Feuchte g/Nm ³	Vol. Nm ³ /h	Temp. °C	PCDD/F ng/Nm ³	ng TEQ/Nm ³
Bodenluft	(A)	06.10.92	16	120	32	0,07	0,0015
nach 4 kW + ND	(C)	07.10.92	16	110	36	0,06	0,0014
nach 10 kW-Lampe	(B1)	08.10.92	16	110	74	1,15	0,015

Tab. 14.8: Dioxin-Messung

Aus den Meßwerten lassen sich folgende Schlußfolgerungen ableiten:

- Die PCDD- und PCDF- Konzentrationen im Gasstrom nach dem 4 kW- und dem Niederdruckreaktor entsprechen den Konzentrationen, die in der Probe der ungereinigten Bodenluft gemessen wurden.
- Die PCDD- und PCDF- Konzentration im Gasstrom nach der 10 kW UV-Oxidation sind um etwa einen Faktor 10 höher als die Konzentrationen in der Probe der ungereinigten Bodenluft.
- Die Meßwerte deuten darauf hin, daß die PCDD/F-Konzentrationen in der Bodenluft fluktuieren.
- Die Meßwerte sind angesichts der bei Verbrennungsanlagen üblichen Emissionswerte als niedrig einzustufen.

4.3 CKW-Umsätze der einzelnen Absaugbereiche

Die Versuche eines Absaugbereiches sind für den Parameter CKW-Summe in je einem Bild aufgetragen. Die Konzentrationen sind auf die Eingangskonzentration (100 %) normiert. Über den ersten Balken sind die Eingangsfrachten (Einheit: mg/s) notiert.

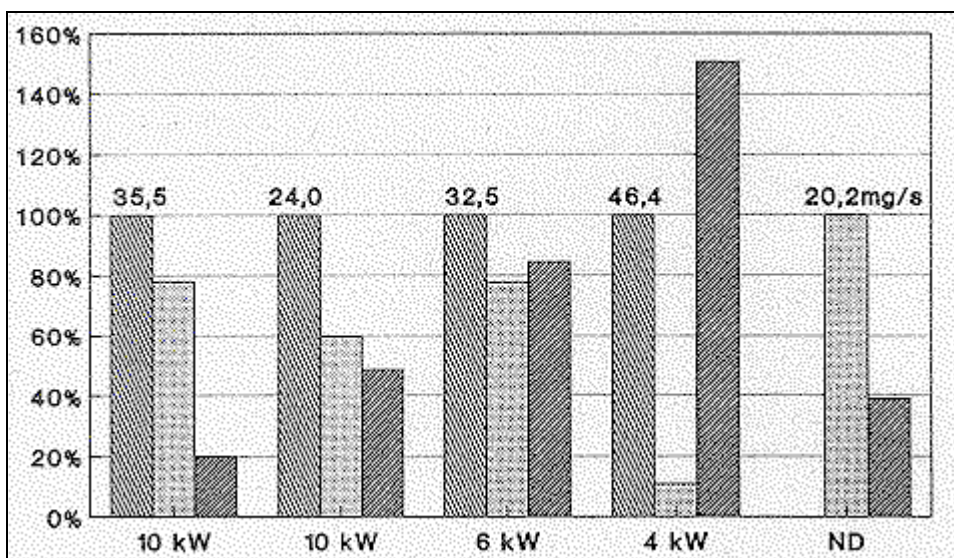


Abb. 14.6: Normierte CKW-Frachten, Becken 2

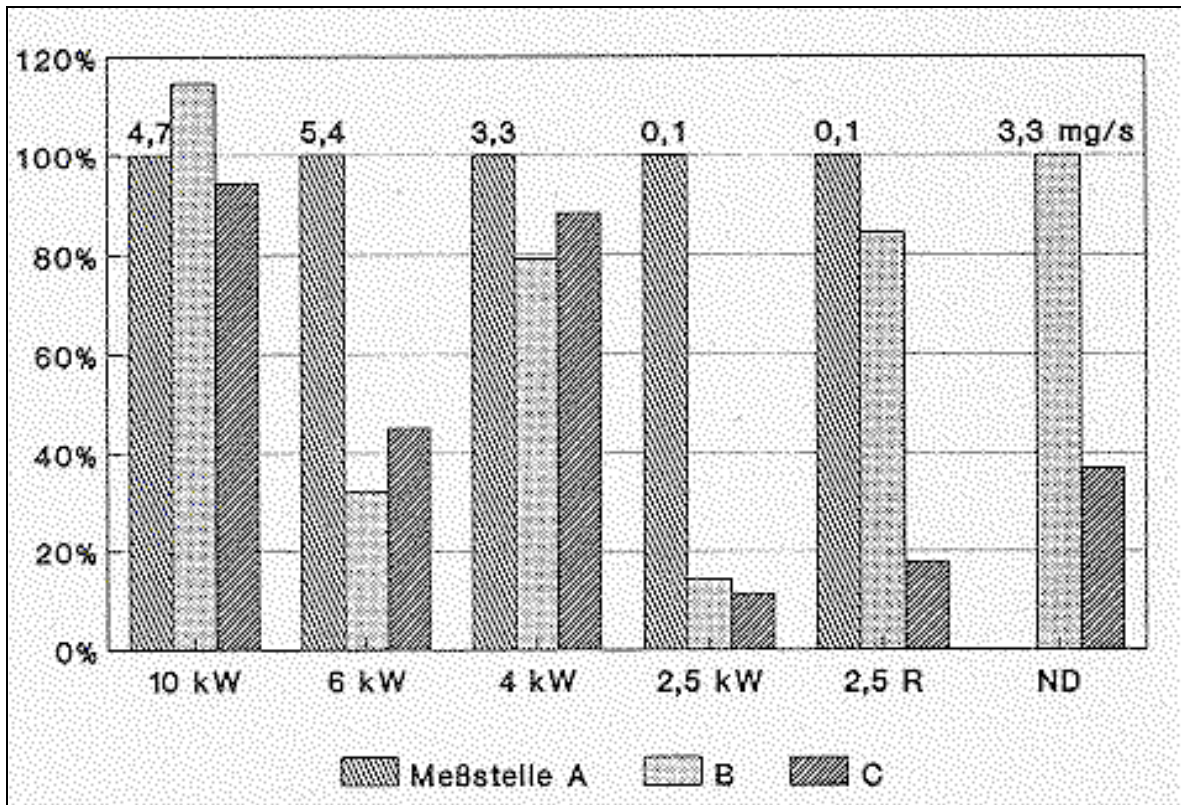


Abb. 14.7: Normierte CKW-Frachten, Becken 3

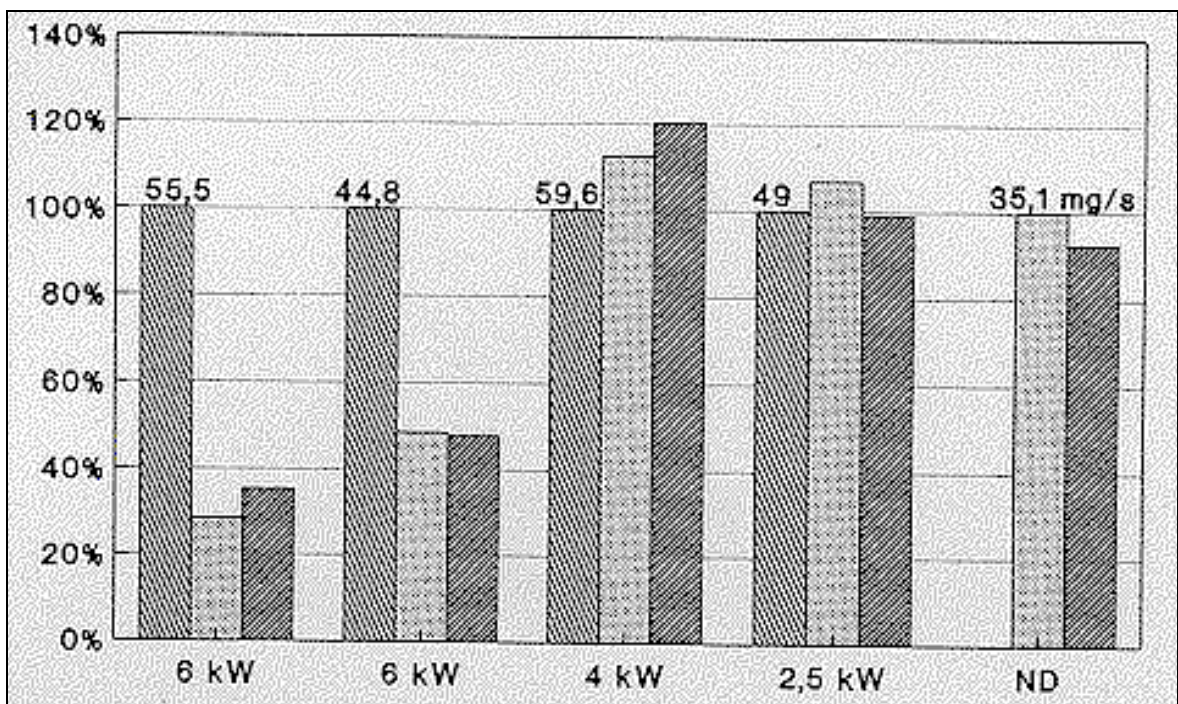


Abb. 14.8: Normierte CKW-Frachten, Becken 4

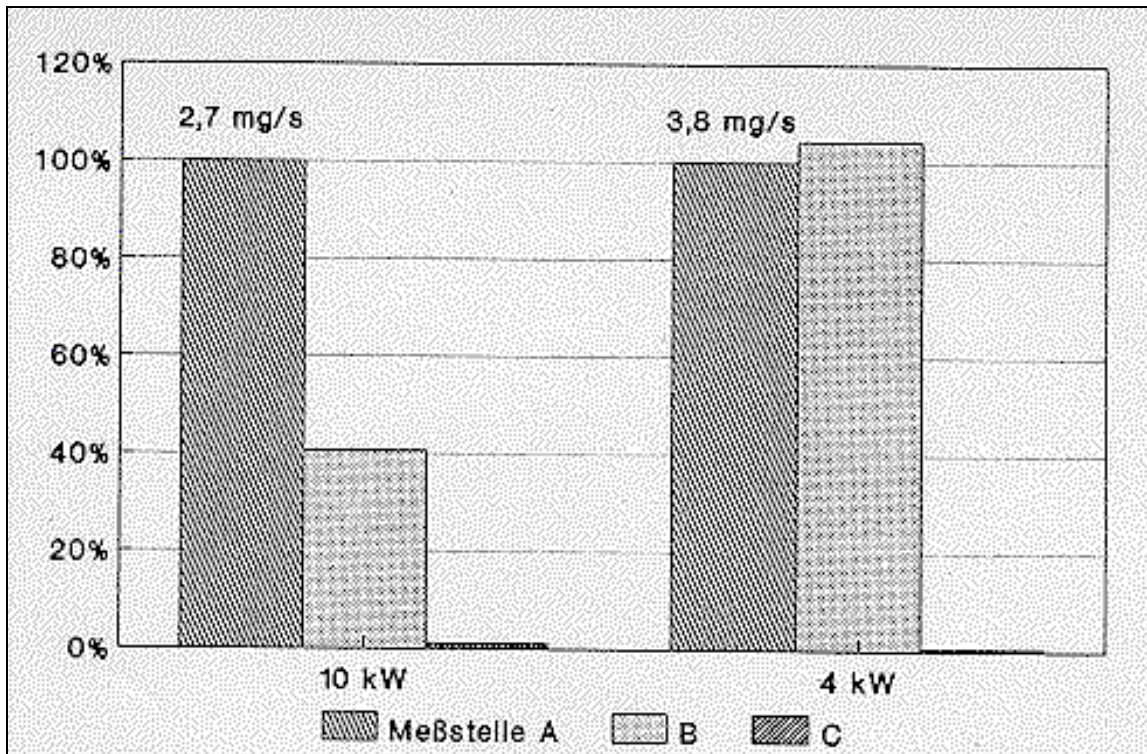


Abb. 14.9: Normierte CKW-Frachten, Strippluft Grundwasser

Becken 2 und 4 zeigen vergleichbare CKW-Frachten in der abgesaugten Bodenluft, sie betragen das 10fache der aus Becken 3 und den Grundwasser-Versuchen erhaltenen Werte. Die Messungen mit Bodenluft aus der ungesättigten Zone konnten nicht ausgewertet werden, weil trotz Verringerung des Probenahmevolumens der EC-Detektor überlastet war (Konzentrationen ca. 100.000 mg/m^3). An Becken 1 wurden die Versuche aufgrund der starken Rauchentwicklung abgebrochen.

Gute Abreinigungsleistungen werden für die Strippluft des Grundwassers erzielt (nur 2 Versuche aufgrund der geringen Ergiebigkeit), deren Kontamination vorwiegend aus Trichlorethylen und cis 1,2-Dichlorethen besteht. Die Lampen werden derzeit in der bestehenden Konfiguration bei der Grundwassersanierung eingesetzt.

4.4 Variation der Belastung

Um die Abhängigkeit des Umsatzes von der Verweilzeit zu untersuchen, wurde in einer separaten Meßreihe der durchgesetzte Volumenstrom bei sonst gleicher Einstellung variiert (Bypass-Versuche). Hierzu wurde ein verstellbarer Teilluftstrom über die UV-Reaktoren gefahren, danach mit dem Bypassstrom wieder zusammengeführt und dann über die nachgeschalteten Kohlen abgereinigt.

In einer anderen Meßreihe (Frischluf-Versuche) wurde der Bodenluft bei gleichbleibendem Gesamtvolumenstrom Umgebungsluft zugemischt, um den Einfluß des verbesserten Sauerstoffangebotes und der reduzierten Konzentrationen beobachten zu können.

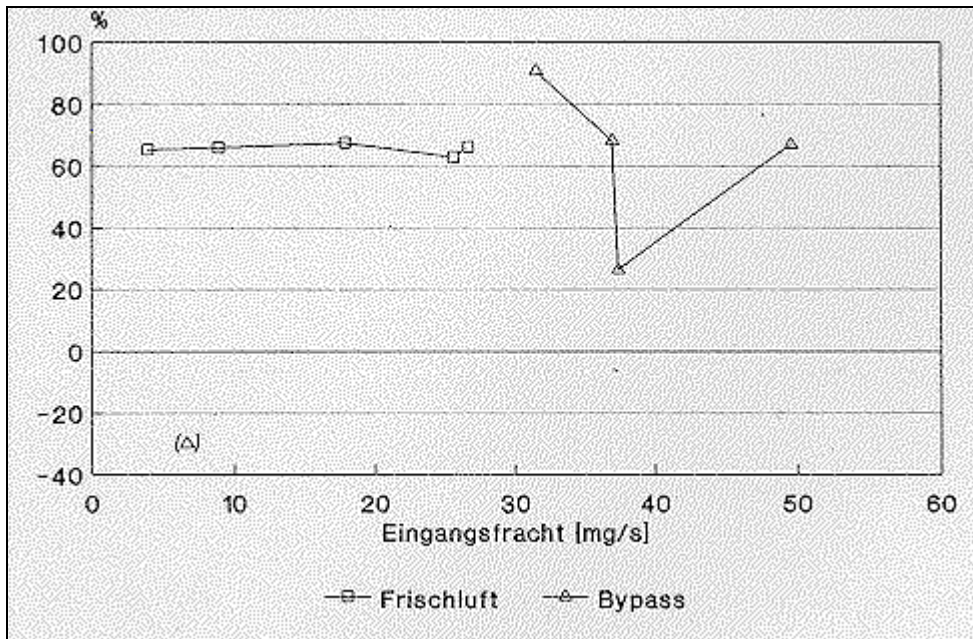


Abb. 14.10: CKW-Umsätze HD + ND, Frischluft- und Bypass-Versuche 4 P2

Bei den Frischluft- und Bypass-Versuchen ergab die Meßstelle B nicht auswertbare, unsystematische Überhöhungen. Die Überprüfung der verwendeten Rotameter zeigte deren einwandfreie Funktionsweise. Deshalb wurden nur Gesamtumsätze ausgewertet (Meßstelle A und C). Bei den Frischluft-Versuchen ist die Zumischung von Umgebungsluft (Verdünnung) offensichtlich ohne Auswirkungen geblieben, der Umsatz blieb konstant bei etwa 65 %. Die Bypass-Versuche (Erhöhung der Verweilzeit durch geringeren Durchsatz) zeigen beträchtliche Schwankungen des Umsatzes.

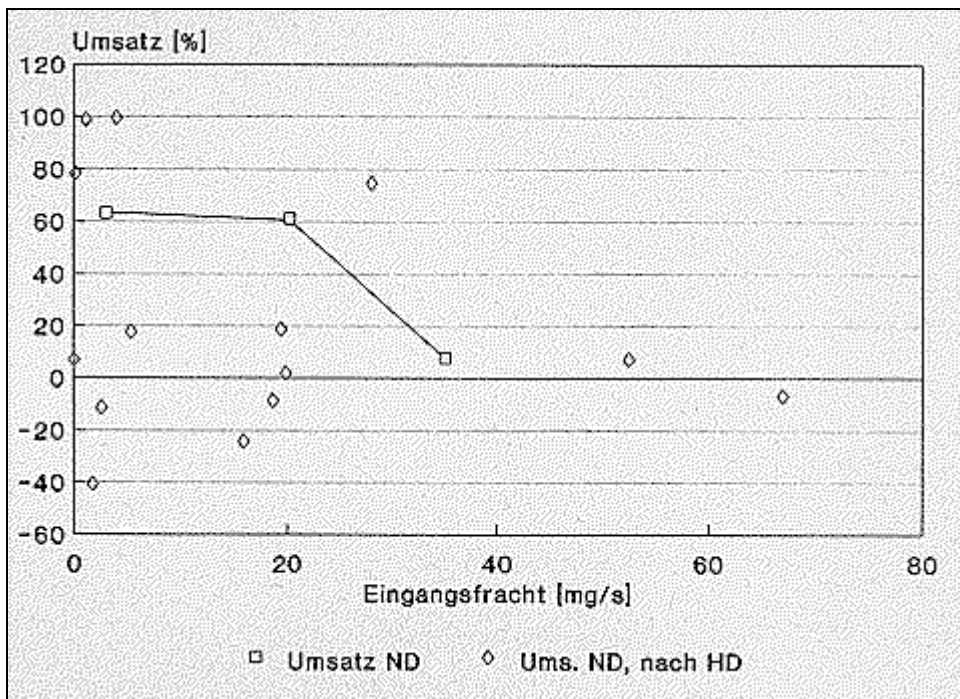


Abb. 14.11: CKW-Umsätze am Niederdruckstrahler

Die Auftragung der Versuche, an denen die Niederdrucklampen mit dem Durchschlag der Hochdrucklampe beschickt wurde, ergab keinen deutbaren Zusammenhang. Wurde der ND--Strahler allein beaufschlagt, zeigte sich für geringere Schadstofffrachten ein Umsatz von ca. 60 %.

Der Versuch zur Variation des Durchsatzes (Bypass-Versuch) wurde am 12.10.93 wiederholt. Das Zuluftrohr zum 4 kW-Reaktor wurde durch eine gerade verlegte Schlauchverbindung (Durchmesser 50 mm) verlängert, damit eine genauere Volumenstrommessung möglich war. Zu jeder Einstellung wurden in kurzen Abständen drei Probenpaare (jeweils gleichzeitig vor und nach dem Reaktor) gezogen.

Die Auswertung zeigt, daß lediglich in zwei von fünf Einstellungen die Umsätze reproduzierbar waren. Dann allerdings wurden Umsätze von 60 - 70 % erreicht. Für einen Abbau in dieser Größenordnung läßt sich rechnerisch zeigen, daß nur ein Bruchteil der Moleküle durch direkte Photolyse zerstört wird. Der Hauptanteil der Abbaureaktion läuft nach der Aktivierung durch das UV-Licht (Radikalbildung) als Kettenreaktion weiter.

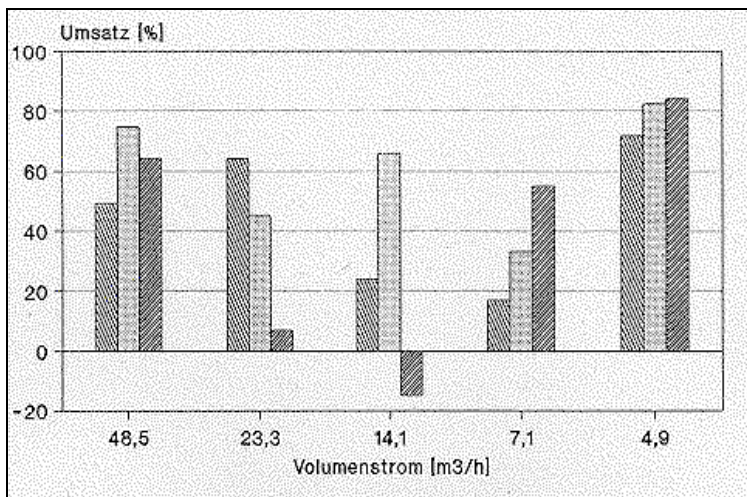


Abb. 14.12: Umsätze Tri + Per, Wiederholung Bypass- Versuch

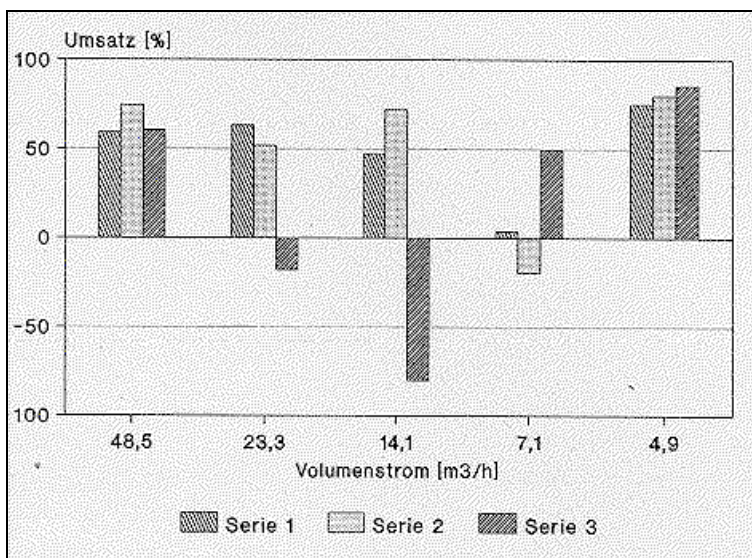


Abb. 14.13: Umsätze Ethylbenzol + Xylol, Wiederholung Bypass- Versuch

5. Zusammenfassung

Am Modellstandort „Mühlacker“ wurde in einem viermonatigen Versuchsprogramm die Effektivität des CKW-Abbaus in der Bodenluft durch UV-Oxidation überprüft. Die Oxidationsreaktion erfolgt bei der verwendeten Technologie kontinuierlich und in der Gasphase ohne die Zugabe von Oxidationsmittel.

Ziel der Versuche war, Informationen über die erforderlichen Leistungseinträge und die bei der Reaktion entstehenden Zwischen- und Nebenprodukte zu erhalten. Zur Absaugung standen mehrere Bereiche mit unterschiedlicher Schadstoffkonzentration und -zusammensetzung zur Verfügung. Erschwerend wirkte sich bei den Untersuchungen die Anwesenheit von verschiedenen flüchtigen Komponenten aus, die neben den CKW in der Bodenluft enthalten waren, z.B. BTX und Kohlenwasserstoffe.

Die Bildung von Chlor und Phosgen konnte nicht nachgewiesen werden, vermutlich entstand bei manchen Versuchen Trichloracetylchlorid. Schwierigkeiten beim Nachweis dieser Substanzen ergaben sich durch die Querempfindlichkeiten der zur Verfügung stehenden Meßmethoden.

Weiterhin wurde eine Dioxin-Beprobung durchgeführt, es konnte keine Erhöhung der außerordentlich geringen Grundbelastung der Bodenluft durch die UV-Oxidation festgestellt werden.

Da die verwendete Anlage ursprünglich nur zur Vinylchlorid-Abreinigung der über Aktivkohlepatronen vorgefilterten Bodenluft dimensioniert war, ergab sich ein vergleichsweise geringer Leistungseintrag bei hoher Raumbelastung. Dennoch werden, allerdings mit wechselnder Reproduzierbarkeit, CKW-Umsätze von bis zu 70 % erzielt. Eine Steigerung des Umsatzes durch Verdünnung oder Verringerung des Volumenstromes konnte nicht im Regelbereich der Anlage erreicht werden.

Entwicklung biologischer Verfahren zur Sanierung CKW-kontaminierter Böden, Grundwässer und Abluft am Modellstandort Eppelheim -Konzeption und Realisierung des Entwicklungsvorha- bens-

H. von Reis

Ing.-Büro R.W. Ashauer und Partner GmbH, Kerpen

1. Einleitung

Bei der Altlast Eppelheim handelt es sich um ein aufgeschüttetes ehemaliges Kiesgrubengelände mit einer flächenmäßigen Ausdehnung von ca. 49 ha (Abb. 15.1). Das ausgewählte Bearbeitungsgebiet des **Modellstandortes Eppelheim** beträgt dabei ca. 0,7 ha. Das rekultivierte Gelände wird heute größtenteils landwirtschaftlich genutzt. Der Beginn des Kiesabbaus, der meist bis ca. 10 m Tiefe, örtlich bis ca. 15 m Tiefe geführt wurde und der damit im Bereich des obersten Grundwasserleiters liegt, reicht in den Anfängen zurück bis vor den 2. Weltkrieg. Mit der Wiederverfüllung wurde in einzelnen Gruben bereits in den fünfziger Jahren begonnen. Als Aufschüttungsmaterial wurde zum größten Teil Bauschutt und Erdaushub verwendet. Einige Gruben wurden zeitweise als Hausmüllkippen genutzt. In den fünfziger und sechziger Jahren wurde in verschiedenen Bereichen Produktionsrückstände chemischer Betriebe verkippt.

Das Gelände der aufgeschütteten Kiesgrube liegt z. T. in der Schutzzone III A des Wasserwerks Plankstadt, z. T. in der Schutzzone III B der Wasserwerke Plankstadt und Eppelheim. Zudem wird das Gelände von dem weiteren Einzugsgebiet des Wasserwerks Rheinau der Rhein-Neckar-AG erfaßt.

Im Grundwasserabstrom nordwestlich des Kiesgrubengeländes auf der Gemarkung der Gemeinde Eppelheim wurden Anfang der 80er Jahre erhöhte Konzentrationen von leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen festgestellt. Wegen hoher Nitratkonzentrationen und wegen der Belastung mit LCKW mußte das Wasserwerk Plankstadt stillgelegt werden.

Erste behördliche Nachforschungen seit 1981 hatten das Ziel, die verschiedenen Verkipfungsbereiche zu lokalisieren. Eine Studie zur Gefährdungsabschätzung des Schutzgutes Grundwasser wurde durchgeführt. Dabei ergaben unterstromig gelegene Meßstellen teilweise erhebliche Belastungen an leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen. Der genaue Schadensherd konnte jedoch nicht ermittelt werden.

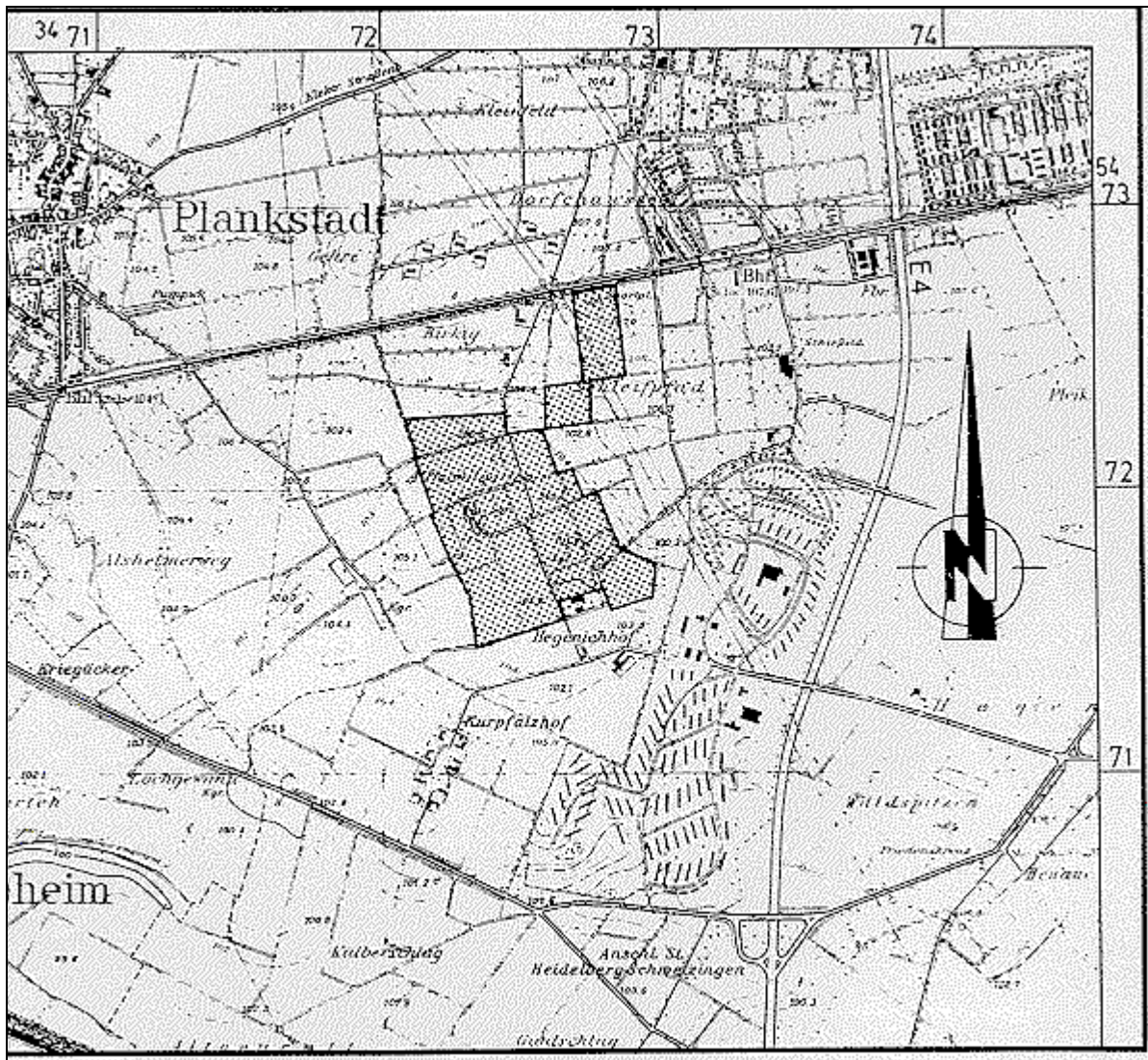


Abb. 15.1: Lageplan (Maßstab 1:25.000)

Im Januar 1989 wurde der Altablagerungsstandort Eppelheim in die Liste der Modellstandorte der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg aufgenommen. Ziel der Modellstandortvorhaben ist die Anwendung, ggf. die Entwicklung und die Bewertung von Erkundungs- und Sanierungsverfahren, um eine Übertragbarkeit auf ähnliche Schadensfälle zu ermöglichen.

Das Vorhaben am Modellstandort Eppelheim mit dem Titel "Entwicklung biologischer Verfahren zur Sanierung CKW-kontaminierter Böden einschließlich der dabei entstehenden Abluft und Abwässer (on-site-Verfahren) sowie CKW-kontaminierter Grundwässer und Bodenluft unter Anwendung von Biofiltern" wird aus Mitteln des Kommunalen Altlastenfonds des Landes Baden-Württemberg gefördert. Das Entwicklungsvorhaben wird im Auftrag des Ministeriums für Umwelt von der Landesanstalt für Umweltschutz abgewickelt.

Das Entwicklungsvorhaben am Modellstandort Eppelheim wird im wesentlichen von zwei Gremien begleitet. Der Arbeitskreis Modellstandort Eppelheim berät und trifft die für den Fortgang des Projekts notwendigen Entscheidungen. Der Arbeitskreis Bioberater unterstützt und berät die LfU und den Arbeitskreis Modellstandort Eppelheim in mikrobiologischen Fra-

gen (Abb. 15.2). Die interdisziplinär besetzten Arbeitskreise bestehen aus folgenden Mitgliedern:

- **Arbeitskreis Modellstandort Eppelheim
(Entscheidungsgremium)**
 - Landesanstalt für Umweltschutz (Vorsitz)
 - Landratsamt Rhein-Neckar-Kreis
 - Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz Heidelberg
 - Regierungspräsidium Karlsruhe
 - Geologisches Landesamt
 - Gemeinde Eppelheim
 - Ing.-Büro R. W. Ashauer und Partner GmbH
- **Arbeitskreis Bioberater
(Beratungsgremium)**
 - Prof. O. Meyer, Bioberater
 - Dr. A. Geller, Bioberaterin
 - Landesanstalt für Umweltschutz
 - Ing.-Büro R. W. Ashauer und Partner GmbH

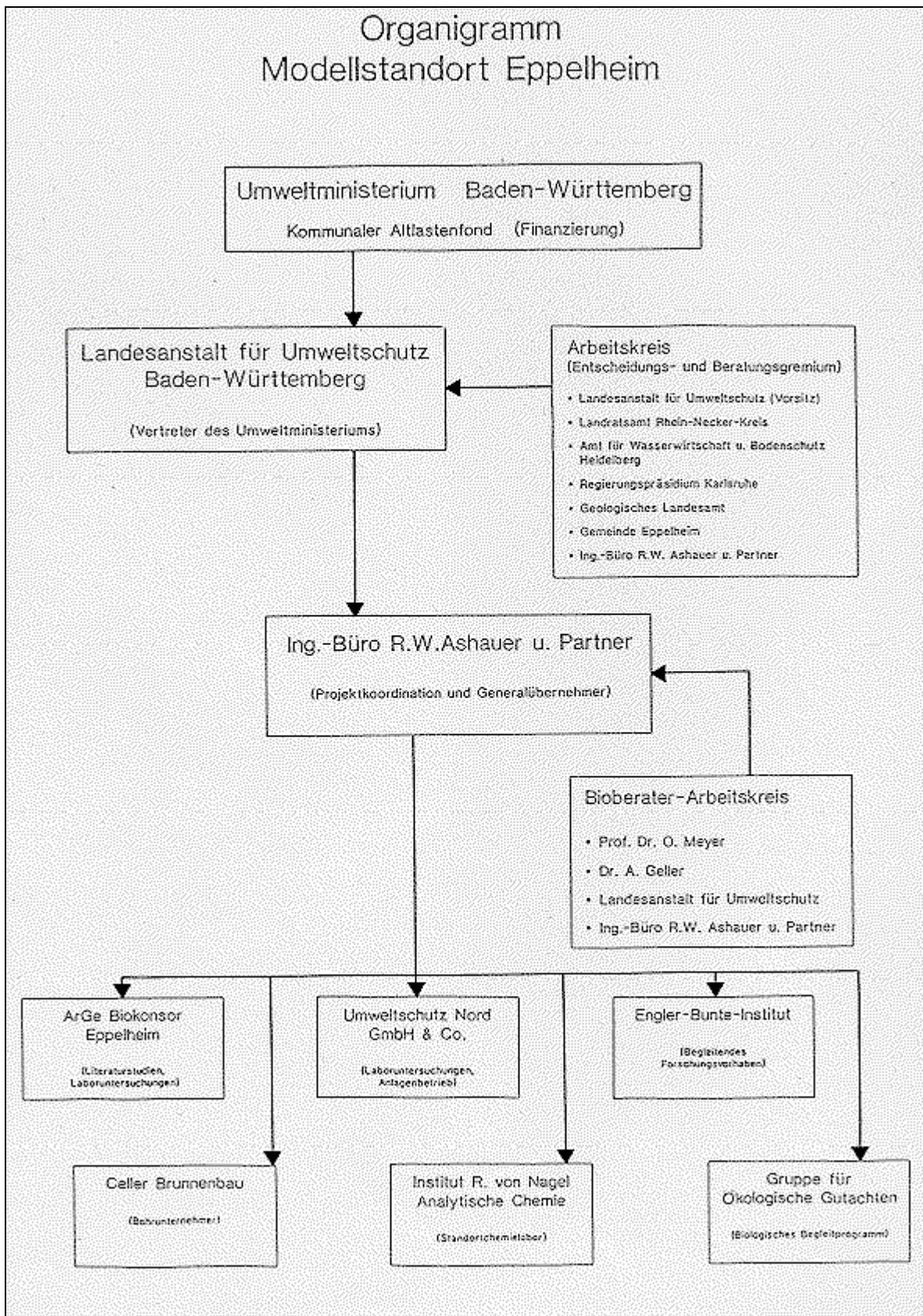


Abb. 15.2: Organigramm Modellstandort Eppelheim

2. Durchgeführte Untersuchungen

Im Rahmen der Erkundung des Kiesgrubengeländes (Untersuchungsgebiet) wurden in 3 Bearbeitungskomplexen weitreichende Untersuchungen, u.a. Rammkern-/Schlitzsondierungen zur Untersuchung des Untergrundes und der Bodenbelastung, Pumpversuche zur Erfassung der Grundwasserbelastung, geophysikalische Messungen, multitemporale Luftbildauswertungen vorgenommen, um flächendeckend die Kontamination des Untergrundes festzustellen und einzugrenzen.

Parallel zu den Ermittlungen der Schadstoffbelastung im Untergrund, wurde das Grundwassermeßstellennetz erweitert. Hier werden in kontinuierlichen Abständen an den ausgebauten Pegeln die Belastungen des Grundwassers kontrolliert.

Komplex 1: Bestandsaufnahme, Bürgerbefragung, Luftbildauswertung

Im ersten Schritt der Erkundungsmaßnahme wurde die Geländehistorie zurückverfolgt. Dazu erfolgten Bestandsaufnahmen der vorliegenden Akten bzw. Berichte sowie Bürgerbefragungen, um Aufschluß über die Auffüllungsbereiche sowie Auffüllungsmaterialien und Inhaltsstoffe zu erhalten.

Des Weiteren wurden multitemporale Luftbildauswertungen vorgenommen. Die stereoskopische Auswertung von Luftbildern aus der Zeit zwischen 1933 - 1984 hatte das Ziel die Ausdehnung der Kiesgruben und damit mögliche Verfüllungsgebiete, Verfüllungsmächtigkeiten und ggf. Auffüllungsmaterialien zu bestimmen (Abb. 15.3).



Abb. 15.3: Luftbildaufnahme des Eppelheimer Waldes

Die o.g. Maßnahmen ermöglichten erste Lagebestimmungen und Aussagen zur Art der Ablagerungen. Mit Hilfe der multitemporalen Luftbilddauswertung konnten die Kiesabbau- bzw. Verfüllungsbereiche eingegrenzt und in ihrer zeitlichen Ausdehnung zugeordnet werden (Abb. 15.4). Als Hauptbereich der Industriemüllverkipungen konnte danach der Eppelheimer Wald bestimmt werden.

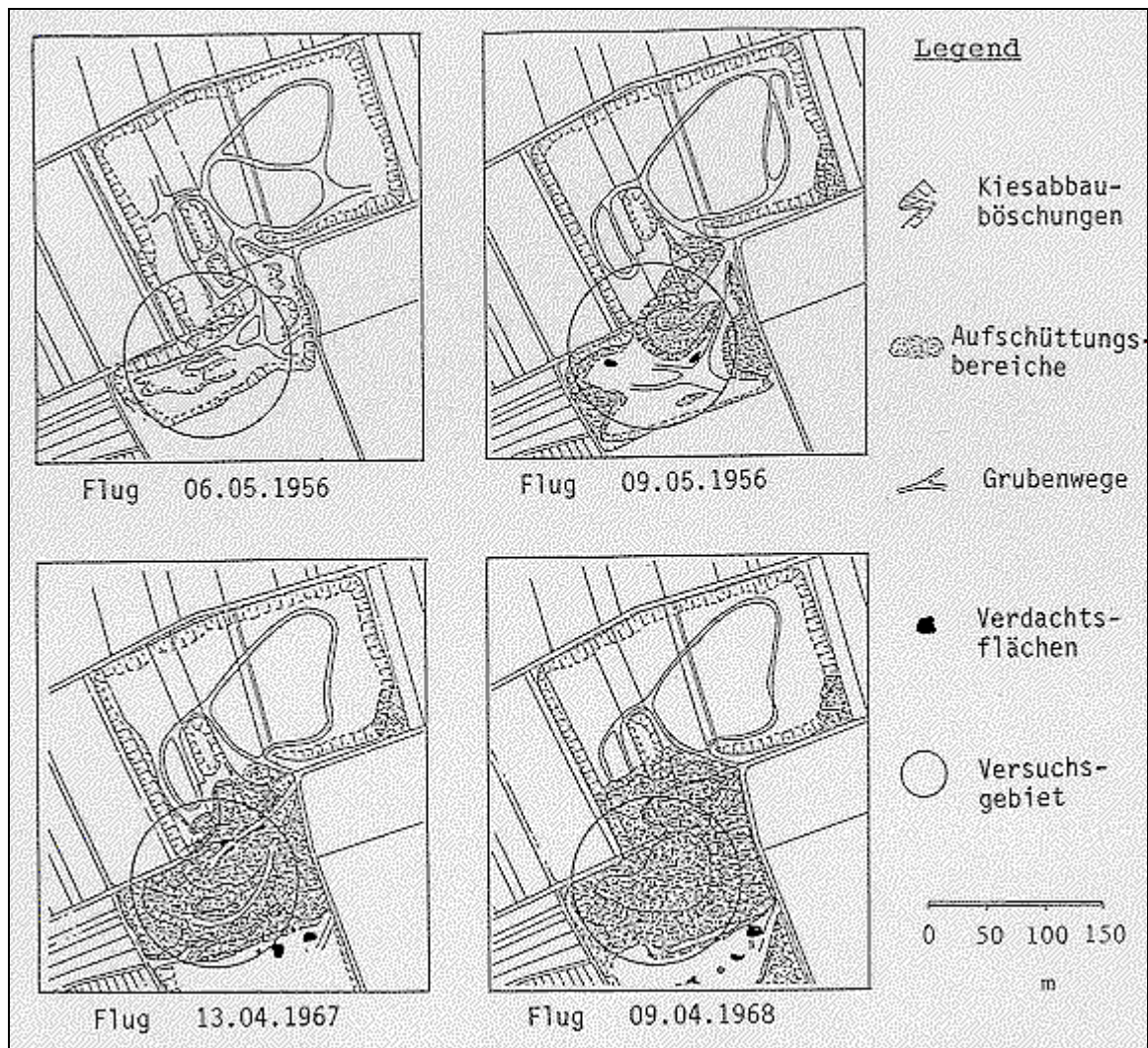


Abb. 15.4: Bestimmung von Verdachtsflächen durch Luftbildauswertung

Komplex 2: Geophysikalische Untersuchungen

Anschließend wurden im 2. Bearbeitungskomplex geophysikalische Messungen im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Mit Hilfe dieser Methoden können Anomalien im Untergrund bestimmt werden, die Aufschluß über die Untergrundbeschaffenheit geben. Es wurden drei unterschiedliche Methoden angewendet

- a) geomagnetische Messungen
- b) refraktionsseismische Messungen
- c) geoelektrische Sondierungen

Im weiteren sei alleine auf das in diesem Altlastenfall erfolgreichste Verfahren eingegangen, und zwar die geomagnetischen Messungen. Basierend auf dem magnetischen Verhalten natürlich anstehender und künstlicher aufgeschütteter Materialien kann die Untergrundbeschaffenheit mit geomagnetischen Messungen relativ zeitnah bestimmt werden. Die Intensität des Magnetfeldes wird mit einem Protonenmagnetometer bestimmt. Gemessen wird die

Totalintensität des Magnetfeldes in der Einheit Nanotesla (nT). Dabei haben insbesondere eisenhaltige Materialien starken Einfluß auf das Magnetfeld.

Die hohe Schwankung der magnetischen Intensität, wie dies z.B. im Eppelheimer Wald festgestellt wurde, deutet auf das Vorkommen metallischer Gegenstände im Untergrund hin. Der Verdacht, daß hier ggfs. auch Faßreste zu erwarten waren, wurde im Rahmen der vorgenommenen Rammkernsondierungen in einem Fall bestätigt (Abb. 15.5).

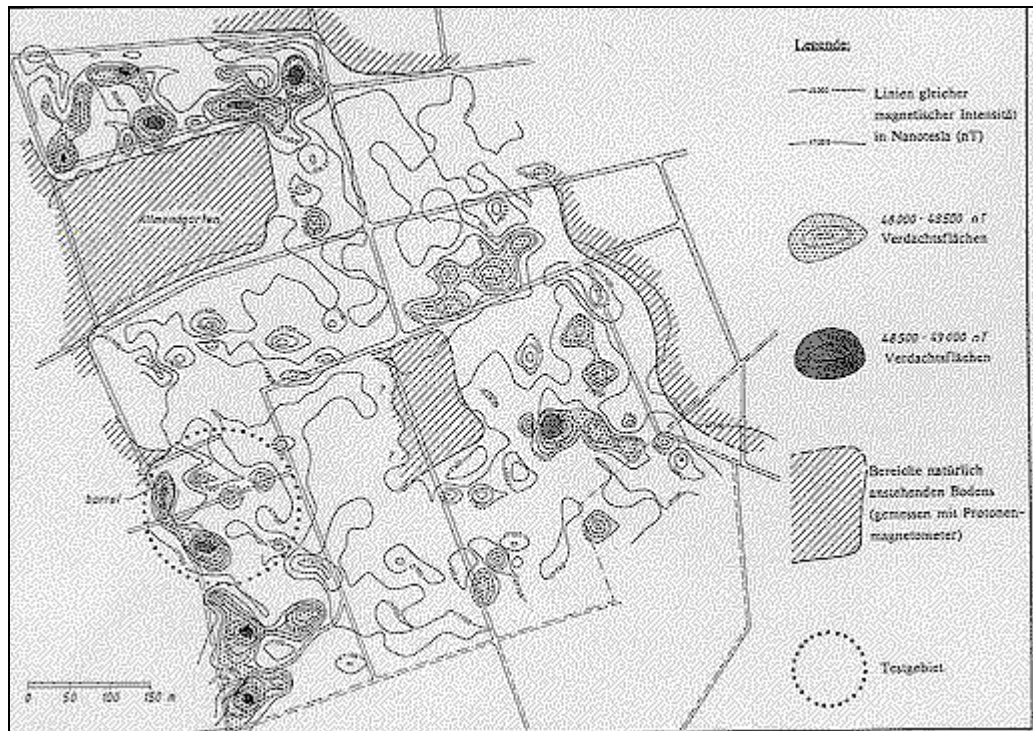


Abb. 15.5: Isolinien der magnetischen Feldstärke

Komplex 3: Rammkern-/Schlitzsondierungen

Auf Grundlage der Ergebnisse aus Komplex 1 und 2 wurden über 600 Rammkern-/Schlitzsondierungen (über 5.000 lfd. m) durchgeführt, um hiermit den Kontaminationsschwerpunkt im Altlastbereich zu erfassen. Die Beprobung zur begleitenden chemischen Analytik erfolgte auf Grundlage der organoleptischen Bewertung des Bohrguts (Abb. 15.6).



Abb. 15.6: Rammkernsondierungen im Eppelheimer Wald

Die Sondierprofile zeigen, daß die durchschnittliche Aufschüttungsmächtigkeit der Gruben zwischen 6-7 m und 10-11 m schwankt (Abb. 15.7). Weiterhin wurde deutlich, daß als Auffüllungsmaterial mengenmäßig der Bauschutt und Erdaushub dominiert. Zusätzlich konnten besonders im Eppelheimer Wald größere Mengen an Hausmüll festgestellt werden, wobei bereichsweise die Auffüllung noch in den bei ca. 10m u. GOK anstehenden Grundwasserspiegel reicht. Maximale Schadstoffbelastungen wurden in 7-9m Tiefe und vereinzelt auch bis in den Aquifer hineinreichend festgestellt.

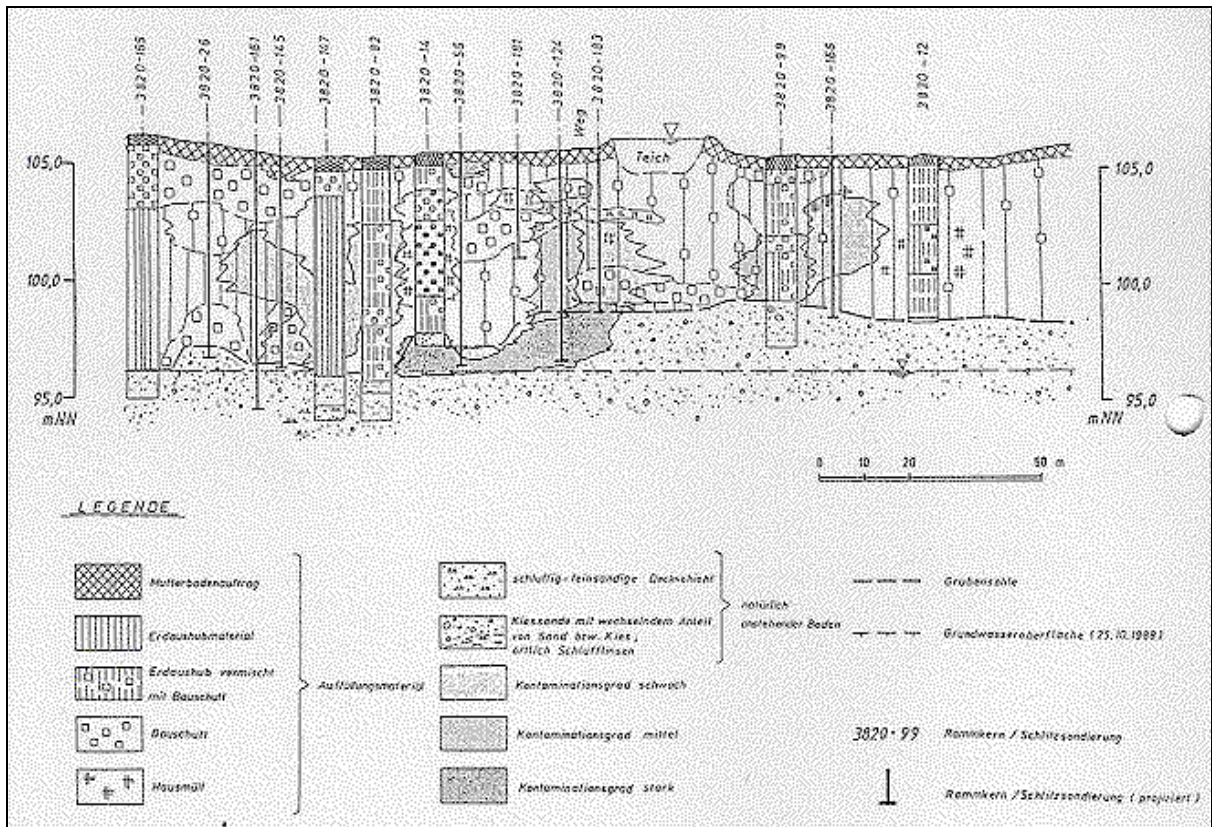


Abb. 15.7: Geologisches Profil im Hauptkontaminationsbereich

Bei den vorliegenden Kontaminationen handelt es sich überwiegend um LCKW (Tetrachlorethylen, Trichlorethylen, Dichlormethan) und BTX (Benzol, Toluol und Xylol). Die chemische Analytik der Bodenproben ergab im Hauptkontaminationsbereich maximale LCKW-Konzentrationen in Höhe von 17 mg/kg und maximale BTX-Konzentrationen von 4.081 mg/kg. Die Grundwasseranalysen zeigen dagegen durchweg Belastungen alleine als LCKW-Kontaminationen in der Größenordnung 50-300µg/l Summe LCKW.

3. Entwicklungsvorhaben

Der Standort wurde vom der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg als Modellstandort ausgewählt, um hier erstmalig mikrobiologische Verfahren zum Abbau von LCKW zu entwickeln. Als Versuchsanlagenstandort wurden die nach den Ergebnissen der Erkundungsmaßnahme am höchsten belasteten Bereiche im Eppelheimer Wald ausgewählt.

Die Verfahren zum Betrieb einer derartigen Pilotanlage wurden zunächst im Labormaßstab etabliert und werden z. Zt. in der Pilotanlage für die praktische Anwendung umgesetzt. Ziel des Projektes ist die Etablierung des mikrobiologischen Abbaus sowohl im Kompartiment Boden, Wasser als auch der Luft bis hin zu CH₄ und CO₂.

Die praktische Ausführung des Vorhabens übernehmen Spezialfirmen auf dem Gebiet der mikrobiologischen Bodensanierung.

Bei dem hier vorgestellten Verfahren handelt es sich wie bereits erwähnt um ein Entwicklungsvorhaben. Das bedeutet, daß diese Verfahren auf Forschungsebene bereits erfolgreich erprobt wurden, die Umsetzung der Verfahren in die praktische Anwendung jedoch noch aussteht. Ziel des Entwicklungsvorhabens ist es demnach, die wissenschaftlichen Erkenntnisse in die Praxis umzusetzen und die Verfahren zur großtechnischen Anwendungsreife zu bringen.

Zur Entwicklung der vor Ort geplanten Verfahren wurde zunächst anhand von Literaturstudien der Stand der Wissenschaft aufgearbeitet und anschließend in umfangreichen Laborversuchen die örtlichen Begebenheiten in der Versuchsanlage simuliert. Anhand der Ergebnisse der Laborversuche und der damit ermöglichten Optimierung der Verfahren erfolgte die Anpassung der Pilotanlage an die für die Praxis erforderlichen Bedingungen.

Diese Voruntersuchungen wurden von zwei Auftragnehmern vorgenommen. Umfangreiche Literaturstudien und die Entwicklung des In-situ-Verfahrens im Labormaßstab wurden von der Arbeitsgemeinschaft Biokonsor Eppelheim, bestehend aus den Firmen Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Naturwetenschappelijk Onderzoek (TNO) und der Fa. Heidemij Reststoffendiensten BV (HRD) durchgeführt. Das On-site-Verfahrenskonzept im Labormaßstab wurde von der Fa. Umweltschutz Nord GmbH & Co (USN) entwickelt. Die Laboruntersuchungen beschäftigten sich dabei u.a. ausführlich mit den erforderlichen Abbaubedingungen sowie der Einstellung optimaler Lebensbedingungen für die Mikroorganismen.

Die Versuchsanlagen vor Ort werden von der Fa. USN aufgebaut und betrieben.

Zur Durchführung des Entwicklungsvorhabens wurden zwei unterschiedliche biotechnologische Konzepte ausgewählt. Die darin beschriebenen Verfahren erfüllten sowohl die wis-

senschaftlichen und auf dem aktuellen Stand der Forschung und Entwicklung befindlichen als auch die verfahrenstechnischen und anwenderbezogenen Anforderungen.

Bei den vorgesehenen Standorten im Hauptkontaminationsbereich handelt es sich um mit Kleingehölzen rekultivierte Flächen der Gemeinde Eppelheim sowie einen durch dieses Gelände führenden Wirtschaftsweg.

Die beiden Verfahrenskonzepte unterscheiden sich dahingehend, daß es sich bei der ersten Variante um ein On-Site-Verfahren handelt und bei der zweiten Variante um ein In-situ-Verfahren. Beim On-site-Verfahren wird das kontaminierte Material ausgehoben und vor Ort in den entsprechenden Anlagen behandelt. Beim In-situ-Verfahren verbleibt das schadstoffbelastete Material an Ort und Stelle und wird im vorliegenden Zustand behandelt.

Die Behandlung des Bodens, der Luft und des Wassers erfolgt nach einem zusammenhängenden Verfahrensaufbau.

3.1 On-site-Verfahren

Im On-site-Verfahren wird der kontaminierte Boden am Standort ausgehoben und der Anlage zur Bodenbehandlung zugeführt. Die dabei entstehende Abluft (Ausgasen der leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffe) wird im geschlossenen System der Luftbehandlung zugeführt. Das in beiden Anlageteilen (Boden und Luft) entstehende kontaminierte Abwasser wird gemeinsam mit kontaminiertem Grundwasser in der Anlage zur Wasserbehandlung gereinigt (Abb. 15.8).

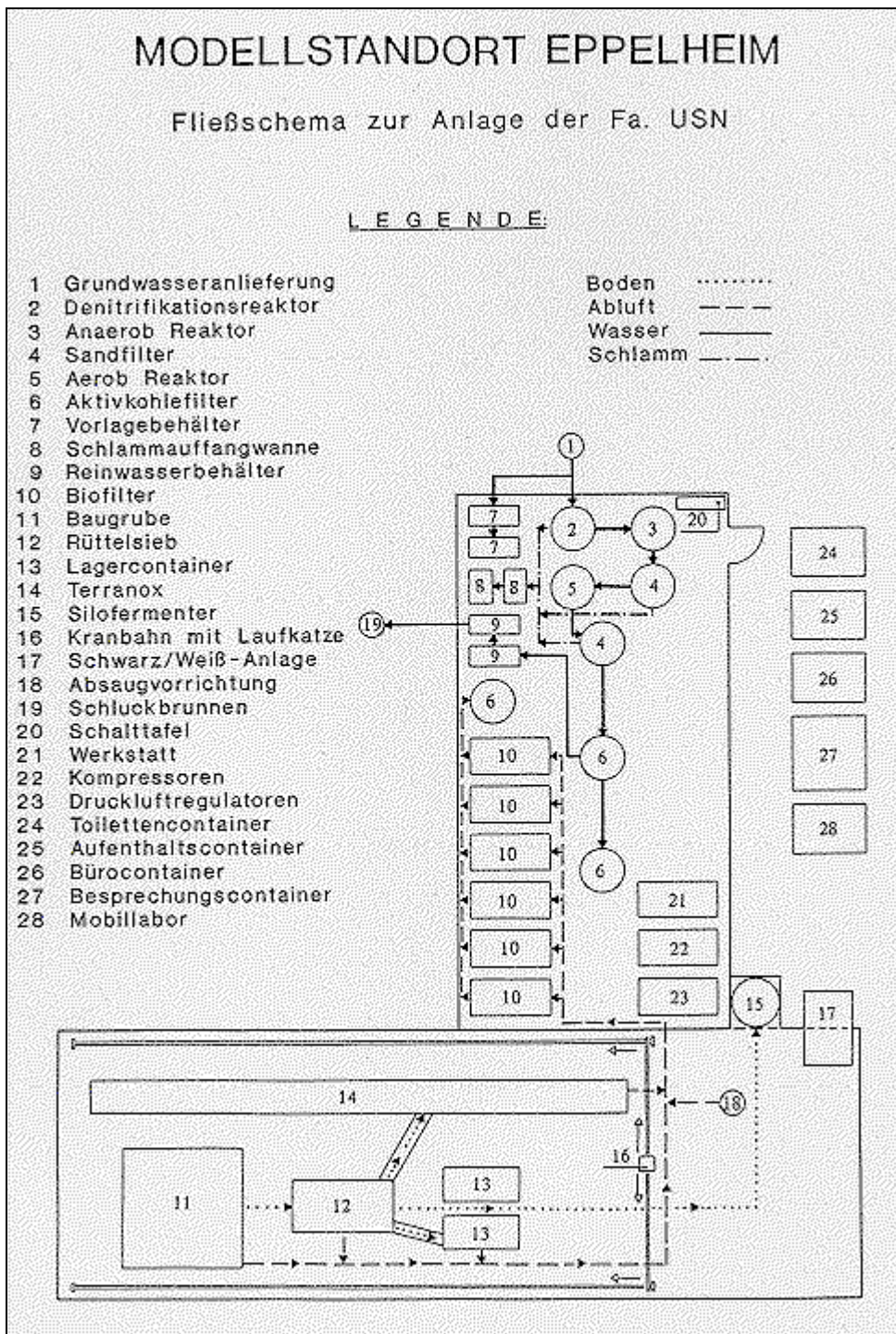


Abb. 15.8: Schema des On-site-Verfahrens

Da es sich bei den vorliegenden Schadstoffen in erster Linie um leichtflüchtige Substanzen handelt, erfolgt sowohl der Bodenaushub als auch die Behandlung des Materials in den verschiedenen Anlagenteilen im geschlossenen Kreislauf, so daß keine Schadstoffe entweichen können.

- **Bodenbehandlung**

Am Versuchsstandort wird der kontaminierte Boden ausgehoben und in die Anlage zur Bodenbehandlung überführt (Abb. 15.9). Vor der Überführung in die Anlage wird der Boden

nach organoleptischen Kriterien klassifiziert. Bodenfremde Bestandteile (z.B. Plastik, Metall) werden aussortiert und entsprechend den gesetzlichen Vorgaben entsorgt.

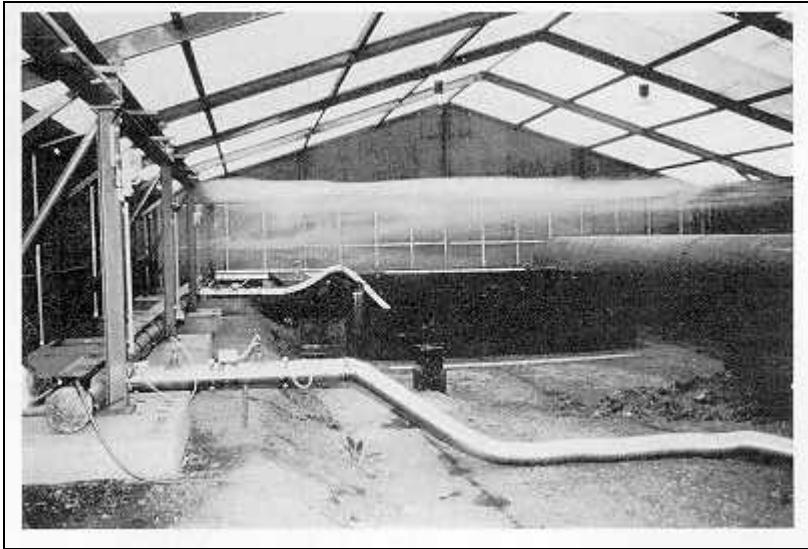


Abb. 15.9: Bodenbehandlungszelt d. Fa. USN mit Baugrube, und Absaugleitungen

Bei dieser Anlage handelt es sich um zwei verschiedene Systeme, die zur Anwendung kommen sollen:

- **Silofermenter: Einsatz bei lockerem, nicht bindigem Bodenmaterial**
- **Terranox: Einsatz bei schwerem, bindigen Bodenmaterial**

Silofermenter:

Nachdem die Materialsortierung abgeschlossen ist, werden jeweils ca. 10 m³ Boden in die Silofermenter eingefüllt. Im Silofermenter wird dieser Boden über eine vertikale Förderschnecke vermischt und homogenisiert. Die Umwälzung des gesamten Bodens dauert ca. 30 Minuten (Abb. 15.10).

Um eine ausreichende Sauerstoffversorgung zu gewährleisten, ist eine Druckluftanlage an den Silofermenter angeschlossen.

Nach einer gewissen Adaptionszeit setzt der mikrobielle Abbau der Schadstoffe ein. Das eingefüllte Bodenmaterial verbleibt bis zur vollständigen Reinigung ca. 2 - 4 Wochen in den Silofermentern. Das System eignet sich in erster Linie für sandige leichte Böden.

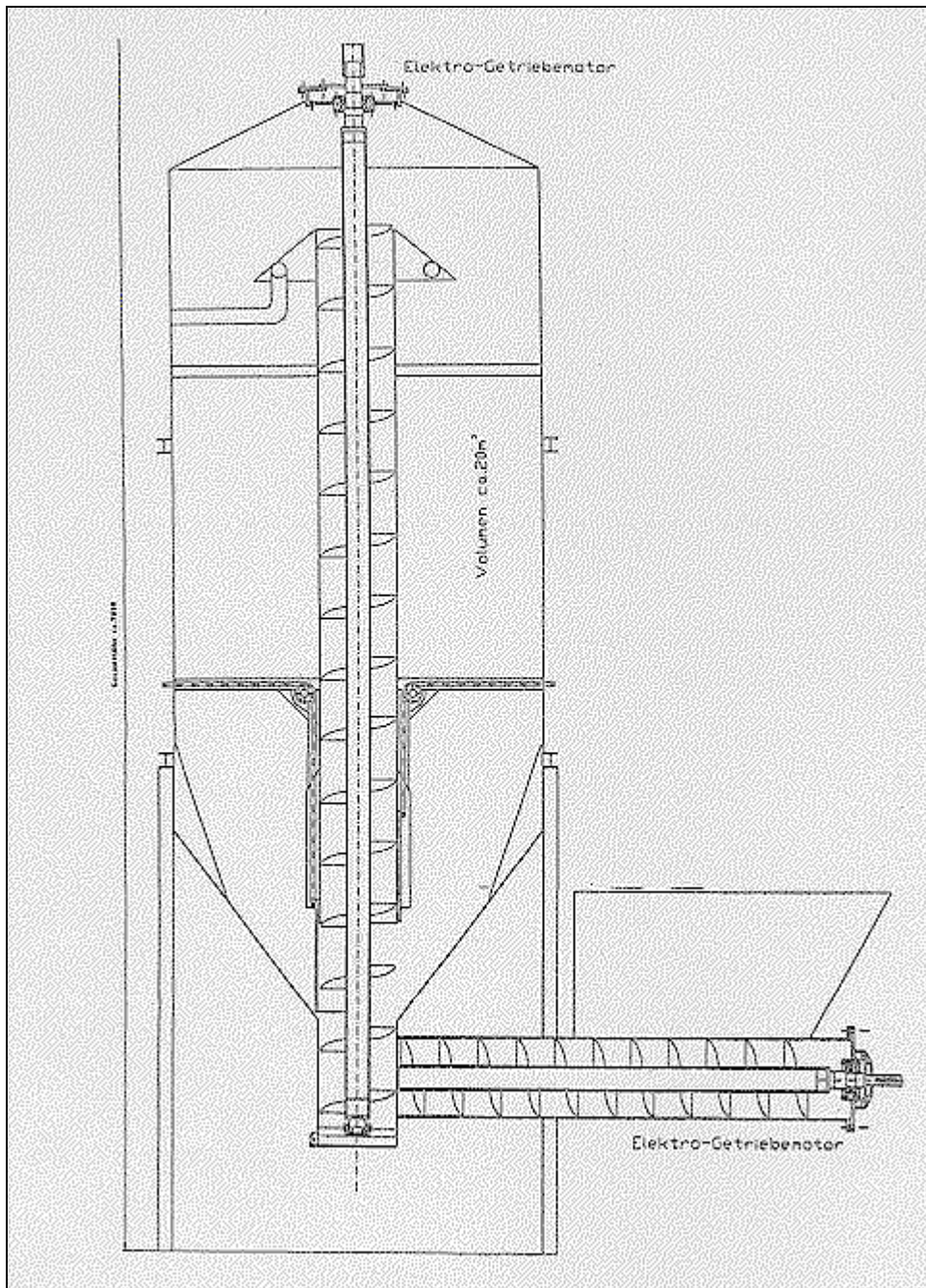


Abb. 15.10: Silofermenter

Terranox:

In das Terranox-System wird das aus der Baugrube ausgehobene und vorher sortierte Bodenmaterial eingefüllt und über einen Materialbrecher, der sich horizontal durch das Bodenmaterial durcharbeitet, homogenisiert und vermischt. Die Durchmischungsgeschwindigkeit kann je nach vorliegender Bodenart variiert werden. Vorteil des Terranox-Systems ist, daß es beliebig erweiterbar ist und daher eine große Menge an kontaminiertem Boden verarbeitet werden kann. Auch hier beträgt die Verweildauer des Bodens bis zum Abbau der Schadstoffe ca. 2 - 4 Wochen. Geeignet ist dieses System in erster Linie für schwere, bindige Böden.

Die Zerkleinerung und Homogenisierung in dieser Anlage erfolgt, um eine optimale Verteilung der bereits im Boden vorhandenen Mikroorganismen zu erreichen. Befeuchtungs- und Belüftungseinrichtungen schaffen optimale Lebensbedingungen für die Mikroorganismen. Gegebenenfalls werden die Mikroorganismen mit Nährstoffen versorgt, um die mikrobielle Aktivität zu steigern und den Kontaminantenabbau zu beschleunigen.

Nach erfolgreichem Abschluß der Behandlung kann der Boden wieder am Ursprungsort verfüllt bzw. zur Flächenrenaturierung eingesetzt werden. Der Nachweis des Schadstoffabbaus erfolgt durch entsprechende Probenentnahme und anschließende chemische Analysen.

- **Bodenluftbehandlung**

Wie zuvor erwähnt, handelt es sich bei den am Standort vorkommenden Schadstoffen zumeist um leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe bzw. Aromaten. Die Anlage wird deshalb in einem geschlossenen System betrieben, um das Ausgasen der in die Luft entweichenden Schadstoffe in die freie Umgebungsluft zu verhindern; damit ist einer Problemverlagerung von einem Umweltmedium in ein anderes wirksam vorgebeugt.

Die schadstoffbelastete Luft wird durch einen sogenannten Biofilter geleitet. Die Abluft aus den Anlagen zur Boden- und Wasserreinigung werden ebenfalls im Biofilter gereinigt. Das Biofilter besteht aus einem Edelstahlcontainer, der mit biologischem Substratfilter aus Holzmulch gefüllt wird.

Um auch hier für die Mikroorganismen optimale Lebensbedingungen zu schaffen, wird die Abluft vor Eingang in die Filter über eine Berieselungsanlage befeuchtet. Ferner wird die Abluft vor Eingang in das Filter beheizt, um mikrobiologische Aktivitäten auch während Kälteperioden zu gewährleisten.

Zur Beschleunigung der Einfahrphase, d.h. Verringerung der Anpassungszeiten der Mikroorganismen, werden u.U. angezüchtete, standorteigene Mikroorganismen zugegeben.

Beim Durchgang der Abluft durch das Biofilter werden die Schadstoffe durch die Mikroorganismen zu den genannten Endprodukten abgebaut. Am Ausgang des Biofilters wird der Abbauerfolg durch Probenentnahme kontrolliert. Als Sicherheitsstufe ist dem Biofilter eine Aktivkohleeinheit nachgeschaltet, die bei evtl. auftretenden Schadstoffgehalten in der Abluft zwischengeschaltet wird und die Kontaminanten adsorbiert.

- **Wasserbehandlung**

Die dreistufige Anlage besteht aus einer vorgeschalteten denitrifizierenden Stufe, die zur Eliminierung des Nitrats dient sowie einem Anaerobreaktor und einem Aerobreaktor, in denen die Kontaminanten abgebaut werden. Ein stufenweiser Abbau ist notwendig, da der Abbau der jeweiligen Kontaminanten nur unter anaeroben Bedingungen (z.B. Per) bzw. unter aeroben Bedingungen einfacher und schneller erreicht wird. In diesen Festbettreaktoren werden kontaminantenabbauende Mikroorganismen etabliert. Auch hier müssen für die Mikroorganismen optimale Bedingungen (Nährstoffzugabe, pH-Wert, O₂-Versorgung) hergestellt werden, um höchste Abbauleistungen zu erzielen. Zwischen die Stufen wurde jeweils ein Sandfilter geschaltet, um zu verhindern, daß sich absetzende Schwebstoffe in die nachfolgende Stufe überführt werden.

Der Anlage zur Wasserreinigung wird kontaminiertes Prozeßwasser sowie belastetes Grundwasser zugeführt. Auch dieser Anlage wurde als Sicherheitsstufe ein Aktivkohlefilter nachgeschaltet, der bei Störfällen die Schadstoffe adsorbiert.

3.2 In-situ-Verfahren

Das zweite Verfahrenskonzept sieht eine In-situ-Reinigung der Schadstoffe vor, welches den Vorteil aufweist, daß hier der Boden nicht ausgehoben werden muß (Abb. 15.11 u. 12). Bei diesem Verfahren erfolgt die Schadstoffbehandlung ebenfalls in 3 Stufen: Boden, Wasser, Luft.

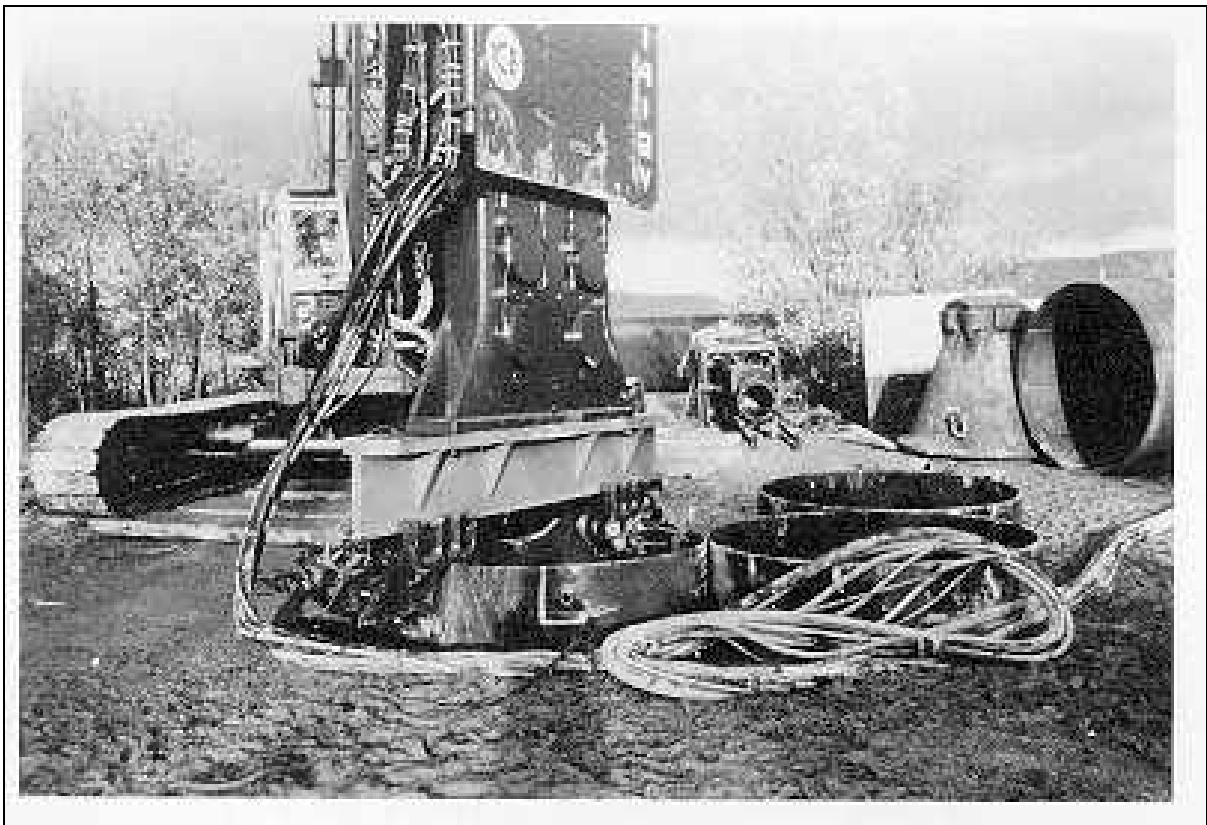


Abb. 15.11: Einbringen der 5 Bodensäulen

- **Bodenbehandlung**

Zur Durchführung des Verfahrens werden 5 Bodensäulen in den Boden eingebracht. Sie werden mit entsprechenden Zu- und Ablaufleitungen versehen, um sowohl die Probenentnahme als auch die Einstellung optimaler Bedingungen für die Mikroorganismen zu gewährleisten. Diese Bodensäulen haben jeweils einen Durchmesser von 2,4 m und eine Länge von 10 m. An der Ober- und Unterseite erfolgt eine Abdichtung, wodurch ein Stoffaustritt verhindert wird.

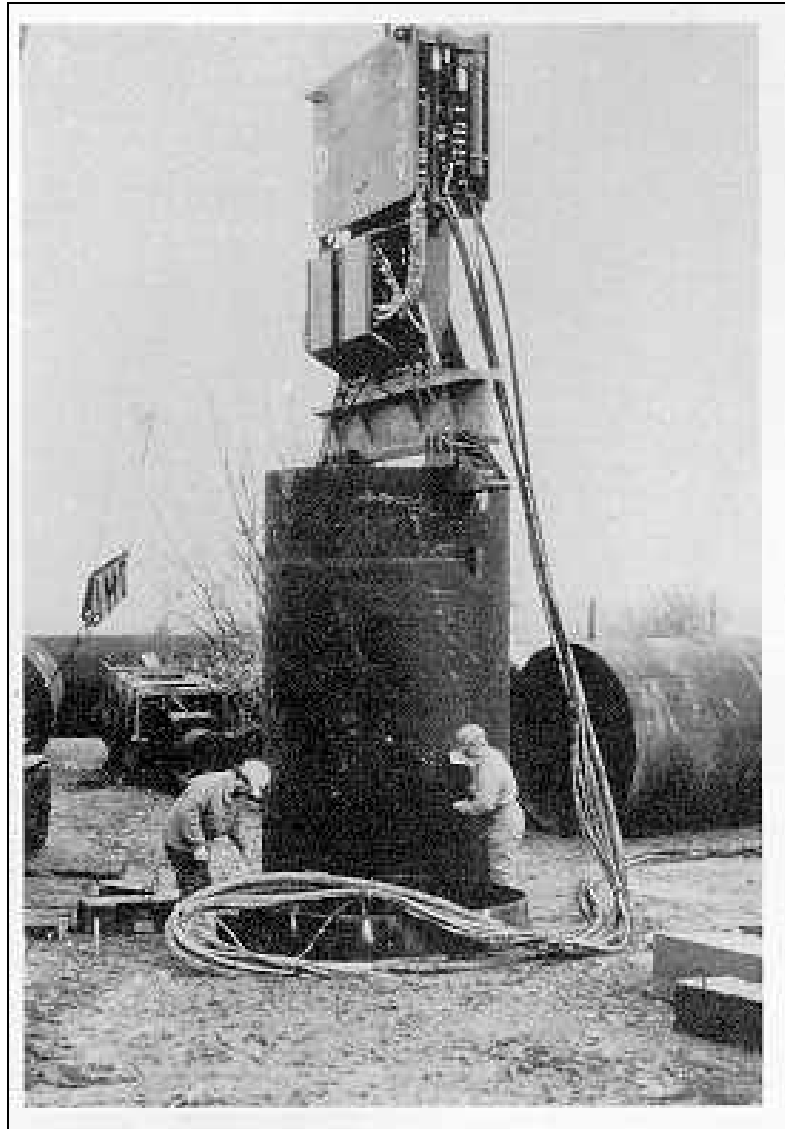


Abb. 15.12: Einbringen der 5 Bodensäulen in Eppelheim

In den einzelnen Bodensäulen werden verschiedene Verfahren erprobt:

Säule 1: Infiltrationsverfahren

Bei diesem Verfahren ist eine horizontale Durchströmung der Säulen vorgesehen. Ziel dieser Vorgehensweise ist das Auswaschen der leicht wasserlöslichen Kontaminanten mit dem Infiltrationswasser und deren Behandlung in der Wasserbehandlungsanlage. Durch die horizontale Beströmung wird verhindert, daß Kontaminanten aus hochbelasteten Bereichen in schadstofffreie Bereiche verschleppt werden.

Säule 2: Perkolationsverfahren

Beim Perkolationsverfahren wird die Säule vertikal mit nährstoffreichem Wasser durchströmt. Dieses Verfahren zielt auf einen Abbau der Schadstoffe direkt im Deponiekörper. Die Nährstoffe dienen als Energiequelle für die Mikroorganismen, die so zum Abbau der Schadstoffe aktiviert werden.

Säule 3: In-situ-Bodenwäsche

Grundlage dieses Verfahrens ist eine Hochdruckinjektion des Waschwassers. Damit wird eine weitestgehende Homogenisierung des Bodenkörpers erreicht. Das anfallende Waschwasser, das die ausgespülten Kontaminanten erhält, wird gleichfalls der Anlage zur Wasserbehandlung zugeführt. Die ausgespülten Schlämme werden in der Bodenbehandlungsanlage aufgearbeitet.

Säule 4: Kontrollsäule

Die Kontrollsäule dient der Überprüfung des Schadstoffabbaus unter natürlichen Bedingungen.

Säule 5: Ersatzsäule

Die 5. Säule dient als Ersatzsäule für den Fall, daß aus unvorhergesehenen Umständen eine Säule ausfällt.

- **Wasser- und Luftbehandlung**

Das anfallende Wasser bzw. die entstehende Abluft werden zur Wasser- und Luftbehandlungsanlage weitergeleitet und dort mit Hilfe der unter 3.1 beschriebenen Verfahren gereinigt.

3.3 Wissenschaftliche Untersuchungen zur Standort- und Verfahrensproblematik

Bei dem geplanten Vorhaben handelt es sich um ein Entwicklungsvorhaben. Es war daher davon auszugehen, daß die im Labor erzielten Ergebnissen nicht ohne weiteres in eine großtechnische Anlage umgesetzt werden können. Um eine schnellere und optimale Bewältigung der voraussichtlich auftretenden Schwierigkeiten zu ermöglichen, wurden parallel anwendungsbezogene, speziell auf die Standortbedingungen ausgerichtete wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt.

Zur Unterstützung der Entwicklungsarbeiten bei den Firmen wurden die im folgenden beschriebenen Programme durchgeführt.

Dabei handelt es sich im einzelnen um:

- begleitende Untersuchungen an der Universität Bayreuth
- ein Forschungsvorhaben am Engler-Bunte-Institut

3.3.1 Wissenschaftliche Versuchsreihen an der Universität Bayreuth (UBT)

Anhand mehrerer Bodenprofile über bis zu 15 m wurden an der Universität Bayreuth die mikrobiellen Abbauaktivitäten gegenüber den in Eppelheim vorliegenden LCKW untersucht.

Als Ergebnisse wurde festgehalten, daß in Eppelheim die vorhandenen Kontaminanten in charakteristischer Weise verteilt sind, ein hochkontaminierter Bereich zwischen 6,5-13m liegt und eine reduktive dehalogenierende Mikroflora zwischen 0-6,5m zoniert.

Behinderungen des LCKW-Abbaus setzen ein durch die vorherrschenden alkalischen pH-Werte sowie die niedrigen Wassergehalte am Standort. Des weiteren wird der Abbau behindert durch die am Standort vorliegenden Co-Kontaminanten. Starker hemmender Einfluß wurde insbesondere durch Xylole festgestellt.

Als optimales Nährsubstrat für eine reduktive Dehalogenierung der LCKW - auch unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte - wurde Saccharose ermittelt. Ferner konnte gezeigt werden, daß die Eliminierung von LCKW überwiegend - aber nicht ausschließlich - durch Methanbakterien erfolgt.

3.3.2 Forschungsvorhaben am Engler-Bunte-Institut (EBI)

Im Forschungsvorhaben am EBI werden Langzeitversuche zu den Abbaubedingungen der LCKW unter den am Standort Eppelheim vorliegenden Bedingungen durchgeführt.

Dabei wurde u.a. der Nährsubstrateinsatz und ferner die Einstellung der physikalischen Grundparameter (u.a. pH-Wert, Temperatur) für eine optimale Versorgung der abbauenden Mikroorganismen geprüft. Für diese Untersuchungen wurden Bodenproben in Eppelheim entnommen. Anhand der Bodenuntersuchung sollte der Einfluß der teilweise in hohen Konzentrationen vorliegenden Co-Kontaminanten geprüft werden.

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen an der Universität Bayreuth konnten bei Einsatz von Saccharose als Cosubstrat die beste Eliminierung erzielt werden. Des weiteren konnten erhebliche Steigerungen der Abbauraten von LCKW durch Einstellung optimaler Lebensbedingungen für die Mikroorganismen festgestellt werden.

4. Erstellung eines Schadstofftransportmodells

Am Modellstandort wird ein Strömungs- und Transportmodell erstellt, mit dem Ziel eine langfristige Beurteilung der vorliegenden Grundwasserkontamination unter Einbeziehung der Schadstofffahne sowie evtl. einzuleitender Sanierungsmaßnahmen zu ermöglichen.

Dabei sollen im einzelnen die folgenden Punkte mit Hilfe des Modells abgeschätzt werden:

- Möglichkeiten zur erneuten Auswaschung von Schadstoffen aus dem Boden bei ansteigendem Grundwasserspiegel (Abb. 15.13)
- Quantifizierung und Lokalisierung des möglichen Schadstoffeintrags
- Räumliche und zeitliche Ausdehnung einer neuen Schadstofffahne

- Ermittlung der technisch/hydraulischen Rahmenbedingungen und der Kosten sowie der Effizienz von Abwehrmaßnahmen
- Ermittlung der zeitlichen Entwicklung unter Berücksichtigung von Verdünnungseffekten bzw. mikrobiologischem Abbau
- Simulation des Verhaltens bei unterschiedlichen Pumpraten der Wasserwerke Rheinaue und Plankstadt,

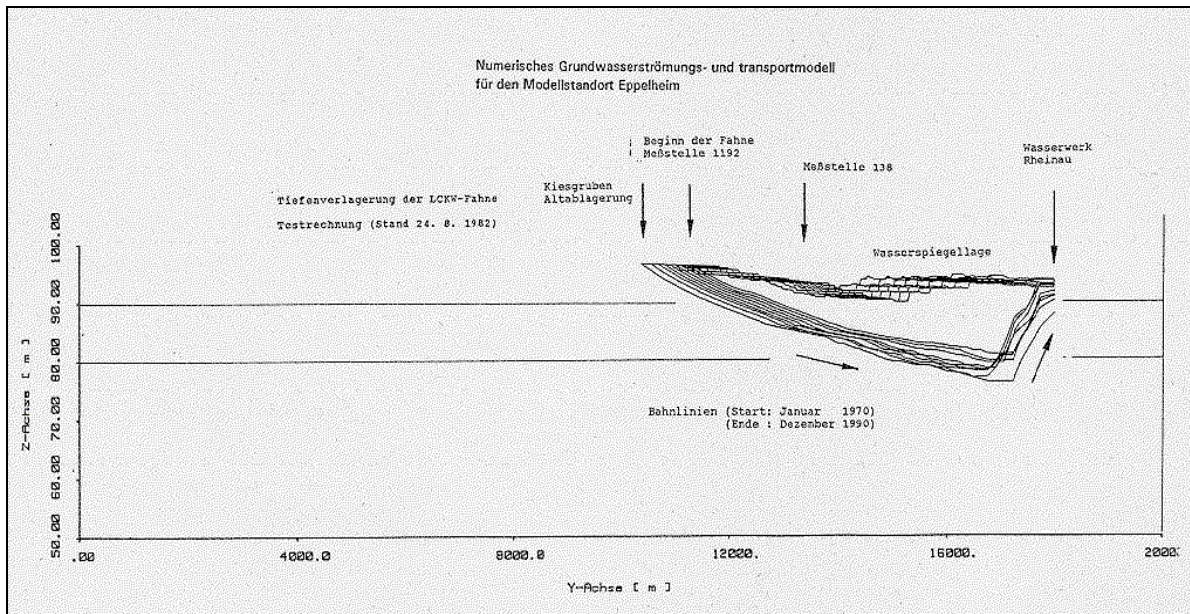


Abb. 15.13: Berechnung der Tiefenverlagerung der LCKW-Fahne

5. Bisherige Ergebnisse aus dem Modellstandortprojekt

5.1 Aktueller Projektstand

Das Modellstandortvorhaben Eppelheim, eingerichtet April/Mai 1989, hat zwischenzeitlich nach erfolgreich abgeschlossener Laborphase, zur Entwicklung einer umfassenden Anlage zur Sanierung LCKW-kontaminierter Böden, Wässer und Luft geführt. Mit Datum 26./27. Juni diesen Jahres konnte einer breiten Öffentlichkeit die zwischenzeitlich in weiten Teilen fertiggestellte Anlage für den Projektteil "On-Site-Verfahren" vorgestellt werden. Die in Betrieb genommene Wasseraufbereitung zeigt nach erfolgreich abgeschlossener Adaption deutliche Erfolge im Abbau leichtflüchtiger chlorierter Kohlenwasserstoffe. Zwischenzeitlich konnte auch die Luftaufbereitung in Betrieb genommen werden. Die Behandlung kontaminierten Bodens in der Terranoxanlage bzw. im Silofermenter steht unmittelbar bevor.

5.2 Bisherige Ergebnisse aus dem Modellstandortvorhaben Eppelheim

Aus den verschiedenen, parallel verlaufenden Programmen der Laborphasen konnten folgende wesentliche Erkenntnisse abgeleitet werden:

- Es konnte eindeutig ein anaerober Abbau von leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen auf mikrobiologischem Wege, auch bei Vorhandensein von Co-Kontaminanten (hier insbesondere Aromaten) nachgewiesen werden.
- Durch die Hinzugabe von geeigneten Co-Substraten (z.B. Saccharose, Acetat) läßt sich dieser nachgewiesene Abbau dramatisch steigern.
- Am Modellstandort Eppelheim konnte eine standorteigene, kontaminantenabbauende Mikroflora nachgewiesen werden, die als Anreicherungskulturen in den Versuchsanlagen eingesetzt werden können.
- Abbaubeschleunigende Randbedingungen wie z. B. pH-Wert, Wassergehalt oder Temperatur konnten festgelegt werden.
- Es wurde festgestellt, daß der mikrobiologische Abbau von leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen überwiegend im anaeroben Milieu stattfindet und von methanogenen als auch nicht-methanogenen Bakterien vollzogen wird.
- Es konnten die biologischen Abbauaktivitäten im Boden für die verschiedenen LCKW im Bereich 0-10 m ermittelt werden.
- Es konnte der Schwellenwert für die Hemmung des mikrobiologischen LCKW-Abbaus durch am Standort auftretende Aromaten ermittelt werden.

Aus den o. a. Erkenntnissen wurde eine Anlage für die drei Kompartimente Wasser, Boden und Luft (On-Site-Verfahren) entwickelt mit der Zielsetzung, daß alle Kontaminanten vollständig abgebaut werden, ohne daß dabei Emittenten auftreten.

Die inbetriebgenommene Wasser- und Luftaufbereitungsanlage, konstruiert analog zu den im Labormaßstab aufgebauten Versuchsanlagen, bestätigt die Übertragbarkeit der Laborergebnisse in den großtechnischen Maßstab.

5.3 Aussichten zum Modellstandortvorhaben Eppelheim

Die derzeit vorliegenden Ergebnisse des On-Site-Verfahrens lassen erkennen, daß hier erstmalig eine Anlage entwickelt werden konnte, mit der die angesprochenen Kontaminanten im Sinne der Definition "Sanierung" eliminiert werden können. Danach wird es bis Ende 1993 möglich sein, nebeneinander bis zu 10 m³ Wasser/Std., bis zu 2000 m³ Luft/Std. und bis zu 2 m³ Boden/Tag (u.a. limitiert durch die gesetzlichen Vorgaben der neuen BImSch-Verordnung, Abschnitt Modellanlagen) abzureinigen. Bezogen auf die Pilotanlage zur In-Situ-Reinigung sind ähnliche Erfolge nach den bisherigen Laborergebnissen zu erwarten. Beide Verfahrensabläufe, also sowohl das On-Site- als auch das In-Situ-Verfahren, sind derart konzipiert, daß sie unmittelbar im Anschluß an das Entwicklungsvorhaben konkrete Anwendung finden können. Erste finanzielle Überschlüsse lassen erkennen, daß ein Einsatz auch unter wirtschaftlichen Aspekten möglich ist.

5.4 Das Modellstandortvorhaben Eppelheim im internationalen Vergleich

Nach Aussagen der am Projekt beteiligten wissenschaftlichen Experten, Herr Prof. Meyer (Uni Bayreuth), Herr Dr. Werner (EBI) und der Mikrobiologin Frau Dr. Geller, ist das Projekt Modellstandort Eppelheim in dieser Form weltweit führend. Anlässlich größerer internationaler Tagungen, genannt seien UTECH - Februar 1992, Dallas/Texas - Juni 1992, London - August 1992, hat sich gezeigt, daß ein sehr großes internationales Interesse an diesem Programm besteht. Bisherige erste Vorstöße in der Anwendung derartiger Verfahren in der Praxis waren nur unbefriedigend. Die Fragestellungen im Modellstandortvorhaben Eppelheim, nämlich biologischer Abbau sowohl von LCKW- als auch von BTX-Aromaten, wird derzeit weltweit stark diskutiert und unterstreicht die Einmaligkeit dieses Projektes für das Land Baden-Württemberg. Von den Befunden dieses Projektes werden zahlreiche Impulse für die Bearbeitung entsprechender Fälle ausgehen. Nach Informationen des Ing.-Büros R.W. Ashauer und Partner wird sowohl von der Institution BMFT als auch dem UBA das Vorhaben als hochinteressantes Projekt angesehen, zumal es sich derzeit um eines der wenigen Projekte handelt, die sich mit einer wirklichen Sanierung von LCKW beschäftigt. Als Besonderheit muß darauf hingewiesen werden, daß es sich beim Modellstandortvorhaben Eppelheim um ein integriertes Konzept handelt. Bei dem anwendungsbezogenen Vorgehen werden sowohl die verschiedenen Kompartimente (Wasser/Boden/Luft) bearbeitet als auch Verfahren entwickelt, welche die am Standort vorhandenen Mischkontaminationen eliminieren.

6. Zusammenfassung

Am Modellstandort Eppelheim wird ein Entwicklungsvorhaben mit dem Titel:

"Entwicklung biologischer Verfahren zur Sanierung LCKW-kontaminierter Böden einschließlich der dabei entstehenden Abluft und Abwässer (on-site-Verfahren) sowie LCKW-kontaminierter Grundwässer und Bodenluft unter Anwendung von Biofiltern".

durchgeführt.

Mit diesem Vorhaben des Landes Baden-Württemberg besteht sowohl national als auch international erstmalig die Möglichkeit, großtechnische Anlagen zu entwickeln, die eine völlige Dekontamination von mit LCKW verunreinigtem Boden, Wasser und Luft unter Zuhilfenahme von biologischen Verfahren ermöglichen sollen.

Dieses Projekt soll ein umweltschonendes und weitgehend auf natürliche Abbauprozesse aufbauendes Sanierungsverfahren zu einer großtechnischen Anwendungsreife bringen. Im Vordergrund der Bemühungen steht das Erreichen eines möglichst hohen Reinigungsgrades in allen Kompartimenten (Boden, Wasser, Luft) unter ausschließlicher Einsatz biologischer Verfahren bei gleichzeitigem strikten Vermeiden von Problemverlagerungen von einem Umweltmedium in ein anderes.

Nach dem derzeitigen Zeitrahmen ist beabsichtigt, das Entwicklungsvorhaben etwa Ende 1993 abzuschließen.

Entwicklung biologischer Verfahren zur Sanierung CKW-kontaminierter Böden, Grundwasser und Abluft am Modellstandort Eppelheim - Mikrobiologische Grundlagen und bisherige Er- gebnisse des Entwicklungsvorhabens -

O. Meyer,

Lehrstuhl für Mikrobiologie, Universität Bayreuth

1. Einleitung

Der Standort Eppelheim repräsentiert ein Deponiegelände, dessen Historie bis in die fünfziger Jahre hineinreicht. Die Kiesgruben wurden seinerzeit mit Hausmüll, Bauschutt, gewerblichem und industriellem Müll aufgefüllt. Das Gelände liegt südwestlich von Heidelberg bzw. Eppelheim und seine Geschichte, Prospektion, Geologie, Hydrologie und Geochemie sind gut bekannt (1,2). Der Standort Eppelheim ist durch vergleichsweise geringe Kontaminationen mit leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (LCKW) und BTX-Aromaten (Benzol, Toluol und Xylolisomere) in der Größenordnung von bis zu 540 bzw. 3160 mg/kg Bodentrockengewicht charakterisiert. Die folgenden Gesichtspunkte waren maßgeblich, um Eppelheim in das Modellstandortprogramm aufzunehmen (2):

- Es handelt sich um eine Kontamination mit LCKW.
- Die Geschichte, Geologie, Hydrogeologie des Standortes sind gut untersucht und verstanden.
- Die örtliche Wasserversorgung war bedroht, da die Kontaminanten kontinuierlich in das Grundwasser sickerten.
- Da das Wasserwerk in Plankstadt außer Betrieb genommen war, bestand allerdings keine unmittelbare Gefährdung, und es stand hinreichend Zeit zur Verfügung um das Projekt im Rahmen der Modellstandortbearbeitung durchführen zu können.
- Im Deponiekörper hatte sich bereits eine endogene Bodenmikroflora entwickelt, die in der Lage war, LCKW zu transformieren. Dies war unter anderem offenbar aus dem Auftreten charakteristischer Intermediäre der reduktiven mikrobiellen Transformation der Chlorethene wie Trichlorethylen (TCE), cis-Dichlorethylen (cis-DCE) oder Vinylchlorid (VC).
- Die Situation am Standort Eppelheim kann als charakteristisch für Deponien in der Rheinebene angesehen werden.

Dementsprechend ist 1989 am Modellstandort Eppelheim mit der Entwicklung biologischer Verfahren zur Sanierung CKW-kontaminierter Böden (on-site Verfahren) unter Anwendung von Biofiltern zur Behandlung von Chlorkohlenwasserstoff belasteter Luft bzw. Wasser begonnen worden.

2. Anforderungsliste des Bioberater-Gremiums an die am Standort einzusetzenden mikrobiologischen Sanierungsverfahren

Das Bioberater-Gremium (siehe 1) hat eine Liste zusammengestellt, die die Anforderungen an die am **Modellstandort Eppelheim** einzusetzenden Verfahren beschreibt:

- LCKW sind als die charakteristischen und damit Hauptkontaminanten am Standort Eppelheim anzusehen.
- Die Sanierungsverfahren sollen aber ebenfalls auf den Abbau der Co-Kontaminanten (BTX-Aromaten) abzielen.
- Die Kontaminanten am Standort Eppelheim kommen in vergleichsweise geringer Konzentration vor und sind inselartig inhomogen verteilt.
- Die anzuwendenden Sanierungsverfahren dürfen nicht zu einem Transport der Kontaminanten in den Unterboden führen. Damit ist die Anwendung üblicher *in-situ*-Verfahren ausgeschlossen.
- Es muß sichergestellt sein, daß Kontaminanten und Co-Kontaminanten biologisch eliminiert werden.
- Der Typ von Kontaminanten (Chlorethene, DCM und BTX-Aromaten) verlangt mikrobielle Sanierungsverfahren, die anaerobe und aerobe Prozesse kombinieren.
- Die einzusetzenden Verfahren sollen eine mikrobiologische Behandlung der Kontaminanten in allen drei Kompartimenten (Boden, Wasser und Luft) in integrativer Vorgehensweise leisten.
- Die für die biologische Sanierung eingesetzten Verfahren sollen sich die lokalen Gegebenheiten weitestgehend zunutze machen.
- Die Sanierung muß so angelegt sein, daß eine Schädigung der Umwelt ausgeschlossen ist.
- Es werden die folgenden Ziele für die biologische Sanierung am Standort Eppelheim festgesetzt.
 - In *Boden und Wasser* soll die Konzentration aller Kontaminanten und Co-Kontaminanten reduziert werden.
 - Dabei soll eine Reduktion um mindestens den Faktor 10 bis 100 erreicht werden.
 - Im *Wasser* sollen die Kontaminanten-Konzentrationen auf mindestens 5 µg/l reduziert werden (Richtwert des Landes Baden-Württemberg)
 - Die für die *Luft* zu erreichenden Grenzwerte sind diejenigen, die in der Technischen Anleitung (TA) Luft festgesetzt sind.
- Am Ende des Entwicklungsvorhabens ist eine Bilanzierung vorzulegen. Diese soll Art und Konzentration der Kontaminanten zu Beginn und am Ende der Sanierung enthalten.
- Die mit der biologischen Sanierung befaßten Firmen sollen alle 6 Monate über Ergebnisse und Stand der Arbeiten in Form schriftlicher Berichte Mitteilung machen.
- Die beauftragten Firmen sollen darüber hinaus bei den Bioberater-Sitzungen mündlich Stellung nehmen.
- Die beauftragten Firmen sollen sich an Methodenvergleichen und an Ringanalysen beteiligen.

3. Ergebnisse und Konsequenzen der unterstützenden Entwicklung

3.1 Die physikalisch-chemischen und ernährungsphysiologischen Bedingungen

Die pH-Werte im Deponiekörper waren durchweg alkalisch über das gesamte Profil (Abb. 16.1). Sie lagen zwischen pH 7,3 und 8,9 mit einem Durchschnitts-pH von 8,13. Gewöhnlich sind alkalische pH-Werte ungünstig für mikrobielles Wachstum und hemmen mikrobielle Aktivitäten.

Die gravimetrischen Wassergehalte in unterschiedlichen Tiefen waren deutlich voneinander verschieden (Abb. 16.1) und die erhaltenen Werte lagen zwischen 2,6 und 29,0 %.

Vermehrung und Aktivitäten von Mikroorganismen im Boden hängen von der Temperatur ab. Dies gilt ebenfalls für fast alle physiko-chemischen Eigenschaften im Boden wie Bodenvolumen, Druck, Redoxpotential, Diffusion, Brown'sche Bewegung, Viskosität, Oberflächenspannung und Wasserstruktur. In Deponien zeigen erhöhte Temperaturen gewöhnlich mikrobielle Abbauaktivität an. Die Profile von vier Rammkernsondierungen wurden in Bezug auf die Bodentemperatur vermessen (Abb. 16.2). In allen Profilen waren die Temperaturen stets höher als in normalem Boden und lagen zwischen 10,7 und 21,4 °C. Für übliche Böden in temperierten Zonen wird ein Bereich von 2 - 15 °C Bodentemperatur angegeben (3). Die mittleren Temperaturen in den vier Profilen waren 15,8, 16,7, 14,4 und 15,4 °C (Abb. 16.2).

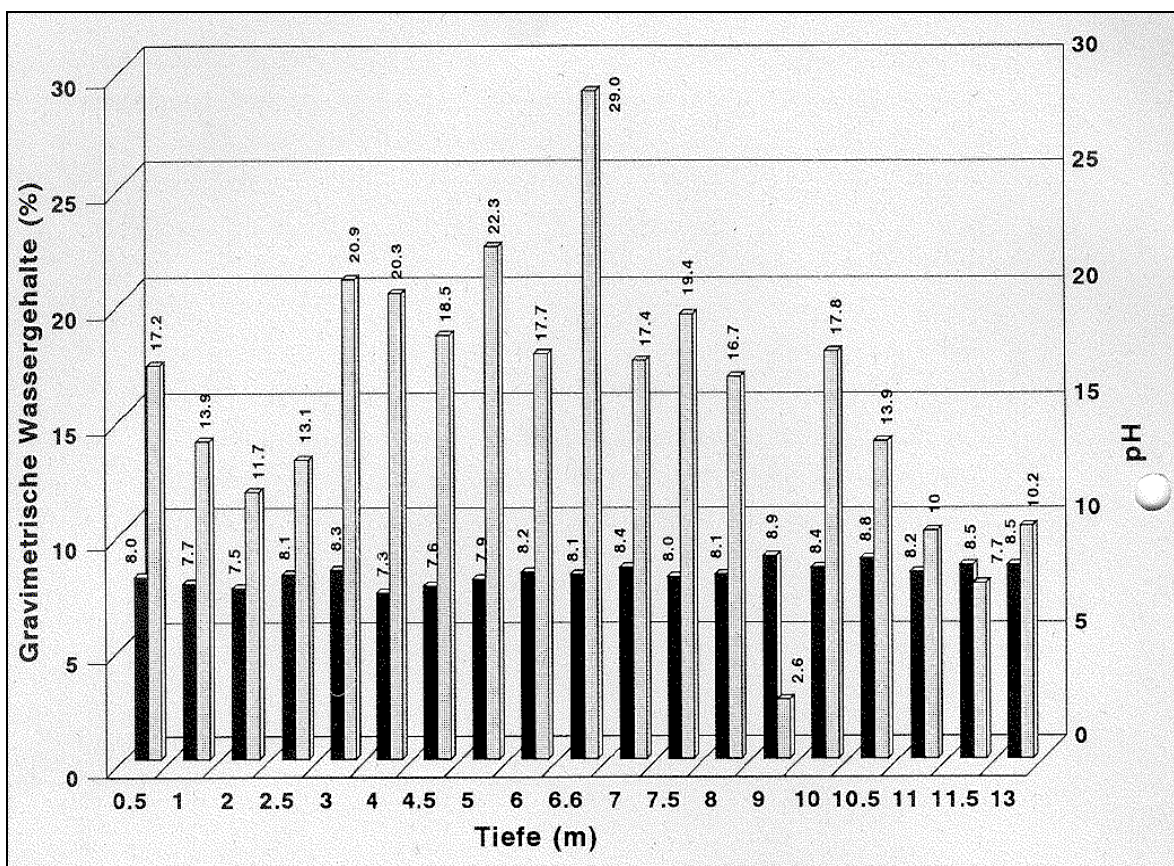


Abb. 16.1. Gravimetrische Wassergehalte und pH-Werte im Profil der Rammkernsondierung Nr. 305bM. Der pH (*schwarz*) wurde in Suspensionen von 5 g Boden (Feuchtgewicht) in 12,5 ml destilliertem Wasser mittels einer Glaselektrode bestimmt. Gravimetrische Wassergehalte (*grau*) wurden nach Trocknung und Wägung ermittelt.

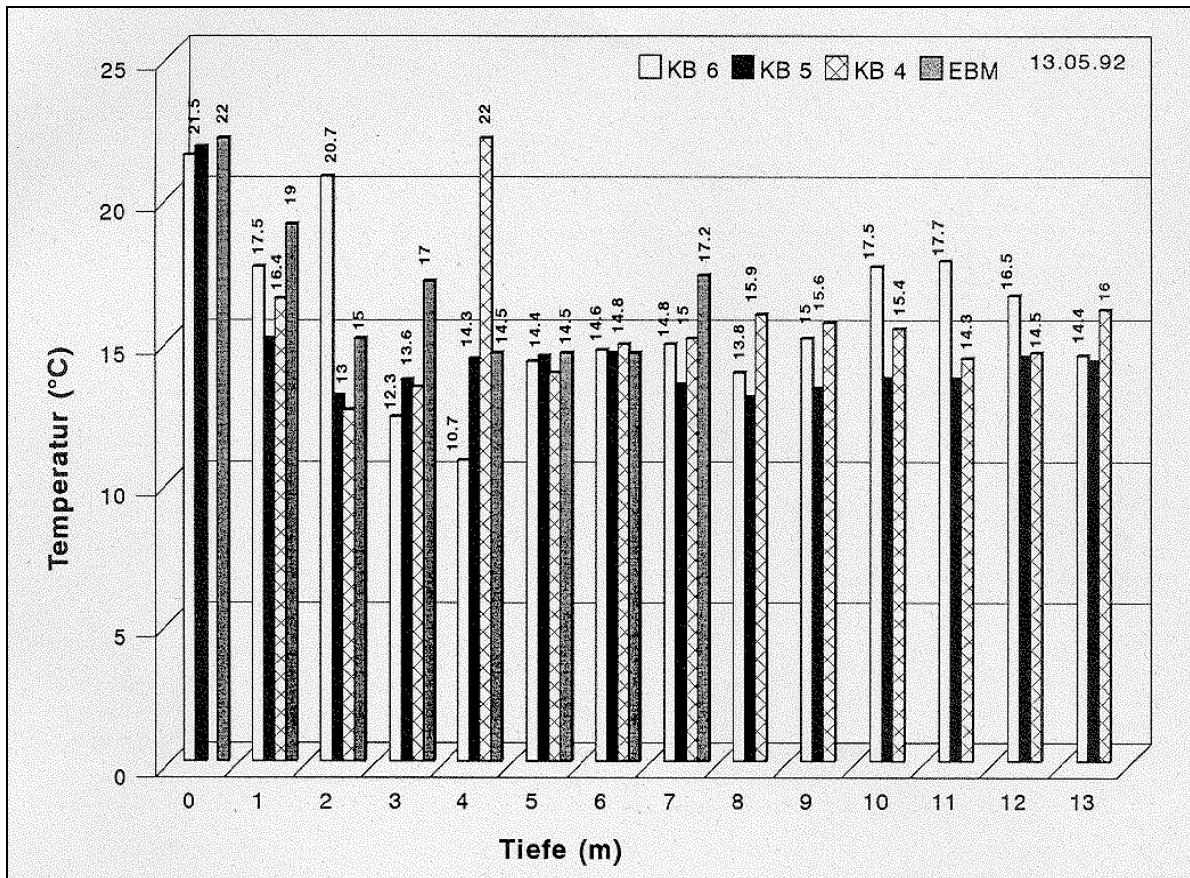


Abb. 16.2. Bodentemperaturen im Profil der Rammkernsondierungen Nr. KB6, KB5, KB4 und EBM (Säulen von links nach rechts).

3.2 Konzentrationen von Kontaminanten, Co-Kontaminanten und Methan im Deponiekörper

Kontaminanten, Co-Kontaminanten und Methan traten im Deponiekörper zoniert auf (2, 4). Xylole, PCE und seine biologischen Abbauprodukte koinzidierten und traten im unteren Teil des Deponiekörpers (6,6 - 13 m) auf (Abb. 16.3 und 4). Demgegenüber kam Methan hauptsächlich im oberen Teil des Deponiekörpers vor (Geländeoberkante bis 6 m). Es waren also zwei Zonen im Deponiekörper zu unterscheiden, eine gering kontaminierte obere Zone mit deutlichen Methangehalten und eine hochkontaminierte untere Zone mit geringen Methangehalten. Die auftretenden Intermediäre wie cis-DCE oder VC zeigen klar an, daß am Standort bereits ein gewisser PCE-Abbau eingesetzt hat. Es ist also festzustellen, daß im Deponiekörper eine Trennung von Methanogenese und Vorkommen von Kontaminanten vorliegt. Dies könnte darauf hinweisen, daß die Methanbildung und dementsprechend das Abbauverhalten im Deponiekörper von den Kontaminanten gehemmt wird. Die Kontaminantenkonzentrationen zeigen darüber hinaus, daß PCE und Xylole als Hauptkontaminanten anzusehen sind, wogegen ihre Abbauprodukte mengenmäßig nur etwa 1 - 2 % ausmachen. Methan konnte bereits

in geringen Tiefen des Deponiekörpers nachgewiesen werden. Daraus kann geschlossen werden, daß der Deponiekörper weitestgehend anoxisch ist und ein negatives Redoxpotential aufweist. Diese Bedingungen lassen eine reduktive Dechlorierung von DCM und der Chlorethene zu. Dementsprechend erschien es sinnvoll Untersuchungen zur anaeroben reduktiven Dechlorierung der Kontaminanten durchzuführen.

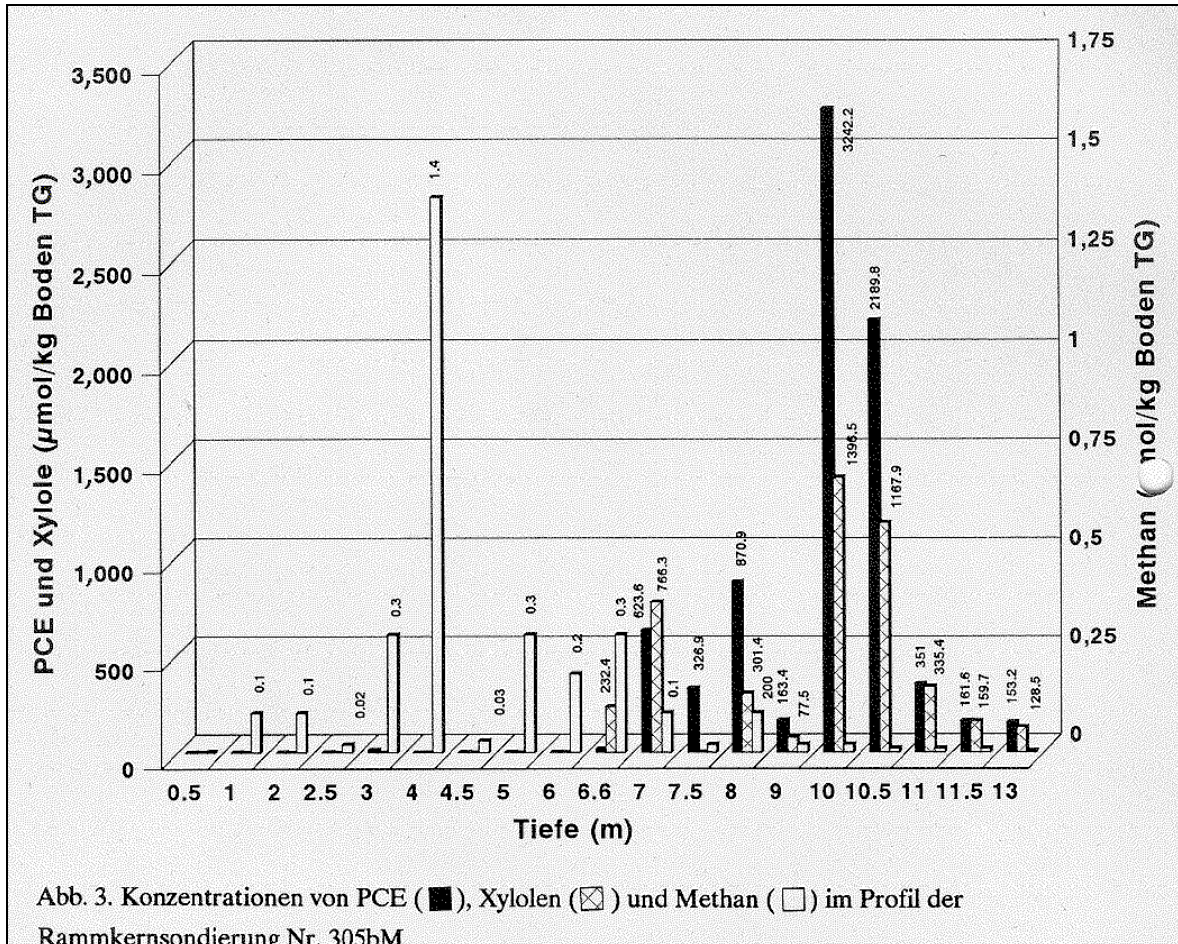


Abb. 16.3. Konzentrationen von PCE (schwarz), Xylole (gestrichelt) und Methan (weiß) im Profil der Rammkernsondierung Nr. 305bM.

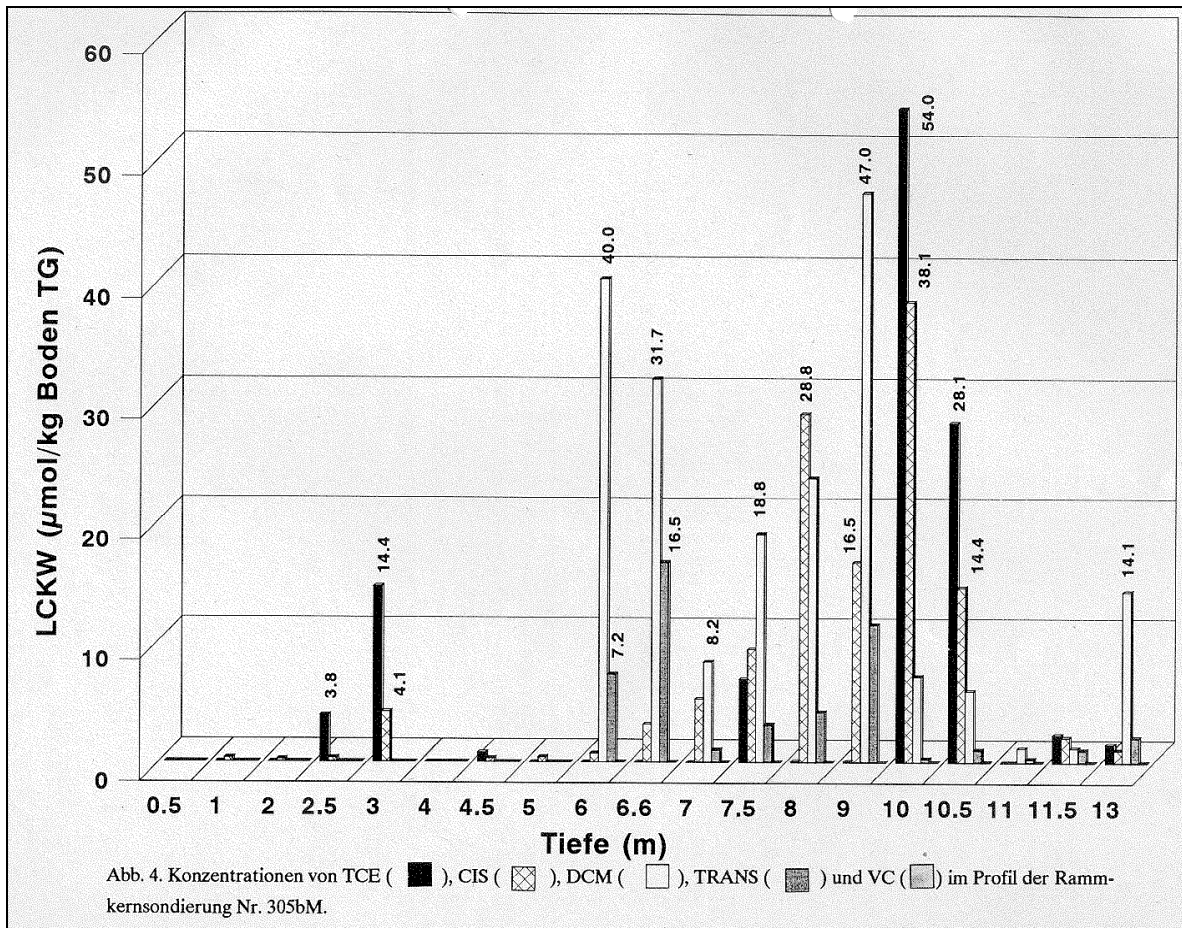


Abb. 16.4. Konzentrationen von TCE (schwarz), CIS (gestrichelt), DCM (weiß), TRANS (dunkelgrau) und VC (hellgrau) im Profil der Rammkernsondierung Nr. 305bM.

3.3 Die reduktive Dehalogenierung der Eppelheim-Kontaminanten erfordert co-metabolische Bedingungen

Der Deponiekörper beherbergt Mikroorganismen mit der Befähigung PCE und seine Abkömmlinge unter anaeroben methanogenen Bedingungen reduktiv zu dechlorieren (4). Allerdings waren die dabei erzielten Aktivitäten außerordentlich gering. In ernährungsphysiologischen Experimenten wurde deshalb geprüft, ob diese geringen Abbauaktivitäten möglicherweise durch die Verfügbarkeit von Substraten, Mineralien oder Supplinen limitiert wird (Abb. 16.5). Der Zusatz von Nährsalzen in Form von Mineralmedium (Ammonium, Magnesium, Phosphate usw.) hatte dabei nur einen geringfügigen Effekt. Mineralien stellen offenbar nicht einen den Abbau begrenzenden Faktor dar. Die typischen Substrate von Methanbakterien (Acetat, H_2/CO_2 , Methanol, Methylamin) führten zu einer Steigerung des Kontaminantenabbaus. Von diesen erwies sich Acetat als besonders geeignet. Saccharose kann von Methanbakterien nicht als Substrat verwendet werden. Deshalb war es unerwartet, daß der Zucker in den meisten Bodenschichten als das bestgeeignetste Co-Substrat für eine Stimulierung der reduktiven Dechlorierung der Chlorethene war (Abb. 16.5).

Aufgrund dieser Ergebnisse (4) wird in allen am Standort eingesetzten Verfahren (5) Saccharose (gelegentlich in Kombination mit Acetat) als universelles Co-Substrat eingesetzt. Geeignete Co-Substrat-Konzentrationen sind 0,1 % oder weniger.

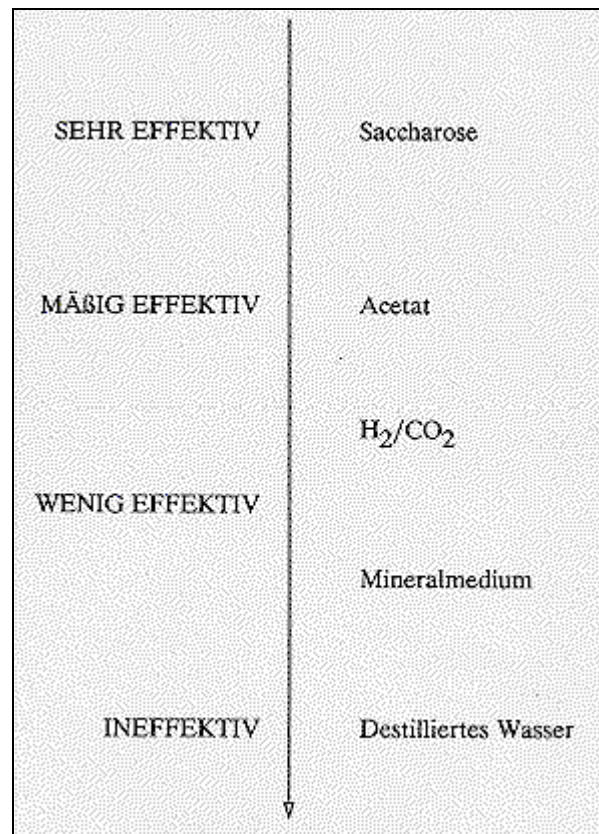


Abb. 16.5. Die Eignung von Kosubstraten und Bedingungen für die reduktive Dechlorierung von Chlorethenen im Boden am Standort Eppelheim.

3.4 Die mikrobiellen Abbau-Aktivitäten gegenüber Chlorethenen sind im gering kontaminierten Teil des Profils zoniert

Unter allen geprüften Bedingungen trat eine signifikante reduktive Dechlorierung von Chlorethenen ausschließlich im oberen gering kontaminierten Teil des Deponiekörpers auf (2, 4). Der untere hochkontaminierte Teil des Deponiekörpers zeigte keine oder nur außerordentlich geringe Abbau-Aktivitäten (Abb. 16.6). Mikrobielle Abbauaktivitäten und Kontaminanten kommen offenbar im Deponiekörper getrennt vor. Der Zusatz von Saccharose führte zu einer Steigerung der Abbau-Aktivitäten um mehrere Zehnerpotenzen. Im Bereich des Grundwassers traten geringe aber signifikante Abbau-Aktivitäten mit Acetat als Co-Substrat auf. Die maximalen Eliminierungs-Aktivitäten mit Saccharose als Co-Substrat betragen etwa 50 mg PCE pro Tag und kg Bodentrockengewicht (2, 4).

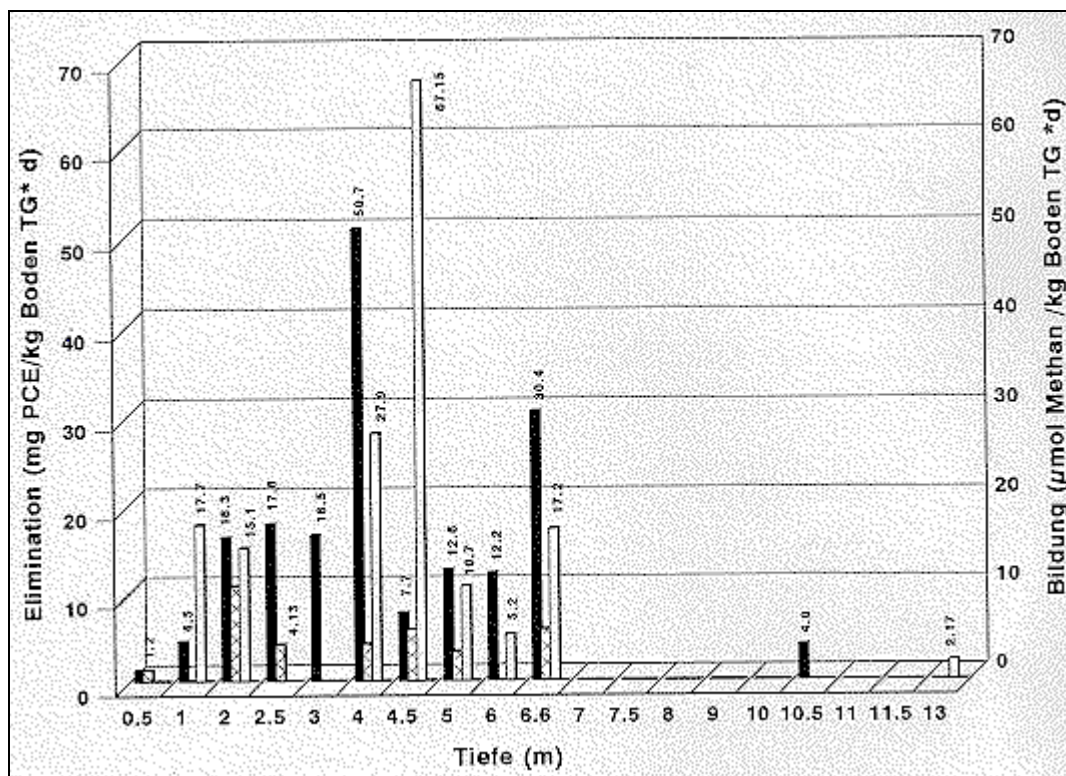


Abb. 16.6. Effekt von Bromethansulfonsäure (BES) auf die reduktive Dechlorierung von PCE und die Methanbildung im Profil der Rammkernsondierung Nr. 305bB. Die Experimente wurden in 37-ml Wheatonflaschen durchgeführt die 5-8 g Boden (Feuchtwicht) und 0.2% Saccharose in 8 ml Mineralmedium enthielten. Die Flaschen wurden verschlossen, mit N₂ durchspült, mit 2 mg L-Cystein in 1 ml Wasser und 0,6 l (1 mg) PCE versetzt. Dann wurde bei 20°C ohne zu schütteln inkubiert. Einigen Ansätzen wurde nach 1-tägiger Inkubation 10 mM BES hinzugefügt. Symbole: Eliminierung von PCE in Gegenwart (*gestrichelt*) und Abwesenheit (*schwarz*) von BES; Methanbildung in Gegenwart (*grau*) und Abwesenheit (*weiß*) von BES.

3.5 An der reduktiven Dehalogenierung von Chlorethenen in Eppelheim-Boden sind mindestens zwei verschiedene anaerobe Bakteriengruppen beteiligt

Mercaptoethansulfonsäure (Coenzym M) ist ein essentielles Coenzym in der Methyl-Coenzym M-Methylreduktase-Reaktion die zur Bildung von Methan in methanogenen Bakterien führt. Bromethansulfonsäure (BES) ist ein Strukturanaloges von Coenzym M und kann deshalb als Inhibitor methanogener Bakterien verwendet werden (Abb. 16.6). Daß BES tatsächlich wie behauptet hemmt (Positiv-Kontrolle) ist daraus ersichtlich, daß in Gegenwart von BES über das gesamte Profil keinerlei Methanbildung mehr auftrat (Abb. 16.6). Dagegen war die reduktive Dechlorierung von PCE nur teilweise empfindlich gegenüber BES (Abb. 16.6). Die Ergebnisse zeigen insgesamt, daß etwa 56 - 80 % der PCE eliminierenden Aktivität Methanbakterien zugeschrieben werden kann. Etwa 20 - 44 % des Abbaus werden aber von nicht-methanogenen Bakterien geleistet. Für die anderen Chlorethene wurden vergleichbare Ergebnisse erhalten (4).

3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse der unterstützenden Entwicklung

- Das Vorkommen von Chlorkohlenwasserstoffen und BTX-Aromaten koinzidierte.
- Kontaminanten und Co-Kontaminanten traten vorzugsweise zoniert in der Tiefe des Deponiekörpers auf (6,5 bis 13 m).
- Der Deponiekörper wies eine obere wenig oder gar nicht kontaminierte Zone auf (Geländeoberkante bis 6,5 m).
- Das Vorkommen von Methan ab ca. 0,5 bis 1 m Tiefe wies auf das Vorherrschen anoxischer Bedingungen und ein negatives Redoxpotential hin.
- Das Auftreten von Intermediären einer reduktiven Dechlorierung von PCE zeigte einen natürlich vorkommenden Kontaminanten-Abbau an.
- Durch entsprechende Aktivitätsmessungen konnte direkt nachgewiesen werden, daß der Deponiekörper eine Mikroflora enthält, die zur reduktiven Dechlorierung von Chlorethenen befähigt ist.
- Die spezifischen Dechlorierungs-Aktivitäten lagen in der Größenordnung von 51 mg PCE eliminiert pro Tag und kg Bodentrockengewicht.
- Die mikrobiellen Abbau-Aktivitäten bezüglich von Chlorethenen und das Vorkommen von Kontaminanten im Bodenprofil koinzidierten und waren zoniert. Sie waren hoch in den oberen gering kontaminierten Bodenschichten und nur gering in den unteren hochkontaminierten Bodenschichten.
- Die reduktive Dechlorierung von Chlorethenen und die Methanbildung koinzidierten.
- Experimente mit Bromethansulfonsäure ergaben, daß 56 - 80 % der reduktiven Dehalogenierung von Chlorkohlenwasserstoffen von Methanbakterien und 20 - 44 % von nicht-methanogenen Bakterien bewerkstelligt wurden.
- Die reduktive Dechlorierung von Chlorethenen hing strikt von der Verfügbarkeit von Co-Substraten ab.
- Saccharose war mit Abstand das beste Co-Substrat wohingegen typische methanogene Substrate weniger effektiv waren.
- Die reduktive Dechlorierung von PCE in Eppelheim-Boden zeigte einen linearen Anstieg mit der Temperatur im Temperaturbereich von 15 bis 36 °C. Ansteigende Temperaturen führten darüber hinaus zu einem schnelleren Einsetzen der Dechlorierungs-Reaktion. Der Abbau von Chlorethen kam zum Erliegen bei Temperaturen unterhalb von 10 °C.
- Die reduktive Dechlorierung von Chlorethenen war recht empfindlich gegenüber sauren pH-Werten (pH 6). Die Reaktion war weniger empfindlich gegenüber alkalischen pH-Werten (pH 9 - 10).

4. Konzept und Aufbau der am Standort etablierten on-site Anlagen (Umweltschutz Nord) zur integrierten Behandlung von Boden, Wasser und Luft

Die von Umweltschutz Nord am Standort etablierte Anlage (5) sieht eine integrierte und gleichzeitige biologische Behandlung von Boden, Wasser und Luft vor (Abb. 16.7). Die Anlage ist komplett in zwei Zeltaufbauten untergebracht. Die Gesamtanlage besteht aus drei verschiedenen funktionellen Teilen, nämlich der biologischen Behandlung von Boden, Wasser und Luft. Die für die Behandlung von Wasser und Luft vorgesehenen Anlagenteile sind auslaufsicher auf einer Betonwanne installiert. Die Kapazitäten der drei funktionellen Einheiten sind aufeinander abgestimmt.

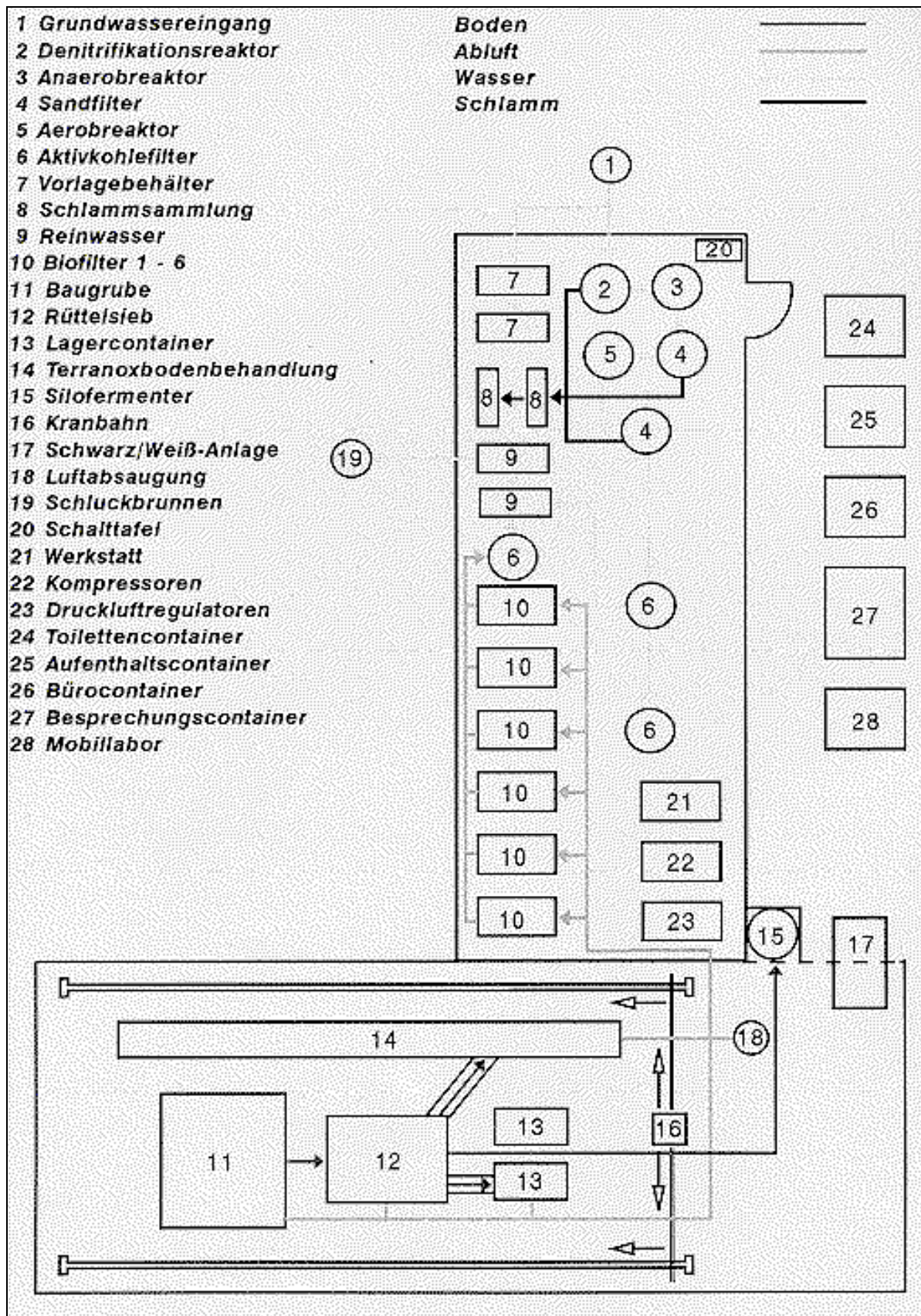


Abb. 16.7: Schema des On-site Verfahrens.

4.1 Biologische Behandlung von Boden

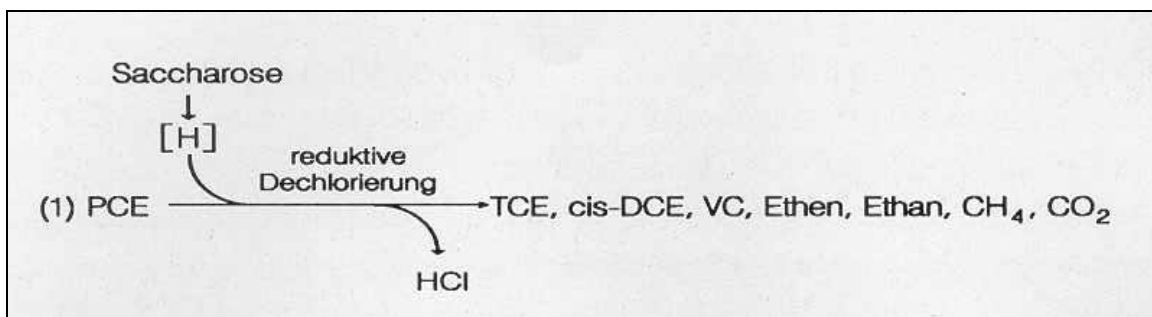
4.1.1 Aufbau der Bodenbehandlungsanlage

Die für die Bodenbehandlung eingesetzten Anlagenteile (5) sind eine verspundete Baugrube (6 x 6 m), beweglicher Kran mit Greifer, Förderband, Rüttelsieb und Terranox-Anlage (Kapazität 1 cbm pro lfd. Meter, aktuelle Länge 40 m). Außerdem besteht die Möglichkeit den Boden in einen Silofermenter zu verbringen oder zur Zwischenlagerung in Wannen. Die gesamte Bodenbehandlungsanlage ist in einem mit speziellen Wandungen ausgerüstetem Zelt untergebracht. Die Zeltwandung ist doppelt ausgelegt, nach außen ein Wetterschutz und nach innen eine aluminiumkaschierte CKW-dichte Bahn. An allen potentiell emitierenden Orten wird die kontaminierte Luft lokal abgesaugt. Darüber hinaus steht die gesamte Einhausung permanent unter Unterdruck und konstanter Absaugung. Der Boden ist mit Planen gegen Absaugung geschützt. Die abgesaugte Luft wird mit einer Leistung von 3000 cbm/Stunde den Biofiltern zugeführt. Dies entspricht etwa einem Volumenwechsel des gesamten Zeltes pro Stunde. Mit Hilfe des beweglichen Greifers wird der kontaminierte Boden der Baugrube entnommen, auf dem Rüttelsieb von groben Bestandteilen befreit und in die Terranox-Anlage verbracht. Nach Zusatz einer Lösung von je 0.1 % Saccharose und Acetat in Mineralmedium (80 l/t Boden) wird der Boden zunächst anoxischen und dann oxischen Bedingungen unterworfen. Der gereinigte Boden wird zwischengelagert und schließlich zum Verfüllen der Baugrube verwendet.

4.1.2 Die der Bodenbehandlung zugrunde liegende Mikrobiologie

4.1.2.1 Reduktive Dechlorierung von PCE und anderen Chlorethenen

Im Zuge der einleitenden anoxischen Bodenbehandlung soll eine reduktive Dechlorierung von PCE und anderen Chlorethenen gemäß Reaktion 1 erreicht werden.



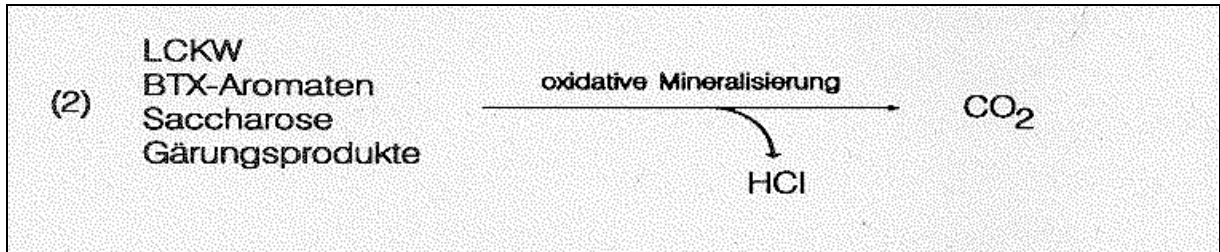
Die als Co-Substrat eingesetzte Saccharose erfüllt die folgenden Funktionen

- Bereitstellung von Reduktionsäquivalenten für die reduktive Dechlorierung von Chlorethenen
- Erniedrigung des Sauerstoffpartialdruckes
- Erniedrigung des Redoxpotentials
- Vermehrung der dechlorierenden und mineralisierenden Mikroflora

Bislang ist nur die anaerobe Dechlorierung von PCE bekannt. Auch aus diesem Grund ist der vorgesehene anaerob/aerob Wechsel notwendig.

4.1.2.2 Oxidative Mineralisierung von Kontaminanten, Intermediären, Co-Substrat und Co-Substrat-Derivaten

Die im Verlauf der anaeroben Bodenbehandlung gebildeten Kontaminanten, Intermediäre, verbleibendes Co-Substrat und Gärungsendprodukte werden unter oxidischen Bedingungen oxidativ zu CO_2 und HCl mineralisiert. Unter diesen Bedingungen werden insbesondere auch die BTX-Aromaten abgebaut (Reaktion 2)



Das Terranox-System ist mit einer mechanischen Bodenbearbeitung ausgestattet mit der Kontaminanten, Substrate und Co-Substrate homogen im Boden verteilt werden können und eine Desorption der Kontaminanten erreicht wird. Insgesamt soll die Kombination einer anoxischen und oxidischen Bodenbehandlung zur vollständigen Dechlorierung aller LCKW führen und eine Mineralisierung der organischen Fracht zu CO_2 - und in geringerem Umfang Methan - erreichen.

Es ist bekannt, daß LCKW durch mechanische Bodenbehandlung desorbieren und in die Umgebung exhalieren. Tatsächlich hat Umweltschutz Nord in Simulationsversuchen eine Exhalation von in der Größenordnung 80 % aller vorhandenen LCKW durch mechanische Behandlung zeigen können. Es ist dementsprechend davon auszugehen, daß beim Aushub des Bodens, auf dem Rüttelsieb und bei der Durchmischung in der Terranox-Anlage ein erheblicher Prozentsatz der LCKW exhaliert. Deshalb sind alle genannten Einrichtungen mit entsprechenden Absaugungen ausgerüstet.

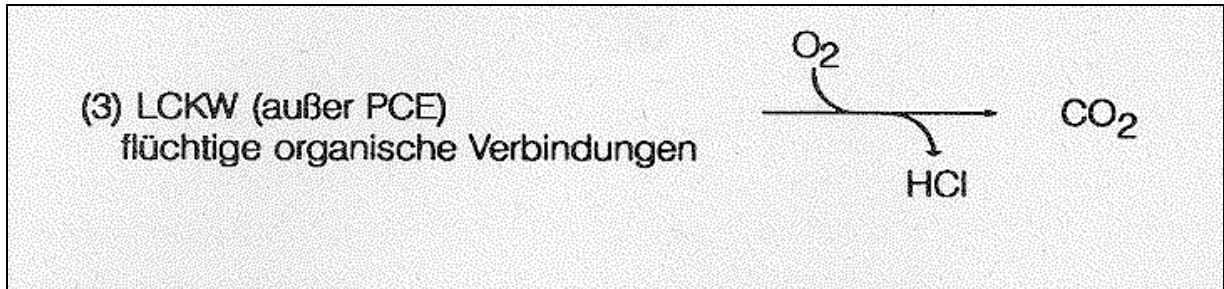
4.2 Biofiltration von Bodenluft und Abluft

4.2.1 Aufbau der Biofilter

Die Eppelheim-Anlage besteht aus sechs Aeroferm-Biofilter-Einheiten (5), die auf Container-Basis aufgebaut sind. Die Gesamtkapazität der gesamten Biofiltration beträgt 4500 cbm Luft/Stunde. In den Biofiltern soll kontaminierte Bodenluft und die aus Grund- und Prozeßwasser (Wasserbehandlung) austretende kontaminierte Luft behandelt werden. Die Luft gelangt über einen Befeuchter, der einen geschlossenen Wasserkreislauf enthält, in das eigentliche Biofilter. Das Filterbett besteht aus Laubbaum-Rindenhumus und ist pH-gepuffert. Die Kontaminanten-Konzentrationen der aus der Biofiltration austretenden Abluft wird laufend gemessen und, gegebenenfalls über einen nachgeschalteten Aktivkohlefilter, in die Umgebung entlassen.

4.2.2 Die den Biofiltern zugrunde liegende Mikrobiologie

In den Aeroform-Biofiltern soll eine aerobe oxidative Dechlorierung der Chlorethene (mit Ausnahme von PCE) und DCM erreicht werden. Alle flüchtigen organischen Verbindungen sollen zu CO_2 oxidiert werden (Reaktion 3).



Während der Adaptationsphase sollen Mikroorganismen mit Abbau-Aktivitäten gemäß Reaktion 3 auf dem Filterbett aufwachsen. Die Deckung des Nährstoffbedarfs soll aus den Inhaltsstoffen des Laubbaum-Rindenhumus erfolgen. Darüberhinaus werden Mineralien zugesetzt.

4.2.3 Aktueller Betriebszustand der Biofiltrationsanlage

Entsprechend den in der Laborphase gewonnenen Erfahrungen wurden die Biofilter am Standort mikrobiologisch adaptiert indem sie mit einem artifiziiellen Kontaminantengemisch aus PCE, TCE und DCM in Luft beströmt wurden. In regelmäßigen Abständen wurde geprüft, ob sich Abbauleistung gegenüber den genannten Kontaminanten bereits etabliert hatte. Nach etwa 5-wöchiger Adaptation zeigten die Biofilter eliminierende Aktivität gegenüber PCE, TCE und DCM (Abb. 16.8). Aus einem 6 - 12 ppm enthaltenden LCKW-Gemisch wurden PCE, TCE und DCM innerhalb von einer Stunde vollständig eliminiert. Das Ergebnis war insofern positiv überraschend, als nach gegenwärtigem Kenntnisstand PCE eigentlich nur unter anaeroben Bedingungen dechloriert wird. Daher wurde vermutet, daß die Biofilter neben aeroben auch anaerobe Zonen aufweisen.

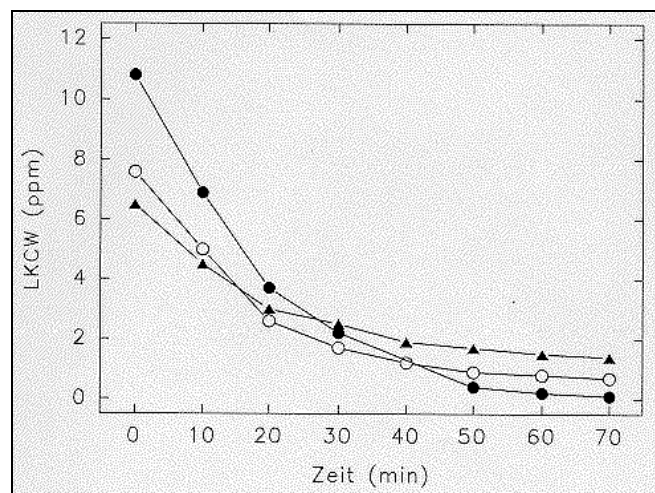


Abb. 16.8. Luftbehandlung im Aeroform-Biofilter. Nach 5-wöchiger mikrobiologischer Adaptation wurden die Filtereinheiten Nr. 5 und 6 mit einem Puls bestehend aus PCE (Dreieck), TCE (weißer Kreis) und DCM (schwarzer Kreis) versetzt.

4.3 Biologische Wasserbehandlung

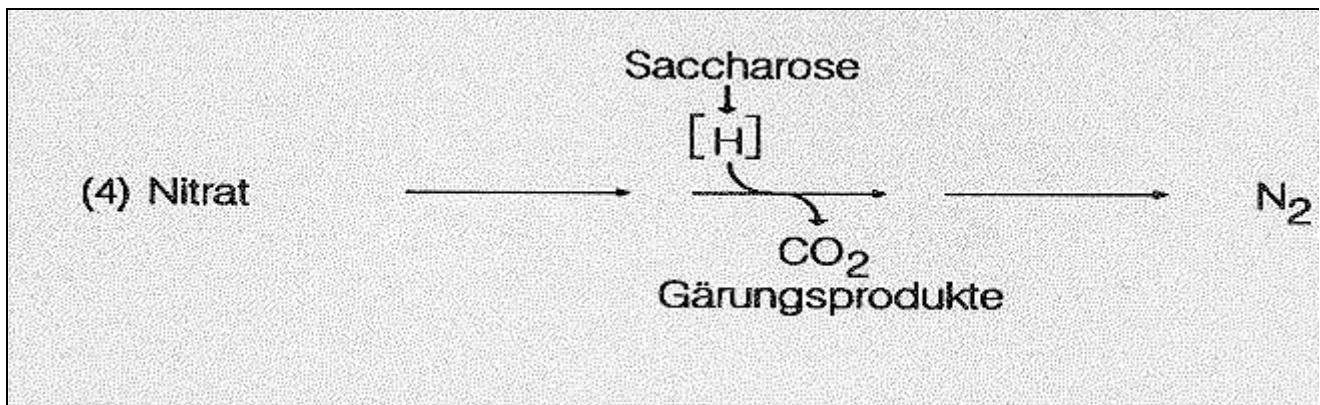
4.3.1 Aufbau der Anlage

Die Wasseranlage (5) dient zur Behandlung von Grundwasser und Prozeßwasser aus den Be-
feuchtern der Biofilter. Die Anlage besteht aus drei biologischen Stufen, Sandfiltern, Aktiv-
kohlefiltern und Reinwasser-Containern. Das Grundwasser gelangt über einen Einlaß in zwei
Lagerbehälter oder direkt in den denitrifizierenden Bioreaktor (Gesamtvolumen 14 cbm, freies
Volumen ca. 11 - 12 cbm, Rest 2 mm Quarzsand). Das aus der denitrifizierenden Stufe aus-
tretende Wasser gelangt über einen anaeroben methanogenen Bioreaktor (ca. 10 cbm) und
einen Sandfilter (11 - 12 cbm) in einen aeroben methanotrophen Bioreaktor (ca. 10 cbm) und
von dort über einen Aktivkohlefilter in Reinwasser-Auffangbehälter oder direkt in den
Schluckbrunnen. Jede biologische Stufe wurde zunächst im Kreislauf mikrobiologisch adap-
tiert. Inzwischen wird die gesamte Anlage im Durchflußbetrieb betrieben. Der Wasserdurch-
satz beträgt im Augenblick 1 cbm pro Stunde und es werden 5 cbm angestrebt, später 6 bis 10
cbm pro Stunde. Die Anlage hat sich ebenfalls als zur Behandlung mit kontaminiertem
Fremdwasser geeignet herausgestellt. Der Anaerobreaktor enthält 8 - 10 mm Quarzsand. Die
gesamte Anlage ist mit Probennehmern vor und hinter jedem relevanten Anlagenteil ausgerü-
stet. Redoxpotential und Temperatur können kontinuierlich gemessen werden.

4.3.2 Die der biologischen Wasserbehandlung zugrunde liegende Mikro- biologie

4.3.2.1 Die denitrifizierende Stufe

Das Eppelheimer Grundwasser enthält ca. 50 mg Nitrat/l. Dies muß entfernt werden, da es mit
dem reduktiven LCKW-Abbau und der Methanogenese im Anaerob-Reaktor interferieren
würde. Die Aufgabe des denitrifizierenden Bioreaktors besteht darin, unter anaeroben Bedin-
gungen Nitrat zu N_2 zu veratmen. Die zugesetzte Saccharose dient als Elektronendonator für die
Denitrifikation. Sie wird teils zu CO_2 oxidiert, teils von der anaeroben Begleitmikroflora zu
einer Vielzahl unterschiedlicher Gärungsendprodukte umgesetzt und verläßt zum Teil den
Reaktor in unveränderter Form (Reaktion 4).



4.3.2.2 Reduktive Dechlorierung der Chlorethene und Methanogenese

Im Anaerobreaktor soll die reduktive Dechlorierung von PCE und der anderen Chlorethene (gemäß Reaktion 1) erfolgen. Ein Teil der Kontaminanten und der aus der Glucose-Vergärung entstandenen Produkte wird weiter zu Methan und CO₂ vergoren (mineralisiert).

4.3.2.3 Aerobe Dechlorierung der LCKW und Mineralisierung organischer Substanz

Die Aufgabe der aeroben Stufe besteht in der oxidativen Dechlorierung von DCM zu Formaldehyd und der epoxidativen Dechlorierung der Chlorethene zu den korrespondierenden Carbonsäuren. Der Bioreaktor wird mit dem im methanogenen Reaktor entstehenden Biogas und zusätzlich eingespeistem Methan (1 - 2 %) unter methanotrophen Bedingungen betrieben. Die Dechlorierung der CKW soll dabei von der in methanotrophen Bakterien enthaltenen Methanmonooxygenase vollzogen werden. Wegen der Konkurrenz von Methan und Kontaminanten um das aktive Zentrum von Methanmonooxygenase wird die Anlage nur nachts mit Methan betrieben. Der aus DCM entstehende Formaldehyd wird mit Hilfe der in methanotrophen Bakterien enthaltenen Formaldehydehydrogenase zu Ameisensäure oxidiert, die durch Formiatdehydrogenase schließlich zu CO₂ mineralisiert wird. Die aus Chlorethenen entstehenden Carbonsäuren sind gute Substrate für die mineralisierende aerobe Begleitflora, wobei CO₂ entsteht. Der aerobe Reaktor dient ebenfalls der Mineralisierung womöglich gebliebener Reste von Saccharose, Gärungsendprodukten aus den anaeroben Stufen oder sonstiger organischer Fracht.

4.3.3 Aktueller Betriebszustand

Die drei biologischen Stufen in der Wasserbehandlung sind zunächst mikrobiologisch adaptiert worden (5). Dazu wurden mit Kontaminanten dotierte Medien über jeden Anlagenteil separat im Kreis geführt und relevante Parameter verfolgt.

4.3.3.1 Mikrobiologische Adaptation der denitrifizierenden Stufe

Die Verhältnisse in der denitrifizierenden Stufe während der Adaptation sind in den Abbildungen 9 und 10 gezeigt. Das Redoxpotential sank innerhalb von 10 Wochen von positiven Werten auf etwa - 150 mV ab (Abb. 16.9). Gleichzeitig etablierte sich denitrifizierende Aktivität, wie die vollständige Eliminierung des vorhandenen Nitrats zeigt (Abb. 16.9). Die denitrifizierende Stufe war ursprünglich ausschließlich zur Entfernung des Nitrats aus dem Grundwasser eingerichtet worden (2, 5). Erfreulicherweise hatte sich aber in dieser Stufe auch Abbau-Aktivität etabliert (Abb. 16.10). Insbesondere DCM wurde ausgezeichnet eliminiert. Dies galt in geringerem Umfang auch für PCE und TCE. Die Diskontinuität des Redoxpotentials ab der 32. Kalenderwoche (August 1992) ist auf die Umstellung des Reaktors auf kurzfristigen Durchflußbetrieb zurückzuführen.

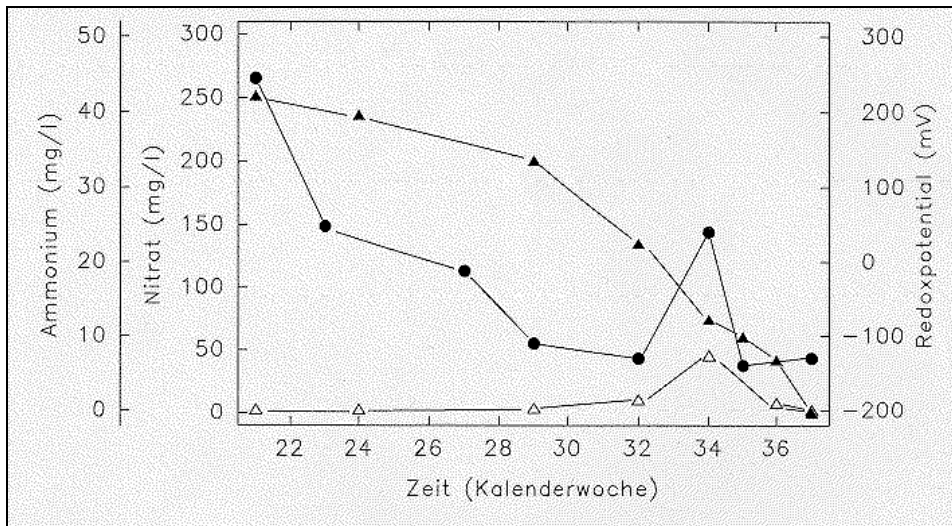


Abb. 16.9. Wasserbehandlung in Denitrifikationsreaktor. Entwicklung der physikochemischen Parameter während der mikrobiologischen Adaptation. Symbole: Dreieck, weiß, Ammoniumkonzentration; Dreieck, schwarz, Nitrat; Kreis, schwarz, Redoxpotential. In Kalenderwoche 21 wurde Nitrat hinzugegeben. In Kalenderwoche 32 wurde der Reaktor kurzzeitig im Durchfluß betrieben.

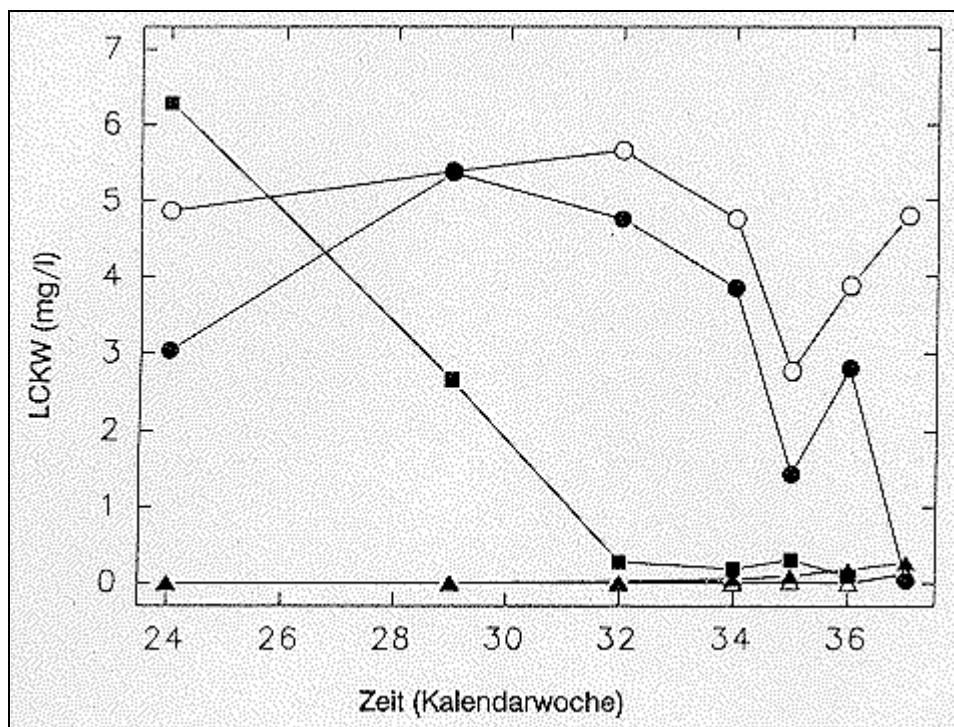


Abb. 16.10. Wasserbehandlung im Denitrifikationsreaktor. Eliminierung von LCKW im Verlauf der mikrobiologischen Adaptation. In Kalenderwoche 24 wurden PCE, TCE und DCE hinzugegeben. Symbole: Kreis, schwarz, PCE; Kreis, weiß, TCE; Dreieck, schwarz, DCE; Dreieck, weiß, VC; Quadrat, schwarz, DCM.

4.3.3.2 Mikrobiologische Adaptation der anaeroben methanogenen Stufe

Im Anaerob-Reaktor sank das Redoxpotential sehr rasch von ca. 300 auf -300 mV ab, wobei sich methanogene Bedingungen etablierten (Abb. 16.11). In der 24. Kalenderwoche (Juni

1992) wurde dem Anaerob-Reaktor ein Gemisch aus PCE, TCE und DCE (je ca. 5,5 - 9 mg/l) zugegeben. Alle drei CKW wurden rasch und offensichtlich vollständig eliminiert (Abb. 16.11). Dabei traten die für die reduktive Dechlorierung typischen Intermediäre cis-DCE und VC in der geforderten Reihenfolge auf. Daraus kann geschlossen werden, daß die Anlage entsprechend Reaktion 1 eine reduktive Dechlorierung der Chlorethene und einen Abbau von DCM bewerkstelligt.

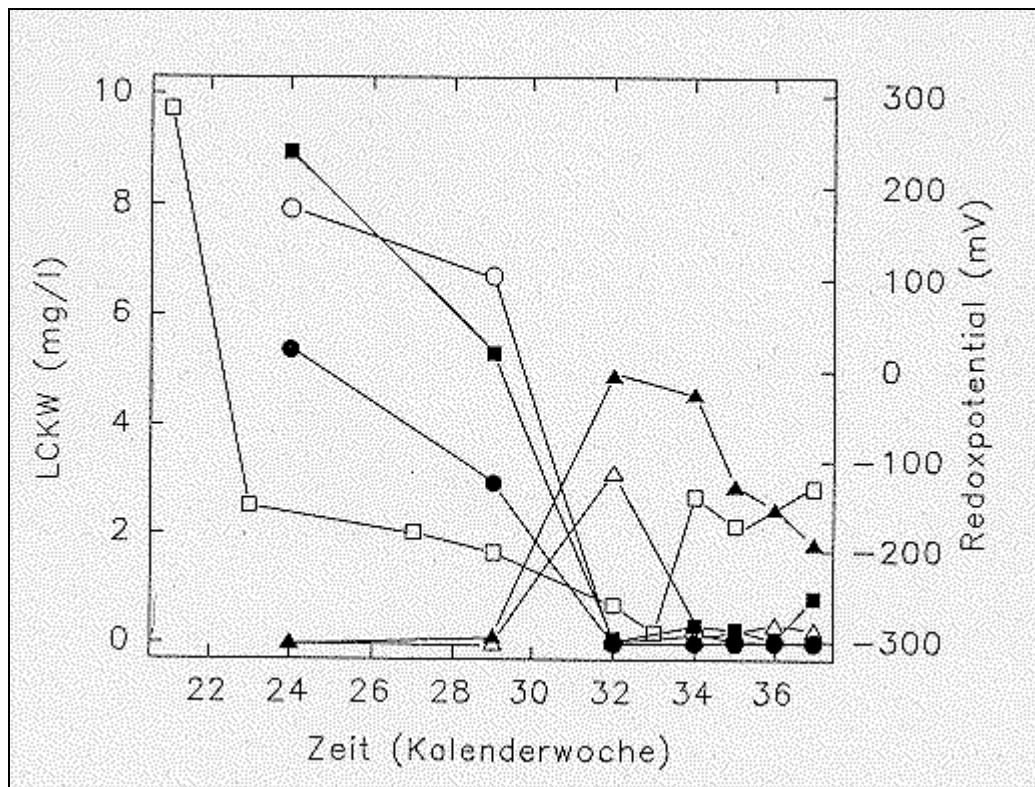


Abb. 16.11. Wasserbehandlung im anaeroben methanogenen Bioreaktor im Verlauf der mikrobiologischen Adaptation. In Kalenderwoche 24 wurden PCE, TCE und DCM hinzugegeben. Symbole: Kreis, schwarz, PCE; Kreis, weiß, TCE; Dreieck, schwarz, DCE; Dreieck, weiß, VC; Quadrat, schwarz, DCM; Quadrat, weiß, Redoxpotential.

4.3.3.3 Mikrobiologische Adaptation der aeroben methanotrophen Stufe

Die aerobe Stufe der Wasserbehandlung wird unter methanotrophen Bedingungen betrieben, d. h. es werden der in den Bioreaktor eintretenden Luft tagsüber ca. 1 - 2 % Methan zugesetzt. Die Anlage erhält darüber hinaus kontinuierlich das aus der anaeroben methanogenen Stufe austretende Gasmisch. Die aerobe Stufe der Wasserbehandlung ist bereits weitestgehend adaptiert und erfüllt ihre Aufgaben. Seit der 48. Kalenderwoche (November 1992) wird die gesamte Wasserbehandlungsanlage im kontinuierlichen Durchfluß betrieben mit einem Volumenstrom von 1,2 cbm/Stunde. Als Co-Substrat wurde Saccharose (0,2 g/l) eingesetzt und die Summe aller LCKW betrug 150 µg/l. Da augenblicklich das Grundwasser am Standort gering kontaminiert ist, wird zusätzlich hochkontaminiertes Wasser aus einem anderen Schadensfall zudosiert. Die Eingangsanalyse des Zulaufwassers vom 2. 11. 1992 ergab (alle Werte in µg/l) 203 PCE, 29 TCE, 10 cis-DCE, 1 VC und 1 DCM. Die Kontaminantengehalte nahmen vom Denitrifikations- über den Anaerob- zum Aerob-Reaktor hin ab, und es traten die erwarteten Zwischenprodukte cis-DCE und VC auf. In der 47. Kalenderwoche wurden fol-

gende Betriebsparameter für die Gesamtanlage erhalten. Denitrifizierender Reaktor: pH 6,82, Redoxpotential -174 mV, 0,5 Vol.% Methan in der Abluft. Anaerob-Reaktor: Temperatur 18,4 °C, pH 6,51, Redoxpotential -383 mV, 52 Vol.% Methan in der Abluft. Aerob-Reaktor: Temperatur 16,3 °C und pH 8,08.

In der 48. Kalenderwoche wurden in der gesamten Wasseranlage 28,8 cbm/Tag durchgesetzt, und das auslaufende Wasser war frei von PCE, cis-DCE, VC und DCM.

5. Das in-situ Bodensäulenprojekt

Neben dem on-site Projekt soll in einer zweiten Strategie der Boden in fünf in den Deponiekörper einvibrierten Stahlröhren (2) dekontaminiert werden (Abb. 16.12). In Säule 1 soll ein Infiltrationsprozeß durchgeführt werden, bei dem über einen zentralen Infiltrationsbrunnen Wasser in den Deponiekörper eingebracht und horizontal exfiltriert wird. Es wird davon ausgegangen, daß diese Vorgehensweise in erster Linie zu einer Auslaugung der Kontaminanten führt. Das dabei entstehende kontaminierte Wasser soll der Wasserbehandlung in der on-site-Anlage zugeführt werden. Die zweite Säule soll beregnet und vertikal perkoliert werden. Dabei sollen dem Perkulationswasser geeignete Co-Substrate zugesetzt werden. Voraussichtlich wird in dieser Säule der mikrobielle Kontaminantenabbau über die Auslaugung dominieren. Es besteht die Möglichkeit, daß das Perkulationswasser darüber hinaus in die on-site-Wasserbehandlungsanlage eingespeist wird. In der dritten Säule soll das Hochdruck-Injektionsverfahren angewendet werden. Dabei wird der Boden weitestgehend homogenisiert und es kommt zu einer erheblichen Desorption der Kontaminanten. Zugabe von Co-Substrat und Einstellung von abbaufördernden Bedingungen sollen den natürlichen Kontaminantenabbau erheblich beschleunigen. Die Säulen vier und fünf dienen als Reserve bzw. zur Kalibrierung.

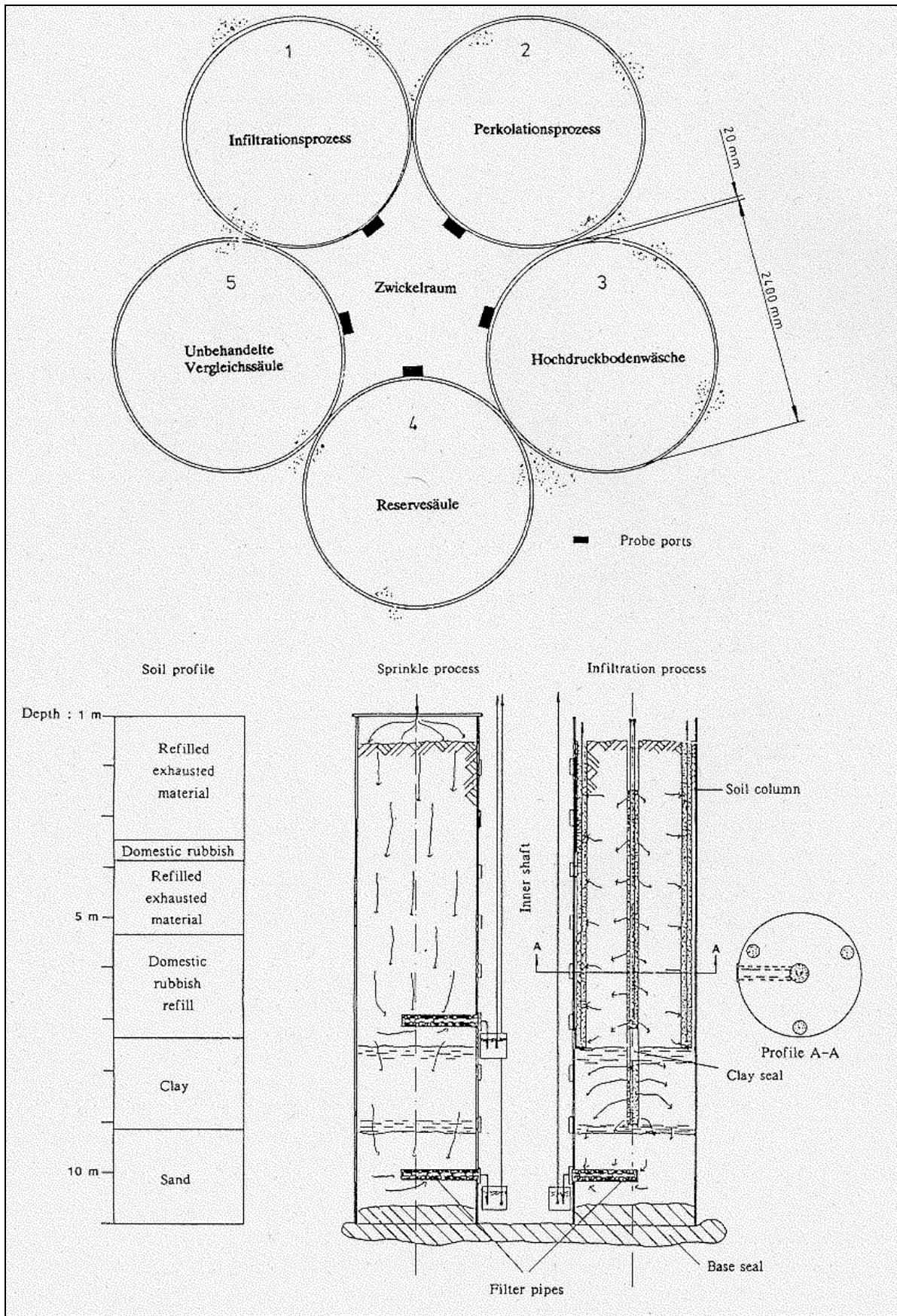


Abb. 16.12. *In-situ* Bodensäulenprojekt am Modellstandort Eppelheim im Quer- (oben) und Längsschnitt (unten).

6. Zusammenfassung und Perspektiven

Es ist ein Konzept zur integrierten Behandlung von Boden, Luft und Wasser am Standort Eppelheim entwickelt, geprüft und im Labormaßstab etabliert worden. Das Konzept wurde vom Labor- in den Pilotmaßstab fortentwickelt und auf den Standort Eppelheim übertragen. Die Wasserbehandlungsanlage befindet sich bereits seit Ende November 1992 in kontinuierlichem Durchflußbetrieb. Die aktuellen Analysenwerte (48. Kalenderwoche) der Wasserbehandlungsanlage sind vielversprechend und zeigen eine erhebliche Kontaminantenreduktion und weitgehenden Abbau des Co-Substrates (Werte im Einlauf des Denitrifikations-Reaktors und im Auslauf des Aerob-Reaktors in mg/l): 0,041 / < 0,001 PCE, 0,085 / < 0,018 TCE, 0,018 / < 0,001 cis-DCE, < 0,001 / 0,013 VC, 1,09 / < 0,001 DCM, 200 / < 50 Saccharose, 28,1 / < 2 Nitrat, 0,03 / 0,26 Ammonium, 145 / 117 Sulfat und 78,7 / 83,4 Chlorid. Insgesamt können die folgenden Feststellungen getroffen werden.

6.1 Aktive Biologie

- Der Boden am Standort Eppelheim enthält eine endogene Bakterienmikroflora die LCKW zu eliminieren vermag.
- Der LCKW-Abbau vollzieht sich vorzugsweise unter reduktiven Bedingungen.
- In Abhängigkeit von der Tiefe des Deponiekörpers wird die reduktive Dechlorierung von Chlorethenen zu 56 - 80 % von methanogenen und 20 - 44 % von nicht-methanogenen Bakterien vollzogen.
- Der wichtigste Faktor im biologischen Abbau der Eppelheim-Kontaminanten ist die Befriedigung der mikrobiellen Co-Faktor-Bedürfnisse.
- Saccharose in Konzentrationen von 0,1 % oder weniger war das mit Abstand effektivste Co-Substrat.
- Bei Temperaturen unterhalb von 10 °C fand kein Kontaminantenabbau statt.

6.2 Die on-site-Anlage

- Die in der on-site-Anlage angewendete Strategie verknüpft die biologische Behandlung von Boden, Wasser und Luft aufs Engste.
- Die mikrobiologische Eliminierung der Eppelheim-Kontaminanten in allen drei Kompartimenten konnte im Pilotmaßstab am Standort etabliert werden.
- Die Pilotanlage (Wasserbehandlung) befindet sich seit der 48. Kalenderwoche in stabilem und kontinuierlichem Durchflußbetrieb.
- In der Anlage konnten sogar externe kontaminierte Wässer entgiftet werden.
- Im Zuge der Entwicklung der on-site-Anlage wurden eine Vielzahl unerwarteter technischer Entwicklungen und Verbesserungen von allgemeiner Bedeutung gemacht.

6.3 Bodensäulen

- Fünf 2,5 x 10 m Stahlröhren konnten erfolgreich und in der richtigen Position in den Deponiekörper einvibriert werden.
- Die in-situ-Bodenbehandlungsmaßnahmen (Perkolation, Infiltration und Hochdruck-Bodenwäsche) werden in Kürze in den Säulen durchgeführt.

- Die Experimente sollen weitreichende Informationen über die Bedingungen, Risiken, Anwendbarkeit und Akzeptanz der biologischen in-situ-Bodenbehandlung liefern.

Es zeichnet sich bereits jetzt klar ab, daß das am Modellstandort durchgeführte Entwicklungsvorhaben einzigartige Informationen über den mikrobiellen on-site und *in-situ* Abbau von LCKW liefern wird. Das Projekt wird deutliche Auswirkungen zeigen auf andere Maßnahmen auf dem Gebiet der Dekontamination von Boden, Wasser und Luft.

7. Danksagung

Diese Untersuchungen wurden im Rahmen des "Modellstandort Eppelheim" Programms "Entwicklung biologischer Verfahren zur Sanierung LCKW-kontaminierter Böden einschließlich der dabei entstehenden Abluft und Abwässer (on-site-Verfahren) sowie LCKW-kontaminierter Grundwässer und Bodenluft unter Anwendung von Biofiltern" durchgeführt. Die Experimente in den Abb. 16.8 - 11 stammen von der Firma Umweltschutz Nord (Ganderkesee).

8. Literatur

- (1) Müller, M. and von Reis, H., (1992) History and prospection, In: Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen, Chemische Technik und Biotechnologie e.V., International symposium soil decontamination using biochemical processes, 6-9 Dezember 1992, Karlsruhe, pp. 789-796.
- (2) Meyer, O., Geller, A., Werner, P. and von Reis, H. (1992) Development of techniques for the bioremediation of soil, air and groundwater polluted with chlorinated hydrocarbons: Current status of the demonstration project at Modellstandort Eppelheim, In: Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen, Chemische Technik und Biotechnologie e.V., International symposium soil decontamination using biochemical processes, 6-9 Dezember 1992, Karlsruhe, pp. 12-27.
- (3) Gray, T. R. G. and Williams, S. T. (1971) Soil micro-organisms. Longman, London.
- (4) Refae, R., Meyer, O., Böckle, K., and Werner, P. (1992) Factors influencing the biodegradation of volatile chlorinated hydrocarbons and aromatic compounds in soil at the Eppelheim site, In: Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen, Chemische Technik und Biotechnologie e.V., International symposium soil decontamination using biochemical processes, 6-9 Dezember 1992, Karlsruhe, pp. 797-805.
- (5) Warrelmann, J. and Schulz-Berendt, V. (1992) Development of biological technologies for degradation of CKW contaminants at the model location Eppelheim, In: Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen, Chemische Technik und Biotechnologie e.V., International symposium soil decontamination using biochemical processes, 6-9 Dezember 1992, Karlsruhe, pp. 806-810.

Gemeinsame thermische Behandlung von Haus- /Gewerbemüll und Altmüll aus kommunalen Altablagerungen - Ergebnisse eines Verbrennungsversuchs -

*W. Kohler,
LfU Karlsruhe*

1. Einleitung

Die gegenwärtig zur Verfügung stehenden Altlastensanierungstechniken sind für die Dekontamination von Altstandorten, d.h. für den dort anzutreffenden verunreinigten Untergrund, geeignet. Für sanierungsbedürftige Altablagerungen stehen in erster Linie die verschiedenen Varianten der Sicherungstechnik zur Verfügung. Denkbar wäre auch eine Umlagerung auf eine im Betrieb befindliche Deponie. Da hierbei nur eine Problemverlagerung erfolgt und dies daher als eine nicht zufriedenstellende Lösung zu betrachten ist, dürfte die Umsetzung einer solchen Maßnahme, insbesondere in Zeiten des sich zunehmend verknappenden Deponieraums, kaum auf Akzeptanz stoßen und daher nur sehr schwer umzusetzen sein.

Die Landesanstalt für Umweltschutz hat 1989 zum ersten mal diese Problematik aufgegriffen und versuchte Techniken zu identifizieren, die es ermöglichen, Material aus Altablagerungen zu dekontaminieren oder die zumindest in dieser Hinsicht ein Entwicklungspotential erwarten lassen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen waren eher ernüchternd, und außer einer eventuellen thermischen Behandlung von Altmüll sind weitere einsatzbereite Verfahren in nächster Zukunft nicht zu erwarten.

Die thermischen Verfahren, die im Zusammenhang mit der Dekontamination von verunreinigten Böden entwickelt wurden, sind aus verfahrens- bzw. genehmigungstechnischen Gründen für Altmüll nur bedingt geeignet. Naheliegender war es jedoch zu prüfen, da es sich bei vielen Altablagerungen um ehemalige Hausmülldeponien handelt, inwieweit Hausmüllverbrennungsanlagen in der Lage sind, bereits teilweise mineralisierten Altmüll zu verbrennen oder zumindest mitzuverbrennen. Da die Technik, Verbrennungsführung und Abgasreinigung von Hausmüllverbrennungsanlagen entsprechend dem Heizwert und sonstiger Eigenschaften von frischem Hausmüll optimiert sind, stand zu erwarten, daß bei der Mitverbrennung von teilweise mineralisiertem Altmüll mit eventuell weiteren Zumischungen von inerten, erdähnlichen Material verbrennungstechnische Probleme auftreten können.

Mit einer Akzeptanz einer Mitverbrennung von Altmüll in Hausmüllverbrennungsanlagen sowohl seitens der Öffentlichkeit als auch seitens der Betreiber von solchen Anlagen kann nur gerechnet werden, wenn bezüglich aller sich in diesem Zusammenhang stellenden Fragen eine hinreichende Klarheit besteht. Hierzu war es aus Sicht der LfU zunächst notwendig, sich grundsätzlich mit der Problemstellung einer Mitverbrennung von Altmüll in Hausmüllverbrennungsanlagen auseinanderzusetzen und die Randbedingungen festzulegen, unter denen

eine Mitverbrennung von Altmüll möglich und vertretbar erscheint. Die Komplexität der Verbrennungsprozesse in Hausmüllverbrennungsanlagen erfordert jedoch zur abschließenden Klärung der offenen Fragestellungen letztendlich eine Versuchsverbrennung, um mit hinreichender Sicherheit die technische Machbarkeit und die Umweltverträglichkeit dieser für Altablagerungen interessante Sanierungstechnik beurteilen zu können.

Seitens der LfU war man sich zu diesem Zeitpunkt bewußt, daß aufgrund geringer Verbrennungskapazitäten für Hausmüll im Land Baden-Württemberg ein tatsächlicher Einsatz dieses Verfahrens nur schwer umzusetzen ist. Mangels alternativer Möglichkeiten für eine tatsächliche Dekontamination von Altmüll mit Hausmüllcharakter schien es dennoch verantwortbar und notwendig diese Technik weiterzuverfolgen und die Einsatzfähigkeit mit einem Versuch abzuklären. Insbesondere bei kleineren Altablagerungen besteht die Möglichkeit, daß eine Totalsanierung gegenüber einer Sicherungsmaßnahme wirtschaftlicher und daher vertretbar ist.

2. Vorüberlegungen zu einer Versuchsverbrennung von Altmüll

Zur näheren Prüfung der Möglichkeit einer Mitverbrennung von Altmüll in Hausmüllverbrennungsanlagen wurde die Firma Fichtner beauftragt, die grundsätzliche Problematik hierbei in einer Studie aufzuarbeiten. Das Ergebnis war, daß eine **thermische Mitbehandlung von Altabfällen** aus Altablagerungen in existierenden Hausmüllverbrennungsanlagen, die mit Rostfeuerungen ausgerüstet sind, grundsätzlich möglich ist. Der vergleichsweise niedrige Heizwert des Altmülls wurde wegen des zur Zeit hohen Heizwertes des anfallenden Hausmülls als nicht problematisch eingestuft. Es blieben jedoch eine Reihe von Unsicherheiten und offene Fragen, die nur auf dem Versuchsweg näher geklärt werden können. Erschwerend kommt hinzu, daß die chemisch-physikalischen Eigenschaften und der bereits stattgefundenen biologischen Abbau von Altmüll sehr großen Schwankungsbreiten unterworfen sind, für die eine verlässliche Prognose kaum möglich sind. Voraussetzung für einen aussagekräftigen Versuch ist daher auf jeden Fall die Kenntnis einiger müllrelevanter Parameter zur Charakterisierung des Altmülls, um die Versuchsergebnisse anschließend eindeutig interpretieren zu können.

Nachfolgend sind diejenigen Fragestellungen aufgeführt, die nicht grundsätzlich, sondern nur durch einen Versuch geklärt werden können:

- Entscheidend für eine Mitbehandlung von Altmüll in Hausmüllverbrennungsanlagen ist die Mischbarkeit von Altmüll mit frischem Hausmüll. Da der Altmüll einen erhöhten Feinanteil aufweist, kann sich eine Mischung problematisch gestalten bzw. nach einer erfolgten Mischung besteht die Möglichkeit einer nachträglichen Entmischung.
- Der erhöhte Feinkornanteil im Altmüll bzw. weitere Bodenbestandteile, wie z.B. Sand, können zu einem erhöhten Verschleiß innerhalb des Kesselbereichs der Verbrennungsanlage führen. In diesem Zusammenhang ist in erster Linie der Feuerungsrost zu nennen, aber auch im Überhitzerteil des Kessels kann sich durch Erosion infolge erhöhten Staubanfalls die Standzeit verringern. Die hierdurch verringerte Verfügbarkeit der Müllverbrennungsanlage würde sich auf die Gesamtwirtschaftlichkeit des Betriebes auswirken. Ein erhöhter Staubanteil im Abgas stellt für die Entstaubung durch Elektro-

filter voraussichtlich kein Problem dar, jedoch müssen der erhöhte Anfall von Filterstäuben und die damit verbundenen Entsorgungsprobleme berücksichtigt werden.

- Der bereits teilweise stattgefundene biologische Abbau des Altmülls kann eine Aufkonzentrierung von Schadstoffen bewirken. Dieser Vorgang wird zwar grundsätzlich nicht als problematisch eingestuft, im besonderen Fall des Quecksilbers muß dies jedoch Beachtung finden, da es sich hierbei um einen Problemstoff bei der Rauchgasreinigung handelt.
- Zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit sind die Einflüsse der Altmüllverbrennung auf die Emissionen näher zu untersuchen, wobei insbesondere die Konzentrationen von SO_2 , NO_x und Quecksilber interessiert. Hinsichtlich der Konzentrationen von Dioxinen bzw. Furanen sind keine meßbare Änderungen zu erwarten. Da diese chemischen Verbindungen aber in der Öffentlichkeit im besonderen Maße Beachtung finden, sollten diese bei einem Versuch auf jeden Fall mit untersucht werden.
- Der Verbrennungsverlauf im Rostbereich der Feuerung sollte näher untersucht werden. Hierbei interessiert insbesondere der vollständige Ausbrand des Mülls, der für die Qualität der Schlacke und den davon abhängigen Weiterverwendungsmöglichkeiten von entscheidender Bedeutung ist.
- Die Durchsatzleistung des Kessels wird sich aufgrund des deutlich niedrigeren Heizwerts des Altmüll erhöhen, wenn, wie bei Müllheizkraftwerken üblich, die thermische Leistung der Verbrennungsanlage konstant gehalten wird. Die konstruktive und verbrennungstechnische Auslegung des Feuerungsrostes begrenzt jedoch den Durchsatz und somit auch die Zumischrate von Altmüll zum Frischmüll. Für die wirtschaftliche Beurteilung der Altmüllverbrennung als Sanierungsverfahren ist es von Bedeutung, diese Betriebsgrößen näher eingrenzen zu können.

Die zahlreichen hier zusammengestellten Fragestellungen bzw. Untersuchungsparameter machen deutlich, daß ein Verbrennungsversuch gerechtfertigt ist.

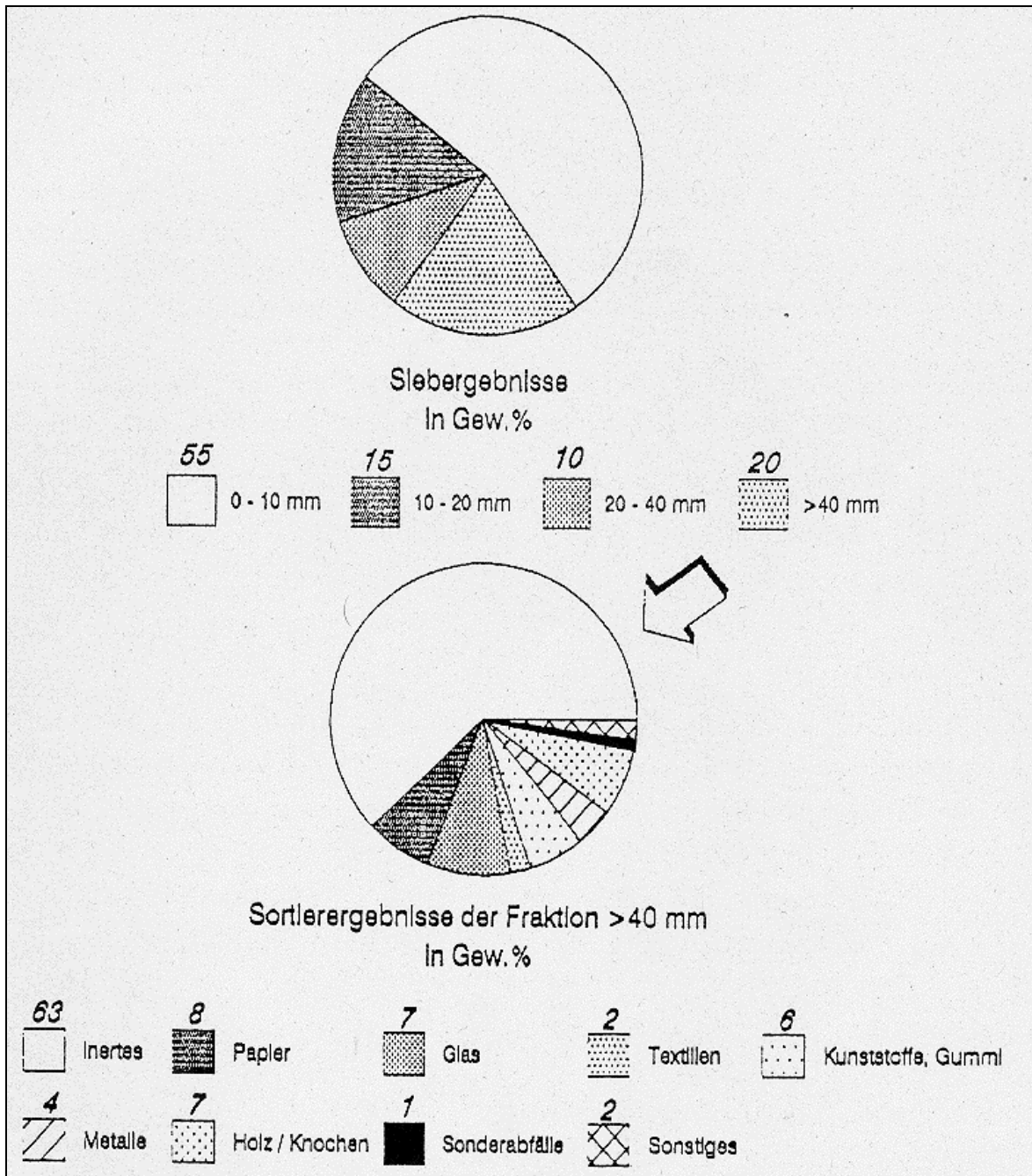


Abb. 17.1a: Ergebnisse der Sieb- und Sortieranalyse von Altmüll am Modellstandort Mannheim, Friesenheimer Insel (Durchschnittswerte von 10 Schürfen)

3. Arbeiten und Maßnahmen zur Vorbereitung des Verbrennungsversuchs

Im Jahre 1990 zeichnete sich ab, daß am Modellstandort Mannheim-Friesenheimer Insel die Durchführung eines Verbrennungsversuchs möglich ist.

Bei dem **Modellstandort Mannheim** handelt es sich um einen Bereich auf der Friesenheimer Insel, der in der Zeit von 1956 bis 1965 mit Hausmüll, hausmüllähnlichem Gewerbemüll und Bauschutt verfüllt wurde. Das ca. 28 ha umfassende Gebiet wurde nach Beendigung der Ver-

füllung etwa mit einer 0,3 m dicken Schicht Mutterboden abgedeckt. Im Rahmen der modellhaftenden Erkundung am Modellstandort Mannheim war diese Ablagerung einer intensiven Erkundung unterzogen worden. U.a. war aus der Ablagerung in einer Probeschürfe Deponiematerial entnommen worden und in einer Sieb- und Sortieranalyse hinsichtlich der identifizierbaren Fraktionen näher bestimmt worden (Abb. 17.1a). Diese Versuchsergebnisse neben weiteren chemischen Analysen (Abb. 17.1b) war eine notwendige Voraussetzung zur Durchführung eines Verbrennungsversuchs, da wie bereits weiter oben erwähnt, für eine zutreffende Interpretation und Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse eine Charakterisierung des Altmülls notwendig ist.

Zusätzlich wurde an dem Modellstandort Mannheim der glückliche Umstand vorgefunden, daß sich das Heizkraftwerk der Stadt Mannheim in unmittelbarer Nähe zu dieser Altanlage befindet (Abb. 17.2), so daß der Mülltransport relativ unkompliziert abgewickelt werden konnte.

Parameter	Konzentration	Einheit
Trockensub.	80,6	Gew. %
Kohlenstoff	12,2	mg/kg TS
Schwefel	0,7	Gew. %
Stickstoff	0,2	Gew. %
Chlorid	670	mg/kg TS
Quecksilber	1,3	mg/kg TS

Abb. 17.1b: Ergebnisse der Altmüllanalytik

Ganz wesentlich jedoch war, daß sowohl seitens der Stadt Mannheim als auch seitens der Betreiber und der Betriebsleitung des Müllheizkraftwerkes gegenüber der Durchführung eines Verbrennungsversuchs eine sehr große Aufgeschlossenheit vorhanden war, die aufgrund der während der Versuchsphase möglichen bzw. zu erwarteten Störungen des Betriebsablaufs nicht unbedingt als selbstverständlich vorausgesetzt werden konnte.

Zu Anfang des Jahres 1991 konnte daher eine Arbeitsgruppe mit der organisatorischen und technischen Vorbereitung des Verbrennungsversuchs beginnen. Die Zusammensetzung der Arbeitsgruppe kann der nachfolgenden Zusammenstellung entnommen werden:

- **Energie- und Wasserwerke Rhein-Neckar AG** (Betreiber)
- **Heizkraftwerk Nord** (Betriebsleitung)
- **Energie- und Verfahrenstechnik GmbH (EVT)**
(Erbauer des Kessels des Müllheizkraftwerkes)
- **Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Abt. LIT** (Meßtechnik)
- **TÜV Südwest** (Meßtechnik)
- **Stadt Mannheim, Amt für Baurecht und Umweltschutz**

- **Stadt Mannheim, Stadtreinigungsamt**
- **Ingenieur-Arbeitsgemeinschaft Röver + Partner / TAUW Infra Consult**
(Koordination und Durchführung des Verbrennungsversuchs)
- **Landesanstalt für Umweltschutz, Ref. 54**
(Auftraggeber und Gesamtkoordination)

Die Projektgruppe Altmüllverbrennung legte in mehreren Arbeitssitzungen die organisatorischen und technischen Randbedingungen näher fest, die für die Versuchsverbrennung maßgeblich sein sollten.

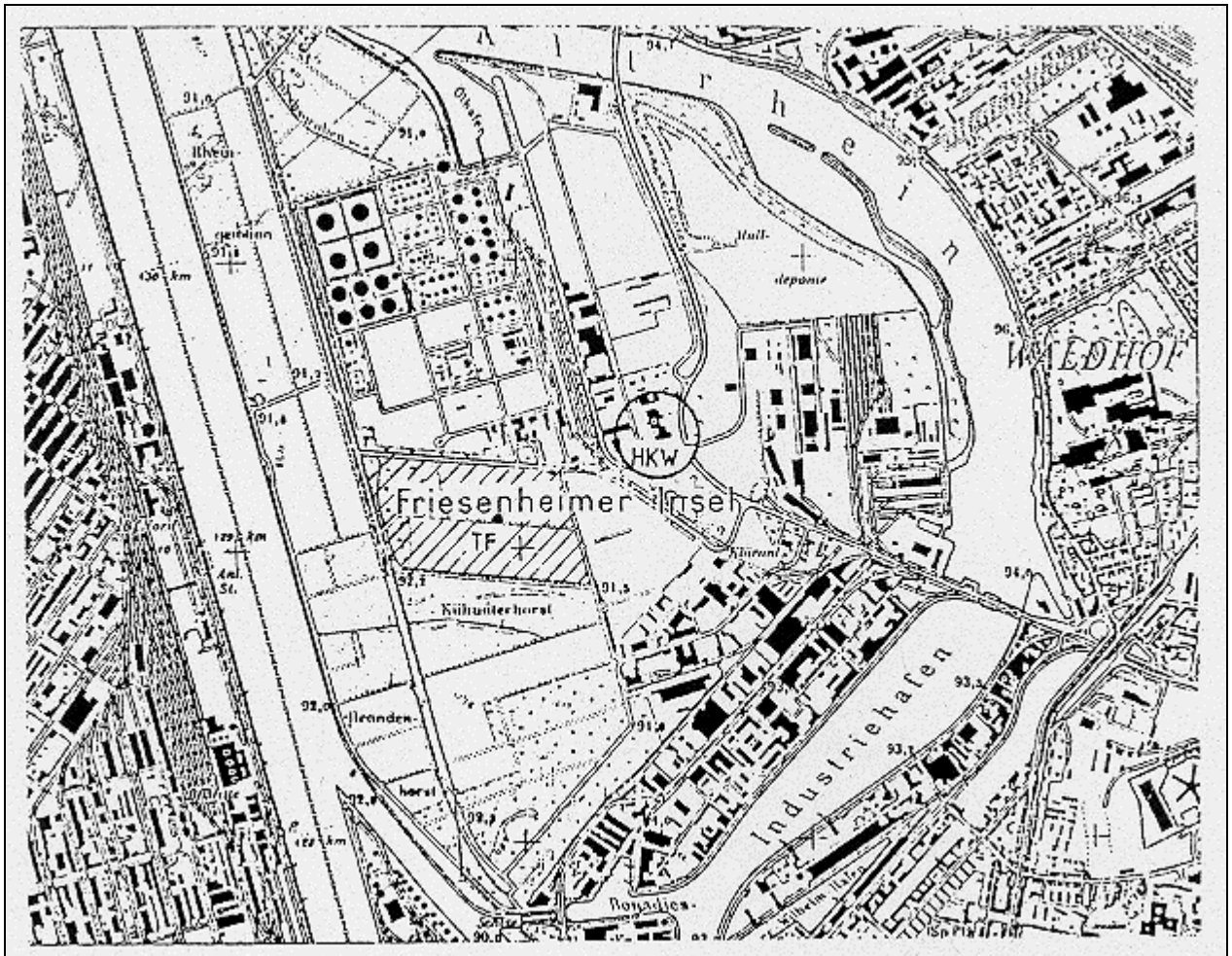


Abb. 17.2: Lageplan des Modellstandorts Mannheim, Friesenheimer Insel (schraffierte Fläche) und des Heizkraftwerks Nord HKW (Kreis), TF=Testfeld

4. Durchführung der Versuchsverbrennung von Altmüll

4.1 Konzeption der Versuchsverbrennung

Die für den Verbrennungsversuch notwendige Menge von 300 t Altmüll wurde einer Miete, die im Zusammenhang mit dem bereits erwähnten Sortierversuch angelegt worden war, entnommen. Zunächst war ein Mischungsverhältnis im Gewichtsverhältnis 4:1 von Frischmüll zu Altmüll vorgesehen. Technische Schwierigkeiten ließen jedoch nur zu, daß eine Mischung im

Verhältnis von 3:1 bereitgestellt werden konnte. Da seitens der Betreiber des Müllheizkraftwerkes dieser höhere Altmüllanteil noch als vertretbar für die installierte Verbrennungstechnik angesehen wurde und da eine zeitliche Verschiebung des Verbrennungsversuchs aus betrieblichen Gründen nicht möglich war, wurde diese Modifizierung des Mischungsverhältnisses durch die Projektgruppe akzeptiert. Darüber hinaus stand zu erwarten, daß die möglichen Auswirkungen der Altmüllzumischung auf den Verbrennungsablauf quantitativ stärker zutage treten und daß die Versuchsverbrennung hierdurch eher noch aussagekräftiger werden würde.

Bei der Mischung von Altmüll mit Frischmüll ist zu berücksichtigen, daß das spezifische Gewicht von Altmüll etwa 3 mal höher ist als das von Frischmüll. Zusätzlich ist die Konsistenz des Altmülls erheblich feinkörniger und größere Komponenten wie Plastikfolie, Papier sind im Vergleich zum Frischmüll stark unterrepräsentiert. Der untere Heizwert des Altmülls liegt bei etwa 2.000 kJ/kg. Der hier vorliegende Altmüll wäre daher aufgrund seines Heizwertes ohne Stützfeuerung nicht brennbar gewesen. Der Heizwert von Frischmüll liegt bei etwa 10.000 kJ/kg und ist somit also etwa 5 mal höher als der von Altmüll. Abb. 17.3 gibt eine Übersicht hinsichtlich der Zusammensetzung des Frischmülls.

Die Mischung der beiden Müllsorten erfolgte in einer ersten Stufe durch abwechselndes Entleeren der Müllfahrzeuge in den Müllbunker. In einer zweiten Stufe wurde die Mischung durch einmaliges Umsetzen mit dem Müllbunkerkrane weiter homogenisiert. Auf diese Weise wurden zunächst 300 t Frischmüll mit 300 t Altmüll gemischt. Diese sogenannte Erstmischung im Verhältnis 1:1 wurde anschließend im Müllbunker mit weiteren 600 t Frischmüll vermischt, so daß bei Versuchsbeginn 1.200 t Mischung im Gewichtsverhältnis 3:1 zur Verfügung standen. Es zeigte sich, daß sich trotz der unterschiedlichen Konsistenz der beiden Müllarten eine zufriedenstellend homogene Mischung herstellen ließ.

Zur Dokumentation des Verbrennungsversuchs wurden im Kesselbereich und im Abgasteil der Müllverbrennungsanlage zahlreiche Meßtechniken installiert. Die Durchführung der Messungen wurde vor Beginn des Versuchs detailliert mit der Vorgabe geplant, möglichst aussagekräftige Ergebnisse mit dem Verbrennungsversuch ableiten zu können. Im einzelnen wird auf die Messungen im Zusammenhang mit der nachfolgenden Beschreibung des Ablaufs des Verbrennungsversuchs eingegangen.

Frishmüll:	Tonnen	Gew. %
Hausmüll	673	56
Hausmüllähn. Gewerbemüll	350	29
Brennbare Baustellenabfälle	74	6
Sperrmüll	72	6
Grünschnitt	19	2
Sonstige	7	1
Frishmüll im Müllbunker	1195	100

Abb. 17.3: Zusammensetzung des Frishmülls

Abb. 17.4 stellt zu besseren Orientierung schematisch eine Müllverbrennungsanlage inklusive Rauchgasabreinigung dar. Die Müllverbrennungsanlage des Heizkraftwerkes Nord, Mannheim verfügt über 3 müllbefeuerte Kessel mit einer Gesamtmülldurchsatzleistung von 44 t/Std. Für die Versuchsverbrennung von Altmüll wurde der Müllkessel 1 ausgewählt, da er über einen Vorschubrost mit der Möglichkeit zur Einzelfeldregulierung verfügt, und somit am flexibelsten auf Qualitätsänderung des Verbrennungsguts im Vergleich zu den anderen Kesselanlagen reagieren kann. Die Durchsatzleistung von Kessel 1 beträgt etwa 20 t Müll/Std. Jeder der 3 Müllkessel verfügt über einen Elektrofilter, der den größten Teil des Staubes aus den Rauchgasen abscheidet. Nach den Elektrofilter werden die teilweise gereinigten Rauchgase aller 3 Kessel zusammengeführt, und durch einen weiteren Elektrofilter werden die verbliebenen Reststäube nochmals reduziert. Anschließend werden die Rauchgase durch Wäscher geleitet und von weiteren Schadstoffen, wie z.B. Schwefeldioxid und Salzsäuregas, befreit. Schließlich werden die auf diese Weise gereinigten Rauchgase über den Kamin an die Atmosphäre abgegeben.

4.2 Einstellung der Feuerung auf die Müllmischung

Am Freitag, den 15.03.1991, 0 Uhr wurde mit dem **Verbrennungsversuch** begonnen. Zunächst wurde der Kessel 1 24 Std mit Frischmüll beschickt, um Referenzwerte für alle in die Messungen einbezogenen Betriebsdaten und Abgaswerte zu erhalten. Die Eigenschaften und Zusammensetzung des hierbei eingesetzten Frischmüll waren vergleichbar zu denen, die bei der Herstellung der Müllmischung angetroffen wurden.

Nach Ablauf dieser Phase begann am 16.03.1991, 0 Uhr die eigentliche Verbrennung der in der Zwischenzeit im Verhältnis von 3 : 1 von Frischmüll und zu Altmüll zur Verfügung stehenden Müllmischung. Die veränderte Qualität des Verbrennungsgutes erforderte eine betriebliche Feuerungsoptimierung. Mit einer intensiven visuellen Beobachtung des Verbrennungsablaufes in der Müllschicht und des Schlackenausbrands wurde bis 18.30 Uhr des selben Tages eine zufriedenstellende Feuerungseinstellung, die auf den neuen Brennstoffeigenschaften abgestimmt war, erreicht. Diese Feuerungseinstellung wurde bis zum Versuchsende beibehalten.

Die Müllmischung zeigte während der Verbrennung anfangs eine deutliche Neigung zum Zusammenbacken an der Müllschichtoberfläche. Die Folge davon war, daß keine gleichmäßige Verbrennungsluftverteilung über die Rostfläche und innerhalb der Müllschicht mehr möglich war und sich deshalb der Ausbrand verschlechterte. Die Schichtstärke im Ausbrandbereich war wesentlich höher als bei den üblichen Brennstoffbedingungen.

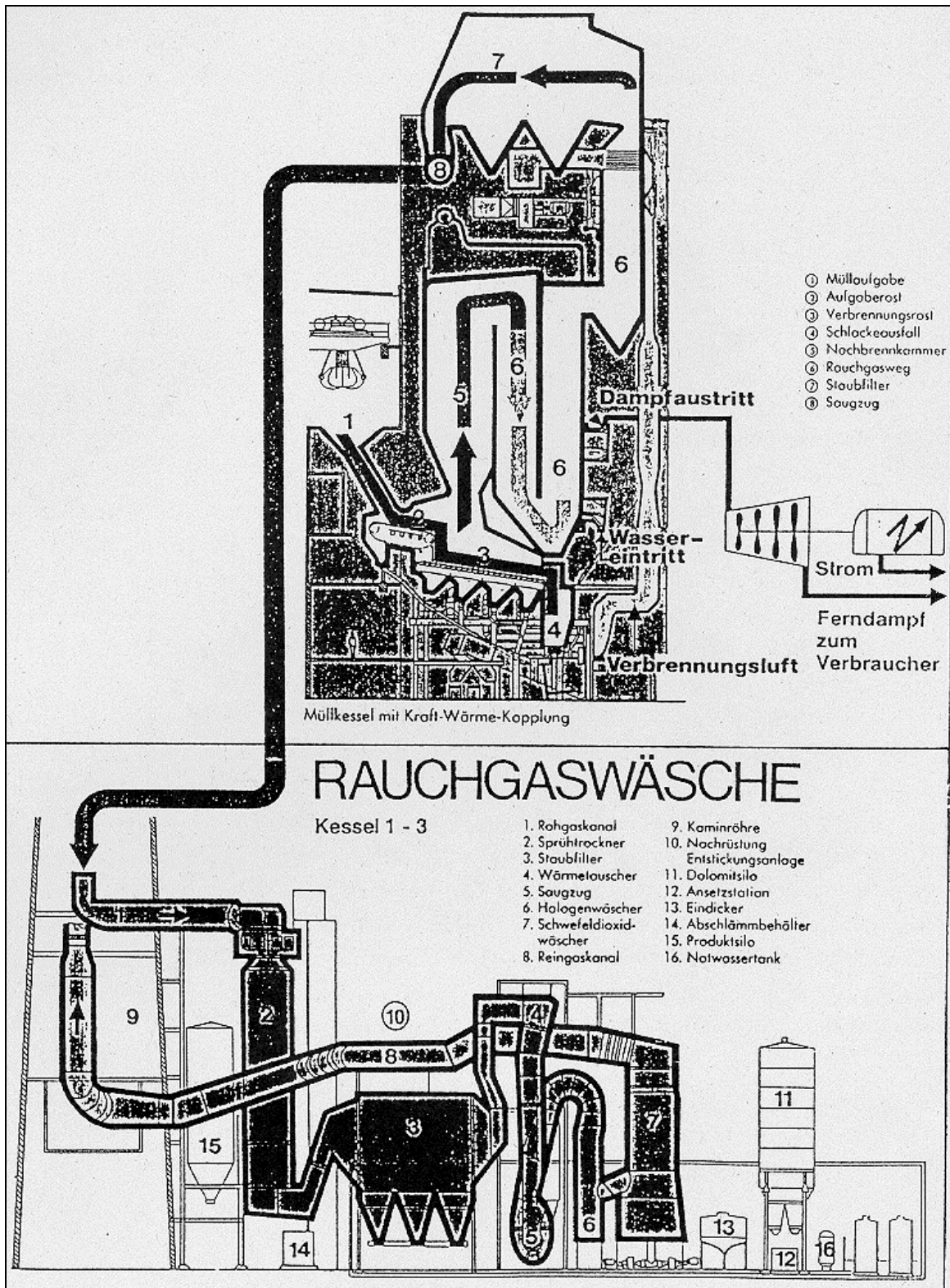


Abb. 17.4: Ablauf der Müllverbrennung im Heizkraftwerk Nord, Mannheim (Quelle: RHE 1990)

Mit Hilfe der Möglichkeiten, die der EVT-Vorschubrost durch die Einzelfeldregulierung bietet, konnte der Verbrennungsablauf durch Anpassung der Schürbewegung an die veränderten Brennstoffbedingungen so beeinflusst werden, daß sich wieder ein mit den ursprünglichen Verhältnissen vergleichbarer Schlackenausbrand einstellte.

Die Schürung des Müllbetts wurde hierbei intensiviert, was bewirkt, daß die Müllschicht verstärkt umgewendet und dadurch auseinandergerissen wird, und somit den Zusammenbäckungsvorgängen entgegengewirkt wird. Mit Hilfe dieser Maßnahmen war es möglich, diesen gegenüber reinem Frischmüll problematischen Brennstoff mit zufriedenstellenden Ergebnissen zu verbrennen.

4.3. Messungen im Müllheizkessel

Durch den Betreiber des Heizkraftwerkes wurden im gesamten Versuchszeitraum insgesamt 24 Betriebsparameter aus dem Kesselbereich und den verschiedenen Stufen der Rauchgasreinigung kontinuierlich gemessen und auf Datenträger aufgezeichnet. Zusätzlich wurde von der Ingenieur-Arbeitsgemeinschaft Röver + Partner / TAUW Infra Consult Daten relevanter Betriebsparameter aufgezeichnet, um auch kontinuierliche Meßkurven zur Verfügung zu haben.

Abb. 17.5 stellt die täglichen Mittelwerte relevanter Verbrennungsparameter dar. Die zu beobachtenden Änderung der Verbrennungsparameter, wie Brennkammertemperatur und Sauerstoffgehalt (O_2) des Rauchgases, sind auf die oben erwähnten Einstellarbeiten zur Optimierung der Feuerung zurückzuführen. Die Brennkammertemperatur wurde hierdurch um etwa 30° abgesenkt. Der Sauerstoffgehalt des Rauchgases stieg leicht an, was mit einer Erhöhung der Rauchgasmenge verbunden ist. Die Kohlenmonoxidkonzentration (CO) des Rauchgases kann sowohl bei der Verbrennung von Frischmüll als auch der Müllmischung als sehr niedrig bezeichnet werden. Die geringe Zunahme während der Verbrennung der Mischung Frischmüll/Altmüll ist daher nicht von signifikanter Bedeutung.

Die Regelung des Heizkraftwerkes ist darauf ausgelegt, eine konstante thermische Leistung aufrechtzuerhalten. Die Parameter Frischdampfmenge, Frischdampf Temperatur, und Frischdampfdruck, die die Leistung des Kessels beschreiben, konnten auch bei geänderter Qualität des Verbrennungsgutes ohne Schwierigkeiten aufrechterhalten werden.

Ergänzend hierzu führte das Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) Gasmessungen am Müllkessel 1 durch (Abb. 17.6). Die Ergebnisse zeigen, daß die Schwefeldioxidkonzentrationen (SO_2) im Rohgas bei der Verbrennung der Mischung Frischmüll/Altmüll geringfügig höher sind. Dies ist möglicherweise auf einen erhöhten Schwefelgehalt der Mischung zurückzuführen. Wie auch die Ergebnisse von Abb. 17.5 zeigen, ist der Sauerstoffgehalt der Rauchgase bei der Verbrennung der Mischung Frischmüll/Altmüll höher. Zusätzlich ist ein leichter Anstieg der Stickoxidkonzentrationen (NO_x) und der Konzentrationen von Salzsäuregas (HCl) beim Verbrennen der Mischung Frischmüll/Altmüll zu beobachten. Die weiteren Rauchgaskomponenten zeigen keine signifikante Änderung aufgrund der Müllzusammensetzung.

Parameter	15.03.1991		16.03.1991		17.03.1991		18.03.1991	
	HKW	Arge	HKW	Arge	HKW	Arge	HKW	Arge
Brennkammertemperatur (°C)	965	958	963	-	945	939	925	924
O ₂ -Mittelwert (Vol %) ')	6,8	7,2	6,9	-	7,3	7,6	7,8	8,1
CO-Konzentration (mg/Nm ³)	-	7,3	-	-	-	8,3	-	8,3
Rauchgasmenge (Nm ³ /h)	56.000	56.000	58.000	-	61.000	64.000	63.000	61.000
Frischdampfmenge (t/h)	50	49,9	50	-	50	50,2	51	50,9
Frischdampf-Temperatur (°C)	489	489	489	-	489	489	489	489
Frischdampf-Druck (bar)	120	120,4	120	-	120	120,4	120	120
Geschwindigkeit Aufgaberost (m/h)	9,1	9,9	10,1	-	9,4	9,0	9,1	9,2

Abb. 17.5: Tägliche Mittelwerte relevanter Verbrennungsparameter

	15.03.91	16.03.91	17.03.91	18.03.91
NO (mg/Nm ³)	206	225	231	244
NO ₂ (mg/NM ³)	5	5	5	5
SO ₂ (mg/Nm ³)	327	480	584	555
CO (mg/Nm ³)	10,1	9,2	11,5	7,8
CO ₂ (Vol.%)	3,6	3,6	3,6	3,6
O ₂ (Vol.%)	7,8	7,8	8,2	8,6
HCl (mg/Nm ³) *	1.248	-	-	1.461

Abb. 17.6: Tägliche Mittelwerte der Rohgasmessungen

4.4 Messungen in der Nachbrennkammer des Müllheizkessels

Der Kesselhersteller EVT GmbH führte an insgesamt 32 Meßpunkten in der Nachbrennkammer Messungen bezüglich Temperatur und den Konzentrationen von O₂, CO und NO_x durch. Die Ergebnisse der Temperatur- und O₂- Messungen sind in Abb. 17.7a und 7b dargestellt. Die Meßwerte zeigen, daß für die Brennkammerprofile keine signifikante Änderung aufgrund der Müllzusammensetzung feststellbar ist. Die intensive Schürung des Brennstoffbetts kompensiert offensichtlich das verzögerte Zünd- und Verbrennungsverhalten, so daß im Bereich der Nachbrennkammer kein Einfluß der Brennstoffqualität mehr zu beobachten ist. Die aus den Messungen gebildeten Mittelwerte sind für die Müllmischung und den Frischmüll nahezu identisch. Die Ergebnisse der CO- und NO_x-Messungen können im Bereich der Nachbrennkammer nicht zur Beurteilung der Verbrennungsgüte herangezogen werden, da im Bereich der Nachbrennkammer, der für die Messung zugänglich war, der Verbrennungsvorgang noch nicht vollständig abgeschlossen ist. Die Flammenlänge geht noch um ca. 2 - 3 m über dieses Meßniveau hinaus. Für eine Bewertung der Emissionen sind daher die durchgeführten Emissionsmessungen am Kesselende heranzuziehen.

4.5 Messungen der Roststabtemperaturen

Der Kesselhersteller EVT GmbH hatte einen Teil der Roststäbe der mittleren Bahn des Vorschubrostes im Zusammenhang mit einer früheren Untersuchung mit Thermoelementen versehen, von denen zum Versuchszeitpunkt noch 16 funktionsfähig waren, so daß über den gesamten Rostbereich aussagekräftige Temperaturmessungen durchgeführt werden konnten. Die Auswertung der Messungen zeigte eindeutig, daß im vorderen Bereich des Rosts die Roststabtemperaturen bei der Verbrennung der Mischung Frischmüll/Altmüll um 40 - 50° C höher lagen als bei der Verbrennung von reinem Frischmüll. Im hinteren Bereich des Rosts konnte jedoch keine Temperaturänderung beobachtet werden.

Die intensive Schürung, die für die Verbrennung der Frischmüll/Altmüllmischung erforderlich war, um den Zusammenbackungstendenzen in der Müllschicht entgegenzusteuern, bewirkt offensichtlich, daß die Verbrennung im vorderen Bereich des Rosts rascher einsetzt, was eine höhere Roststabtemperatur in diesem Bereich zur Folge hat. Eine Folge für den längerfristigen Betrieb mit der Mischung könnte eine etwas verringerte Standzeit des Rostbelages in dem betreffenden Rostbereich sein. Aufgrund der Kürze des Versuchs konnte ein höherer Verschleiß erwartungsgemäß nicht beobachtet werden.

Gegenüberstellung der Temperaturverteilung in °C									
15.03.91 Frischmüll					18.03.91 Mischung				
R	1154	1161	1167	S	R	1118	1133	1147	S
Ü	1110	1138	1166	T	Ü	1091	1113	1195	T
C	1038	1089	1140	I	C	1110	1125	1141	I
K	1064	1087	1109	R	K	1111	1112	1112	R
W	1070	1115	1159	N	W	1049	1066	1082	N
A	1131	1146	1160	W	A	1124	1105	1085	W
N	1119	1106	1092	A	N	1194	1142	1090	A
D	1100	1102	1103	N	D	1188	1120	1053	N
				D					D
Mittelwert Temp. = 1118°C					Mittelwert Temp. = 1117°C				

Abb. 17.7a: Temperaturmessungen in der Nachbrennkammer

Gegenüberstellung der O ₂ -Gehalte in %									
15.03.91 Frischmüll					18.03.91 Mischung				
R	6,4	5,6	5,4	S	R	9,0	6,3	3,6	S
Ü	9,2	6,4	3,5	T	Ü	14,7	9,1	3,5	T
C	12,3	9,0	5,6	I	C	14,9	9,4	4,0	I
K	14,6	10,0	5,3	R	K	15,3	9,2	3,1	R
W	12,4	8,4	4,4	N	W	11,0	7,8	4,5	N
A	10,1	7,7	5,2	W	A	12,5	8,7	4,9	W
N	7,5	6,1	4,7	A	N	5,5	4,7	3,9	A
D	11,0	8,1	5,2	N	D	2,9	4,4	6,0	N
				D					D
Mittelwert O ₂ = 7,68 %					Mittelwert O ₂ = 7,49 %				

Abb. 17.7b: O₂- Messungen in der Nachbrennkammer

4.6 Messungen vor und nach dem Elektrofilter

Das Kernforschungszentrum Karlsruhe führte im Versuchszeitraum umfangreiche Messungen und Probenahmen am ersten Elektrofilter nach dem Müllheizkessel durch. Mit einem rechnergesteuerten, isokinetisch arbeitenden Langzeitprobenahmesystem wurden die Rauchgasinhaltsstoffe vor und nach dem Elektrofilter beprobt. Zusätzlich wurden die Staubausträge des Elektrofilters beprobt.

Die Ergebnisse (Abb. 17.8) zeigen eine etwas höhere Staubbelastung des Abgases vor dem E-Filter bei der Verbrennung der Frischmüll/Altmüllmischung. Nach dem E-Filter kann jedoch keine signifikante Änderung des Rauchgases mehr beobachtet werden. Die erhöhte Staubfracht bei der Verbrennung der Müllmischung ist daher bei entsprechender Leistungsfähigkeit des E-Filters als unproblematisch anzusehen.

Bemerkenswert ist, daß bei Verbrennung der Müllmischung der Chloridgehalt des Rohgasstaubs am E-Filtereingang deutlich niedriger ist, während die HCl-Konzentrationen sowohl vor wie auch nach dem E-Filters deutlich höher sind. Es tritt offensichtlich bei der Verbrennung der Müllmischung eine Verschiebung der Chlormassenströme zur Komponente HCl hin auf. Hinsichtlich der PCDD-PCDF-Konzentrationen konnte aufgrund der Müllzusammensetzung keine Änderung der auftretenden Konzentrationen beobachtet werden (Abb. 17.9).

Komponente	Frishmüll 15.03.91		Mischung Frish-/Altmüll 18.03.91	
	vor dem E-Filter	nach dem E-Filter	vor dem E-Filter	nach dem E-Filter
Staub mg/Nm ³	852	2,3	910	3,2
C im Staub (%)	2,9	-	2,6	-
Cl im Staub (%)	21,1	-	16,4	-
PCDD (ng/Nm ³)	87,1	38,0	107,8	25,2
PCDF (ng/Nm ³)	128,1	187,6	117,3	206,5
PCDD+PCDF (ng/Nm ³)	215,2	225,6	225,1	231,7
HCl (mg/Nm ³)	1.248	1.294	1.461	1.542

Abb. 17.8: Ergebnisse der Rohgasmessungen am E-Filter durch das KfK

Komponente im Filterstaub	Frishmüll 15.03.91	Mischung Frishmüll/Altmüll 18.03.91
C (%)	5,2	5,8
Cl (%)	9,6	5,7
PCDD (ng/Nm ³)	86,4	72,7
PCDF (ng/Nm ³)	54,4	61,6
PCDD+PCDF (ng/Nm ³)	140,8	134,3

Abb. 17.9: Dioxin- und Furankonzentrationen in den Filterstäuben

In Abb. 17.10 sind als Ergänzung hierzu die Elementkonzentrationen der Stäube aus dem Rauchgas vor und nach dem E-Filter aufgelistet. Zusätzlich wurde der E-Filterstaubaustrag beprobt und in gleicher Weise untersucht.

Zusätzlich wurde vom Kernforschungszentrum Karlsruhe vor und nach dem E-Filter Quecksilbermessungen durchgeführt (Abb. 17.11). Die Ergebnisse zeigen bei Verbrennung der Müllmischung eine wesentlich höhere Quecksilberkonzentration im Rohgas. Die Quecksilberkonzentration in der Größenordnung von 600 µg/m³ im Rohgas wird jedoch häufig auch bei anderen Hausmüllverbrennungsanlagen bei Normalfeuerung mit Frishmüll beobachtet.

4.7 Zusätzliche Emissionsmessungen

Zusätzlich wurden im Versuchszeitraum durch das Kernforschungszentrum Karlsruhe Quecksilber-Emissionsmessungen und durch den TÜV Südwest PCDD/PCDF-Emissionsmessungen durchgeführt (Abb. 17.12). Wie bei den betrieblichen Emissionsmessungen wurde bei gleichzeitigem Betrieb mehrerer Müllkessel - was im Versuchszeitraum nicht zu vermeiden war - ein Mischgas erfaßt. Die Meßergebnisse können daher nicht quantitativ den Einfluß hinsichtlich der Zusammensetzung des Brennstoffs wiedergeben, sondern nur qualitativ auf Tendenzen hinweisen. Die Ergebnisse dokumentieren aber, daß im Versuchszeitraum die Emissionsgrenzwerte der 17. BImSchV für Quecksilber nicht überschritten wurden. Die PCDD/PCDF-Emissionen lagen in der selben Größenordnung und in dem Schwankungsbereich, wie sie für diese Müllverbrennungsanlage auch bisher gemessen wurden. Der Grenzwert von $0,1 \text{ ng/Nm}^3$ wie er in der 17. BImSchV gefordert wird, ist für diese Anlage noch nicht bindend.

	Frischmüll 15.03.91			Frischmüll/Altmüll 18.03.91		
	E-Filter-Eingang	E-Filter-Ausgang	E-Filter-Staubaustrag	E-Filter-Eingang	E-Filter-Ausgang	E-Filter-staubaustrag
S	36	0,17	37.080	45	0,27	36.046
K	90	0,48	56.887	91	0,48	47.457
Ca	46	0,08	128.171	54	0,08	108.108
Ti	3,1	0,011	6.757	3,6	0,006	7.158
V	0,1	0,0004	155	0,1	0,0003	113
Cr	0,4	0,001	720	0,4	0,001	464
Mn	0,6	0,002	1.047	0,7	0,002	1.128
Fe	10	0,035	18.518	16	0,049	31.432
Ni	0,4	0,002	474	0,4	0,002	333
Cu	2,9	0,016	1.641	2,7	0,016	1.479
Zn	70	0,34	44.571	68	0,39	36.912
Se	0,1	0,002	76	0,1	0,001	34
Rb	0,4	0,003	243	0,5	0,003	233
Sr	0,3	0,001	470	0,3	0,0007	421
Zr	0,1	0,0004	81	0,1	0,0001	92
Mo	0,1	0,001	81	0,1	0,002	79
Cd	1,4	0,011	658	1,4	0,011	622
Sn	5,0	0,04	2.887	7,9	0,06	3.923
Sb	2,0	0,013	1.502	2,5	0,015	1.514
Cs	0,3	-	594	0,5	0,0006	797
Ba	4,2	0,018	4.246	3,0	0,011	3.334
Ta	0,1	0,001	178	0,1	0,002	200
Pb	28	0,16	5.139	18	0,19	9.265

Abb. 17.10: Staubinhaltsstoffe in mg/Nm^3 (E-Filter-Ein- und Ausgang) und mg/kg (E-Filter-Staubaustrag)

	Frischmüll 15.03.91		Mischung Frisch-/Altmüll 18.03.91	
	E-Filter Eingang	E-Filter Ausgang	E-Filter Eingang	E-Filter Ausgang
Quecksilber-Gehalt ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	410	380	586	574

Abb. 17.11: Quecksilbermessungen im Rohgas durch das KfK

Emissionsmessung durch KfK: Quecksilber ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	18	-	-	24
Emissionsmessung durch TÜV: PCDD/PCDF (ng/Nm^3 , TE nach NATO)	9,2	-	-	4,8
Anzahl der gleichzeitig betriebenen Müllkessel	Mischgas aus drei Müllkesseln			Mischgas aus zwei Müllkesseln

Abb. 17.12: Quecksilber- und PCDD/PCDF-Emissionsmessungen

4.8 Beprobung des Abwassers des Schlackenabkühlbeckens

Im Versuchszeitraum wurde das Abwasser des Schlackenabkühlbeckens (Entschlackers) des Versuchsmüllkessels beprobt und anschließend chemisch analysiert (Abb. 17.13). In der gelösten Phase war von den analysierten Parametern lediglich eine signifikante Abnahme der Chrom-Konzentration bei der Verbrennung der Müllmischung auffällig.

Bei der in Suspension befindlichen festen Phase war auffällig, daß sämtliche Parameter außer dem Element Eisen bei der Verbrennung der Müllmischung deutlich erniedrigt waren. Ein ähnliches Bild ergab sich bei der Untersuchung der Kesselasche (Abb. 17.14). Diese Ergebnisse sind vermutlich darauf zurückzuführen, daß durch die Zumischung von Altmüll erdähnliches, inertes Material in den Feuerraum gelangt und eine Abreicherung der von der Analyse erfaßten Parameter bewirkt.

Parameter	Frischmüll 15.03.91	Mischung Frisch-/Altmüll 18.03.91
pH	9,17	7,73
Elektr.Leitf. (uS/cm)	935	1.144
Temperatur (°C)	36,2	35,3
absetzbare St.(ml/l)	4,1	4,7
<u>Gelöste Phase:</u>		
Blei (ug/l)	< 20	< 20
Cadmium (ug/l)	< 0,5	< 0,5
Kupfer (ug/l)	< 20	< 20
Nickel (ug/l)	< 20	< 20
Chrom (ug/l)	94,5	49,8
Zink (ug/l)	< 50	< 50
Eisen (ug/l)	< 100	140
Mangan (ug/l)	< 50	< 50
Arsen (ug/l)	< 10	< 10
Magnesium (ug/l)	< 0,5	< 0,5
Chlorid (mg/l)	517	508
Sulfat (mg/l)	126	154
Kohlenw.st. (mg/l)	0,13	< 0,1
<u>Ungelöste Phase:</u>		
Blei (mg/kg)	838	574
Cadmium (mg/kg)	19,7	11,8
Kupfer (mg/kg)	521	447
Nickel (mg/kg)	65,6	43,6
Chrom (mg/kg)	170	89,1
Zink (mg/kg)	4.160	2.560
Eisen (mg/kg)	15.500	19.900
Mangan (mg/kg)	1.070	927
Arsen (mg/kg)	< 10	< 10
Quecksilber (mg/kg)	< 0,5	< 0,5
Kohlenw.st. (mg/kg)	191	71,2

Abb. 17.13: Analytik des Abwassers aus dem Schlackenabkühlbecken

Komponente (wf = wasserfrei)	Mischung	
	Frischmüll 15.03.91	Frisch-/Altmüll 18.03.91
Menge (kg/Stunde)	34,7	31,3
Gesamtwasser (%)	0,03	0,04
Asche _(815°C, wf) (%)	96,19	97,13
C-Gesamt _(wf) (%)	1,21	1,30
C (Gew.%)	0,6	1,1
Cl (Gew.%)	0,6	0,4
S (ppm)	14.570	6.051
K (ppm)	16.537	11.197
Ca (ppm)	144.296	58.480
Ti (ppm)	8.026	4.414
V (ppm)	82	57
Cr (ppm)	593	213
Mn (ppm)	888	571
Fe (ppm)	24.987	23.587
Ni (ppm)	323	202
Cu (ppm)	531	316
Zn (ppm)	6.810	2.838
As (ppm)	-	-
Se (ppm)	14	-
Rb (ppm)	58	41
Sr (ppm)	505	268
Zr (ppm)	90	95
Mo (ppm)	50	44
Sn (ppm)	208	217
Sb (ppm)	321	170
J (ppm)	587	-
Cs (ppm)	942	604
Ba (ppm)	3.448	1.864
Ta (ppm)	21	26
W (ppm)	47	-
Pb (ppm)	649	420

Abb. 17.14: Analytik der Kesselasche

Parameter	Frischmüll 15.03.91		Frisch-/Altmüll 18.03.91	
	roh	wmf	roh	wmf
pH bei 20°C		10,3		9,8
Elektr. Leitfähigkeit (uS/cm bei 20°C)		520		475
Abd.rückst. _{110°C} (mg/l)	233,5	334,0	244,7	340,0
Glührückst. _{550°C} (mg/l)	215,2	308,0	216,0	300,0
Na (mg/l)	18,2	26,1	15,5	21,5
K (mg/l)	7,5	10,8	4,3	6,0
Ca (mg/l)	50,4	72,1	46,1	64,1
Mg (mg/l)	2,5	3,6	1,7	2,4
Fe (mg/l)	0,02	0,03	0,01	0,02
Cd (mg/l)		< 0,005		< 0,005
Cr (mg/l)		< 0,01		< 0,01
Cu (mg/l)		< 0,01		< 0,01
Ni (mg/l)		< 0,01		< 0,01
Pb (mg/l)		< 0,01		< 0,01
Zn (mg/l)		< 0,01		< 0,01
As (mg/l)		< 0,001		< 0,001
Hg (mg/l)		< 0,001		< 0,001
F ⁻ (mg/l)	0,2	0,3	0,1	0,2
Cl ⁻ (mg/l)	33,1	47,4	27,6	38,3
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	99,2	142,0	98,6	137,0
CN ⁻ (mg/l)		< 0,05		< 0,05
chem. Sauerst.b. (mg/l)		<15,0		21,7
EOX (mg/l)		n.n.		n.n.
PAK (mg/l)	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002

Abb. 17.15a: Rohschlacken-Analytik (EVT und KfK)

Parameter	Frischmüll 15.03.91	Frisch-/Altmüll 18.03.91
Menge (kg/Std)	6.417	6.833
Gesamtwasser (%)	13,30	13,94
Metallgehalt, roh (%)	16,82	14,07
Brennbares, roh (%)	0,14	0,40
Brennbares, wf (%)	0,16	0,47
Brennbares, wmf (%)	0,20	0,56
C (%)	0,9	1,1
Cl ⁻ (%)	0,2	0,1
S (ppm)	3.472	3.797
K (ppm)	10.681	10.577
Ca (ppm)	84.415	81.594
Ti (ppm)	6.324	4.041
V (ppm)	132	83
Cr (ppm)	528	347
Mn (ppm)	1.006	1.312
Fe (ppm)	90.361	76.536
Ni (ppm)	229	229
Cu (ppm)	1.499	1.476
Zn (ppm)	1.671	1.869
As (ppm)	30	32
Se (ppm)	6	-
Rb (ppm)	46	48
Sr (ppm)	430	330
Zr (ppm)	127	214
Mo (ppm)	20	55
Cd (ppm)	-	-
Sn (ppm)	275	135
Sb (ppm)	-	-
J (ppm)	-	-
Cs (ppm)	1.154	803
Ba (ppm)	6.723	2.681
Ta (ppm)	32	106
W (ppm)	229	92
Pb (ppm)	1.095	1.394

Abb. 17.15b: Eluat-Untersuchungen der Rohschlacke (1:10, DIN 38414-S4)

4.9 Beprobung und Untersuchung der anfallenden Rohschlacke

Die während des Versuchs anfallende Rohschlacke wurde nach VOB-Merkblatt 216 H beprobt. In allen repräsentativen Teilproben wurden anschließend die Parameter Wassergehalt, Metallgehalt, Glühverlust und Eluat-Charakteristik bestimmt. Darüber hinaus wurden zusätzlich die Gehalte an Schwermetall und elementarem Kohlenstoff bestimmt (Abb. 17.15a u. 15b).

Die hierbei beobachteten Ergebnisse liegen im Bereich der üblichen betriebsbedingten Schwankungsbreite. Ein Einfluß der unterschiedlichen Brennstoffqualitäten ist hierbei nicht

zu erkennen. Insbesondere bleibt die sehr gute Qualität des Ausbrandes des Brennstoffes unverändert, was für die Weiterverwendung der Schlacke von großer Bedeutung ist.

Die beim Verbrennen der Frischmüll/Altmüll-Mischung angefallene Rohschlacke wurde nach entsprechender Zwischenlagerung zum Abklingen der Restreaktionen durch die betreffende Verwertungsfirma maschinell gesiebt und sortiert. Das Siebgut und die aussortierte Abfallfraktion wird normalerweise im Straßenbau bzw. in Metallhütten wieder verwendet. Auswirkungen auf die Wiederverwendbarkeit und die Umweltverträglichkeit der aus dem Verbrennungsversuch stammenden Schlacke konnte nicht nachgewiesen werden. Dies wurde sowohl durch die Eigenüberwachung der Schlackeaufbereitungsfirma als auch bei der Fremdüberwachung durch ein Universitätsinstitut festgestellt.

4.10 Durchsatzleistung des Müllheizkessels

Die Regelung des Kessels ist darauf ausgelegt, die thermische Leistung konstant zu halten. Dies hat zur Folge, daß, wenn sich der Heizwert des Verbrennungsgutes reduziert, der Durchsatz an Müll entsprechend gesteigert wird, bis die gewünschte thermische Leistung des Kessels wieder erreicht ist. Erwartungsgemäß erhöhte sich daher der Gesamtdurchsatz infolge der Zumischung von Altmüll von etwa 15,5 t pro Stunde auf 18 t pro Stunde, d.h. um etwa 17 % .

Betrachtet man nur die Massenströme des Frischmülls, so reduzieren sich diese bei der Zumischung von Altmüll um etwa 13 % . Die Reduzierung des Durchsatzes an Frischmüll ist somit weitaus geringer als es aufgrund der Mischungsverhältnisse zunächst vermutet werden könnte. Da der Feuerungsrost im Kessel 1 auf einen Durchsatz bis zu 20 t pro Stunde Müll ausgelegt ist, besteht daher grundsätzlich die Möglichkeit, den Anteil an Altmüll in der Müllmischung noch weiter zu erhöhen. Der untere Heizwert von ca. 8.000 kJ/kg der Müllmischung läßt ebenfalls noch eine Erhöhung des Mischungsverhältnisses zugunsten des Altmülls zu.

5. Zusammenfassung und Bewertung der Versuchsergebnisse

Der Verbrennungsversuch am Modellstandort Mannheim ergab, daß eine Mitverbrennung von Altmüll im Mischungsverhältnis 1:3 bei den hier angetroffenen Müllzusammensetzungen sowohl verbrennungstechnisch als auch unter Emissionsbetrachtungen durchführbar ist. Im einzelnen können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

Die Zumischung von Altmüll zu Frischmüll läßt sich in den normalen Betriebsablauf einer Müllverbrennungsanlage ohne größere Probleme integrieren. Eine zufriedenstellende Mischung kann durch abwechselndes Abkippen der verschiedenen Müllsorten und durch ein einmaliges Umsetzen mit dem Müllbunker-Kran erreicht werden. Die sehr unterschiedliche Konsistenz von Altmüll und Frischmüll erwies sich als unproblematisch. Eine vermutete Anreicherung des feinkörnigen Altmülls am Boden des Müllbunkers durch Entmischung konnte nicht beobachtet werden.

Die regelungstechnischen Möglichkeiten des Feuerungssystems erlaubten es, einen Betriebspunkt zu finden, bei dem die Frischmüll/Altmüll-Mischung unter ähnlichen Bedingungen wie bei der reinen Frischmüllfeuerung verbrannt werden konnte. Insbesondere mußte die

Feuerführung mit der Einzelfeldregulierung des Vorschubsrostes durch Intensivierung der Schürbewegung an die Brennstoffeigenschaften der Müllmischung angepaßt werden. Die beobachteten Verbackungen der Müllmischungen konnten auf diese Weise kompensiert werden.

Für eine Prognose hinsichtlich der Änderung des Verschleißes der Kesselanlage durch Zumischung von Altmüll ist aufgrund der Kürze des Versuchs sehr schwierig. Möglicherweise bedingt die notwendige intensivere Schürung des Rosts und die hiermit verbundene Temperaturerhöhung der Roststäbe um ca. 50°C im vorderen Rostbereich einen erhöhten Verschleiß und somit kürzere Standzeit. Weitere wichtige Parameter, die den Kesselverschleiß wesentlich beeinflussen, wie etwa der Staubgehalt und die Rohgasgeschwindigkeit, änderten sich infolge der Zumischung von Altmüll nur unwesentlich, so daß negative Einflüsse hierdurch weniger zu erwarten sind. Der Ausbrand ist auch bei der Zumischung von Altmüll sehr gut, so daß sowohl hinsichtlich der Wiederverwendbarkeit der Schlacke als auch unter Umweltgesichtspunkten keine Einschränkungen gemacht werden müssen.

Von den Rohgasinhaltsstoffen erhöhten sich durch die Altmüllzumischung lediglich die Parameter SO₂, NO_x, HCl und Quecksilber in signifikantem Maße. Außerdem konnte eine Verschiebung der Chlor-Massenströme beobachtet werden. So lag bei der Verbrennung der Mischung der Chlorid-Gehalt im E-Filterstaub um ca. 22 % niedriger, während die HCl-Konzentration im Rohgas ca. 17 % höher lag. Die Rauchgasreinigungsanlage war jedoch in der Lage, diese Parameteränderungen bezüglich der Rohgasinhaltsstoffe aufzufangen, so daß keine Änderung hinsichtlich der Emissionen festgestellt werden konnte, die auf eine Änderung der Müllzusammensetzung zurückzuführen wäre. Dies gilt auch für die Emissionen von Dioxinen und Furanen.

Der Verbrennungsversuch wurde mit einem Mischungsverhältnis von Frisch- zu Altmüll von 3:1 durchgeführt. Bei der Verbrennung der Müllmischung erhöhte sich zwar der Gesamtdurchsatz des Kessels um etwa 18 %, bezüglich der Frischmüllverbrennung ergab sich jedoch eine Reduzierung der Durchsatzmenge um 13 %. Eine Mitverbrennung von Altmüll bedeutet daher hinsichtlich der Frischmüllverbrennung eine Kapazitätsreduzierung. Eine weitere Erhöhung des Altmüllanteils bei der Mischung erscheint möglich, da hinsichtlich der Durchsatzleistung der Verbrennungsanlage und dem unteren Heizwert der Müllmischung noch Spielraum besteht. Hierbei muß berücksichtigt werden, daß der untere Heizwert des Frischmülls zum Zeitpunkt des Versuchs mit 10.000 kJ/kg als sehr hoch bezeichnet werden muß, und daß die angestrebte getrennte Erfassung des Hausmülls in Zukunft evtl. eine Verminderung des Heizwerts zur Folge haben kann. Altmüll alleine wird aufgrund des niedrigen Heizwerts in der Regel nicht ohne Stützfeuerung verbrennbar sein.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Mitverbrennung von Altmüll unter den bei diesem Versuch vorliegenden Randbedingungen, insbesondere der hier vorliegenden Altmüllqualität, grundsätzlich anwendbar ist. Die vermuteten geringeren Standzeiten infolge höheren Verschleißes lassen sich durch konstruktive Maßnahmen höchstwahrscheinlich kompensieren, so daß die mit dem vorliegenden Verbrennungsversuch gemachten Erfahrungen auch beim Neubau einer Müllverbrennungsanlage herangezogen werden können, die neben der üblichen Hausmüllverbrennung dann auch zur Altlastensanierung mitgenutzt werden könnte.

Altlastenbearbeitung aus rechtlicher Sicht

*Jutta Pollich,
Regierungspräsidium Karlsruhe*

1. Einleitung

Die Behandlung von Rechtsfragen, die sich bei Erkundung und Sanierung von Altlasten stellen, hat bislang nicht in ausreichendem Umfang Beachtung gefunden.

Aus der Notwendigkeit, zunächst zur Gefahrenabwehr tätig zu werden, wurde aus nachvollziehbaren Gründen der fachtechnischen Seite der Altlastenbearbeitung erhebliche Aufmerksamkeit gewidmet. Zwischenzeitlich befindet sich das technische Know-how auf einem hohen Niveau. Die Aufarbeitung anstehender Rechtsfragen hat nicht in allen Bereichen eine vergleichbare Entwicklung erfahren.

Die nachfolgenden Ausführungen setzen sich mit einem Bereich von Rechtsfragen auseinander, der bisher relativ wenig beachtet wurde. Es handelt sich um den Fall, daß - nachdem alle weiteren Voraussetzungen erfüllt sind (z.B. Bestimmung des Sanierungspflichtigen, Bestimmung des Sanierungszieles) - die durchzuführenden technischen Maßnahmen einer Erkundung oder Sanierung bestimmt wurden und nunmehr umgesetzt werden sollen. Hier stellt sich die Frage, ob und welche Genehmigungsverfahren für die einzelne Maßnahme erforderlich bzw. welche gesetzlichen Anforderungen inhaltlich zu beachten sind. Die bestehenden Defizite in der Aufarbeitung betreffen hier zum einen die "schlichte" Anwendung des derzeit geltenden Rechts. Daß diese Rechtsanwendung alles andere als schlicht im Sinne von unproblematisch ist, wird sich nachfolgend noch zeigen. Zum anderen ist es augenfällig, daß verschiedene Probleme nur durch gesetzgeberische Initiativen zu lösen sind. Dies, weil sich beispielsweise verschiedene Rechtsmaterien als in der Anwendung unbefriedigend erweisen oder Harmonisierungsbedarf im Hinblick auf andere Rechtsvorschriften besteht.

Die rechtliche Seite der **Altlastenbearbeitung** stellt eine außerordentlich komplexe Materie dar. Eine Fülle von Vorschriften ist betroffen. Mit dem Abfallrecht, Immissionsschutzrecht, Wasserrecht, Baurecht, Naturschutzrecht und Bodenschutzrecht seien nur einige genannt. Stets mit der Altlastenbearbeitung verknüpft sind Fragen des Arbeitsschutzes. Hinzu kommen rechtliche Materien, die sich zunächst nicht unmittelbar als erheblich aufdrängen und deshalb leicht übersehen werden. Beispielhaft sei hier auf die Anforderungen nach der Gefahrgutverordnung Straße für den Transport bestimmter (gefährlicher) Güter hingewiesen.

Maßnahmen der Altlastenerkundung und -sanierung unterfallen fast ohne Ausnahme bestimmten, unbedingt einzuhaltenden gesetzlichen Anforderungen. Häufig ist zwingend ein behördliches Verfahren zur Genehmigung der einzelnen Maßnahmen vorgeschrieben. Bei einer nicht geringen Anzahl von Genehmigungsverfahren handelt es sich um förmliche Verfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung. Als Beispiele können die abfallrechtliche Planfeststellung und das wasserrechtliche Erlaubnisverfahren genannt werden.

An das Gebot, den jeweiligen rechtlichen Anforderungen zu genügen, ist jedermann gebunden und damit jeder an der Altlastenbearbeitung Beteiligte.

Die in der Praxis zu behandelnden Rechtsfragen sind so zahlreich, daß es den hier vorgegebenen Rahmen sprengen würde, wollte man nur annähernd einen vollständigen Überblick geben. Die Problematik soll deshalb eher schlaglichtartig dargestellt werden, um einen Eindruck von den wesentlichen Fragen, Erkenntnissen und möglichen Lösungsansätzen zu vermitteln.

Das hier Vorgetragene basiert auf Erfahrungen, die bei der Begleitung des Modellstandortes Mühlacker im Rahmen einer Projektgruppe Recht gewonnen wurden. Die Projektgruppe wurde eigens eingerichtet, um die für die Erkundung und Sanierung Verantwortlichen bei konkret anstehenden Problemen zu beraten. Daneben wurden rechtliche Aspekte aufgegriffen, die über die anstehenden Fragen hinausgehen und für die Altlastenbearbeitung allgemein von Bedeutung sind. Neben der Problemlösung an sich war und ist es Zielsetzung der Projektgruppe Recht, möglichst einfach zu handhabende, die praktische Umsetzung einzelner Maßnahmen so wenig wie möglich hindernde Lösungen zu finden. Dem sind jedoch - und das wird in der Praxis häufig als unbefriedigend empfunden - deutliche Grenzen gesetzt.

An der Projektgruppe Recht sind neben dem beauftragten Standort-Ingenieur-Büro noch Vertreter des Umweltministeriums Baden-Württemberg, der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, des zuständigen Landratsamtes und des Regierungspräsidiums Karlsruhe beteiligt. Bei Bedarf wurden zu Sonderfragen jeweils weitere Experten (z. B. Vertreter des Gewerbeaufsichtsamtes oder des Amtes für Wasserwirtschaft und Bodenschutz) hinzugezogen.

Verschiedene der nachfolgend angesprochenen Fragen und skizzierten Lösungsmöglichkeiten sind bislang nicht abschließend diskutiert. Die Projektgruppe Recht hat in einem ersten Arbeitspapier die Problematik aufgegriffen und erste Lösungsansätze formuliert. Die Fülle der betroffenen Rechtsbereiche und ihre vielfältigen Verknüpfungen mögen zunächst Verwirrung, vielleicht auch Ablehnung hervorrufen. Es soll an dieser Stelle ausdrücklich hervorgehoben werden, daß dies mit der vorliegenden Ausarbeitung gerade nicht bezweckt ist. Es ist vielmehr beabsichtigt, die an der Altlastenbearbeitung Beteiligten im Hinblick auf die Problematik zu sensibilisieren und insgesamt einen Anstoß zu einer intensiveren Auseinandersetzung mit den anstehenden Rechtsfragen zu geben.

2. Überblick über wesentliche Problempunkte nach der derzeitigen gegebenen Rechtslage

Wie schwierig sich die Beantwortung einzelner Rechtsfragen bereits bei technisch relativ einfach gelagerten Maßnahmen der Altlastenbearbeitung darstellt, läßt sich anhand einiger praktischer Beispiele verdeutlichen. Beim Modellstandort Mühlacker wurde neben der Altlast eine asphaltierte Fläche geschaffen. Diese wurde mit einem ca. 2 Meter hohen Zaun gesichert. Sie diente als Abstellplatz für Arbeitsgeräte. Zugleich wurde dort in verschiedenen großen Behältnissen kontaminiertes Material gelagert, das zu verschiedenen Labors bzw. Behandlungsanlagen verbracht werden sollte.

Es stellte sich zunächst die Frage, ob und welche Genehmigungen für die Fläche erforderlich seien. So war zunächst zu untersuchen, ob das Abfallrecht oder das Baurecht einschlägig waren. Hinzu kam der Aspekt, ob es sich zugleich um eine Anlage zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen entsprechend der wasserrechtlichen Vorschriften handelt. Weiterhin zu berücksichtigen war der Aspekt Arbeitsschutz.

Da das Material transportiert werden sollte, mußte geprüft werden, ob es bei dem vorgesehenen Transport auf der Straße als relevantes Gut nach der Gefahrgutverordnung Straße einzu-stufen war und welche Gestattungen danach einzuholen waren. War das Material Abfall im Sinne des Abfallgesetzes, würden an den Transport auch die Anforderungen nach Abfallrecht zu stellen sein.

Andere Fragen ergaben sich im Zusammenhang mit der Grundwassersanierung bzw. Bodenluftabsaugung:

Wann reicht für einzelne Arbeiten eine schlichte Bohranzeige nach Wasserrecht aus? Wann bedarf es bereits für Probebohrungen bzw. Probenentnahmen ins Grundwasser einer wasserrechtlichen Erlaubnis? Welche einzelnen Gestattungen nach Abfallrecht, Wasserrecht oder ggf. nach Baurecht oder Immissionsschutzrecht bedürfen die installierten Anlagen?

Stellt die Abluftreinigung mittels UV-Oxidation eine Verbrennung dar, die eine Genehmigungspflicht nach Immissionsschutzrecht auslöst? Sofern ein immissionsschutzrechtliches Verfahren nicht erforderlich ist, welche Standards sind nach Immissionsschutzrecht dennoch einzuhalten, z. B. hinsichtlich der von einer Anlage abgegebenen Abluft?

Völlig andere zu bedenkende Aspekte, die sich im Zusammenhang mit der Arbeit der Projektgruppe Recht ergaben, sind folgende:

Wie ist die Rechtslage, wenn eine Altlast in einem als Wasserschutzgebiet auszuweisenden Bereich liegt? Was ist zu beachten, wenn Maßnahmen an einer Fläche durchgeführt werden sollen, die in einem Gebiet liegt, dem naturschutzrechtlich eine besondere Bedeutung zukommt?

Die vorgenannten Rechtsfragen - es handelt sich nur um wenige Beispiele, der Fragenkatalog ließe sich beliebig fortsetzen - vermitteln einen Eindruck, wie verwirrend sich die rechtliche Situation zunächst darstellte.

2.1 Vielzahl betroffener Rechtsbereiche

Ein wesentlicher Grund, warum sich die rechtliche Situation für die an der Altlastenbearbeitung Beteiligten als verwirrend darstellte, liegt darin, daß bei den einzelnen Maßnahmen der Altlastenbearbeitung eine Vielzahl unterschiedlicher gesetzlicher Regelungen einschlägig sein kann und deshalb jeweils eine sorgfältige rechtliche Prüfung erforderlich wird.

Es gibt kein spezielles Regelwerk, das die Altlastenbearbeitung abschließend behandelt. Es sind jeweils im Einzelfall die in Frage kommenden Regelungsmaterien auf ihre Einschlägigkeit zu prüfen; dies bei einer hohen Regelungsdichte. Auf verschiedene Gesetze, die bei der Altlastenbearbeitung Bedeutung gewinnen können, wurde bereits eingangs hingewiesen.

Spezielle bundesrechtliche Bestimmungen zur Altlastenbehandlung bestehen nicht. Damit war der Landesgesetzgeber gefordert. Dieser hat in Baden-Württemberg in den §§ 22 ff Landesabfallgesetz (LAbfG) /1/ verschiedene altlastenrechtliche Regelungen getroffen.

In § 25 Abs. 2 LAbfG wird die zuständige Wasserbehörde ermächtigt, die zur Sanierung und Überwachung einer Altlast erforderlichen Maßnahmen anzuordnen. Nach § 27 LAbfG kann die Wasserbehörde zur Vorbereitung von Anordnungen nach § 25 LAbfG verlangen, daß ein Sanierungsplan erstellt wird.

Es gibt in den §§ 22 ff LAbfG keine speziellen Verfahrensvorschriften, keine detaillierten Kriterien zur Bewertung von Altlasten und zur Bestimmung des Sanierungszieles wie auch der Mittel, mit denen das Sanierungsziel erreicht werden kann. Dem gegenüber machen einzelne Maßnahmen der Altlastenerkundung und -sanierung für sich betrachtet ein förmliches Verfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung nach den für sie geltenden Vorschriften erforderlich. So wird z. B. bei der Grundwassersanierung Grundwasser zu Tage geleitet und nach Reinigung wieder ab- bzw. eingeleitet (z. B. in das Grundwasser oder ein Oberflächengewässer). Diese Vorgänge stellen eine wasserrechtliche Benutzung (§ 3 Abs. 1 Nr. 4, Nr. 5, Nr. 6 WHG) dar. Hierfür ist grundsätzlich eine wasserrechtliche Erlaubnis notwendig, die im förmlichen Verfahren nach Wasserrecht (§ 108 WHG) in Verbindung mit den ergänzenden Vorschriften des Landesverwaltungsverfahrensgesetzes zum förmlichen Verfahren und Planfeststellungsverfahren erteilt werden kann.

In gleicher Weise speziell sind Verfahren z. B. nach Immissionsschutzrecht und Abfallrecht.

Das Altlastenrecht, wie es in den §§ 22 ff LAbfG normiert ist, stellt vor diesem Hintergrund einen ersten und umfassend zu verstehenden Ansatzpunkt zur Erfassung und Behandlung von Altlasten dar. Altlasten werden danach insgesamt und zunächst unabhängig vom Geltungsbereich einzelner Fachgesetze aufgegriffen. Eine wichtige Funktion des Altlastenrechts besteht damit darin, daß auch die Altlasten erfaßt werden können, die nicht unter die Begrifflichkeit eines Fachgesetzes (z. B. AbfG oder WHG) fallen. Soweit aber spezielle Rechtsmaterien (Fachgesetze) eingreifen, werden diese durch die §§ 22 ff LAbfG nicht verdrängt. Sie sind vielmehr bei den einzelnen Maßnahmen an einer Altlast mit ihren Anforderungen voll umfänglich zu beachten.

Probleme bei Anwendung der Fachgesetze ergeben sich nicht selten daraus, daß diese nicht primär für die Altlastenbearbeitung konzipiert sind. Sie haben andere typische Konstellationen im Blick (ein Beispiel aus dem Immissionsschutzrecht: Errichtung und Betrieb von Produktionsstätten). Die Vorschriften können deshalb oft nicht routinemäßig im Altlastenbereich umgesetzt werden, sondern machen es erforderlich, sie nach ihrem Wortlaut wie auch ihrem Sinn und Zweck im Lichte der altlastenrechtlichen Problematik neu zu betrachten und zu entscheiden, ob und wie die einzelnen Vorschriften zur Anwendung kommen.

Nachfolgend sollen nunmehr einzelne Aspekte anhand einiger, für die Altlastenerkundung und -sanierung wesentlicher Rechtsmaterien dargestellt werden.

2.1.1 Abfallrecht

Abfallrecht (AbfG des Bundes und LAbfG) und **Altlastenrecht** sind eng verknüpft. Das Altlastenrecht (§§ 22 ff LAbfG) ist Teil des LAbfG. Dennoch gehen beide Materien von unterschiedlichen Ansätzen aus, was zum Teil Probleme aufwirft.

Das Abfallgesetz des Bundes (AbfG) /2/ ist vorrangig ein Abfallwirtschaftsgesetz, das auf die Vermeidung, Verminderung und Verwertung von Abfällen abzielt. Angefallene Abfälle sind ordnungsgemäß zu entsorgen. So gilt es, die einzelnen Entsorgungsschritte zu regeln und zu überwachen.

Das landesrechtlich geregelte Altlastenrecht (§§ 22 ff LAbfG) geht - vereinfachend ausgedrückt und mit Blick auf die gängige Praxis - dagegen von einem eher polizeirechtlichen Ansatz, dem der Gefahrenabwehr, aus. Ziel der Altlastenbehandlung ist grob gesagt, daß der Sanierungspflichtige die Altlast in einen gemeinwohlverträglichen Zustand versetzt (vgl. § 25 Abs. 1 LAbfG).

Diese grundsätzlich verschiedenen Ansätze werden relevant, wenn Material aus einer Altlast als Abfall einzustufen ist.

Abfälle sind nach § 1 AbfG bewegliche Sachen, deren sich der Besitzer entledigen will (subjektiver Abfallbegriff) oder deren geordnete Entsorgung zur Wahrung des Wohls der Allgemeinheit, insbesondere des Schutzes der Umwelt, geboten ist (objektiver Abfallbegriff).

Bei Material aus einer Altlast, das aus dieser entnommen wird, handelt es sich in aller Regel um Abfall. Mit der Entnahme wird das Material beweglich. Das Material ist kontaminiert, so daß regelmäßig eine geordnete Entsorgung zur Wahrung des Wohls der Allgemeinheit geboten ist (objektiver Abfallbegriff).

Im Grundsätzlichen ließe sich hier in verschiedenen Fällen die Frage stellen, ob es sich gerade bei zu behandelndem Material nicht auch um Wirtschaftsgut handeln könnte. Wirtschaftsgut ist kein Abfall und unterfällt damit auch nicht dem Regime der abfallrechtlichen Vorschriften. Wie die Abgrenzung von Abfall und Wirtschaftsgut im altlastenrechtlichen Bereich aussehen könnte, bedarf noch weiterer Diskussion.

Geht man bei entnommenem Material davon aus, daß es als Abfall einzustufen ist, ergeben sich in der Praxis u.a. folgende Konsequenzen:

Die vorhin angesprochene asphaltierte Fläche beim Modellstandort Mühlacker auf der Material (Abfall) aus der Altlast zwischengelagert wurde, stellt eine Abfallentsorgungsanlage (Abfallentsorgungsanlagen umfassen auch Anlagen zum Lagern und Ablagern von Abfällen) dar, deren Errichtung und Betrieb einer abfallrechtlichen Zulassung nach § 7 AbfG bedarf. Grundsätzlich ist für diese Anlagen nach § 7 Abs. 1 AbfG ein Planfeststellungsverfahren erforderlich. Nachdem im konkreten Fall jedoch verhältnismäßig geringe Mengen für den Transport in geeigneten Behältnissen bereit gehalten wurden, hat man es für vertretbar erachtet, von § 7 Abs. 2 AbfG Gebrauch zu machen. Wenn es sich um eine "unbedeutende Anlage" handelt, kann statt des aufwendigeren Planfeststellungsverfahrens ein abfallrechtliches Genehmigungsverfahren durchgeführt werden. Die Abgrenzung, ob eine Anlage noch als unbedeutende

Anlage eingestuft werden kann, kann jeweils nur anhand der konkreten Umstände des Einzelfalles erfolgen. Die Abgrenzung stellt sich nicht immer als einfach dar.

Wie bereits ausgeführt, wurde das Material vom Modellstandort zu verschiedenen Orten zur Beprobung und Behandlung transportiert. Da das Material dem Abfallbegriff unterfällt, gelten auch hinsichtlich des Transports die besonderen Anforderungen des Abfallrechts.

Nach § 12 Abs. 1 AbfG besteht sowohl für gewerbliche Beförderer als auch für wirtschaftliche Unternehmen für die **Beförderung von Abfall** grundsätzlich eine Genehmigungspflicht. Insbesondere bei der Beförderung von Proben kann jedoch nach § 12 Abs. 1 Zif. 3 AbfG eine Ausnahme von der Genehmigungspflicht bestehen (ausgenommen hiervon sind wiederum gewerbsmäßige Beförderer, also Mülltransportunternehmen). Entscheidend dafür, ob eine Ausnahme von der Genehmigungspflicht möglich ist, sind Menge und Gefährlichkeit des transportierten Stoffes, die Häufigkeit des Transports sowie die Zuverlässigkeit des Transporteurs. Im konkreten Fall wurde die Ausnahme für den Transport von Einzelproben in 40-Liter-Behältnissen bejaht. Man orientierte sich an der Verwaltungsvorschrift /3/ des Umweltministeriums Baden-Württemberg zur Durchführung der §§ 11 und 12 AbfG, die eine Menge von 50 kg als "Kleinstmenge" einstuft. Im konkreten Fall wurde in Anlehnung daran als ohne Genehmigung zulässig eine Menge angesehen, die von Gewicht und Volumen noch in einem PKW-Kofferraum transportierbar ist. Im Fall des Modellstandortes Mühlacker war dies relevant für den Transport von Proben durch das die Sanierung durchführende Ingenieurbüro.

Ergänzend sei darauf hingewiesen, daß dann, wenn es sich bei Material um überwachungsbedürftige Abfälle handelt (Sonderabfall; maßgeblich ist die Abfallbestimmungsverordnung /4/) entsprechend der Abfallüberwachungsverordnung /5/ ein Entsorgungsnachweis zu führen ist.

Im Falle des Modellstandortes Mühlacker lagen einige Labors, zu denen Proben transportiert werden sollten, im Ausland. Für die Verbringung von Abfällen aus dem Geltungsbereich des Abfallgesetzes bedarf es grundsätzlich einer Exportgenehmigung nach dem Abfallgesetz (§ 13 AbfG).

Die zuletzt genannten Bestimmungen sind von Bedeutung, weil durch sie einer Gefahr illegaler Entsorgung insbesondere von besonders gefährlichen Abfällen und auch einem unerwünschten Abfalltourismus entgegengetreten werden soll.

Bei dem zu transportierenden Material aus dem Modellstandort Mühlacker mußten die dargestellten Anforderungen an den Transport (Transportgenehmigung, Entsorgungsnachweis, Exportgenehmigung) nicht voll umfänglich erfüllt werden. Für größere Mengen, die zu einer Behandlungsanlage verbracht wurden, hatte der gewerbliche Transporteur bereits alle erforderlichen behördlichen Gestattungen inne.

Bezüglich der geringeren Probenmengen wurde es vor dem Sinn und Zweck der gesetzlichen Vorschriften für richtig erachtet, daß weder Beförderungs- noch Exportgenehmigung erforderlich sind. Wenige Transporte geringer Mengen stellen nicht die Gefahr von unkontrollierter Beförderung bzw. von unzulässigem Abfalltourismus dar, die der Gesetzgeber im Auge hat. Das Material sollte auch nicht "entsorgt" werden, was voraussetzt, daß sich der Abfallbesitzer des Abfalls endgültig entledigen will, sondern es wurde nach der Beprobung von den Labors wieder zurückgegeben und zum Modellstandort zurücktransportiert.

Es tauchte dann jedoch die Frage auf, ob es nicht gerade zu erheblichen Schwierigkeiten führen kann, wenn keinerlei Gestattung, d.h. vorzeigbares Papier, für den Transport kleiner Mengen vorliegen muß. Zu denken wäre etwa an Kontrollen durch die Polizei oder Grenzkontrollen. Als Lösung bietet sich hier generell an, frühzeitig mit der zuständigen Behörde zu klären, ob und welche Gestattungen erforderlich sind. Sind keine Gestattungen notwendig, könnte dies durch die Behörde schriftlich bestätigt werden. Zur weiteren Absicherung des Sanierungspflichtigen und des Transporteurs sowie zur Dokumentation sollte darüber hinaus dem Transport ein Merkblatt beigelegt werden, aus dem die Abfallart, -menge, -erzeuger sowie die für die Altlastensanierung zuständige Behörde ersichtlich sind.

Anhand von zwei Beispielen kann die vorhin angesprochene Kluft, die sich zwischen Abfallrecht und Altlastenrecht aufspannen kann, dargestellt werden. Die hier angesprochene Problematik ist rechtlich komplex und noch nicht ausdiskutiert. Sie soll deshalb nur kurz skizziert werden.

In der Praxis werden häufig Proben, wobei es sich auch um umfangreichere Mengen handeln kann, aus der Altlast entnommen, um das Material beispielsweise auf seine Zusammensetzung zu untersuchen. Wird das belastete Material nicht mehr benötigt, ist es durchaus üblich, es an Ort und Stelle wieder einzubauen. Spätestens mit der Entnahme ist das Material beweglich und damit zu Abfall geworden (wegen der bestehenden Belastung ist eine ordnungsgemäße Entsorgung zur Wahrung des Wohl der Allgemeinheit geboten - objektiver Abfallbegriff). Bei Material, das im Rahmen einer Sanierung behandelt und bis auf das Sanierungsziel gereinigt wurde und das nach der Sanierungskonzeption an Ort und Stelle wieder eingebaut werden und dort verbleiben kann, ist denkbar, daß es sich bei diesem Material auch weiterhin um Abfall handelt. Dies könnte zum Beispiel dann der Fall sein, wenn das gemäß dem Sanierungsziel behandelte Material, weil eine weitergehende Behandlung z.B. technisch nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich ist, mit der verbleibenden Belastung im Hinblick auf die Schutzgüter des Abfallrechts (§ 2 Abs. 1 AbfG) als Abfall einzustufen wäre.

Abfall darf nur in dafür zugelassenen Anlagen oder Einrichtungen gelagert oder abgelagert werden. Die einzuhaltenden Standards sind die des Zeitpunktes, zu dem der Wiedereinbau erfolgt. Auch wenn es sich bei der Altlast um eine ehemalige Deponie handelt, die in irgendeiner Form genehmigt wurde, stellt diese früher erteilte Genehmigung keinen Lösungsansatz zum Wiedereinbau des Materials dar. Mit Abschluß der Deponie ist die Genehmigung ausgeschöpft. Sie schützt allenfalls den Bestand, berechtigt aber nicht zum Wiedereinbau zuvor entnommenen Materials.

Bei konsequenter Anwendung des Abfallrechts müßte entweder für die Altlast bei entsprechender Nachrüstung ein abfallrechtliches Planfeststellungs- bzw. Genehmigungsverfahren durchgeführt werden, was bei den heute geltenden Standards häufig keine Aussicht auf Erfolg haben dürfte, oder das Material wäre auf zugelassene Deponien zu verbringen. Hier wird deutlich, daß zwischen Abfallrecht als Abfallwirtschaftsrecht und dem Altlastenrecht, das grundsätzlich von der Herstellung eines gemeinwohlverträglichen Zustandes vor Ort ausgeht, ein gewisser Harmonisierungsbedarf besteht. Das Abfallrecht stellt an sich die spezieller geregelte Materie dar und müßte damit gegenüber der altlastenrechtlichen Konzeption durchgreifen. Im Ergebnis würde es jedoch ein mehr als unbefriedigendes Resultat darstellen, wenn z.B. bis auf das Sanierungsziel gereinigtes Material, das an Ort und Stelle wiedereingebaut werden und dort verbleiben könnte, auf zugelassenen Abfallentsorgungsanlagen zu verbringen wäre. Damit würde der ohnehin knappe Deponieraum noch weiter geschmälert.

Ob man sich bei dieser Problematik mit der schlichten Begründung, der Gesetzgeber habe dieses sinnwidrige Ergebnis nicht gewollt, bei der derzeitigen Rechtslage behelfen kann, ist noch nicht ausdiskutiert. Auch andere Lösungsansätze erscheinen angesichts der Rechtslage nicht unproblematisch. Wünschenswert wäre eine klare Abgrenzung von Abfallrecht und Altlastenrecht durch den Gesetzgeber.

2.1.2 Wasserrecht

Auch das **Wasserrecht** (Wasserhaushaltsgesetz /6/), baden-württembergisches Wassergesetz /7/) wird in vielfacher Weise durch Maßnahmen der Altlastenbearbeitung berührt. Diese betrifft eine große Anzahl von Genehmigungstatbeständen, aber auch sonstige Anforderungen, die aus wasserrechtlicher Sicht an bestimmte Maßnahmen zu stellen sind.

Hinsichtlich eines praktischen Anwendungsfalles kann an die asphaltierte Fläche beim Modellstandort Mühlacker angeknüpft werden, auf der Material bis zum Transport zwischengelagert wurde. Die Fläche stellt nicht nur eine Abfallbehandlungsanlage dar, sondern auch eine Anlage zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. Die inhaltlichen Anforderungen der § 19 g ff Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und 25 Wassergesetz (WG) an Errichtung und Betrieb einer entsprechenden Anlage sind auch dann zu beachten, wenn die Anlage bereits nach anderen Vorschriften - hier nach Abfallrecht - einer behördlichen Zulassung bedarf.

In der Praxis werden häufig Maßnahmen durchgeführt, die wasserrechtlichen Erlaubnis- bzw. Bewilligungstatbeständen entsprechen (§§ 2, 3, 7, 8 WHG, 13 WG).

Beim Verfahren zur Erteilung einer Erlaubnis oder einer Bewilligung handelt es sich grundsätzlich um ein förmliches Verfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung.

Ohne genauere Benennung der jeweiligen Vorschrift werden nachfolgend einige typische Anwendungsfälle aufgezeigt:

- Entnahme von Grundwasser zur Grundwassersanierung.
- Wiedereinleiten von saniertem Grundwasser in das Grundwasser oder ein Oberflächengewässer.
- Entnehmen und Ableiten von Wasser aus oberirdischen Gewässern oder Entnahme von Grundwasser jeweils zu anderen, der Altlastenerkundung oder -sanierung dienlichen Zwecken. Hierbei kann es sich beispielsweise um einen Einsatz als Kühlwasser oder zur Spülung von Behandlungsanlagen handeln.
- Maßnahmen, die geeignet sind, dauernd oder in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß schädliche Veränderungen der (chemischen, physikalischen oder biologischen) Beschaffenheit des Wassers herbeizuführen. Praktisch relevantes Beispiel sind in-situ-Maßnahmen zur Bodensanierung. Bei der Zugabe von Bakterien, Wasser oder sonstigen Stoffen, die in einer Altlast bestimmte Reaktionen in Gang setzen sollen, sprechen nicht selten hinreichende Gründe dafür, daß durch austretende Stoffe eine nachteilige Veränderung des Grundwassers eintritt.

2.1.3 Immissionsschutzrecht

Bei der nachfolgend zu erörternden Grenzwertproblematik im Zusammenhang mit dem **Immissionsschutzrecht** /8/ handelt es sich weniger um ein Rechtsproblem, als um einen fachlichen Aspekt, der sich bei der Rechtsanwendung als problematisch erweist. In Anordnungen und Gestattungen muß vielfach eine Aussage zu einzuhaltenden Grenzwerten getroffen werden. Als schwierig kann sich hierbei bereits die Bestimmung von einzuhaltenden Grenzwerten erweisen, wenn die abgegebenen Schadstoffe bekannt sind. Handelt es sich z.B. um einen Stoff, der über die bestehenden Regelwerke (z.B. TA-Luft) nicht erfaßt wird, können Grenzwerte ggf. nur in Abstimmung mit den zuständigen Fachbehörden und mit Blick auf den jeweiligen Einzelfall festgelegt werden. Aus einer solchen Situation kann sich insbesondere die unerwünschte Folge einer uneinheitlichen Verwaltungspraxis ergeben.

Noch problematischer stellt sich die Situation dar, wenn es sich um neue, noch wenig erprobte Techniken handelt. Hier kann es bereits an Kriterien fehlen, wie Grenzbelastungen überhaupt festgestellt werden können. So kann es erforderlich werden, die genauen Folgen des Anlagen-einsatzes erst noch intensiver zu erforschen, weil die Möglichkeit besteht, daß durch den Betrieb neue, zuvor nicht vorhandene schädliche Verbindungen auftreten. Ein praktisches Beispiel stellt in diesem Zusammenhang die UV-Oxidation bzw. die thermische Behandlung von Abluft (z.B. bei der Bodenluftabsaugung) dar. Es stellt sich vor diesem Hintergrund die grundsätzliche Frage, ob und wie neue Technologien vor einer weitergehenden Erprobung in der Praxis eingesetzt werden dürfen. Dabei ist zu bedenken, daß an einer Verwendung neuer Techniken ein erhebliches Interesse bestehen kann. So spricht für einen Einsatz der UV-Oxidation ihr hoher Wirkungsgrad bei relativ geringem Energieeinsatz. Ob und mit welchen Maßgaben zur Sicherung und Kontrolle entsprechende Anlagen, deren Einsatz an sich wünschenswert wäre, betrieben werden können, kann derzeit nur im Einzelfall und im Rahmen intensiven Zusammenwirkens der maßgeblichen Stellen entschieden werden.

Wenden wir uns im Rahmen des Immissionsschutzrechts dem Thema Bodenbehandlung zu, stellt sich auch hier zunächst die Frage nach den maßgeblichen Grenzwerten. Zwar wirft bereits der Bodenbegriff Probleme auf. Hierauf soll jedoch später, im Rahmen der Ausführungen zum Bodenschutzrecht, eingegangen werden.

Zur Grenzwertfrage ist festzuhalten, daß eine generelle Bestimmung darüber, was ein in unbedenklichem Umfang belasteter Boden ist, nicht existiert. In der Bundesrepublik besteht kein geschlossenes Regelwerk zu Bodenbelastungen, wie dies in den Niederlanden oder der Schweiz der Fall ist. Geregelt sind lediglich Teilaspekte wie z.B. in der Klärschlammverordnung. Eine Arbeitsgrundlage, die aufzeigt, wie Sanierungsziele für in der Praxis relevante Stoffe und Stoffgruppen bestimmt werden können, ist zwischenzeitlich mit der kürzlich von der LfU verfaßten Informationsschrift "Orientierungswerte bei der Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen" /9/ vorgestellt worden. Darin wird eine Strategie an die Hand gegeben, wie mit Hilfe von Orientierungswerten über den Fortgang der Erkundung und Sanierung einer Altlast (Notwendigkeit weiterer Erkundungen, Notwendigkeit einer Sanierung, Bestimmung des Sanierungszieles unter Berücksichtigung gegebener Hintergrundbelastungen) entschieden werden kann.

Im Zusammenhang mit dem Thema Bodenbehandlung ist weiter die Verordnung zur Änderung der 12. und 4. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes vom 28. August 1991 /10/ von Interesse. Dort wurde unter einer in die 4. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (4. BImSchV) /11/ neu eingefügten Ziffer 8.7 eine Genehmigungsbedürftigkeit für Bodenbehandlungsanlagen eingeführt. So begrüßenswert eine entsprechende Regelung an sich ist, um Errichtung und Betrieb entsprechender Anlagen kontrollieren zu können, kann sie sich in der altlastenrechtlichen Praxis dennoch als problematisch oder unter den sehr unterschiedlichen Fallkonstellationen als nicht angemessen erweisen.

Ziffer 8.7 der 4. BImSchV setzt voraus, daß Boden entnommen wird ("Anlagen zur Behandlung von verunreinigtem Boden, der nicht ausschließlich bzw. ausschließlich am Standort der Anlage entnommen wird,..."). Damit fallen In-situ-Verfahren, auch wenn sie relevante Umweltauswirkungen haben (z.B. über die Abluft), nicht unter eine Genehmigungspflicht nach Immissionsschutzrecht. Zwar ist es nach den § 22 ff BImSchG unter den dort gegebenen Voraussetzungen möglich, Anordnungen zu einzuhaltenden Grenzwerten zu treffen. Dies setzt aber voraus, daß die Maßnahme der zuständigen Behörde überhaupt bekannt wird. Da die Beteiligten nicht verpflichtet sind, sich an die zuständige Behörde zu wenden, dürfte es vielfach eine Frage des Zufalls sein, ob die Behörde von Errichtung und Betrieb einer solchen Anlage Kenntnis erhält.

Wegen der vielgestaltigen und oft auch schwer einschätzbaren Auswirkungen, die Maßnahmen der Altlastenerkundung und -sanierung haben können, sollte hier, aber auch generell in Erwägung gezogen werden, für entsprechende Maßnahmen eine Anzeigepflicht an die zuständige Immissionsschutzbehörde in die rechtlichen Bestimmungen aufzunehmen.

Erweist sich die neue Ziffer 8.7 der 4. BImSchV einerseits als eng, indem sie In-situ-Verfahren nicht erfaßt, greift sie andererseits relativ weit, weil sie jede Anlage einer Genehmigungspflicht unterwirft, wenn in ihr Boden behandelt wird, der zuvor entnommen wurde. Darunter fällt dann beispielsweise auch ein Container, in dem eine relativ geringe Menge ölverseuchten Erdreichs aus einer kleineren privaten Altlast behandelt wird. Der Genehmigungspflicht unterfallen auch Pilotanlagen, deren Errichtung und Betrieb intensiv durch die maßgeblichen Fachbehörden begleitet wird, und die oft nur für einen begrenzten Zeitraum getestet werden sollen. Ein baldiger Probetrieb wäre hier oft wünschenswert. Vorgeschaltet ist nach der jetzt bestehenden Rechtslage das durchzuführende immissionsschutzrechtliche Verfahren. In Fällen, wie den beiden genannten Beispielen, wäre eine Erleichterung - zur Konzentration auf relevante Fälle und damit auch zur Entlastung der Verwaltung - in Form einer Anzeigepflicht an Stelle der erforderlichen Genehmigung aus Sicht der Praxis wünschenswert. Eine solche Lösung erscheint mit Blick auf das jeweilige Gefährdungspotential rechtlich auch vertretbar. Die relativ geringe Gefährdung bei Bagatellfällen kann hingenommen werden. Bei den Pilotanlagen ist bei entsprechender Beteiligung der maßgeblichen Fachbehörden die notwendige Sicherung und Kontrolle gewährleistet.

2.1.4 Bodenschutzrecht

Bereits die Einordnung von zu behandelndem Material als Boden oder Nicht-Boden ist wenig geklärt. Ausgehend vom Begriff Boden selbst, aber auch nach der Definition, die sich aus den § 2, 1 Bodenschutzgesetz (BodSchG /12/) ableiten läßt, handelt es sich nur dann um Boden, wenn Untergrund natürlichen Ursprungs vorliegt, der zwar belastet und damit hinsichtlich seiner Funktion im Naturhaushalt gestört sein kann, aber grundsätzlich als Bestandteil der natürlichen Lebensgrundlagen zu verstehen ist. Damit dürfte Material ausscheiden, das unter keinem Gesichtspunkt Bodenfunktion erfüllen kann (z.B. Abfälle wie Hausmüll oder Produktionsrückstände, die in Deponien abgelagert wurden).

Schwieriger ist die Abgrenzung von Boden und Nicht-Boden dann, wenn der natürliche Untergrund Beimischungen enthält (z.B. belastete Schlacke). Hier könnte sich die Frage stellen, ab welchem Umfang der Beimischung das gesamte Substrat nicht mehr als Boden anzusehen ist. Die Frage, ob es sich noch um Boden handelt, stellt sich auch dann, wenn der Untergrund so extreme Belastungen aufweist, daß ihm keinerlei natürliche Funktion mehr zukommt. Im Interesse eines effektiven Schutzes der natürlichen Lebensgrundlagen sollte der Bodenbegriff grundsätzlich eher weit ausgelegt werden. Um Boden sollte es sich dann noch handeln, wenn mit zumutbarem Aufwand das belastete Substrat wieder einer - wenn auch oft nur beschränkten - Nutzung im Rahmen seiner ursprünglichen Funktion zugeführt werden kann.

Auf die Grenzwertproblematik, die sich mangels eines generellen Regelwerks über zulässige Bodenbelastungen ergibt, sowie auf die jetzt vorliegende Informationsschrift "Orientierungswerte bei der Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen" wurde im Rahmen der Ausführungen zum Immissionsschutzrecht bereits eingegangen.

2.1.5 Baurecht

Für Sanierungspflichtige und die weiteren an der Altlastenbearbeitung Beteiligten ist von Bedeutung, daß bei konkreten Maßnahmen der Altlastenerkundung und -sanierung eine Genehmigungspflicht für bauliche Anlagen bestehen kann. Der Begriff der baulichen Anlage ist nach der Landesbauordnung /13/ (§ 2 LBO) weit gefaßt. Bauliche Anlage ist danach jede mit dem Erdboden verbundene, aus Baustoffen und Bauteilen hergestellte Anlage, wobei es ausreicht, wenn die Anlage durch eigene Schwere auf dem Boden ruht oder wenn die Anlage nach ihrem Verwendungszweck dazu bestimmt ist, überwiegend ortsfest benutzt zu werden. Unter den Begriff der baulichen Anlage fallen so unterschiedliche Objekte wie die Anlagen zur Grundwassersanierung (die baurechtliche Genehmigung ist für diese Anlage zusätzlich erforderlich neben den notwendigen wasserrechtlichen Erlaubnissen, die neben Entnahme bzw. Einleitung von Wasser auch die hierfür erforderlichen Anlagen umfassen) oder zur Bodenluftabsaugung, Einfriedigungen im Außenbereich, befestigte Lagerplätze oder Hütten zur Lagerung von Arbeitsgeräten, die eine bestimmte Größe überschreiten. Wichtig ist im altlastenrechtlichen Zusammenhang auch, daß gemäß § 2 LBO Aufschüttungen und Abgrabungen als bauliche Anlagen gelten. Umfassen sie mehr als 200 m³ Rauminhalt oder 2 m Höhenunterschied gegenüber dem Gelände, bedürfen sie einer Genehmigung (§ 52 Nr. 17 LBO). Bei größer angelegten Probeschürfen kann sich also bereits die Frage einer Genehmigungspflicht stellen.

Genehmigungspflichtig sind weiterhin Abstell- und Lagerplätze im Innenbereich (§ 52 Nr. 18 LBO), wenn sie mehr als 200 m² Fläche umfassen. Im Außenbereich bedürfen Abstell- und Lagerplätze stets einer Baugenehmigung. Wäre der beim Modellstandort Mühlacker geschaffene Lagerplatz nicht nach Abfallrecht zu behandeln gewesen, so hätte er einer Baugenehmigung bedurft. Genehmigungspflichtig sind, wie bereits angedeutet, einfache Sicherungsmaßnahmen, wie z.B. ein Zaun, der eine Altlastfläche gegen den Zutritt Unbefugter schützen soll. Im Außenbereich bedarf ein solcher Zaun stets einer Baugenehmigung (§ 52 Nr. 28 LBO), denn genehmigungsfrei sind dort nur Einfriedigungen, die einem land- oder forstwirtschaftlichen Betrieb dienen.

2.1.6 Naturschutzrecht

Altlasten liegen nicht selten im Außenbereich. Werden dort Maßnahmen durchgeführt, können insbesondere umliegende naturnahe Bereiche betroffen sein. Nach den bundes- und landesrechtlichen Bestimmungen (§§ 1, 2 Bundesnaturschutzgesetz /14/ §§ 3, 1, 29 Landesnaturschutzgesetz /15/) besteht die grundsätzliche Verpflichtung, die natürlichen Lebensgrundlagen in ihrer Funktionsfähigkeit zu schützen, zu erhalten und so wenig wie möglich zu beeinträchtigen. Diesen Aspekt gilt es nach den Umständen des Einzelfalles angemessen zu berücksichtigen.

Noch stärker ist die Bedeutung von besonders schutzwürdigen Bereichen, die durch Arbeiten an einer Altlast nachteilig beeinflusst werden könnten. Ein denkbare Beispiel ist der Fall, daß die notwendige Zufahrt zu einer Altlast zwangsläufig schutzwürdige Bereiche tangiert. Schutzwürdige Bereiche können - nur um einige Beispiele zu nennen - Feuchtgebiete, Landschaftsschutzgebiete oder Naturschutzgebiete sein. Nicht zu vergessen sind die nunmehr durch das Biotopschutzgesetz /16/ geschützte Biotoptypen. Dies sind etwa Streuwiesen, naturnahe und unverbaute Bach- und Flußabschnitte, Dolinen, Feldhecken und Feldgehölze. Zu berücksichtigen sind weiterhin die Lebensbereiche der Pflanzen- und Tierarten, die dem Artenschutz unterfallen.

Es soll an dieser Stelle betont werden, daß Aspekte des Naturschutzes - wie auch sonstige berührte Belange - die Durchführung notwendiger Maßnahmen an einer Altlast in aller Regel nicht verhindern. Es gilt vielmehr, den Naturschutz angemessen zu beteiligen, um eine möglichst schonende Umsetzung der jeweiligen Maßnahme zu erreichen, wenn dies aus Gründen des Naturschutzes notwendig ist. So kann es beispielsweise bei einer Maßnahme, die nicht aus Gründen der Gefahrenabwehr unverzüglich durchgeführt werden muß, geboten sein, die Maßnahme so lange aufzuschieben, bis das Brutgeschäft nistender Vögel nicht mehr gestört wird.

Es sei noch kurz darauf hingewiesen, daß das Naturschutzrecht im Bundes- und Landesnaturschutzgesetz, aber auch in Verordnungen über geschützte Bereiche (z. B. Landschaftsschutzgebietsverordnungen) eine Vielzahl von Vorhaben einer Genehmigungspflicht unterwirft oder Verbote ausspricht, bei denen im Einzelfall jeweils um Befreiung nachgesucht werden muß. Das Erfordernis einer behördlichen Gestattung kann z.B. Änderungen der Bodengestalt oder bauliche Anlagen betreffen, die nach Baurecht genehmigungsfrei sind. Es ist also jeweils darauf zu achten, daß die erforderlichen Verfahren durchgeführt werden.

2.2 Zuständigkeitsproblematik und rechtlicher Geltungsbereich einzelner behördlicher Gestattungen

Wie die vorausgegangenen Ausführungen gezeigt haben, kann bei Maßnahmen der Altlastenerkundung und -sanierung, auch hinsichtlich einzelner Maßnahmen, ein ganzes Bündel **behördlicher Gestattungen** erforderlich sein.

Genauso wenig wie die Sanierungsanordnung nach Altlastenrecht Gestattungen umfaßt, die nach anderen Gesetzen erforderlich sind, begründet das Altlastenrecht (§ 28 Abs. 5 LAbfG) eine umfassende Zuständigkeit der Wasserbehörden für alle mit einer Altlastenbearbeitung zusammenhängenden Maßnahmen.

Die Wasserbehörden sind zuständig für das Aufgreifen von relevanten Fällen, insbesondere für Anordnungen auf Grundlage der §§ 25, 27 LAbfG. Zuständigkeit und Verfahren für behördliche Gestattungen nach anderen Gesetzen bestimmen sich nach den dort getroffenen, speziellen Regelungen.

Bei den Zuständigkeiten zeigt sich zwar eine gewisse Häufung bei den unteren Verwaltungsbehörden, damit regelmäßig bei den Land- und Stadtkreisen. Bei einer nicht geringen Zahl von Fällen ist jedoch der Zuständigkeitsbereich mehrerer Behörden tangiert. Eine erschöpfende Darstellung möglicher Konstellationen ist an dieser Stelle nicht möglich. Um einen Eindruck von der rechtlichen Situation zu vermitteln, soll beispielhaft das Abfallrecht herausgegriffen werden.

Bei der eingangs angesprochenen asphaltierten Lagerfläche beim Modellstandort Mühlacker wurde angenommen, daß es sich um eine weniger bedeutsame Anlage handelt. Es konnte danach eine abfallrechtliche Genehmigung nach § 7 Abs. 2 AbfG erteilt werden. Für diese Entscheidung ist die untere Abfallrechtsbehörde (hier das Landratsamt Enzkreis) zuständig. Wäre eine Planfeststellung erforderlich gewesen (§ 7 Abs. 2 AbfG), wäre diese durch das Regierungspräsidium zu erteilen gewesen. Das Regierungspräsidium ist weiterhin zuständig für Genehmigungen zum Verbringen von Abfällen in den, aus dem oder durch den Geltungsbereich des Abfallgesetzes, also insbesondere den Abfallexport. Eine Ausnahme hiervon gilt für Hausmüll, Erdaushub und Bauschutt. Für den Transport dieser zuletzt genannten Abfälle erteilt die untere Abfallrechtsbehörde die erforderlichen Genehmigungen. Für Genehmigungen, die die Beförderung von Abfällen im Inland betreffen, ist gleichermaßen die untere Abfallrechtsbehörde zuständig.

Zu dem Aspekt, daß nicht selten für dieselbe oder unterschiedliche Maßnahmen an einer Altlast verschiedene Gestattungen bei verschiedenen Behörden einzuholen sind, kommt noch hinzu, daß die einzelnen Gestattungen unterschiedlichen Regelungsumfang haben können. Auch hier sollen nur wenige Beispiele genannt werden, um einen Eindruck zu vermitteln.

Die Planfeststellung (z.B. nach Abfallrecht oder Wasserrecht) entfaltet volle Konzentrationswirkung; d.h. es wird nur eine Entscheidung von der zuständigen Behörde getroffen, die alle berührten Belange berücksichtigt. Im Falle der abfallrechtlichen Genehmigung (Beispiel: Die asphaltierte Fläche beim Modellstandort) liegt lediglich eine Zuständigkeitskonzentration für bestimmte Fälle (z.B. wasserrechtliche und baurechtliche Genehmigung, naturschutzrechtliche

Gestattung) vor. Dies bedeutet, daß für die einzelnen genannten Entscheidungen, die in gebündelter Form in einem Verwaltungsakt ergehen können, ein und dieselbe Behörde zuständig ist.

Dem § 13 Bundesimmissionsschutzgesetz kommt eine weitreichende Konzentrationswirkung zu. Von der zuständigen Behörde wird eine Entscheidung getroffen, die fast alle weiteren, für die Anlage erforderlichen Gestattungen umfaßt. Nicht erfaßt von der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung werden Planfeststellungen und fast alle wasserrechtlichen Entscheidungen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Bestimmung der relevanten Regelungen sowie die korrekte Handhabung von Verfahrens- und Zuständigkeitsfragen bereits dann einer sorgfältigen Prüfung durch die Verantwortlichen in jedem Einzelfall bedarf, wenn sämtliche Maßnahmen eine Altlastenerkundung und -sanierung vorab feststehen. Durch eine Mehrzahl von zuständigen Behörden und erforderlichen Gestattungen sind Reibungsverluste und zeitliche Verzögerungen unvermeidbar.

Der Sanierungspflichtige und die von ihm beauftragten Unternehmen sind hier vielfach überfordert. Bei der gegebenen Rechtslage ist daher dringend zu empfehlen, frühzeitig mit den Behörden Kontakt aufzunehmen und den weiteren Fortgang abzustimmen.

Auch für die beteiligten Behörden stellt sich die Frage nach der rechtlich richtigen Behandlung von Maßnahmen vielfach als nicht einfache Aufgabe dar. Sie erfordert von dem einzelnen Mitarbeiter große Übersicht und im Idealfall ein hohes Maß an Erfahrung in unterschiedlichen Rechtsbereichen, um die vielfältige Verknüpfung verschiedener Rechtsmaterien zu durchdringen. Erschwerend bei alledem kann hinzukommen, daß Maßnahmen der Altlastenbearbeitung im Rahmen weiterer Erkundungen oft erst schrittweise bestimmt werden können. Es kann der Fall eintreten, daß eine Maßnahme sich als untauglich erweist und durch eine andere ersetzt werden muß, die sich aber nach anderen Bestimmungen zu richten hat (Beispiel: Statt einer Bodenluftabsaugung wird es notwendig, den Boden in einer externen Anlage zu behandeln). Hier werden plötzlich nicht vorhergesehene Genehmigungsverfahren erforderlich, was insbesondere unerwünschte zeitliche Verzögerungen mit sich bringt (die Antragsunterlagen, die für die zuerst geplante Anlage zusammengestellt wurden, werden nicht selten unbrauchbar sein. Für die nunmehr vorgesehene Anlage müssen neue Antragsunterlagen zusammengestellt werden, usw.).

3. Lösungsansätze

Einen umfassenden Lösungsansatz zu formulieren, der den vielgestaltigen Konstellationen gerecht wird und gleichzeitig allen zwingenden rechtlichen Anforderungen genügt, stellt eine schwerlich zu bewältigende Aufgabe dar.

Bei den Lösungsansätzen, die sich mit einzelnen Problemkreisen auseinandersetzen gilt es zwischen Ansätzen zu unterscheiden, die sich auf Grundlage der bestehenden rechtlichen Regelungen anbieten und dem, was seitens des Gesetzgebers zur Vereinfachung der Situation geleistet werden könnte.

3.1 Lösungsansätze auf Grundlage des derzeit geltenden Rechts

Auf Grundlage des derzeit geltenden Rechts kann folgendes empfohlen werden:

- Möglichkeiten zur Verfahrensvereinfachung, die die einzelnen Fachgesetze bieten (z.B. § 108 Abs. 5 WG für das wasserrechtliche Erlaubnisverfahren), sind konsequent zu nutzen.
- Zu einer Vereinfachung und Beschleunigung einzelner Verfahren kann es beitragen, wenn notwendigerweise durchzuführende Verfahren in verstärktem Maße gebündelt werden. Dies ist möglich unter Ausnutzung eines gewissen Schwerpunktes der Zuständigkeiten bei den unteren Verwaltungsbehörden. Um einen gewissen Rationalisierungseffekt erreichen zu können, muß die Altlastenbearbeitung - soweit als möglich - langfristig konzipiert werden. Die Antragsunterlagen für verbundene Maßnahmen können dann so erstellt werden, daß sie für eine Mehrzahl von Genehmigungsverfahren tauglich sind. Ein einfaches Beispiel hierfür kann anhand der Grundwassersanierung konstruiert werden. Es ist unschwer möglich, einen Plansatz zu erstellen, der gleichermaßen für die wasserrechtlichen Erlaubnisse wie auch für die zu erteilende Baugenehmigung geeignet ist.

Rechtlicher Ansatzpunkt ist hier zum einen eine verstärkte Ausnutzung des Sanierungsplanes. Im Rahmen des Sanierungsplanes könnten zu genehmigende Maßnahmen so ausführlich dargestellt werden, daß weitere Antragsunterlagen nicht notwendig sind. Zum anderen könnten detailliertere Sanierungsanordnungen ergeben, die so umfassende Bestimmungen enthalten, daß damit zugleich erforderliche Genehmigungen erteilt würden.

- Wenn der Sanierungspflichtige zur Kooperation bereit ist, kann der öffentlich-rechtliche Vertrag ein sinnvoller Ansatz zur Problemlösung sein. Der öffentlich-rechtliche Vertrag kann den Beteiligten ein etwas weiteres Feld an Handlungsmöglichkeiten eröffnen als ein Verwaltungsakt.
- Im Einzelfall kann in Betracht kommen, vorübergehend die Umsetzung einer Maßnahme zu dulden, für die noch keine Genehmigung vorliegt. Dies ist z.B. dann denkbar, wenn eine Maßnahme kurzfristig technisch umgesetzt werden könnte und gegen ihre Durchführung keinen durchgreifenden sachlichen oder rechtlichen Bedenken bestehen. Vom Instrument der Duldung ist jedoch zurückhaltend und in intensiver Abstimmung mit den Fachbehörden Gebrauch zu machen. Insbesondere auch wegen strafrechtlicher Konsequenzen darf die Duldung nicht zur Umgehung eines Genehmigungsbedürfnisses führen. So sollte zumindest eine zeitliche Befristung schriftlich ausgesprochen werden. Empfehlenswert sind darüber hinaus "Rahmenbestimmungen", die ein Mindestmaß an ordnungsgemäßem Betrieb und Kontrolle sicherstellen und erforderlichenfalls Regelungen enthalten, bis wann der Sanierungspflichtige weitere von ihm zu erbringende Handlungen vorzunehmen hat (z.B. Ergänzung der Antragsunterlagen).

3.2 Lösungsmöglichkeiten über gesetzgeberische Initiativen

Im Hinblick auf gesetzgeberische Initiativen wäre es sicher wünschenswert, wenn ein einheitliches Verfahren zur Altlastensanierung mit umfassender Konzentrationswirkung geschaffen würde, neben dem dann keine weiteren Verfahren mehr notwendig wären. Weil bei der Altlastenbearbeitung auch Bundesrecht betroffen ist, wäre eine solche Lösung nur durch den Bundesgesetzgeber zu leisten.

Wohl etwas schneller und einfacher zu erreichen und als Entlastung nicht zu unterschätzen wäre die Schaffung einer bloßen Zuständigkeitskonzentration. Hierbei wäre eine Initiative auf Landesebene zwar nicht das maximal Erreichbare, aber doch eine deutliche Verbesserung. Mit einer entsprechenden landesrechtlichen Regelung könnten mit dem Wasserrecht, Altlastenrecht, Abfallrecht, Baurecht und verschiedenen anderen Rechtsbereichen bereits viele Materien, die für die Altlastenbearbeitung wesentlich sind, erfaßt und somit ein effektiver Beitrag zur Verbesserung der Situation geleistet werden.

4. Ausblick auf die weitere Behandlung von Rechtsfragen der Altlastenbearbeitung

Die Erkenntnisse und Ausarbeitungen, die sich aus der rechtlichen Behandlung des Modellstandortes Mühlacker ergeben haben und aus denen hier auszugsweise und stark verkürzt berichtet wurde, wurden Mitte 1992 in einem ca. 160 Seiten starken Papier zusammengefaßt. Geplant war zunächst ein rechtlicher Leitfaden zur Altlastenbearbeitung, der sich an Sanierungspflichtige, Ingenieurbüros und die Verwaltungsmitarbeiter gleichermaßen wendet. Es sollten die wesentlichen Rechtsmaterien dargestellt, Lösungen aufgezeigt und Empfehlungen ausgesprochen werden.

Bei Ausarbeitung des Papiers hat sich gezeigt, daß alles dies in einem einzigen Leitfaden, der einen handhabbaren Umfang haben sollte, nicht zu leisten ist. Es wurde erkannt, daß zunächst grundsätzliche Rechtsfragen diskutiert und aufgearbeitet werden müssen.

Nach der nunmehr vorliegenden Konzeption wird die Projektgruppe Recht zur Betreuung des Modellstandortes Mühlacker fortgesetzt.

Es soll ein spezieller Arbeitskreis gebildet werden, in dem beispielsweise praxiserfahrene Juristen vertreten sein werden, um gemeinsam die anstehenden grundsätzlichen Rechtsfragen auf rechtlich gangbare Lösungsansätze zu untersuchen.

Die vorliegende schriftliche Ausarbeitung wird in Einzelwerke aufgegliedert und weiterentwickelt. Es wird zum einen an einen praktischen Leitfaden gedacht, in dem für die gängigsten technischen Verfahren zur Erkundung und Sanierung einer Altlast die jeweils zu beachtenden rechtlichen Vorgaben (z.B. Verfahren, Zuständigkeit, inhaltliche Anforderungen) dargestellt werden.

Weiter soll ein Papier erarbeitet werden, in dem gezielt Möglichkeiten und Ansätze für gesetzgeberische Initiativen aufgezeigt werden. Dieses Papier wird dem Umweltministerium Baden-Württemberg als Arbeitsgrundlage dienen.

5. Schlußwort

Es wäre erfreulich, wenn es mit diesen Ausführungen gelungen ist, für die rechtliche Problematik der Altlastenbearbeitung zu sensibilisieren. Rechtliche Anforderungen und Verfahren sind nicht der lästige Hemmschuh für die praktische Umsetzung einer Erkundung oder Sanierung, wie dies oft empfunden werden mag, sondern nach der derzeitigen Rechtslage ein unabdingbarer Teil derselben.

Fachliche Aspekte des konkreten Einzelfalles und die daran zu knüpfenden Rechtsfolgen sind untrennbar miteinander verbunden. Um die anstehenden Probleme zu bewältigen, ist es erforderlich, daß die zum Teil noch bestehende Trennung zwischen den einzelnen Fachbereichen überwunden und ein noch intensiveres Zusammenwirken von Vertretern der fachtechnischen und der rechtlichen Seite erreicht wird.

6. Literaturverzeichnis

- /1/ Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen und die Behandlung von Altlasten in Baden-Württemberg (Landesabfallgesetz - LABfG) vom 8. Januar 1990, GBl. 1990 S. 1 ff
- /2/ Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (Abfallgesetz - AbfG) vom 27. August 1986 BGBl. I S. 1410, ber. S. 1501, zuletzt geändert durch Gesetz zu dem Einigungsvertrag vom 23. September 1990, BGBl. II S. 885
- /3/ Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zur Durchführung der §§ 11, 12 AbfG und der Abfall- und Reststoffüberwachungsverordnung vom 17. Februar 1992, GABl. 1992, S. 273
- /4/ Verordnung zur Bestimmung von Abfällen nach § 2 Abs. 2 des Abfallgesetzes (Abfallbestimmungs-Verordnung - AbfBestV) vom 3. April 1990, BGBl. I S. 614
- /5/ Verordnung über das Einsammeln und Befördern sowie die Überwachung von Abfällen und Reststoffen (Abfall- und Reststoffüberwachungs-Verordnung - AbfRestÜberwV) vom 3. April 1990, BGBl. S. 648
- /6/ Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 1986, BGBl. I S. 1529, ber. S. 1654, geändert durch Gesetz vom 12. Februar 1990, BGBl. I S. 205
- /7/ Wassergesetz für Baden-Württemberg (WG) vom 1. Juli 1988, GBl. 1988 S. 269, zuletzt geändert durch Gesetz vom 12. Dezember 1991, GBl. S. 860
- /8/ Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1990, BGBl. I S. 880, zuletzt geändert durch Gesetz vom 10. Dezember 1990, BGBl. I S. 2634

- /9/ Informationsschrift: Orientierungswerte bei der Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen herausgegeben von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Abt. Boden, Abfall, Altlasten
W-7500 Karlsruhe 21
im September 1992
- /10/ Verordnung zur Änderung der Zwölften und der Vierten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 28. August 1991
BGBl. I S. 1838, ber. S. 2044
- /11/ Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV) vom 24. Juli 1985
BGBl. I S. 1586, zuletzt geändert durch Verordnung vom 28. August 1991, BGBl. I S. 1838, ber. S. 2044
- /12/ Gesetz zum Schutz des Bodens (Bodenschutzgesetz - BodSchG) vom 24. Juni 1991
GBl. 1991, S. 434
- /13/ Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO) vom 28. November 1983
GBl. 1983, S. 770, ber. GBl. 1984, S. 519, zuletzt geändert durch Gesetz vom 17. Dezember 1990, GBl. S. 426
- /14/ Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG) i.d.Fassung der Bekanntmachung vom 12. März 1987
BGBl. I S. 889, geändert durch Gesetz vom 12. Februar 1990, BGBl. I S. 205
- /15/ Gesetz zum Schutz der Natur, zur Pflege der Landschaft und über die Erholungs-vorsorge in der freien Landschaft (Naturschutzgesetz - NatSchG) vom 21. Oktober 1975
GBl. 1975, S. 654, ber. 1976 S. 96, zuletzt geändert durch Gesetz vom 12. Dezember 1991, GBl. S. 848
- /16/ Gesetz zur Änderung des Naturschutzgesetzes (Biotopschutzgesetz) vom 19. November 1991
GBl. 1991, S. 701

Wieviele kommunale Altablagerungen müssen saniert werden?

*M. Flittner,
LfU Karlsruhe*

1. Einleitung

Wir rechnen heute mit mehr als 35.000 altlastverdächtigen Flächen in Baden-Württemberg. Im Rahmen mehrerer Erfassungsaktionen wurden bis Ende der 80er Jahre landesweit bereits etwa 6.500 ehemalige Müllkippen und Industrieabfalldeponien erfaßt und kartiert. Aufgrund von Hochrechnungen in Pilotgemeinden gehen wir davon aus, daß der Anteil von Altablagerungen an der Anzahl altlastverdächtiger Flächen insgesamt mehr als 17.000 beträgt. Die Frage, wieviele dieser Altablagerungen nun tatsächlich saniert werden müssen, ist daher von erheblicher umweltpolitischer Bedeutung. Wenn ich Ihnen auch keinen prozentualen Anteil oder gar eine absolute Zahl der zu sanierenden Fälle nennen kann - dazu ist die Altlastenbearbeitung noch nicht weit genug fortgeschritten - will ich Ihnen nachfolgend doch einen umfassenden Überblick über die Ergebnisse von 5 Jahren Altlastenbewertung in Baden-Württemberg aufzeigen. Ergebnisse, die den Handlungsbedarf im Einzelfall festlegen, so insbesondere im letzten Bewertungsschritt, der aufzeigt, ob eine Sanierung erforderlich wird oder nicht.

2. Bewertung und Sanierungsentscheidung

Bevor ich zu den Einzelergebnissen komme, ist es erforderlich, die Wesensmerkmale der Altlastenbewertung in Baden-Württemberg kurz anzusprechen und die Begriffe Erkundung, Bewertung, Beweisniveau sowie Sanierungsentscheidung in ihrem Zusammenhang zu erläutern.

Die Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg erfolgt stufenweise mit einer engen Verzahnung von aufeinanderfolgenden Bearbeitungs- bzw. Erkundungsschritten und einer jeweils dazwischengeschalteten Bewertung. Diese Bewertung gliedert sich in bis zu 4 Bewertungsschritte, wobei jeder Schritt ein bestimmtes "Beweisniveau" voraussetzt (BN 1 bis BN 4). Es erfolgt je nach Relevanz eine gesonderte Bewertung der 4 Schutzgüter Grundwasser, Oberflächengewässer, Boden und Luft. Für jedes Schutzgut wird ein eigener Bewertungsbogen angelegt.

Bei den verschiedenen Bewertungen können für die einzelnen Verdachtsflächen folgende Möglichkeiten eines Handlungsbedarfs ermittelt werden.

- A Ausscheiden aus der Bearbeitung und archivieren in der Altlastendatei
- B Belassen in der Altlastendatei auf Wiedervorlage
- E Erkundung, um das nächsthöhere Beweisniveau zu erreichen
- C Fachtechnische Kontrolle/Überwachung, sowie - und darum geht es uns hier ja vor allem -
- D Durchführung der Sanierung (auf Beweisniveau 4)

Zielsetzung dieses schrittweisen Vorgehens ist insbesondere

- die frühzeitige Reduzierung der zu bearbeitenden Fälle
- die Erstellung einer Dringlichkeitsliste zur weiteren Bearbeitung der Verdachtsflächen sowie
- die Ermittlung des Handlungsbedarfs im einzelnen.

Eine Sanierung, d. h. Dekontamination oder Sicherung, ist dann erforderlich, wenn bei einer Bewertung auf Beweisniveau 4 das maßgebliche Risiko für den Handlungsbedarf größer oder gleich 4 ist.

Zur Veranschaulichung nochmals kurz die einzelnen Erkundungsstufen und Beweisniveaus im Überblick:

Die historische Erkundung hat das Ziel, standortspezifisch über eine bekannte altlastverdächtige Fläche alle verfügbaren Informationen zusammenzutragen. Diese Informationen sind Grundlage für die erste Bewertung des Standortes zur Ermittlung seines Gefährdungspotentials und des zu seiner weiteren Behandlung erforderlichen Handlungsbedarfs: Ausscheiden und archivieren, zeitlich zurückstellen oder orientierend erkunden. Bei Entscheidungen auf diesem Kenntnisstand liegen Analyseergebnisse in der Regel noch nicht vor.

Wird ein Standort durch die Bewertung der historischen Daten nicht ausgeschieden oder auf "Wiedervorlage gesetzt", dann wird die erste Stufe der technischen Erkundung, die sogenannte orientierende Erkundung (E₁₋₂) durchgeführt. Durch erste systematische Messungen und Untersuchungen wird die altlastverdächtige Fläche soweit erkundet, daß Kenntnisse über die Art sowie ein Überblick über den Umfang des Gefährdungspotentials in der Altlast sowie in den betroffenen Schutzgütern vorliegt. Detailangaben zur räumlichen Abgrenzung des Schadstoffpotentials können damit jedoch noch nicht gemacht werden. Die orientierende Erkundung führt auf das Beweisniveau 2.

Die 2. Stufe der technischen Erkundung, die nähere Erkundung, gibt durch ergänzende Messungen und Untersuchungen Aufschluß über die detaillierte Schadstoffbelastung am Standort und in den betroffenen Schutzgütern. Mit der näheren Erkundung sind in der Regel die technischen Untersuchungen abgeschlossen. Wird bei der anschließenden Bewertung auf Beweisniveau 3 ein entsprechender Handlungsbedarf festgelegt, beginnt die Sanierungsvorplanung hier werden bereits die Grundlagen für eine fundierte Sanierungsentscheidung auf Beweisniveau 4 erarbeitet. Oder anders ausgedrückt: Ab jetzt zielen alle weiteren Schritte bereits in Richtung Sanierung.

3. Anzahl bewerteter Altablagerungen/erreichtes Beweismiveau

In Baden-Württemberg sind bis Ende 1992 auf den verschiedenen Beweismiveaus insgesamt 2.542 Altablagerungen bewertet worden. Davon haben 86,3 % (2.195 Fälle) das Beweismiveau 1, 11,2 % (286 Fälle) das Beweismiveau 2, 2 % (51 Fälle) das Beweismiveau 3 und 0,5 % (10 Fälle) das Beweismiveau 4 erreicht (s. Abb. 19.1). D. h., die überwiegende Mehrzahl der Fälle wurde bislang lediglich auf Beweismiveau 1 - also auf der Grundlage von historischen Daten - bewertet. Nur bei 51 Altablagerungen wurden die technischen Felduntersuchungen abgeschlossen und die Bewertung auf Beweismiveau 3 durchgeführt.

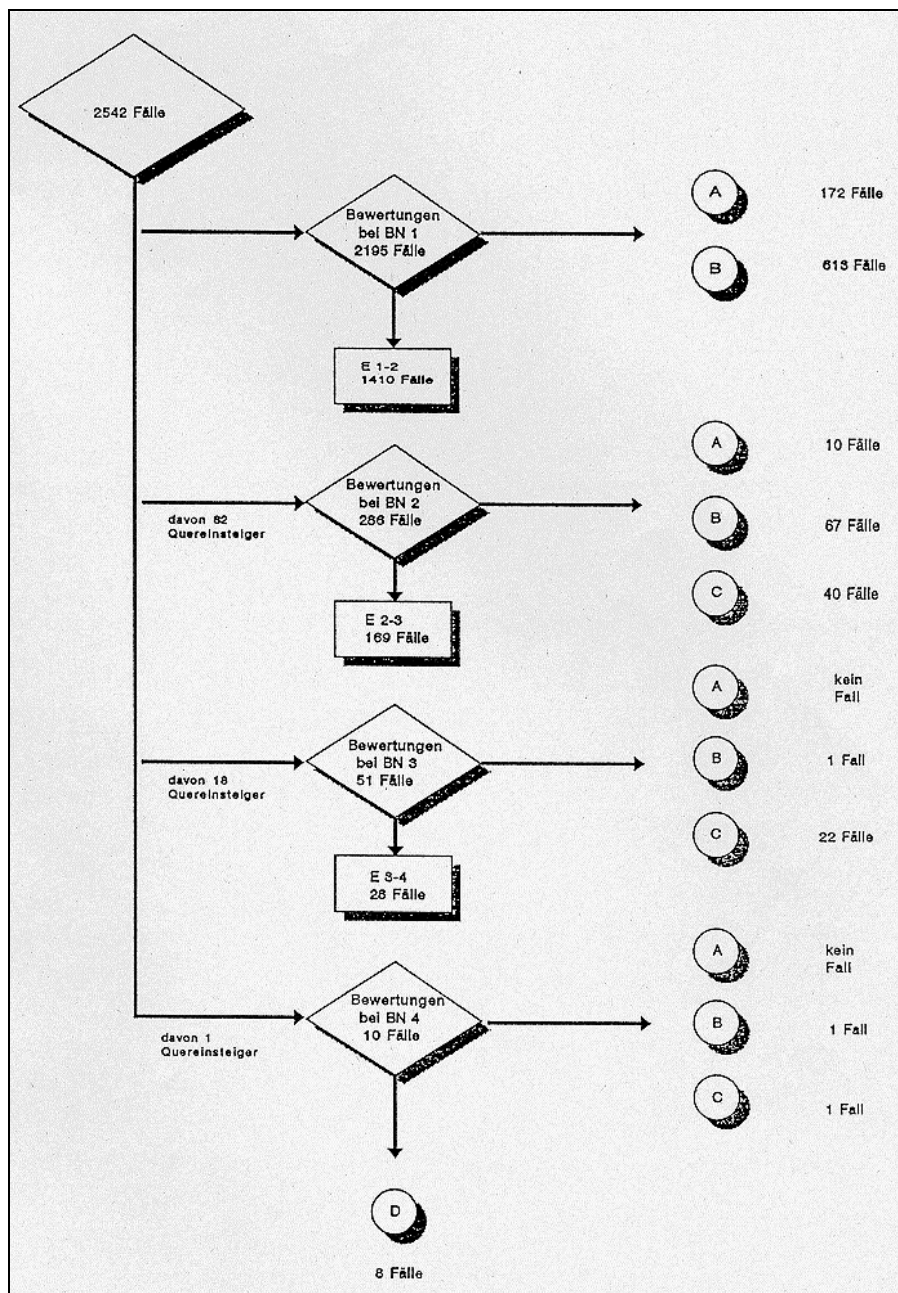


Abb. 19.1: Stand der Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg. Aktuelle Anzahl der Bewertungen von Altablagerungen für die Beweismiveaus 1-4 aufgeschlüsselt nach Handlungsbedarf

Hier muß noch auf eine Besonderheit in den ersten Jahren der Altlastenbearbeitung hingewiesen werden. So haben viele Fälle gerade in der Anfangszeit der systematischen Altlastenbearbeitung nicht alle Erkundungs- und Bewertungsstufen durchlaufen. Aufgrund der Informationsbasis und der Dringlichkeit wurden in der Vergangenheit auch Beweisniveaus übersprungen dies wird künftig vermieden. Die "aktuelle Bewertungslage" stellt sich im einzelnen wie folgt dar:

2.195 Fälle wurden "maximal" auf Beweisniveau 1 bewertet, d. h. die Fälle, die bereits ein höheres Beweisniveau erreicht haben und auch auf BN1 bewertet wurden, sind hier nicht mitgezählt.

Auf Beweisniveau 2 befinden sich aktuell 286 Fälle, von diesen wurden 204 zu einem früheren Zeitpunkt auf Beweisniveau 1 bewertet, 82 sind direkt auf Beweisniveau 2 bewertet worden.

Auf Beweisniveau 3 sind aktuell 51 Altablagerungen. Nur 11 von diesen 51 wurden auch auf Beweisniveau 1 und Beweisniveau 2 bewertet. 18 Fälle wurden sofort auf Beweisniveau 3 bewertet, 5 Fälle übergingen Beweisniveau 2, wurden also nach der Bewertung auf Beweisniveau 1 auf Beweisniveau 3 bewertet und 17 Fälle kamen nach einem Quereinstieg über Beweisniveau 2 nach Beweisniveau 3.

Auf Beweisniveau 4 sind aktuell 10 Altablagerungen bewertet. Davon sind 2 auch auf den 3 Beweisniveaus davor bewertet worden. Ein Fall wurde unmittelbar auf Beweisniveau 4 bewertet, ein Fall sprang von Beweisniveau 1 direkt auf Beweisniveau 4, 5 Fälle übersprangen Beweisniveau 3, von diesen 5 wurden davor 4 schon auf Beweisniveau 1 bewertet.

Ein Fall machte die Bewertungen auf Beweisniveau 2 und Beweisniveau 3 vor der Bewertung auf Beweisniveau 4 mit.

4. Festgestellter Handlungsbedarf und maßgebliches Schutzgut

Für die unterschiedlichen Beweisniveaus ergab sich eine Verteilung des Handlungsbedarfs wie nachfolgend beschrieben (siehe hierzu auch die angeschlossene Grafik):

Von den 2.195 Altablagerungen, die aktuell auf Beweisniveau 1 bewertet sind, haben 172 Fälle oder 7,9 % den Handlungsbedarf A, d. h. sie konnten bereits aufgrund der Bewertung der historischen Daten aus der weiteren Bearbeitung ausgeschieden werden. 613 Altablagerungen oder 27,9 % BN1-Fälle wurden mit Handlungsbedarf B eingestuft. Diese Altablagerungen werden in der Altlastenbearbeitung belassen, haben aber zur Zeit keinen Handlungsbedarf. 1.410 Altablagerungen oder 64,2 % der Fälle auf BN1, wurden mit E₁₋₂ eingestuft, d. h. sie sollen grundsätzlich weiter erkundet werden. Die Bewertungsziffer zeigt dabei an, mit welcher Dringlichkeit dies erfolgen soll.

Von den 286 Altablagerungen auf Beweisniveau 2 wurden 10 Fälle mit Handlungsbedarf A bewertet, d. h. 3,5 % der Fälle scheiden auf Beweisniveau 2 aus der Altlastenbearbeitung aus. 67 Fälle oder 23,4 % der Altablagerungen auf Beweisniveau 2 wurden mit Handlungsbedarf B eingestuft. Auf Beweisniveau 2 wird für 14 % oder 40 Fälle eine fachtechnische Kontrolle, d.

h. eine Überwachung der Fläche vorgeschlagen. Bei 169 Fällen, das sind immerhin 59,1 % aller BN2-Fälle, wird eine nähere Erkundung vorgeschlagen.

Bis November 1992 wurden 51 Altablagerungen auf (maximal) Beweismiveau 3 bewertet. Davon wurden 18 Altablagerungen direkt auf Beweismiveau 3 bewertet, ohne vorher auf Beweismiveau 1 und Beweismiveau 2 bewertet worden zu sein. Von den 51 Altablagerungen wurde ein Fall mit Handlungsbedarf B eingestuft, 22 Fälle oder 43,1 % wurden für eine fachtechnische Kontrolle (Handlungsbedarf C) vorgeschlagen und für 28 Fälle oder 54,9 % wurde als weiterer Handlungsbedarf eine eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen ermittelt.

Auf Beweismiveau 4 befinden sich bis November 1992 10 Fälle. Davon wurde ein Fall mit Handlungsbedarf B eingestuft und ein Fall zur fachtechnischen Kontrolle vorgeschlagen (Handlungsbedarf C). 8 Fälle, d. h. 80 % der auf Beweismiveau 4 bewerteten Altablagerungen müssen saniert werden, wobei die Sanierung in der Mehrzahl der Fälle in Form einer Sicherung erfolgt, z. T. in Verbindung mit einer Teilsanierung, z. B. der Auskoffierung von Teilbereichen einer Altablagerung.

Dazu noch einige Anmerkungen zum "**maßgeblichen Schutzgut**":

Auf Beweismiveau 1 ist bei 92,8 % der Altablagerungen mit weiterem Erkundungsbedarf das Grundwasser das handlungsbestimmende Schutzgut (1.274 Fälle). Die Schutzgüter Luft und Oberflächengewässer sind in jeweils 3,4 % der Fälle handlungsbestimmend. Das Schutzgut Boden hat mit 0,4 % Anteil bei der Bestimmung des Handlungsbedarfs nur eine untergeordnete Rolle.

Auf Beweismiveau 2 sank der Anteil von Grundwasser als handlungsbestimmendes Schutzgut auf 80 %, der von Luft stieg auf 11,2 %, der von Oberflächengewässer auf 7,4 % sowie der Anteil von Boden auf 1,4 %. Die Hälfte aller Altablagerungen auf Beweismiveau 2, bei denen Grundwasser das handlungsbestimmende Schutzgut ist, wurden mit Handlungsbedarf E₂₋₃ eingestuft.

Für das Beweismiveau 3 ist in 86,3 % der Fälle das Schutzgut Grundwasser handlungsbestimmend und ca. die Hälfte davon werden mit Handlungsbedarf E₃₋₄ eingestuft. In ungefähr 10 % der Fälle bestimmt das Schutzgut Luft den Handlungsbedarf. Oberflächengewässer und Boden sind auf Beweismiveau 3 in jeweils 2 % der Fälle das handlungsbestimmende Schutzgut.

Auf Beweismiveau 4 bestimmt in 70 % der Fälle das Schutzgut Grundwasser den Handlungsbedarf. Das Schutzgut Luft hat einen Anteil von 20 % als handlungsbestimmendes Schutzgut. Bei einem Fall wird der Handlungsbedarf durch das Schutzgut Boden bestimmt.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Insgesamt 2.542 Altablagerungen sind bis Ende 1992 in Baden-Württemberg bewertet worden, davon die überwiegende Mehrzahl auf Beweisniveau 1 (86,3 %). Für ca. 2/3 der 2.195 auf diesem Beweisniveau bewerteten Fälle wurde als Bewertungsergebnis ein weiterer Erkundungsbedarf ermittelt.

Insgesamt 286 Fälle wurden nach Abschluß der orientierenden Erkundung auf Beweisniveau 2 bewertet. Für nahezu 60 % dieser Fälle ist wiederum ein weiterer Erkundungsbedarf, d. h. die Durchführung der näheren Erkundung erforderlich.

Da die bewerteten Fälle nicht alle Beweisniveaus durchlaufen haben, und die Fallzahlen dabei jeweils nur eine Teilmenge der vorherigen Stufe ausmachen, sind statistische Auswertungen und auch Schätzungen der tatsächlich zu sanierenden Fälle in diesem Stadium noch nicht möglich.

Eines ist jedoch absehbar. Selbst wenn sich die Mehrzahl der kritischen Fälle mit Sicherungs- und Überwachungsmaßnahmen begnügen, der Erkundungsaufwand bis dorthin ist enorm.

Wir haben deshalb Ende des letzten Jahres ein Ingenieurbüro mit der Durchführung einer Systemanalyse zur Überprüfung des Umfangs und der Aussagekraft technischer Erkundungsmaßnahmen bei Altablagerungen im Rahmen der stufenweisen Altlastenbearbeitung beauftragt. Ziel ist unter anderem die objektive Verdeutlichung bewertungsrelevanter Zusammenhänge, d.h. es soll aufgezeigt werden, welche Merkmale maßgeblich zur Risikobewertung beigetragen haben. Wir erwarten uns dabei nach Auswertung der Gründe evtl. Fehleinschätzungen bei der Bewertung - insbesondere auf Beweisniveau 1 - auch konkrete Vorgaben für die Abschätzung des Eingangsrisikos und damit eine Minimierung der erforderlichen Erkundungsaufwendungen.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 4.1: Kurzbeschreibung der Modellstandorte.....	19
Abb. 4.2: Modellstandorte (MoSt) und Vorhaben mit Modellcharakter (MoVo), Baden- Württemberg	20
Abb. 4.3: Durchgeführte Maßnahmen an den Modellstandorten zur technischen Erkundung.	22
Abb. 4.4: Erkundungsstrategie für das Schutzgut Grundwasser - Umfelderkundung E ₁₋₂ und E ₂₋₃	24
Abb. 4.5: Erkundungsverfahren 1. Wahl mit "hoher Bedeutung" und "niedrigen" Kosten.....	26
Abb. 4.6: Sondier- und Bohrverfahren zur Probengewinnung	29
Abb. 4.7: Regelausbau einer Grundwassermeßstelle	33
Abb. 4.8: Grundwassersituation bei einer Entnahme von 60 l/s	35
Abb. 4.9: Grundwassersituation bei einer Entnahme von 80 l/s	36
Abb. 4.10: Handlungsanweisung Nr. 4-0-2 zum Arbeitsschutz bei Sondierungen	38
Abb. 4.11: Gesamtausgaben an den Modellstandorten von 1988 bis 1992 (in Mio. DM).....	41
Abb. 4.12: Vorhaben mit Modellcharakter.....	42
Anlage 1: Ablaufschema der Stufenweisen Altlastenbearbeitung gemäß Altlastenhandbuch Teil I.	46
Anlage 2: Vorschlag der Zuordnung der Bewertungsfragen zu technischen Erkundungsmaßnahmen (Schutzgut Grundwasser):	47
Anlage 3: Bewertung von wesentlichen Untersuchungstechniken (Schutzgut Grundwasser):	49
Anlage 4: Matrix - Schwerpunkterkundungen (Schutzgut Grundwasser	51
Abb. 5.1: An den Modellstandorten erprobte geophysikalische Verfahren.....	53
Abb. 5.2: Entscheidungsmatrix zur Auswahl eines geeigneten Verfahrens.....	62
Abb. 6.1: Verfahrenvergleich zur Bodenluftprobennahme und -analytik. Vergleich der gemessenen Konzentrationen von Referenzlabor und teilnehmenden Labors.....	67
Abb. 6.2: Probennahmepunkte für eine geschachtelte Varianzanalyse (oben) und Lage dieser Beprobungsfläche auf dem Modellstandort Mannheim (umrahmte Fläche, unten).	69
Abb. 6.3: Negative Beeinflussung von Proben während der Probennahme	71
Abb. 6.4: Vorgehensweise bei der Probennahme von mit leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen kontaminierten Proben	72
Abb. 6.5: Parameter für die Grundwasseruntersuchung der Stufen 1 bis 3 nach Altlastenhandbuch [1]	75
Abb. 6.6: Verfahren zur Probenvorbereitung bei Feststoffproben	77
Abb. 6.7: PAK-Analysenmethode nach Empfehlung der LfU	79
Abb. 6.8: Gliederungsschema zur Gestaltung von Laborberichten	80
Abb. 6.9: Gegenüberstellung von Kresse-Wurzelhaarbildung (oben, inverse Darstellung), Biolumineszenz (Hemmung in %, mitte) in den S4-Eluaten, Daphnientoxizität (Immobilisierung in %) über Boden sowie die chemische Analyse der Bodenproben (alle Werte in mg/kg, *:Werte * 10)	83
Abb. 7.1: Die drei Modellstandorte Mannheim, Osterhofen und Herten (LfU 12/92).....	87
Abb. 7.2: Lageplan des Modellstandortes Mannheim, Friesenheimer Insel (dick umrandet)..	89
Abb. 7.3: Übersichtsplan des Modellstandortes Osterhofen [TGU GmbH 1990].....	90
Abb. 7.4: Übersichtsplan des Modellstandortes Herten [Schlegel + Partner GmbH 1988]	91
Abb. 7.5: Ergebnisse einer Sieb- und Sortieranalyse von Altmüll vom Modellstandort Mannheim [Arge-Ing. Röver + Partner / TAUW Infra Consult, 1990]	93
Abb. 8.1: Typische, ausklingende Deponiegasproduktion Weiß = Parameterkombination A Schwarz = Parameterkombination B.....	111

Abb. 8.2: Zustände des Deponiegasgeschehens	112
Abb. 8.3: Deponiegas - Langzeitkonzentrationsverlauf bei Altablagerungen.....	113
Abb. 8.4: Zuordnungsschema der Merkmale zu den Klassen	115
Abb. 8.5: Typisierung des Modellstandortes Osterhofen	117
Abb. 8.6: Temporäre Gasmessstelle Standardausbau mit Vorsondierung.....	118
Abb. 8.7: Temporäre, tiefendifferenzierte Gasmessstelle, Standardausbau mit Vorsondierung	119
Abb. 8.8: Gasspürgerät mit FID im Feldeinsatz	120
Abb. 8.9: Prinzipskizze einer Gasbox	120
Abb. 8.10: Ablaufschema der Erkundung der Deponiegaspfade	123
Abb. 8.11: Stoffgefährlichkeit r_0 in Abhängigkeit von der Phase bzw. vom Konzentrationsverhältnis des Deponiegases	126
Abb. 9.1: Geländegeologie im Querschnitt	131
Abb. 9.2: Wichtigste Eintragstellen.....	132
Abb. 9.3: Expositionspfade	133
Abb. 9.4: Vorgehen bei der E_{3-4} -Bearbeitung.....	134
Abb. 9.5: Meßprinzip der PAK-Feldanalyse	139
Abb. 9.6: Regressionsanalyse zur Bewertung des Eichfaktors.....	139
Abb. 9.7: K_{OC} -Werte für Naphthalin bei einem Kontaminationsniveau von 100 mg/kg TS .	141
Abb. 11.1: Änderung der PAK-Konzentrationen in einem kontaminierten Modellboden (Quarzsand) durch mikrobiellen Abbau in einem Perkolationsexperiment, Angaben in mg/kg	154
Abb. 11.2: Änderung der PAK-Konzentrationen in einem kontaminierten Gaswerksboden durch mikrobiellen Abbau in einem Perkolationsexperiment, Angaben in mg/kg	155
Abb. 11.3: PAK-Konzentrationen (Naphthalin, 2-Methylnaphthalin, 1-Methylnaphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen) im Spülwasser einer Perkolationsanlage, Angaben in $\mu\text{g/l}$	156
Abb. 11.4: O_2 - und CO_2 -Konzentrationen in der Abluft der Perkolationsanlage, Angaben in Vol.%	157
Abb. 12.1: Ablaufschema stufenweiser Erkundung und Bewertung eines Einzelfalls	160
Abb. 12.2: Handlungsmatrix	161
Abb. 12.3: Ablaufschema der eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung	164
Abb. 12.4: Beispiel für Kostenwirksamkeitsabschätzung	166
Abb. 12.5a: PAK-Konzentrationen im Boden des ehemaligen Gaswerksgeländes	170
Abb. 12.5b: Geländeprofil.....	170
Abb. 12.6: Sanierungsverfahren und ihr Einsatzbereich für das ehemalige Gaswerk Rastatt	174
Abb. 12.7: Kostenwirksamkeitsabschätzung.....	175
Abb. 13.1: Lageplan der Deponieteilbecken	180
Abb. 13.2: Schematischer Aufbau der Oberflächenabdichtung	181
Abb. 13.3: Grundwassergleichenplan - Dunkelrote Mergel	183
Abb. 13.4: Schadstoffbilanzierung - Ungesättigte Zone.....	186
Abb. 13.5: Zusammenfassende Darstellung der Schadstoffverteilung.....	188
Abb. 13.6: Sanierungszielmodell I	194
Abb. 13.7: Sanierungszielmodell II	195
Abb. 13.8: Sanierungskonzept I - Ablaufschema	201
Abb. 13.9: Sanierungskonzept II - Ablaufschema	201
Abb. 13.10: Sanierungskonzept I - Modularer Aufbau	202
Abb. 13.11: Sanierungskonzept II - Modularer Aufbau	203

Abb. 14.1: UV/VIS-Sektor des elektromagnetischen Spektrums (1 Einstein = 1 mol Lichtquanten); aus: Spektroskopische Methoden in der organischen Chemie, Thieme- Verlag Stuttgart 1991.....	210
Abb. 14.2: Bandenspektrum von Trichlorethylen; aus: UV-Atlas Organische Verbindungen, Verlag Chemie 1966	211
Abb. 14.3: Versuch UV-Oxidation - Schaltung der Anlage zur Bodenluftabsaugung.....	215
Abb. 14.4: Erfasste Parameter während der Probenahme am 13.08.92, Becken 2.....	219
Abb. 14.5: Probenahme mittels Samplerpumpen	222
Abb. 14.6: Normierte CKW-Frachten, Becken 2	225
Abb. 14.7: Normierte CKW-Frachten, Becken 3	226
Abb. 14.8: Normierte CKW-Frachten, Becken 4	226
Abb. 14.9: Normierte CKW-Frachten, Strippluft Grundwasser.....	227
Abb. 14.10: CKW-Umsätze HD + ND, Frischluft- und Bypass-Versuche 4 P2.....	228
Abb. 14.11: CKW-Umsätze am Niederdruckstrahler.....	228
Abb. 14.12: Umsätze Tri + Per, Wiederholung Bypass- Versuch.....	229
Abb. 14.13: Umsätze Ethylbenzol + Xylol, Wiederholung Bypass- Versuch.....	229
Abb. 15.1: Lageplan (Maßstab 1:25.000).....	232
Abb. 15.2: Organigramm Modellstandort Eppelheim	234
Abb. 15.3: Luftbildaufnahme des Eppelheimer Waldes.....	236
Abb. 15.4: Bestimmung von Verdachtsflächen durch Luftbildauswertung	237
Abb. 15.5: Isolinien der magnetischen Feldstärke.....	238
Abb. 15.6: Rammkernsondierungen im Eppelheimer Wald.....	239
Abb. 15.7: Geologisches Profil im Hauptkontaminationsbereich	239
Abb. 15.8: Schema des On-site-Verfahrens	242
Abb. 15.9: Bodenbehandlungszelt d. Fa. USN mit Baugrube, und Absaugleitungen	243
Abb. 15.10: Silofermenter	244
Abb. 15.11: Einbringen der 5 Bodensäulen.....	246
Abb. 15.12: Einbringen der 5 Bodensäulen in Eppelheim	247
Abb. 15.13: Berechnung der Tiefenverlagerung der LCKW-Fahne.....	250
Abb. 16.1. Gravimetrische Wassergehalte und pH-Werte im Profil der Rammkernsondierung Nr. 305bM. Der pH (<i>schwarz</i>) wurde in Suspensionen von 5 g Boden (Feuchtgewicht) in 12,5 ml destilliertem Wasser mittels einer Glaselektrode bestimmt. Gravimetrische Wassergehalte (<i>grau</i>) wurden nach Trocknung und Wägung ermittelt.....	256
Abb. 16.2. Bodentemperaturen im Profil der Rammkernsondierungen Nr. KB6, KB5, KB4 und EBM (Säulen von links nach rechts).....	256
Abb. 16.3. Konzentrationen von PCE (<i>schwarz</i>), Xylolen (<i>gestrichelt</i>) und Methan (<i>weiß</i>) im Profil der Rammkernsondierung Nr. 305bM.	257
Abb. 16.4. Konzentrationen von TCE (<i>schwarz</i>), CIS (<i>gestrichelt</i>), DCM (<i>weiß</i>), TRANS (<i>dunkelgrau</i>) und VC (<i>hellgrau</i>) im Profil der Ramm-kernsondierung Nr. 305bM.	258
Abb. 16.5. Die Eignung von Kosubstraten und Bedingungen für die reduktive Dechlorierung von Chlorethenen im Boden am Standort Eppelheim.....	259
Abb. 16.6. Effekt von Bromethansulfonsäure (BES) auf die reduktive Dechlorierung von PCE und die Methanbildung im Profil der Rammkernsondierung Nr. 305bB. Die Experimente wurden in 37-ml Wheatonflaschen durchgeführt die 5-8 g Boden (Feuchtgewicht) und 0.2% Saccharose in 8 ml Mineralmedium enthielten. Die Flaschen wurden verschlossen, mit N ₂ durchspült, mit 2 mg L-Cystein in 1 ml Wasser und 0,6 l (1 mg) PCE versetzt. Dann wurde bei 20°C ohne zu schütteln inkubiert. Einigen Ansätzen wurde nach 1-tägiger Inkubation 10 mM BES	

hinzugefügt. Symbole: Eliminierung von PCE in Gegenwart (<i>gestrichelt</i>) und Abwesenheit (<i>schwarz</i>) von BES; Methanbildung in Gegenwart (<i>grau</i>) und Abwesenheit (<i>weiß</i>) von BES.	260
Abb. 16.7: Schema des On-site Verfahrens.	263
Abb. 16.8. Luftbehandlung im Aeroform-Biofilter. Nach 5-wöchiger mikrobiologischer Adaptation wurden die Filtereinheiten Nr. 5 und 6 mit einem Puls bestehend aus PCE (<i>Dreieck</i>), TCE (<i>weißer Kreis</i>) und DCM (<i>schwarzer Kreis</i>) versetzt.	266
Abb. 16.9. Wasserbehandlung in Denitrifikationsreaktor. Entwicklung der physikochemischen Parameter während der mikrobiologischen Adaptation. Symbole: <i>Dreieck, weiß</i> , Ammoniumkonzentration; <i>Dreieck, schwarz</i> , Nitrat; <i>Kreis, schwarz</i> , Redoxpotential. In Kalenderwoche 21 wurde Nitrat hinzugegeben. In Kalenderwoche 32 wurde der Reaktor kurzzeitig im Durchfluß betrieben.	269
Abb. 16.10. Wasserbehandlung im Denitrifikationsreaktor. Eliminierung von LCKW im Verlauf der mikrobiologischen Adaptation. In Kalenderwoche 24 wurden PCE, TCE und DCE hinzugegeben. Symbole: <i>Kreis, schwarz</i> , PCE; <i>Kreis, weiß</i> , TCE; <i>Dreieck, schwarz</i> , DCE; <i>Dreieck, weiß</i> , VC; <i>Qadrat, schwarz</i> , DCM.	269
Abb. 16.11. Wasserbehandlung im anaeroben methanogenen Bioreaktor im Verlauf der mikrobiologischen Adaptation. In Kalenderwoche 24 wurden PCE, TCE und DCM hinzugegeben. Symbole: <i>Kreis, schwarz</i> , PCE; <i>Kreis, weiß</i> , TCE; <i>Dreieck, schwarz</i> , DCE; <i>Dreieck, weiß</i> , VC; <i>Qadrat, schwarz</i> , DCM; <i>Qadrat, weiß</i> , Redoxpotential.	270
Abb. 16.12. <i>In-situ</i> Bodensäulenprojekt am Modellstandort Eppelheim im Quer- (oben) und Längsschnitt (unten).	272
Abb. 17.1a: Ergebnisse der Sieb- und Sortieranalyse von Altmüll am Modellstandort Mannheim, Friesenheimer Insel (Durchschnittswerte von 10 Schürfen).	278
Abb. 17.1b: Ergebnisse der Altmüllanalytik.	279
Abb. 17.2: Lageplan des Modellstandorts Mannheim, Friesenheimer Insel (schraffierte Fläche) und des Heizkraftwerks Nord HKW (Kreis), TF=Testfeld.	280
Abb. 17.3: Zusammensetzung des Frischmülls.	281
Abb. 17.4: Ablauf der Müllverbrennung im Heizkraftwerk Nord, Mannheim (Quelle: RHE 1990).	283
Abb. 17.5: Tägliche Mittelwerte relevanter Verbrennungsparameter.	285
Abb. 17.6: Tägliche Mittelwerte der Rohgasmessungen.	285
Abb. 17.7a: Temperaturmessungen in der Nachbrennkammer.	286
Abb. 17.7b: O ₂ - Messungen in der Nachbrennkammer.	287
Abb. 17.8: Ergebnisse der Rohgasmessungen am E-Filter durch das KfK.	288
Abb. 17.9: Dioxin- und Furankonzentrationen in den Filterstäuben.	288
Abb. 17.10: Staubinhaltsstoffe in mg/Nm ³ (E-Filter-Ein- und Ausgang) und mg/kg (E-Filter-Staubaustrag).	289
Abb. 17.11: Quecksilbermessungen im Rohgas durch das KfK.	290
Abb. 17.12: Quecksilber- und PCDD/PCDF-Emissionsmessungen.	290
Abb. 17.13: Analytik des Abwassers aus dem Schlackenabkühlbecken.	291
Abb. 17.14: Analytik der Kesselasche.	292
Abb. 17.15a: Rohschlacken-Analytik (EVT und KfK).	293
Abb. 17.15b: Eluat-Untersuchungen der Rohschlacke (1:10, DIN 38414-S4).	294
Abb. 19.1: Stand der Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg. Aktuelle Anzahl der Bewertungen von Altablagerungen für die Beweisniveaus 1-4 aufgeschlüsselt nach Handlungsbedarf.	317

Tabellenverzeichnis

Tab. 6.1: Umfang der chemisch-physikalischen Untersuchungen an den Modellstandorten...	63
Tab. 7.1: Schwermetall-Konzentrationen in Abfall. 1 Fuchs 1985; Spillmann 1986; Tabasaran 1988. 2 Helm et al. 1985	98
Tab. 7.2: Schadstoffgehalte in Altmüll vom Modellstandort Mannheim, in frischem Hausmüll und in Kompost [nach Arge-Ing. R+P/TAUW 1990].....	99
Tab. 7.3: Chemische Zusammensetzung von Sickerwasserproben von den Modellstandorten Mannheim und Osterhofen im Vergleich zu Sickerwasser von anderen Hausmüll- und Sondermülldeponien.	102
Tab. 7.4: Vergleich der Grundwasserbelastung im Bereich der drei untersuchten Modellstandorte an ausgewählten Analyseparametern.	104
Tab. 7.5: Beurteilung der verschiedenen Methoden zur Erkundung bewertungsrelevanter Sachverhalte zur Stoffgefährlichkeit.....	105
Tab. 9. 2: Berechnete Sanierungszielwerte.....	135
Tab. 9. 3: Sanierungsvarianten und deren Kosten	136
Tab. 9.4: Streuung der K_{OC} -Werte.....	142
Tab. 12.1: Übersicht über Sanierungsverfahren	163
Tab. 12.2: Wichtige Punkte für Firmenanfragen	165
Tab. 12.3: Nicht-monetäre Kriterien	168
Tab. 12.4: Schadstoffkonzentrationen im Boden	171
Tab. 12.5: Schadstoffkonzentrationen im Stauwasser.....	171
Tab. 12.6: Nicht-monetäre Bewertung der am Standort einsetzbaren Sanierungsverfahren S1 bis S5.....	176
Tab. 13.1: Schadstoffgehalte im Ablagerungsgut.....	184
Tab. 13.2: Schadstoffgehalte im Sickerwasser	185
Tab. 13.3: Schadstoffgehalte im Grundwasser	187
Tab. 13.4: Sanierungseinstieg Schichtwasser	192
Tab. 13.5: Sanierungsziele Schichtwasser.....	193
Tab. 13.6: Ausschluß von Verfahren.....	197
Tab. 13.7: Nicht-monetäre Gesamtbewertung.....	206
Tab. 14.1: Energieärmste Elektronenübergänge; aus: Spektroskopische Methoden in der organischen Chemie, Thieme Verlag Stuttgart 1991	213
Tab. 14.2: Übersicht aller bisher gefahrener Versuche	217
Tab. 14.4: Vergleich direktanzeigender Meßmethoden; Versuch 10 P2 am 11.8.92.....	218
Tab. 14.3: Temperaturen an verschiedenen Anlagepunkten; Volumenstrom 100-120 Nm ³	220
Tab. 14.5: Sauerstoffgehalte in der Bodenluft.....	221
Tab. 14.6: Ausgewählte Chlormessungen	223
Tab. 14.7: Kohlenmonoxidgehalte in der Bodenluft	223
Tab. 14.8: Dioxin-Messung	224

Indexverzeichnis

A	
Abfall	
Beförderung	302
Abfallprobe	
Allgemeines	68
Abfallrecht	301
Absaugung des Deponiekörpers	
Kosten	205
Altablagerung	
Anzahl bewerteter AA (bis 1992).....	317
Altlasten	
industrielle	10
kommunale	9
Altlastenbearbeitung	
Allgemeines	23
Anzahl bewerteter Altablagerungen .	317
rechtliche Sicht	297
Schadstoffe	74
Stufenplan	13
Altlastenforschung	146
Altlastenrecht	301
Altmüll	
Sieb- und Sortieranalyse	277
thermische Behandlung	276, 295
Verbrennung	276
Verbrennungsversuch	282, 284, 285,
286, 287, 289, 290, 294, 295	
Analysenverfahren	
Allgemeines	78
Arbeitsschutz	
Allgemeines	36
Auskoffierung mit Entsorgung	
Kosten	205
Auskoffierung mit Wiedereinbau	
Kosten	204
B	
Baurecht	307
behördliche Gestattungen	309
Bewertungsbogen	
Fragestellungen	25
BMFT	
Modellprojekte	149
Programm Modellhafte Sanierung von	
Altlasten	148
Bodenluftprobe	
Definition	65
Bodenluftprobennahme	
Verfahrensvergleich	66
Bodenluftuntersuchung	
Definition	65
Bodenprobe	
Allgemeines	68
Bodenradar	
Allgemeines	57
Bohrlochmessungen	60
Bohrungen	
Allgemeines	28
D	
Deponiegas	
Allgemeines	68
E	
Elektromagnetik	57
G	
Gaswerk	
allgemeine Problematik	153
mikrobielle Sanierung	153
Niederlande	127
Praxiserfahrungen	128
Gaswerk Geislingen	
Allgemeines	129
eingehende Erkundung für	
Sanierungsmaßnahmen	134
Eintragstellen	132
Elutionsversuche	140
Ermittlung von Sanierungszielen	135
Gasreinigungsmasse - Teer	138
Gefährdungsabschätzung	133
Geologie und Hydrogeologie	130
PAK-Feldanalyse	138
Sanierungsvorschlag	135
Schadstoffausbreitung	133
technische Erkundung	129
Teergrubenentsorgung	137
Geoelektrik	
Allgemeines	54
Geomagnetik	
Allgemeines	54
geophysikalische Untersuchung	
Allgemeines	61
Geothermik	
Allgemeines	60
Gravimetrie	

Allgemeines	59	Biotest	81
Grundwassermeßstelle		eingehende Erkundung für	
Ausbau	31	Sanierungsmaßnahmen	134
Ausbau Beispiel	32	Eintragstellen	132
Bohrarbeiten	30	Elutionsversuche	140
Bohrpunktfestlegung	30	Ermittlung von Sanierungszielen	135
Grundwassermodellierung	34	Gasreinigungsmasse - Teer	138
Grundwasserproben		Gefährdungsabschätzung	133
Allgemeines	73	Geologie und Hydrogeologie	130
H		PAK-Feldanalyse	138
historische Erkundung		Sanierungsvorschlag	135
Allgemeines	23	Schadstoffausbreitung	133
I		technische Erkundung	129
Immissionsschutzrecht	305	Teergrubenentsorgung	137
induzierte Polarisation		Modellstandort Hertzen	
Allgemeines	55	Allgemeines	34
in-situ Bodensäulen		Modellstandort Mannheim	
Modellstandort Eppelheim	271	Allgemeines	278
K		Probennahme	68
Kosten		Sieb- und Sortieranalyse von Altmüll	
Absaugung des Deponiekörpers	205	277
Auskoffierung mit Entsorgung	205	Modellstandort Mühlacker	
Auskoffierung mit Wiedereinbau	204	CKW-Umsätze der einzelnen	
Kosten-Wirksamkeitsabschätzung		Absaugbereiche	225
Modellstandort Mühlacker	204	geologisch-hydrogeologische Situation	
L		181
Literatur		historische Entwicklung	179
Probennahme	85	Kosten-Wirksamkeitsabschätzung ...	204
M		nicht-monetäre Beurteilung	206
maßgebliches Schutzgut		Probenahme und Analyse zur UV-	
Statistik	319	Oxidation	220
mikrobielle Sanierung von		Sanierungsverfahren-Vorauswahl	195
Gaswerksgeländen	153	Schadstoffverteilung	183
Modellstandort Eppelheim		Übersicht über die UV-Oxidation-	
Anforderungen an Sanierungsverfahren		Versuche	216
.....	254	Modellstandorte	
durchgeführte Untersuchungen	235	chemisch-physikalische Untersuchungen	
Entwicklungsvorhaben	240	63
Ergebnisse	261	Stand 1993	14
in-situ Bodensäulen	271	Modellstandorte (Stand 1993)	
internationaler Vergleich	252	Allgemeines	18, 40
on-site Anlagen	262	durchgeführte Maßnahmen	21
Organigramm	233	geographische Lage	19
physikalisch-chemische Bedingungen		Kosten	41
.....	255	Kurzbeschreibung	18
Schadstofftransportmodell	249	Vorhaben mit Modellcharakter	41
Schema des on-site Verfahrens	262	Modellversuch	
Standortbeschreibung	231	Burghof	10
Modellstandort Geislingen		Müllverbrennungsanlage	282
Allgemeines	129		

N		Modellstandort Eppelheim.....	249
Naturschutzrecht.....	308	Schürfe	
nicht-monetäre Beurteilung		Allgemeines	28
Modellstandort Mühlacker	206	Seismik	
O		Allgemeines	58
on-site Anlagen		Sickerwasser	
Modellstandort Eppelheim	262	Probennahme.....	74
P		Sieb- und Sortieranalyse	
Photoionisationsdetektor (PID)	72	Altmüll	277
polycyclische aromatische		Sondierungen	
Kohlenwasserstoffe (PAK)		Allgemeines	28
Abbauverhalten.....	153	Stand der Technik (1993).....	13
Allgemeines	153	Stufenplan zur Altlastensanierung	13
Analysemethode	78	T	
Probennahme		thermische Behandlung	
CKW-belastete Boden-/Abfallproben	71	Altmüll	276, 295
Literatur	85	U	
negative Beeinflussung	70	Umfang relevanter Schadstoffe.....	74
Probennahmeprotokoll.....	79	Umweltforschung.....	145
Probenvorbereitung		Umwelttechnik.....	146
Allgemeines	76	Untersuchungstechniken	
Verfahren	77	Schutzgut Grundwasser.....	25
S		V	
Sanierungsverfahren-Vorauswahl		Vorhaben mit Modellcharakter (Stand	
Modellstandort Mühlacker	195	1993)	41
Schadstoffe		W	
Allgemeines	74	Wasserrecht.....	304
Schadstofftransportmodell			