

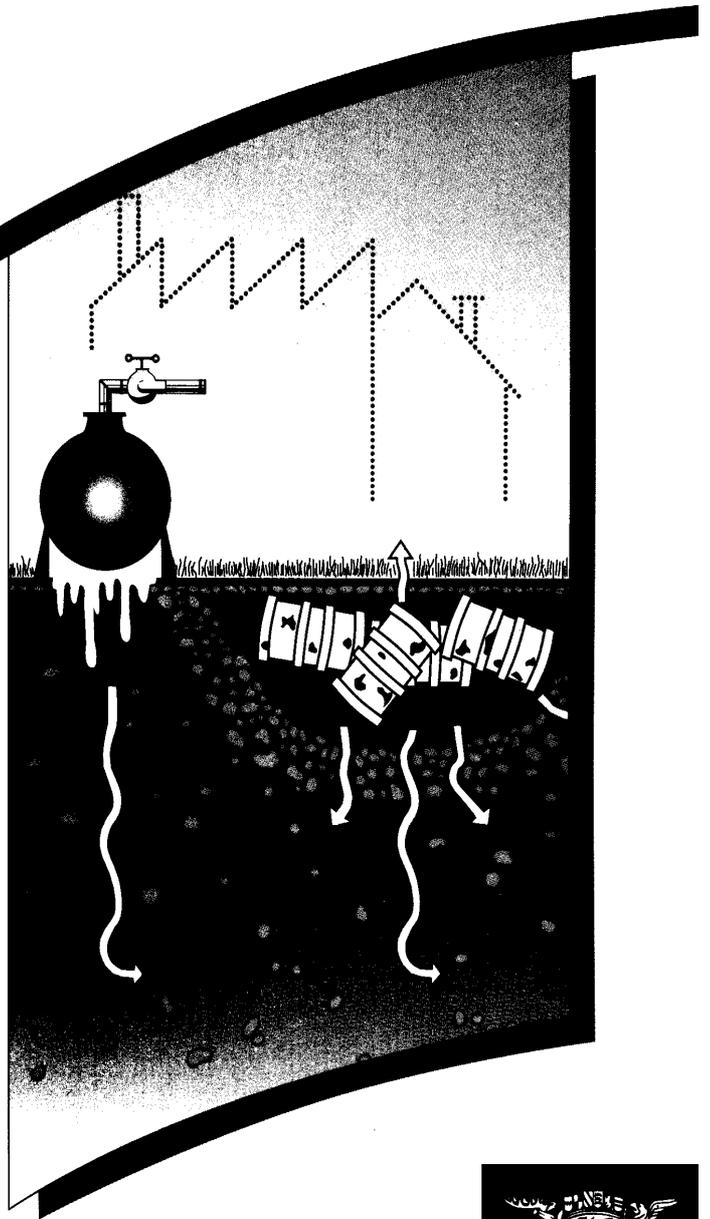
Zentraler Fachdienst Wasser - Boden - Abfall - Altlasten bei  
der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

**Handbuch Altlasten  
und Grundwasserschadensfälle**

# Die Erkundung der Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmüldeponien

- am Beispiel dreier Modellstandorte in Baden-Württemberg

Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung



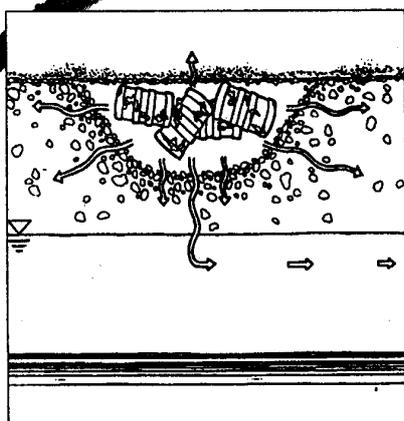
**BODEN  
ABFALL  
ATLASTEN**



**MINISTERIUM  
FÜR UMWELT  
UND VERKEHR**

# Die Erkundung der Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmüldeponien

- am Beispiel dreier Modellstandorte in Baden-Württemberg



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

Karlsruhe 1993



Altlastenfachinformation im WWW

## **Impressum**

**Herausgeber:** Landesanstalt für Umweltschutz  
Baden-Württemberg  
Griesbachstr. 1  
76185 Karlsruhe

**Redaktion:** Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg  
Abteilung Boden, Abfall, Altlasten  
Referat 54 – Altlastensanierung  
Dr. Iris Blankenhorn

**Verfasser:** Dr. Walter Heinz  
Ingenieurbüro Röver + Partner  
Neuhofstr. 1  
64625 Bensheim/Bergstraße

Karlsruhe, August 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

<b>VORWORT</b> .....	<b>1</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>1 EINFÜHRUNG UND FRAGESTELLUNGEN</b> .....	<b>2</b>
<b>2 KURZBESCHREIBUNG DER STANDORTE</b> .....	<b>5</b>
2.1 MODELLSTANDORT MANNHEIM, FRIESENHEIMER INSEL.....	5
2.2 MODELLSTANDORT OSTERHOFEN.....	5
2.3 MODELLSTANDORT HERTEN.....	6
<b>3 ERKUNDUNG DER STOFFGEFÄHRlichkeit EHEMALIGER HAUSMÜLLDEPONIE</b> .....	<b>7</b>
3.1 DIE STOFFLICHE ZUSAMMENSETZUNG EHEMALIGER HAUSMÜLLDEPONIE	7
3.2 DIE STOFFGEFÄHRlichkeit EHEMALIGER HAUSMÜLLDEPONIE	9
3.3 ERKUNDUNGSMETHODEN.....	11
3.3.1 <i>Direkte Erkundung der Stoffgefährlichkeit</i> .....	11
3.3.2 <i>Indirekte Erkundung der Stoffgefährlichkeit</i> .....	22
<b>4 VERGLEICHENDE BEWERTUNG DER ERKUNDUNGSMETHODEN IN BEZUG AUF BEWERTUNGSRELEVANTE SACHVERHALTE ZUR STOFFGEFÄHRlichkeit</b> .....	<b>28</b>
<b>5 EMPFEHLUNGEN FÜR DAS ZUKÜNFTIGE VORGEHEN ZUR ERMITTLUNG DER STOFFGEFÄHRlichkeit (R<sub>0</sub>) EHEMALIGER HAUSMÜLLDEPONIE</b> .....	<b>31</b>
<b>6 LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>32</b>
<b>ANLAGEN</b> .....	<b>35</b>
ANLAGE 1: MODELLSTANDORTE IN BADEN-WÜRTTEMBERG.....	35
ANLAGE 2: ÜBERSICHTSPLAN DES MODELLSTANDORTES MANNHEIM, FRIESENHEIMER INSEL.....	36
ANLAGE 3: LAGE DER ABFALLPROBENAHMEPUNKTE AM MODELLSTANDORT MANNHEIM.....	37
ANLAGE 4: ÜBERSICHTSPLAN DES MODELLSTANDORTES OSTERHOFEN.....	38
ANLAGE 5: LAGEPLAN DES MODELLSTANDORTES OSTERHOFEN.....	39
ANLAGE 6: ÜBERSICHTSPLAN DES MODELLSTANDORTES HERTEN.....	40
ANLAGE 7: LAGEPLAN DES MODELLSTANDORTES HERTEN.....	41
ANLAGE 8: MITTLERE PROZENTUALE ZUSAMMENSETZUNG DES ALTMÜLLS AN DEN SCHÜRFSTELLEN.....	42
ANLAGE 9: PROZENTUALE ZUSAMMENSETZUNG DES ALTMÜLLS AN DEN ZEHN SCHÜRFSTELLEN.....	43
ANLAGE 10: BEISPIELE DER STOFFGEFÄHRlichkeit FÜR DIE SCHUTZGÜTER GRUNDWASSER UND OBERFLÄCHENGEWÄSSER.....	44
ANLAGE 11: MODELLSTANDORT MANNHEIM; PROBENAHME IN STATISTIKFELD.....	45
ANLAGE 12: MODELLSTANDORT OSTERHOFEN RASTERFLÄCHEN FÜR DEPONIEGASMESSUNGEN UND BOHRPUNKTE FÜR GREIFERBOHRUNG.....	46
ANLAGE 13: ZUORDNUNGSKRITERIEN FÜR OBERIRDISCH ABLAGERBARE ABFÄLLE.....	47
ANLAGE 14: MODELLSTANDORT MANNHEIM; MITTLERE, MINIMALE UND MAXIMALE SCHADSTOFFKONZENTRATIONEN DREIER SIEBFRAKTIONEN.....	48
ANLAGE 15: MODELLSTANDORT MANNHEIM; SCHWERMETALLGEHALTE DREIER ALTMÜLL-SIEBFRAKTIONEN	49
ANLAGE 16: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG BEI 107 ABFALL-ANALYSEN VOM MODELLSTANDORT MANNHEIM.....	52
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>54</b>
<b>INDEXVERZEICHNIS</b> .....	<b>56</b>

## Vorwort

Diese Studie beschreibt am Beispiel dreier ehemaliger Hausmülldeponien, die im Rahmen des Modellstandort-Programmes in Baden-Württemberg untersucht wurden, welche Erkenntnisse zur Stoffgefährlichkeit durch eine umfangreiche technische Erkundung gewonnen werden können. Die Konsequenzen, die sich daraus für die zukünftige Erkundung von Altablagerungen ergeben, werden in Form von Empfehlungen dargestellt.

## Zusammenfassung

Die stufenweise Erkundung von Altablagerungen in Baden-Württemberg sieht die Entnahme und chemisch-physikalische Analytik von Feststoffproben vor. Wegen der heterogenen Zusammensetzung von Altablagerungen wird dieses Vorgehen jedoch inzwischen kontrovers diskutiert. Diese Studie soll die Probleme bei der Erkundung der Stoffgefährlichkeit von Altablagerungen am Beispiel dreier Modellstandorte in Baden-Württemberg aufzeigen und Lösungsvorschläge liefern.

Bei den drei ehemaligen Deponien handelt es sich um typische kommunale Altablagerungen, auf denen hauptsächlich in den 60er und 70er Jahren der gesamte Müll, vorwiegend jedoch Hausmüll, aus dem jeweiligen Einzugsgebiet abgelagert wurde. Im Rahmen des Modellstandort-Programmes von Baden-Württemberg wurden umfangreiche Untersuchungen zum Schadstoffinventar dieser Altablagerungen durchgeführt.

Die stoffliche Zusammensetzung und die Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, von denen nur ein kleiner Teil nachträglich an einer Mülldeponie festgestellt werden kann. Dies liegt hauptsächlich daran, daß es nicht möglich ist, repräsentative Proben zu gewinnen. Alle Daten, die über sogenannte direkte Erkundungsmethoden - diese sind mit einem mechanischen Eingriff in den Deponiekörper verbunden - gewonnen werden, haben deshalb nur Stichprobencharakter.

Aus diesem Grund kommen den indirekten Erkundungsmethoden bei Altablagerungen eine um so größere Bedeutung zu. Dies betrifft insbesondere die Historische Erkundung, sowie die Erkundung des Gas- und Wasserpfades. Sickerwasser, das in bezug auf die Stoffgefährlichkeit eigentlich primäres Erkundungsziel sein müßte, ist in der Praxis nur äußerst schwierig zu gewinnen und bei punktuellen Antreffen auch nicht repräsentativ.

Aus diesem Grund sollte der Schwerpunkt bei der routinemäßigen Technischen Erkundung von Altablagerungen beim Grundwasser und - insbesondere falls Wohnbebauung in der Nähe ist - beim Deponiegas liegen. Eine Notwendigkeit für routinemäßige mechanische Eingriffe in Altablagerungen besteht - außer zur Erkundung des Gaspfades nicht.

# 1 Einführung und Fragestellungen

Um die große Anzahl altlastenverdächtiger Flächen wirtschaftlich zu erkunden, bedarf es eines standardisierten Bewertungsverfahrens, das die Behörden in die Lage versetzt, einerseits über den Handlungsbedarf und andererseits über Prioritäten entscheiden zu können. In Baden-Württemberg wird dies durch ein stufenweises Vorgehen erreicht, wobei eine Neubewertung nach jeder Erkundungsstufe eine nachvollziehbare Entscheidung über das weitere Vorgehen ermöglicht [UM BW 1988a]. Die Bewertungskriterien werden mittels Punktezahlen quantifiziert und in einem einfachen Berechnungsverfahren zu einem Zahlenwert für das sogenannte "handlungsbestimmende bzw. prioritätensetzende Risiko" verknüpft.

Die Bewertung der örtlichen Verhältnisse wird im Einzelfall über den Vergleich mit einer standardisierten Ausgangssituation, der sogenannten "Vergleichslage", durchgeführt. Als "Vergleichslage" wird eine Hausmülldeponie angenommen, die nach den Regeln der Technik eingerichtet und betrieben wird [Deponiemerkblatt der LAGA vom 01.09.1978]. Die sogenannte "Stoffgefährlichkeit" ergibt sich dann aus einer Risikoabschätzung für die hypothetische Lage der zu bewertenden Abfälle oder Schadstoffe in dieser Vergleichslage. Sie wird für jedes der Schutzgüter Grundwasser, Oberflächengewässer, Boden und Luft getrennt betrachtet. Die Beschränkung auf diese vier Schutzgüter beinhaltet die Berücksichtigung weiterer Schutzgüter, die sekundär (oder auch primär) gefährdet sind. Dazu gehören verschiedene Ökosysteme, sowie Pflanzen, Tiere, Bauwerke und letztendlich die menschliche Gesundheit [vgl. von der Trenck & Fuhrmann 1990]. Unter Einbeziehung von Informationen zum tatsächlichen Risiko, die sich aus der Erkundung von Schadstoffaustrag, -eintrag, -transport und -wirkung, sowie einer Gewichtung der jeweiligen Schutzgut-Bedeutung ergeben, wird daraus als Gesamtbewertung das maßgebliche Risiko errechnet. Der Handlungsbedarf kann schließlich einer Handlungs-Matrix entnommen werden, die das maßgebliche Risiko mit dem je nach Erkundungsstufe erreichten "Beweisniveau" verknüpft (Abbildung 1). Die Beurteilung der "Stoffgefährlichkeit in Vergleichslage" setzt fundierte Kenntnisse über Art und Umfang des Schadstoffinventars voraus. Deshalb wird im Rahmen der Technischen Erkundung altlastenverdächtiger Flächen in Baden-Württemberg die Entnahme von Feststoffproben für chemisch-physikalische Untersuchungen empfohlen [UM BW 1988b]. Während dies bei Altstandorten, wo es sich in der Regel um kontaminierten Boden mit einer leichter einzugrenzenden Anzahl verschiedener Schadstoffe handelt, relativ unproblematisch ist, sind entsprechende Untersuchungen mit Abfallproben von Altablagerungen wegen deren heterogener Zusammensetzung schwierig. Die Notwendigkeit von Materialuntersuchungen an Hausmüllablagerungen wird deshalb inzwischen kontrovers diskutiert [z.B. Neifer 1990]. Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen hält eine routinemäßige Untersuchung von Abfallkörpern für nicht sinnvoll [SRU 1990].

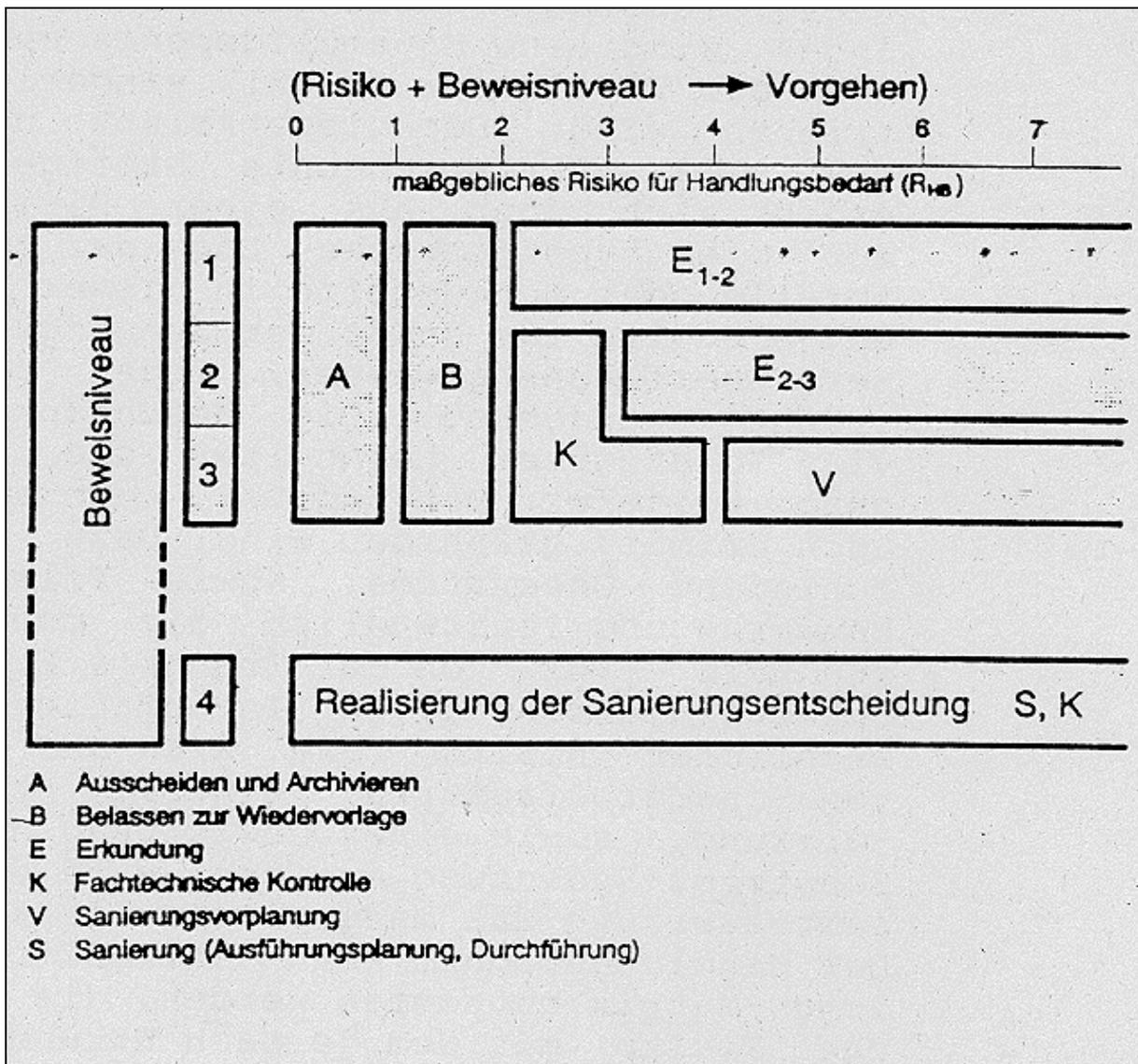


Abbildung 1: Matrix zur Ermittlung des Handlungsbedarfes [Fortschreibung Altlastenhandbuch Stufe E3-4 Trischler + Partner; im Auftrag der LfU 1992, unveröffentlicht]

Im Rahmen des Modellstandort-Programmes des Landes Baden-Württemberg wurden u.a. drei ehemalige Hausmülldeponien historisch und technisch erkundet. Es handelt sich dabei um die Modellstandorte Mannheim, Osterhofen und Herten (Anlage 1). Anhand der Erkundungsergebnisse soll diese Studie klären helfen, inwiefern es grundsätzlich notwendig und sinnvoll ist, zur Ermittlung der Stoffgefährlichkeit Materialuntersuchungen bei ehemaligen Hausmülldeponien durchzuführen. Dabei sollen folgende Detailfragen abgehandelt werden:

- Welche Bedeutung hat die Stoffgefährlichkeit für die verschiedenen Schutzgüter?
- Welche Aufschluß- und Probenahmeverfahren können für die technische Erkundung der Stoffgefährlichkeit eingesetzt werden und welche Bedeutung hat dabei der Arbeitsschutz?
- Welche räumlichen Abhängigkeiten bestehen in der Schadstoffverteilung ehemaliger Hausmülldeponien und welche Bandbreite nehmen die Analysenergebnisse ein?

- Wie müßte ein Probenahmeraster aussehen und wie müßten die Einzelproben genommen werden, um eine statistisch zuverlässige Aussage zur Stoffgefährlichkeit machen zu können?
- Welche indirekten Möglichkeiten gibt es, die Stoffgefährlichkeit zu erkunden?
- Welche bewertungsrelevanten Sachverhalte zur Stoffgefährlichkeit können durch eine technische Erkundung festgestellt werden? Welche sonstigen bewertungsrelevanten Sachverhalte können dadurch festgestellt werden?
- Welche bewertungsrelevanten Sachverhalte können bereits durch die Historische Erkundung oder durch indirekte technische Erkundungsmethoden ermittelt werden?

## 2 Kurzbeschreibung der Standorte

### 2.1 Modellstandort Mannheim, Friesenheimer Insel

Beim **Modellstandort Mannheim**, handelt es sich um eine ehemalige städtische Deponie auf der Friesenheimer Insel im Norden Mannheims (Anlage 2). Auf insgesamt 28 ha wurde dort auf einer ursprünglich landwirtschaftlich genutzten Fläche zwischen 1956 und 1967/68 die Hauptmenge des Mannheimer Mülls abgelagert. Das Gelände wurde von Osten beginnend 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 m<sup>3</sup> Altmüll lagern.

Der Müll wurde sukzessiv mit einer 25 bis 50 cm dicken Schicht Mutterboden rekultiviert, die bis 1991 größtenteils landwirtschaftlich genutzt wurde. Eine Sohl- oder Oberflächenabdichtung ist nicht vorhanden.

Nach einer 1987 durchgeführten Historischen Erkundung [Röver + Partner 1987] wurde die ehemalige Deponie von 1988 bis 1990 im Rahmen des Modellstandort-Programmes des Landes Baden-Württemberg technisch erkundet [Arge.-Ing. R+P/TAUW 1988 bis 1990]. Schwerpunktmäßig wurden dabei die Medien Grundwasser, Deponiegas und Abfall untersucht. Auf Grundlage dieser Daten wurde 1991 eine Kosten-Wirksamkeits-Abschätzung für Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen durchgeführt [Arge.-Ing. R+P/TAUW 1991a], die ergab, daß sich für die derzeitige Nutzung, trotz festgestelltem Schadstoffeintrag ins Grundwasser und trotz deutlicher Deponiegasproduktion, kein weiterer Handlungsbedarf ableiten läßt.

### 2.2 Modellstandort Osterhofen

Beim **Modellstandort Osterhofen** handelt es sich um eine ehemalige Hausmülldeponie in der Nähe von Bad Waldsee im Landkreis Ravensburg (Anlage 4). Die Deponie befindet sich in einer ehemaligen Sand- und Kiesgrube (Anlage 5). Der Deponie-Untergrund wird von 10 bis 12 m eiszeitlichen Kiesen und Sanden gebildet, die von weitgehend wasserdichten Beckentonen unterlagert werden. Der Grundwasserspiegel liegt durchschnittlich etwa 2 m tiefer als die Grubensohle. Zwischen 1969 und 1977 wurde ein Großteil der Grube vorwiegend mit Hausmüll und Sperrmüll verfüllt. Das heutige Deponievolumen umfaßt ca. 300 000 m<sup>3</sup> auf einer Fläche von ca. 4 ha. Die Deponie ist mit einer mächtigen Oberflächenabdichtung und einer geringmächtigen, relativ schlecht funktionierenden Sohlabdichtung mit Sickerwasserfassung gesichert.

Die Deponie wurde 1987 historisch und von 1988 bis 1990 technisch erkundet [Ingenieurgesellschaft TGU GmbH 1988 bis 1990]. Erkundungsschwerpunkte waren auch hier die Medien Grundwasser, Abfall und Deponiegas. Dabei wurde unter anderem im Grundwasser eine deutlich ausgeprägte Schadstofffahne in westnordwestliche Richtung festgestellt. Im Bereich dieser Schadstofffahne weist das Grundwasser erhöhte Gehalte an Ammonium, Kalium, Natrium und Bor auf. Außerdem sind die Parameter elektrische Leitfähigkeit, Gesamthärte, DOC

und UV-Extinktion deutlich erhöht, Sauerstoff und Nitrat hingegen sind reduziert. Insgesamt läßt sich die Schadstoffahne bis in eine Entfernung von 400 bis 500 m nachweisen. Eine Trinkwasserfassung ist jedoch nicht gefährdet.

Im Deponiekörper und dessen näherer Umgebung wurden relativ hohe Deponiegaskonzentrationen gemessen. Da hohe Methankonzentrationen auch in nahegelegenen Revisionsschächten einer Straßenentwässerungsanlage gemessen wurden, wurde die Gefährdung des Schutzgutes Luft mit einem maßgeblichen Risiko R von 7,2 relativ hoch eingestuft. Die Stoffgefährlichkeit für das Schutzgut Luft wurde mit einem  $r_0$ -Wert von 3,3 bewertet.

## 2.3 Modellstandort Herten

Der **Modellstandort Herten** liegt im äußersten Süden Baden-Württembergs, westlich von Rheinfeldern (Anlage 6). 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 (Anlage 7). Insgesamt wurden auf einer Fläche von 4,5 ha ca. 300 000 m<sup>3</sup> Müll abgelagert. Sohl- oder Oberflächenabdichtungen sind nicht vorhanden.

Von 1987 bis 1989 wurde die Deponie historisch und technisch erkundet [Schlegel & Partner GmbH 1987 bis 1989].

Die Deponie befindet sich im Bereich quartärer Talfüllungen des Hochrheins. Die Deponiesohle liegt knapp über dem Grundwasserspiegel, der nur wenig von den Rheinwasserständen beeinflusst wird, da der Rhein in diesem Abschnitt aufgestaut ist. Das Grundwasser 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 werden im Deponiekörper zum Teil sehr hohe Deponiegaskonzentrationen gemessen.

## 3 Erkundung der Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien

### 3.1 Die stoffliche Zusammensetzung ehemaliger Hausmülldeponien

Die **stoffliche Zusammensetzung von Hausmülldeponien** hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Zunächst sind es primäre Unterschiede in der Art der abgelagerten Stoffe, wie z.B.:

- Unterschiedliche Anteile verschiedener Müllsorten wie z.B. Hausmüll, Erdaushub, Bauschutt oder Sonderabfall.
- Die Art des Mülleinzugsgebietes. Die Mülldeponie in einem ländlichen, vorwiegend landwirtschaftlichen Gebiet hat erfahrungsgemäß eine andere Zusammensetzung als die Deponie in einem städtischen Gebiet mit hohem Gewerbe- und Industrieanteil.
- Der Zeitraum der Müllablagerung. Im Laufe der Zeit hat sich die stoffliche Zusammensetzung des Mülls deutlich geändert (Abbildung 2). Auch die Art der Schadstoffe hat sich mit der industriellen Entwicklung verändert (Abbildung 3). Schließlich haben auch regionale Maßnahmen der Abfallwirtschaft, wie zum Beispiel Getrennt-Sammlungen bestimmter Müllfraktionen oder Maßnahmen zur Schadstoffentfrachtung [Klein 1990] einen großen Einfluß auf die primäre stoffliche Zusammensetzung einer Mülldeponie.

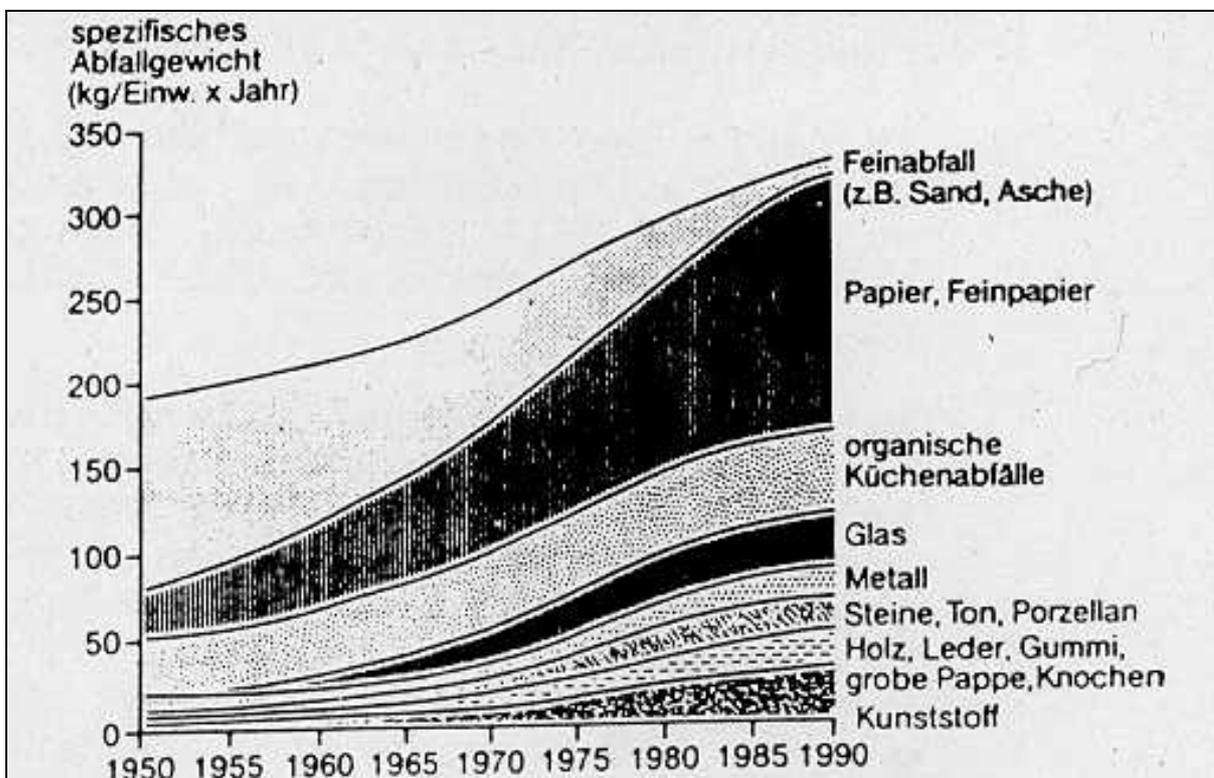
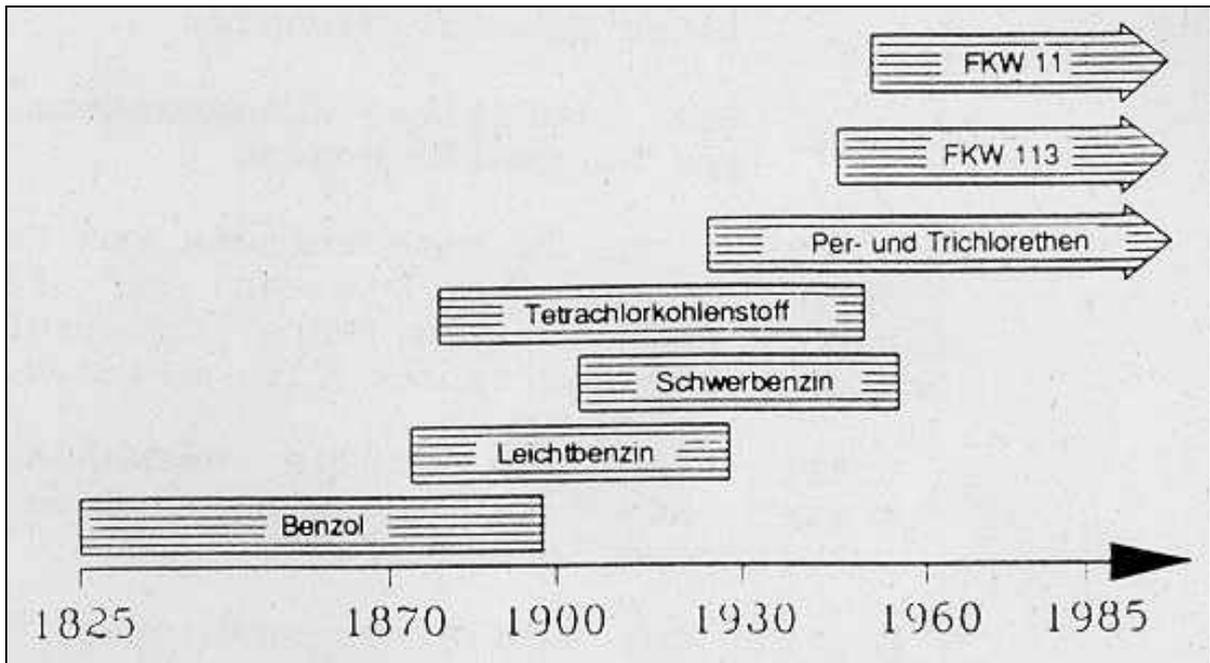


Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der Hausmüllzusammensetzung in Stuttgart [aus: Koch & Seeberger 1986].



**Abbildung 3: Historische Entwicklung der Lösemittelverwendung in Textilreinigungen [nach: Fricke 1981].**

Das Beispiel der historischen Entwicklung der Lösemittelverwendung in Textilreinigungen (Abbildung 3) zeigt, wie sich die Art gewerblich verwendeter Problemstoffe im Laufe der Zeit änderte. Entsprechend änderte sich auch die Schadstoffbelastung des Hausmülls im Laufe der Zeit. Problemstoffe jüngeren Datums sind hier z.B. Batterien (Quecksilberoxid, Alkali-Mangan, Zink-Kohle), Leuchtstofflampen (Quecksilber, Antimon) oder Kleinkondensatoren (PCB) [Klein, 1990].

**Sekundäre Alterungsprozesse** führen zu weiteren Veränderungen der stofflichen Zusammensetzung:

- Im Laufe der Zeit werden vor allem die organischen Müllbestandteile mikrobiell abgebaut, so daß der Müll zunehmend mineralisiert. Als Abbauprodukt entsteht dabei unter anderem Deponiegas.
- Weitere Veränderungen erfährt der Müll insbesondere über Elutionsprozesse durch perkolierendes Niederschlagswasser oder durch einstauendes Grundwasser. Dabei ist die Art der Ablagerung (beispielsweise das Vorhandensein einer Oberflächenabdichtung) von großer Bedeutung. Aber auch die Geologie und Hydrogeologie des Untergrunds, der Abstand zum Grundwasser sowie die Niederschlagsmenge spielen dabei eine große Rolle.

Über die stoffliche Zusammensetzung des Altmülls an den **Modellstandorten Mannheim und Osterhofen** liegen durch die Erkundungen im Rahmen des sogenannten **Testfeld-Programmes** umfangreiche Kenntnisse vor. Im Rahmen dieses Programmes wurden an ausgewählten Stellen des Deponiekörpers verschiedene Aufschlußverfahren erprobend eingesetzt. Der Altmüll wurde dabei umfangreich beprobt und chemisch-physikalisch analysiert. Die Ergebnisse des Testfeld-Programmes sind in den Berichten der Standortbüros ausführlich dokumentiert [Arge-Ing. R+P/TAUW 1989/1990; TGU GmbH 1989/1990].

Am Modellstandort Mannheim wurde zusätzlich eine umfangreiche Altmüll-Siebung und -Sortierung durchgeführt [Arge-Ing. R+P/TAUW 1990]. Die Siebung von insgesamt 180 Tonnen Altmüll, der an 10 Schürfen entnommen wurde (Anlage 9), ergab, daß etwa 80 Gew.% des bis zu 30 Jahre alten Mülls eine Korngröße von weniger als 40 mm hat (Anlage 8). Etwa 55 Gew.% entfielen auf eine Korngröße von weniger als 10 mm. Dies deutet auf einen relativ hohen Verrottungsgrad des Mülls hin. Andererseits zeigen aber die relativ hohen Deponiegaskonzentrationen im Deponiekörper und auch der teilweise gute Erhaltungszustand von Papierresten, daß erst ein Teil der organischen Müllkomponenten verrottet ist.

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 besteht. Die restlichen 37 Gew.% des Siebrestes verteilen sich auf die Fraktionen Glas, Holz, Kunststoff, Metall, Papier usw. (Anlage 8). Der Anteil an Sondermüll - es handelte sich dabei hauptsächlich um eingetrocknete Farbreste sowie um vereinzelt Batterien und Teerbrocken - war mit 1 Gew.% des Siebrestes, also 0,2 Gew.% des gesamten gesiebten Materials, recht gering.

### 3.2 Die Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien

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

- öko- und humantoxische Eigenschaften
- Möglichkeiten zur Bioakkumulation (z.B. Lipophilie)
- synergetische Effekte
- Konzentration, Verteilung
- Löslichkeit, Auslaugbarkeit, Mischbarkeit
- Aggregatzustand, Konsistenz, Struktur, Dichte, Viskosität
- Mobilität, Remobilisierbarkeit, Beständigkeit, Flüchtigkeit, Dampfdruck
- Reaktivität mit Wasser, Wasserinhaltsstoffen und anderen Stoffen
- 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, ist dies bei komplexen Stoffgemischen, wie sie in Mülldeponien immer vorherrschen, in der Regel nicht möglich.

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

- Stoffe und ihre Anteile (Wassergefährdungsklassen)
- Lagerungszustand bzw. Abschirmung
- Behandlung vor Ablagerung
- Einbau und Lagerung
- Ablagerungszeiten
- Analysenergebnisse (Boden, Abfall, GW, SW,...)

Kriterien oder Maßstäbe für eine quantifizierte Bewertung oder Gewichtung dieser "bewertungsrelevanten Sachverhalte" werden derzeit für  $BN > 1$  für die **Schutzgüter Grundwasser und Oberflächengewässer** erarbeitet. Für das Schutzgut Luft ist die "Stoffgefährlichkeit" maßgeblich vom Methangehalt abhängig [s. Leitfaden Deponiegas, RUK 1992, Veröffentlichung in Vorbereitung]. Als Orientierungshilfe stehen für  $BN > 1$  Beispiellisten zur Verfügung, in denen Deponien mit bestimmten Merkmalen  $r_0$ -Werte zugeordnet sind. Diese  $r_0$ -Werte drücken als Zahlen zwischen 0 und 6 die Stoffgefährlichkeit in Vergleichslage aus, wobei ein Wert von 6 der höchsten Gefährdungsklasse entspricht.

Anlage 10 zeigt eine derartige Beispielliste für die Bewertung der Stoffgefährlichkeit in bezug auf die Schutzgüter Grundwasser und Oberflächengewässer. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen entsprechende Beispiele für  $r_0$ -Werte in bezug auf die Schutzgüter Boden und Luft.

Abfallarten	$r_0$ -Werte
Küchenabfälle oder Küchenkompost	0,2
Hausmüll nach Schadstoffabtrennung, vorzerkleinert	0,5
Hausmüll	2,0
cadmiumbelastetes Neckarbaggergut	2,0
Klärschlamm	0,5-2,0
mineralöhlhaltiger Boden	(0,5) 1,0-2,0
HCH-haltige Rückstände	2,5

Abbildung 4: Beispiele für  $r_0$ -Werte für das Schutzgut Boden [nach: UM BW 1988a].

Abfallarten	$r_0$ -Werte	
	Luft	(Grundw.)
frischer Hausmüll es entsteht Deponiegas	3,0	(3,0)
mineralisierter Hausmüll, Gasbildung abgeschlossen	2,0	(2,0)
Hausmüll vermischt mit Gips in großen Mengen	5,0	(3,0)
cadmiumhaltiger Galvanikschlamm	1,0	(4,5)

Abbildung 5: Beispiele für  $r_0$ -Werte für das Schutzgut Luft (im Vergleich zu den  $r_0$ -Werten für das Schutzgut Grundwasser) [nach: UM BW 1988a].

Die **Schutzgüter Boden, Wasser und Luft** sind durch verschiedene Schadstoffe und über verschiedene Wirkungsmechanismen gefährdet. Die Schutzgüter **Grundwasser und Ober-**

**flächengewässer** sind hauptsächlich über Schadstoffe gefährdet, die aus dem Ablagerungsgut eluiert und entweder direkt oder über Sickerwasser in die Schutzgüter gelangen könnten (vgl. Kapitel 3.3.2.4 und 3.3.2.5). Im Idealfall kann das Ablagerungsgut einer Wassergefährdungsklasse [Beirat beim BMI 1979, 1980] zugeordnet werden.

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 dem Abdeckmaterial der ehemaligen Deponie. Durch eine - inzwischen eingestellte - landwirtschaftliche Nutzung dieser geringmächtigen Abdeckschicht fand eine mechanische Durchmischung von Boden mit Altmüll statt. Eine Gefährdung über die Nahrungskette konnte zwar analytisch nicht nachgewiesen werden, aus Vorsorgegründen wurde jedoch auf eine weitere landwirtschaftliche Nutzung verzichtet [Arge -Ing. R+P/TAUW 1991a].

Das Schutzgut Luft wird hauptsächlich durch gas - oder staubförmige Emissionen gefährdet. Der häufigste Fall bei Altablagerungen ist eine Gefährdung durch den Methananteil des Deponiegases (vgl. Kapitel 3.3.2.2). Spurenkomponenten des Deponiegases, die häufig auch als Bodenluft bezeichnet werden, tragen - soweit sie toxisch sind - in der Regel nur relativ wenig zur Stoffgefährlichkeit in bezug auf das Schutzgut Luft bei.

### 3.3 Erkundungsmethoden

Im folgenden wird zwischen direkten und indirekten Erkundungsmethoden unterschieden. Die direkten Methoden umfassen alle gängigen Verfahren, die mit einem mechanischen Eingriff in den Deponiekörper und der Entnahme von Feststoffproben verbunden sind. Den Vorteilen, die dabei mit dem direkten Zugriff zum Ablagerungsgut verbunden sind, stehen Nachteile beim Arbeitsschutz gegenüber [vgl. Burmeier 1989]. Ebenso besteht die Gefahr der zusätzlichen Schadstofffreisetzung (z.B. durch das Durchbohren eines Fasses).

Die indirekten ("unblutigen") Methoden umfassen alle übrigen Verfahren, mit denen Informationen über die Deponieinhaltsstoffe und damit über die Stoffgefährlichkeit gewonnen werden. Hauptsächlich werden diese Verfahren jedoch eingesetzt, um Schadstoffaustrag, -eintrag, -transport, oder -wirkung zu erkunden. Die Erkundung des Gaspfades, die meist ebenfalls mit einem mechanischen Eingriff in den Deponiekörper verbunden ist, wird hier zu den indirekten Methoden gerechnet.

#### 3.3.1 Direkte Erkundung der Stoffgefährlichkeit

##### 3.3.1.1 Aufschlußverfahren

An den Modellstandorten Mannheim, Osterhofen und Herten wurden eine Vielzahl von Sondierungen, Bohrungen sowie einige größere Schürfe durchgeführt. Das Bohrgut wurde organoleptisch begutachtet, teilweise beprobt und chemisch-physikalisch analysiert. Insbesondere durch das sogenannte Testfeld-Programm wurden an den Modellstandorten Mannheim und Osterhofen eine Vielzahl von Erkenntnissen zu den folgenden Aufschlußverfahren gewonnen:

- Rammkernsondierungen
- Schneckenbohrungen
- Schlauchkernbohrungen
- Schlagkernbohrungen
- Drucksondierungen
- Greiferbohrungen
- Schürfe

Von den aufgelisteten Verfahren wurden insbesondere die Rammkernsondierung und die Greiferbohrung bezüglich Kosten und Nutzen als günstig bewertet [Arge-Ing. R+P/TAUW 1989/1990, TGU GmbH 1989/1990].

### 3.3.1.2 Organoleptischer Befund

Durch **organoleptische Beurteilung** des Bohrgutes können Rückschlüsse auf die ursprünglich abgelagerten Stoffe und bedingt auch auf die Stoffgefährlichkeit gezogen werden. Dabei sollte allerdings - wie auch bei der Probenahme - aus Arbeitsschutzgründen eine direkte Exposition gegenüber möglichen Schadstoffen vermieden werden. Dazu gehört neben einer Schutzkleidung, die den direkten Hautkontakt verhindert, auch die Vermeidung einer inhalativen oder oralen Schadstoffaufnahme.

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 erkennen, als das Bohrgut aus Greiferbohrungen oder Schürfen [vgl. Testfeldberichte der Modellstandorte Mannheim und Osterhofen, Arge-Ing. R+P/TAUW 1989/1990, TGU GmbH 1989/1990].

Bei kleinen Sondendurchmessern orientiert sich das Sondierpersonal häufig an bestimmten "Leitfossilien" wie z.B. Ziegelbruchstücken oder Zeitungspapier, um das erbohrte Material entweder als Bauschutt oder als Hausmüll zu klassifizieren. Für alten Hausmüll in einem anaeroben Deponiekörper sind außerdem seine schwarze Farbe und ein typischer, süßlich-fauliger Geruch kennzeichnend. Bei Bauschutt ist es neben dem Bohrgut oft auch der schlechte Bohrfortschritt mit Handschlagbohrgeräten, der zu einer entsprechenden Ansprache führt.

Eine Klassifizierung in verschiedene Müllsorten, wie sie in der heutigen Abfallwirtschaft verwendet wird, ist, nachdem das Material in einer Hausmülldeponie abgelagert wurde, über eine organoleptische Ansprache in der Regel nicht mehr möglich. So ist beispielsweise schon eine Unterscheidung zwischen Hausmüll und Gewerbemüll nur in Ausnahmefällen möglich. Am Modellstandort Mannheim wurden beispielsweise größere Chargen von Textilien oder Verpackungsmaterial als Gewerbemüll erkannt [Arge-Ing. R+P/TAUW 1989].

Besonders wichtig für die Beurteilung der Stoffgefährlichkeit ist der Anteil an **Sonderabfällen** (vgl. Anlage 10). Von den vielen Stoffen, die im Katalog der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle [TA Abfall] aufgelistet sind, ist jedoch nur der kleinste Teil organoleptisch als solcher erkennbar. Viele dieser Stoffe sind staubförmig, pulverförmig oder schlammig. Sie fallen häufig nur auf, wenn sie entweder in entsprechenden Gebinden, z.B. Fässern, angetrof-

fen werden oder wenn sie eine auffällige Farbe oder einen auffälligen Geruch aufweisen. Am **Modellstandort Mannheim** wurde beispielsweise eine Charge cyanidbelasteter Gasreinigungsmasse angetroffen, die durch ihre intensive Blaufärbung (Berliner Blau) und einen typischen Geruch auffiel [Arge-Ing. R+P/TAUW 1990]. Organoleptisch auffällige Proben können sich andererseits wiederum in der chemischen Analytik als unauffällig herausstellen [LfU BW 1990].

Insgesamt sind die Möglichkeiten zur Beurteilung der Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien durch eine **organoleptische Ansprache** sehr begrenzt. Meist sind nur Unterscheidungen zwischen Hausmüll, Bauschutt und Erdaushub möglich. Abschätzungen der prozentualen Anteile dieser Fraktionen sind äußerst schwierig.

### 3.3.1.3 Vor-Ort-Detektion von Schadstoffen

Die Möglichkeiten zur **Vor-Ort-Detektion von Schadstoffen** sind noch sehr begrenzt. Dies soll hier am Beispiel von **Photoionisationsdetektoren (PID)** gezeigt werden.

Um schon vor Ort Aussagen über leichtflüchtige Probenbestandteile machen zu können, wurden an den Modellstandorten Mannheim und Osterhofen tragbare PID eingesetzt [Arge-Ing. R+P/TAUW 1989, TGU GmbH 1989, vergl. auch LfU Baden-Württemberg 1990]. Mit derartigen Handgeräten können ionisierbare Substanzen in der **Gasphase** schon in relativ geringen Spuren sofort nachgewiesen werden (Nachweisgrenze im Bereich von  $\text{mg/m}^3$ ). Bei den an den Modellstandorten Mannheim und Osterhofen verwendeten Geräten [vgl. Arge-Ing. R+P/TAUW 1989, TGU GmbH 1989] wird die Gasprobe mit einer Pumpe in eine Ionisationskammer gesaugt und dort mit einer UV-Lampe bestrahlt. Ionisierte Gaskomponenten können dann detektiert werden. Da das Ionisationspotential je nach Substanz unterschiedlich ist, können je nach Lampenleistung unterschiedliche Stoffspektren erfaßt werden. Eine einzelstoffspezifische Detektion ist jedoch nicht möglich.

**Ionisierbare Substanzen in der Gasphase** sind nahezu alle chlorierten und nicht chlorierten Kohlenwasserstoffe sowie alle aromatischen, sauerstoff-, stickstoff- und schwefelhaltigen organischen Verbindungen. Die Hauptkomponenten der Luft oder des Deponiegases werden wegen deren hohen Ionisationspotentials nicht detektiert. Es können also viele flüchtige Schadstoffe, mit denen bei ehemaligen Hausmülldeponien gerechnet werden muß, erfaßt werden. Trotzdem handelt es sich bei diesen Geräten nicht um ausgesprochene Schadstoff-Detektoren, da die Gefährlichkeit der detektierten Stoffe sehr unterschiedlich ist und da auch relativ ungefährliche Stoffe zu einem Signal führen können. Eine Korrelation zwischen PID-Signal, Geruch und chemischer Analytik konnte an den Modellstandorten nicht festgestellt werden.

**Voraussetzung für einen PID-Einsatz** ist ein mechanischer Eingriff in den Deponiekörper und die Entnahme von Probenmaterial. Die Stoffgefährlichkeit kann damit zwar nicht ermittelt werden, jedoch ist der Einsatz beispielsweise für die Veranlassung bestimmter Arbeitsschutz-Maßnahmen sinnvoll.

**Weitere Geräte zur Vor-Ort-Detektion von Schadstoffen** sind beispielsweise Methanometer, Ex-Ox-Warngeräte, spezielle Gasdetektoren oder mobile Massenspektrometer. Auf die

speziellen Einsatzmöglichkeiten dieser Geräte soll hier jedoch nicht näher eingegangen werden.

### 3.3.1.4 Probenahmestrategien

Die **Beprobung von Abfall** hat in der Regel zum 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. Es ist demnach praktisch unmöglich, aus Hausmüll repräsentative Proben zu entnehmen [LfU BW 1991].

In Baden-Württemberg wird empfohlen, bei **Abfallproben** nur das feinkörnige, bodenähnliche Material < 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 (vgl. Kapitel 3.1).

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 allerdings teilweise so gering, daß es selbst bei einer Gesamtmenge des Bohrguts von 0,3 bis 0,4 m<sup>3</sup> schwierig war, genügend Feinmaterial für eine Probe zu erhalten [Schlegel & Partner 1989].

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.

Der **Modellstandort Mannheim**, der mit 28 ha eine relativ große Fläche umfaßt, wurde zunächst in einem 100 m-Raster beprobt. In einer zweiten Stufe wurden auch die Rastermittelpunkte beprobt, so daß insgesamt eine flächendeckende Beprobung in einem 71 m-Raster zustande kam (Anlage 3).

An den Probenahmepunkten wurden Rammkernsondierungen durchgeführt und jeweils 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.

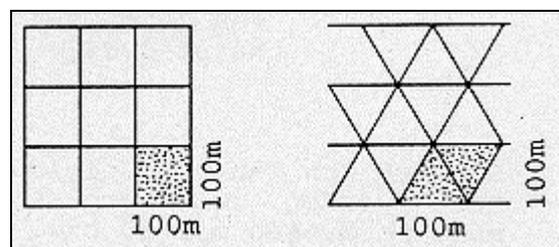
Auf einem Teil des **Modellstandortes Herten** wurden Bohrungen und Abfallprobenahmen auf der Basis eines unregelmäßigen, teilweise verengten 50 m-Rasters durchgeführt (Anlage

7). Von jedem Bohrmeter wurden Mischproben angefertigt. Am **Modellstandort Osterhofen** wurden rasterförmige Probenahmen über die gesamte Deponiefläche nur für Deponiegas durchgeführt (Anlage 12).

Die Besonderheit des Mediums **Abfall** (und Boden) besteht darin, daß im Unterschied zu Wasser und Luft keine Durchmischung stattfindet und daß Schadstoffe folglich sehr kleinräumig auftreten können [Friesel et al. 1988]. Am Modellstandort Mannheim wurde versucht, durch eine sogenannte geschachtelte Varianzanalyse, die räumlichen Abhängigkeiten in der Schadstoffbelastung zu quantifizieren [vgl. Arge-Ing. R+P/TAUW 1990]. Dazu wurden Abfallproben in einem in sich geschachtelten Raster mit Maschenweiten von 3,7 bis 100 m entnommen (Anlage 3 und Anlage 11). Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Kapitel 3.3.1.6 erläutert.

In Ablagerungen können lokale, eng begrenzte **Schadstoffherde** einen Großteil der **Stoffgefährlichkeit** ausmachen. Bei der Auswahl eines **Beprobungsrasters** sollte deshalb berücksichtigt werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein derartiger Schadstoffherd aufgespürt werden kann. Parkhurst (1984) untersuchte unter diesem Aspekt quadratische, rechteckige und dreieckige Raster und stellte fest, daß die Wahrscheinlichkeit einen kugelförmigen oder elliptischen Schadstoffherd ("Hot Spot") aufzuspüren bei einem dreieckigen Raster am höchsten ist.

Abbildung 6 zeigt als Beispiel die nach dieser Methode ermittelten prozentualen Wahrscheinlichkeiten, kugelförmige **Schadstoffherde** mit den Durchmessern 10 m, 20 m und 30 m mit einem quadratischen oder dreieckigen **Beprobungsraster** von 100 m zu finden. Die beiden Rasterformen sehen dabei folgendermaßen aus [nach: Parkhurst 1984]:



Rasterform:	Durchmesser eines kugelförmigen Schadstoffherdes		
	10 m	20 m	30 m
quadratisch	2%	12%	28%
dreieckig	5%	17%	33%

**Abbildung 6: Prozentuale Wahrscheinlichkeiten, einen kugelförmigen Schadstoffherd mit den Durchmessern 10 m, 20 m und 30 m mit einem quadratischen oder dreieckigen Beprobungsraster von 100 m aufzuspüren [nach: Parkhurst 1984].**

Weiterhin kann nach dieser Methode beispielsweise ermittelt werden, wie groß ein **Raster** angelegt werden müßte, um mit 50 bzw. 75%-iger Wahrscheinlichkeit einen hypothetischen, kugelförmigen Schadstoffherd mit einem Durchmesser von 10 m zu finden.

	Treffer- Wahrscheinlichkeit	
	50%	75%
<b>Rasterform:</b>	50%	75%
<b>quadratisch</b>	25 m	20,9 m
<b>dreieckig</b>	26,6 m	22,2 m

**Abbildung 7: Rastergröße, um mit 50 bzw. 75%iger Wahrscheinlichkeit einen hypothetischen, kugelförmigen Schadstoffherd mit einem Durchmesser von 10 m zu finden [nach: Parkhurst 1984].**

Schließlich kann beispielsweise auch noch ermittelt werden, wie groß ein Schadstoffherd sein muß, um diesen mit 90 bzw. 50%-iger Wahrscheinlichkeit mit einem **100 m-Raster** aufzuspüren (Abbildung 8).

	Treffer- Wahrscheinlichkeit	
	90%	50%
<b>Rasterform:</b>	90%	50%
<b>quadratisch</b>	56 m	40 m
<b>dreieckig</b>	50 m	37,5 m

**Abbildung 8: Größe eines Schadstoffherdes, der mit 90 bzw. 50%-iger Wahrscheinlichkeit mit einem 100 m-Raster aufgespürt werden kann [nach: Parkhurst 1984].**

### 3.3.1.5 Chemische Analytik

Für die nachträgliche Klassifizierung (Identifikation) von Müllsorten gemäß Abfallkatalog auf Grundlage chemischer Analysen liegen bisher kaum Zuordnungskriterien vor. Lediglich für die Unterscheidung von Sonderabfällen (besonders überwachungsbedürftigen Abfällen), die entweder oberirdisch oder nur unter Tage abgelagert werden dürfen, sind Zuordnungswerte für Eluatanalysen in der TA-Sonderabfall festgeschrieben (Anlage 13). Nach dem Altlasten-Bewertungsverfahren in Baden-Württemberg entspricht dies einem  $r_0$ - "Grenzwert" von ca. 5,0 (vgl. Anlage 10).

Ansonsten liegen derzeit keine Kriterien und Maßstäbe vor nach denen Abfall-Analysenergebnisse zur Bewertung der Stoffgefährlichkeit und zur Bestimmung eines  $r_0$ - Wertes verwendet werden könnten. In Nordrhein-Westfalen wurde die Zuordnung bestimmter Abfallsorten zu verschiedenen Deponieklassen bis vor kurzem nach dem Entwurf einer Richtlinie über die Untersuchung und Beurteilung von Abfällen durchgeführt [LWA NRW 1987]. Ein Teil der Zuordnungskriterien stützte sich dabei auf zulässige Konzentrationen von Inhalts-

stoffen von Abfall-Eluaten. So wurden für Erdaushub (Bodenablagerung), Bauschutt (Mineralstoffe) und Hausmüll (Siedlungsabfälle) jeweils andere Grenzwerte für zulässige Konzentrationen in Eluaten angegeben. Übertragen auf das Bewertungsverfahren in Baden-Württemberg würde die Stoffgefährlichkeit dieser Abfallsorten  $r_0$ -Werten von 0,2, 1,0 und 3,0 entsprechen (vgl. Anlage 10). Inzwischen wird dieser Richtlinien-Entwurf jedoch nicht mehr verwendet. Zukünftige Bewertungskriterien für die Identifikation von Abfällen werden derzeit bundesweit einheitlich in der TA-Siedlungsabfall erarbeitet.

Mit Frischmüll-Analysenergebnissen, von denen nur wenige Daten vorliegen, sind Altmüll-Analysen nur bedingt vergleichbar, da bei Altmüll in der Regel nur die Feinfraktion analysiert wird (vgl. Kapitel 3.3.1.4 und die Abbildungen 9 und 10). Häufig werden Analysenergebnisse von Altmüll deshalb mit Grenzwerten für Böden oder Klärschlamm verglichen [LfU 1989].

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. Den gesamten "Chemischen Zoo" von über 100 000 Einzelstoffen, die bisher industriell hergestellt wurden [Friege 1988], analytisch zu erfassen, ist ohnehin nicht möglich. In der Regel werden neben Aussehen, Abdampfdruckstand und Glührückstand die Schwermetalle, Kohlenwasserstoffe, PAK und BTX analysiert. Dazu kommen noch die Summenparameter EOX und Phenolindex. Weitere Parameter werden nur bei speziellen Hinweisen, beispielsweise aus der historischen Erkundung analysiert.

Abbildung 9 zeigt als Beispiel 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. Der Medianwert beschreibt dabei den Wert, der in einer nach der Größe geordneten Reihe genau in der Mitte steht. Bei einer Normalverteilung (Gaußverteilung) ist der Medianwert mit dem arithmetischen Mittelwert identisch. Bei den Abfallanalysen beeinflussen jedoch einige extrem hohe Werte den Durchschnittswert sehr stark. Dies zeigt auch die Anlage 16 sehr deutlich.

	<b>Schwermetallkonz.</b>	<b>Probenanzahl</b>	<b>Konz. in mg/kg: Min.</b>	<b>Konz. in mg/kg: Max.</b>	<b>Konz. in mg/kg: Mittelw.</b>	<b>Konz. in mg/kg: Median</b>
As	Mannheim	86	0,7	82	10	
	Osterhofen	61	0,3	55		
	Herten	30	2,0	21	9,6	
	Hausmüll <sup>1</sup>		1,4	9		
	Kompost <sup>2</sup>					
Pb	Mannheim	86	3	3523	353	220
	Osterhofen	61	6	24520		
	Herten	30	20	6150	547	
	Hausmüll <sup>1</sup>		110	920		
	Kompost <sup>2</sup>		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 <sup>1</sup>		1,7	50		
	Kompost <sup>2</sup>		3,4	6,3		
Cr	Mannheim	86	3,1	2742	75	
	Osterhofen	61	20,3	2270		
	Herten	30	25	613	109	
	Hausmüll <sup>1</sup>		5	2810		
	Kompost <sup>2</sup>		33	118		
Cu	Mannheim	86	2,0	3681	393	154
	Osterhofen	61	12,8	1810		
	Herten	30	15	3530	244	
	Hausmüll <sup>1</sup>		120	532		
	Kompost <sup>2</sup>		33	266		
Ni	Mannheim	86	2,8	1605	57	33
	Osterhofen	61	13,5	116		
	Herten	30	22,5	553	73	
	Hausmüll <sup>1</sup>		75	265		
	Kompost <sup>2</sup>		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 <sup>1</sup>		0,4	14		
	Kompost <sup>2</sup>		2,0	4,5		
Zn	Mannheim	86	9,6	6822	736	497
	Osterhofen	61	49,3	6720		
	Herten	30	52,5	3680	947	
	Hausmüll <sup>1</sup>		300	1000		
	Kompost <sup>2</sup>		166	1000		

**Abbildung 9: Schwermetall-Konzentrationen in Abfall.; [1] Quellen: Fuchs 1985; Spillmann 1986; Tabasaran 1983; [2] Quelle: Helm et al. 1985**

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. Eine Korrelation der Analysenergebnisse, die mit diesen beiden Analyseverfahren ermittelt werden, konnte zumindest am Modellstandort Mannheim nicht festgestellt werden. Für die Bewertung der **Stoffgefährlichkeit** für die **Schutzgüter Grundwasser und Oberflächengewässer** ist jedoch das Elutionsverhalten entscheidend. Deshalb sollte dieses Verfahren bei Abfallproben prinzipiell vorgezogen werden.

Am **Modellstandort Mannheim** wurden im Rahmen einer Altmüll-Siebung (vgl. Kapitel 3.1) auch chemische Analysen dreier Siebfractionen durchgeführt [Arge-Ing. R+P/TAUW 1990]. Die in Abbildung 10 dargestellten Ergebnisse stellen insofern einen Spezialfall dar, als die Siebung von Altmüll nicht zu den Standard-Erkundungsmethoden gehört. Dennoch können die Analysenergebnisse durchaus mit den anderen Abfall-Analysen verglichen werden. In den Anlagen 14 bis 16 sind weitere Abfall-Analysenergebnisse vom Modellstandort Mannheim dargestellt.

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 würde dies insgesamt etwa 80 Gew.% des gesamten Mülls ausmachen.

Über die chemische Zusammensetzung der Grobfraktion (größer als 40 mm) liegen vom Modellstandort Mannheim keine Daten vor. Zum größten Teil handelt es sich aber um Inertmaterialien wie Steine, Glas, Keramik und Metall, die von der oberflächigen Verschmutzung abgesehen, weitgehend ungefährlich sein dürften. Anders sieht es sehr wahrscheinlich bei den Papier-, Textil- und teilweise auch Holzanteilen aus. Durch ihre große innere Oberfläche besitzen diese Materialien eine große Speicherkapazität (Saugfähigkeit) beispielsweise für Sickerwasser. Zumindest der organoleptische Eindruck bestätigte, daß in diesen Fraktionen gelöste Schadstoffe angereichert sind. Allerdings repräsentieren Papier, Textilien und Holz nur etwa 3 Gew.% des gesamten Mülls.

Schadstoff	Schadstoffgehalte dreier Altmüll-Siebfractionen vom Modellstandort Mannheim; Mittelwerte aus jeweils 10 Proben [mg/kg]			Vergleichswerte für Schadstoffgehalte [mg/kg]			
	Fein	Mittel	Grob	Hausmüll [ <sub>1</sub> ]		Kompost [ <sub>2</sub> ]	
				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	( <sub>3</sub> ) 1	( <sub>3</sub> ) 3		
Σ Chlorbenzole	0,0054	0,0084	0,0136				
<p>[<sub>1</sub>] Quellen: Fuchs 1985; Spillmann 1986; Tabasaran 1983  [<sub>2</sub>] Quelle: Helm et al. 1985  [<sub>3</sub>] Summe wurde nur aus 6 Einzelparametern bestimmt</p>							

Abbildung 10: Schadstoffgehalte in Altmüll, frischem Hausmüll und Kompost [nach: Arge-Ing. R+P/TAUW 1990].

### 3.3.1.6 Räumliche Abhängigkeit der Schadstoffbelastung

Am Modellstandort Mannheim wurden chemische Analysen von insgesamt 107 Abfallproben geostatistisch ausgewertet [Arge-Ing. R+P/TAUW 1991b]. Unter Einbeziehung der Koordinaten der Probenahmepunkte kann damit die räumliche Varianz der Schadstoffbelastung im Müllkörper überprüft werden. Diese ist ein Maß für die Repräsentativität der Analyseergebnisse und für die Zuverlässigkeit von Interpolationen [Arge-Ing. R+P/TAUW 1991b].

Eine Methode, die räumliche Varianz zu überprüfen ist die sogenannte geschachtelte Varianz-Analyse. Dabei werden Analyseergebnisse von Probenahmepunkten, die unterschiedlich weit voneinander entfernt sind (verschiedene Rastergrößen), miteinander verglichen (Anlage 11, vgl. auch Anlage 3). Abbildung 11 zeigt schematisch die verschiedenen Meßniveaus, die nach dieser Methode am Modellstandort Mannheim berücksichtigt wurden.

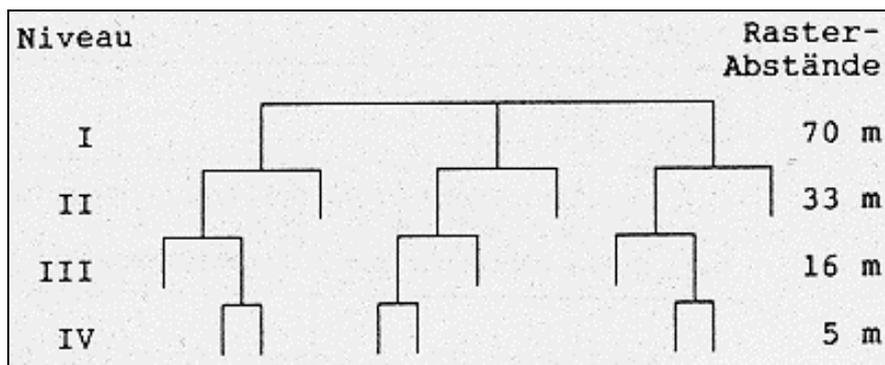


Abbildung 11: Meßniveaus für die geschichtete Varianz-Analyse von Abfallproben am Modellstandort Mannheim [Arge-Ing. R+P/TAUW 1991].

In Abbildung 12 sind die berechneten Varianzen dargestellt. Bei Blei ist bereits auf dem 16 m-Niveau keine räumliche Korrelation mehr erkennbar. Demnach wäre eine Interpolation von Analysenwerten nur für kleinere Meßraster als 16 m zulässig. Bei den Parametern Cadmium, Kupfer und Quecksilber nimmt die Varianz zwischen dem 16 m-Niveau und dem 33 m-Niveau sehr stark zu. Bei diesen Parametern wäre deshalb theoretisch eine Interpolation der Daten von einem maximal 16 m großen Raster noch zulässig.

Varianzen				
Niveau	Pb	Cd	Cu	Hg
I	0	0	0	99,5
II	0	91,8	0	0,35
III	0	4,15	0	0
IV	100	4,06	100	0,11
I	100	100	100	100
II	100	100	100	0,47
III	100	8,21	100	0,12
IV	100	4,06	100	0,11
Varianzen ohne Extremwerte				
Niveau	Pb	Cd	Cu	Hg
I	0	0	0	0
II	0	62,3	89,4	75
III	98,8	19,1	0	0,65
IV	1,25	18,6	10,7	24,3
I	100	100	100	100
II	100	100	100	100
III	100	37,69	10,65	24,99
IV	1,25	18,64	10,65	24,34

Abbildung 12: Berechnete prozentuale und kumulative Varianzen der Schadstoffbelastung am Modellstandort Mannheim in Abhängigkeit des Meßniveaus [nach: Arge-Ing R+P/TAUW 1991]

Weitere geostatistische Untersuchungen zur **räumlichen Abhängigkeit der Schadstoffbelastung** zeigen jedoch, daß auch bei kleineren Abständen der Probenahmepunkte keine Korrelation der Daten möglich ist [Arge-Ing. R+P/TAUW 1991].

Letztendlich sind diese Ergebnisse wegen der Heterogenität des Müllkörpers nicht überraschend. Die Heterogenität dieses Stoffgemisches beginnt mit der Vermischung unterschiedlichster Abfälle beispielsweise in einem privaten Haushalt. Sie setzt sich fort mit einer weiteren Vermischung im Müllfahrzeug und endet schließlich im Abladen und Umlagern auf der Deponie. Im Müllkörper finden keine Prozesse statt, die im Feststoff eine horizontale Stoffwanderung bewirken. Deshalb wird die primäre Unordnung (Chaos) im Müllkörper zumindest horizontal nicht durch sekundäre Prozesse geordnet (Entmischungen, Anreicherungen).

In vertikaler Richtung finden entsprechende Prozesse jedoch statt. So werden durch Perkolations von Niederschlagswasser verschiedene Stoffe eluiert. Obwohl dies sehr wahrscheinlich zu einer verstärkten Elution oberflächennaher Bereiche führt, wurde an den Modellstandorten bei entsprechenden Untersuchungen des Müllkörpers, wenn man von einer oberflächigen Oxidationszone am Modellstandort Mannheim absieht, keine vertikale Gradierung der chemischen Zusammensetzung festgestellt.

### 3.3.2 Indirekte Erkundung der Stoffgefährlichkeit

#### 3.3.2.1 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., zum Beispiel durch Aktenstudium und durch Befragung von Zeitzeugen, wichtige **Hinweise auf die Stoffgefährlichkeit** der Altablagerung gewonnen werden. Auch wenn es sich dabei um ehemalige Deponien handelt, die nicht nach dem heutigen Stand der Technik betrieben wurden, wurde teilweise 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 (vgl. Kapitel 3.3.1.2 und 3.3.1.5). Deshalb bleibt die **Historische Erkundung** ein unverzichtbarer Bestandteil der Gesamterkundung.

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 Mengenteile der verschiedenen Müllsorten keine weiteren Daten gefunden. Die Stoffgefährlichkeit für das Schutzgut Grundwasser wurde auf Grundlage der Historischen Erkundung mit einem  $r_0$ -Wert von 4,0 eingestuft (vgl. Anlage 10).

Der **Modellstandort Osterhofen** wurde - so ergab die Historische Erkundung - früher als reine Hausmülldeponie betrieben, auf der untergeordnet auch hausmüllähnlicher Industriemüll (Verpackungsmaterial, Kehrlicht, Papier) und Sperrmüll abgelagert wurden [Ingenieur-

Gemeinschaft Obermeyer/Lurgi 1987]. Die Bewertung der Stoffgefährlichkeit ergab für das Schutzgut Grundwasser einen  $r_0$ -Wert von 3,0.

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 Stoffgefährlichkeit für das Schutzgut Grundwasser wurde mit einem  $r_0$ -Wert von 3,5 eingestuft.

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.

### 3.3.2.2 Gas-Messungen

Deponiegas in ehemaligen Deponien besteht in der Regel aus den Haupt-Komponenten Methan und Kohlendioxid sowie je nach Alter, Abbauzustand und Zusammensetzung des Müllkörpers auch Stickstoff und Sauerstoff. Der Methananteil des Deponiegases stellt insofern eine besondere Gefahr dar, als daß er in Konzentrationen von 5 bis 15 Vol.% mit Luft ein explosives Gasgemisch bildet. In höheren Konzentrationen ist Methan brennbar. Eine Gefährdung von Schutzgütern entsteht zusätzlich durch die Verdrängung von Luft und die damit verbundene Erstickungsgefahr. Dazu gehört auch die Schädigung von Pflanzen durch Deponiegas.

Die **Spurenkomponenten des Deponiegases** können eine zusätzliche Gefährdung darstellen, wenn sie toxisch sind. Als Beispiel sind hier Benzol, Vinylchlorid, die aliphatischen Chlorkohlenwasserstoffe (CKW) oder  $H_2S$  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].

Abbildung 13 zeigt einige Analysenergebnisse von Spurenkomponenten im Deponiegas vom Modellstandort Mannheim [Arge-Ing. R+P/TAUW 1991]. Eine Korrelation von Haupt- und Spurenkomponenten war am Modellstandort Mannheim nicht feststellbar.

Spurenkomponenten im Deponiegas	Anzahl Proben	Min. Konz. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Max. Konz. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Mittelw. Konz. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
BTX-Summe	28	0	33500	8300
CKW-Summe	30	80	4400	612
Naphthalin	24	<80	1500	218
Propylbenzol	24	<90	6200	1320
Mesitylen	24	<80	13000	1310

**Abbildung 13: Analysenergebnisse von Spurenkomponenten im Deponiegas vom Modellstandort Mannheim [Arge-Ing. R+P/TAUW 1991].**

Bei der Bewertung der Stoffgefährlichkeit für das Schutzgut Luft ist der Methan-Anteil am wichtigsten (vgl. Abbildung 5). 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. Durch diese Messungen können aber auch Informationen über die Stoffgefährlichkeit für das Schutzgut Grundwasser gewonnen werden. So stellen insbesondere BTX und die aliphatischen Chlorkohlenwasserstoffe (CKW) auch eine Gefährdung für das Schutzgut Grundwasser dar. Der Methan- und Kohlendioxid-Anteil liefert wichtige Informationen über den Rest-Anteil an organischem Material. Daraus kann beispielsweise auf den Abbauzustand bzw. den Mineralisations-Grad der ehemaligen Deponie geschlossen werden. Indirekt kann daraus auch abgeleitet werden, in welchem Ausmaß noch mit Abbauprozessen und mit der Freisetzung von Schadstoffen gerechnet werden muß.

### 3.3.2.3 Sickerwasser

**Sickerwasser** aus einer Hausmülldeponie ist mehr oder weniger stark mit Deponieinhaltsstoffen belastet. Menge und Schadstoffbelastung des Sickerwassers sind ein direktes Maß für den Schadstoff-Austrag 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 Qualität des Sickerwassers zu ermitteln. In der Praxis kann Sickerwasser jedoch nur repräsentativ beprobt werden, wenn eine gut funktionierende Sickerwasserfassung vorhanden ist.

Sickerwasser bewegt sich auf Grund der Schwerkraft abwärts bis es entweder auf einen undurchlässigen Horizont trifft (z.B. eine Sohlabdichtung oder eine Sickerwasserfassung) oder aber ins Grundwasser gelangt. **Sickerwasser** kann deshalb bei einer Altablagerung ohne mechanischen Eingriff in den Deponiekörper nur direkt beprobt werden, wenn künstliche oder natürliche Barrieren dafür sorgen, daß es lateral über den Deponierand hinausfließt.

Die Belastung des Sickerwassers mit Schadstoffen ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Dies sind die Gesamtmenge der Schadstoffe im Deponiekörper, deren Eluierbarkeit, die Durchlässigkeit des Deponiekörpers und etwaiger Dichtungsschichten, die Grundwasserneubildung (Sickermenge pro Zeit), der pH-Wert, die Temperatur und evtl. die Vorbelastung des perkolierenden Wassers.

Am **Modellstandort Mannheim** wurde bei einer Bohrung im Randbereich des Deponiekörpers Sickerwasser angetroffen und beprobt [Arge-Ing. R+P/TAUW 1990]. Neben den in Abbildung 14 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 beiden Parameter im Grundwasser jedoch nur punktuell nachgewiesen wurden, kann davon ausgegangen werden, daß dieses Sickerwasser nicht für die gesamte Deponie repräsentativ war. Trotzdem kann daraus abgeleitet werden, daß der Deponiekörper zumindest in Teilbereichen erhöhte PAK- und Chlorbenzol-Konzentrationen aufweist, die auf Sondermüllkomponenten hinweisen, da sie für Hausmüll völlig untypisch sind.

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 Abbildung 14 dargestellt.

Parameter	Einheit	Sickerwasser von					
		Modellstandort		Hausmülldeponie [3]		Sonderabfalldeponie [3]	
		Mannheim [1]	Osterhofen [2]	Min.	Max.	Min.	Max.
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				

**Abbildung 14: Chemische Zusammensetzung von Sickerwasserproben von den Modellstandorten Mannheim und Osterhofen im Vergleich zu Sickerwasser von anderen Hausmülldeponien und von Sondermülldeponien. Quellen: [1]: Arge-Ing. R+P/TAUW 1990; [2]: TGU GmbH 1990 (die Analyse wurde als Durchschnittswert von 17 Stichtagsanalysen errechnet); [3]: MELUF NRW 1985.**

Der Vergleich der Sickerwasseranalysen von den beiden Modellstandorten mit Sickerwasseranalysen von modernen Hausmüll - und Sondermülldeponien (Abbildung 14) zeigt, daß die Schadstoffgehalte des Sickerwassers von den beiden Modellstandorten relativ niedrig sind. Aus diesen Daten läßt sich zumindest ableiten, daß sich daraus keine Hinweise auf größere Chargen abgelagerten Sondermülls ergeben. Allerdings zeigen die Minimalwerte des Sickerwassers von Sondermülldeponien, daß auch dort die Analysenwerte relativ niedrig sein können. Der Rückschluß von **Sickerwasser-Analysen** auf die Art der abgelagerten Stoffe und eventuell deren Wassergefährdungsklasse ist deshalb nur bedingt möglich.

### 3.3.2.4 Grundwasser/Oberflächengewässer

Aus der Belastung der **Schutzgüter Grundwasser oder Oberflächengewässer** kann unter Einbeziehung der Vorbelastung der Schadstoffeintrag ermittelt werden. Nachdem zweifelsfrei

geklärt ist, daß dieser Eintrag durch die Deponie erfolgt, kann daraus wiederum indirekt auf das Stoffinventar 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 DOC) 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 (Abbildung 15). Oberflächengewässer sind bei keinem der drei untersuchten Modellstandorte gefährdet.

Parameter	Einheit	Grundwasserbelastung im Bereich der drei Modellstandorte								
		Mannheim				Osterhofen		Herten		
		unter Deponie		Abstrom		Hintergrund [5]	Abstrom [6]	Hintergrund [7]	Abstrom [8]	Hintergrund [9]
	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		

Abbildung 15: Vergleich der Grundwasserbelastung im Bereich der drei untersuchten Modellstandorte an ausgewählten Analyseparametern.

[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]

## 4 Vergleichende Bewertung der Erkundungsmethoden in bezug auf bewertungsrelevante Sachverhalte zur Stoffgefährlichkeit

Eine vergleichende Bewertung der verschiedenen Methoden zur Erkundung der Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien ist in Abbildung 16 stark vereinfacht in Form einer Matrix dargestellt.

Die Studie zeigt, daß die **Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien** nicht unbedingt durch einen **mechanischen Eingriff** in den Deponiekörper **erkundet** werden muß. 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.

**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 und die Möglichkeit einer zusätzlichen Schadstoffmobilisierung rechtfertigt.

Für eine routinemäßige **chemisch-physikalische Untersuchung von Abfallproben** sind die Analysenergebnisse zu wenig aussagekräftig in bezug auf die Stoffgefährlichkeit der gesamten Deponie. Deshalb kann oft darauf verzichtet werden. Bei konkreten Hinweisen auf ungewöhnliche Schadstoffbelastungen - zum Beispiel aus der Historischen Erkundung - sollten entsprechende Analysen jedoch durchgeführt werden.

Eine Besonderheit stellen Altablagerungen dar, bei denen wegen der komplizierten hydrogeologischen Verhältnisse Sickerwasser oder Grundwasser nur mit sehr großem Aufwand erkundet werden kann. Diese Situation besteht beispielweise am Modellstandort Bitz, einer Deponie auf verkarsteten Weißjura-Kalken der Schwäbischen Alb [LfU BW 1990] (Anlage 1). Um in einem derartigen Fall überhaupt eine Bewertung der Stoffgefährlichkeit durchführen zu können, kann die chemisch-physikalische Untersuchung von Abfallproben durchaus angebracht sein.

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

Abbildung 16: Bewertung verschiedener Methoden zur Erkundung bewertungsrelevanter Sachverhalte zur Stoffgefährlichkeit.

Falls in den Deponiekörper eingegriffen werden muß, fällt auch Bohrgut an, das **beprobt** werden kann. Es empfiehlt sich in jedem Fall Rückstellproben zu nehmen und diese zumindest bis zum Abschluß der Erkundungsarbeiten sicher zu lagern. Es wird empfohlen, nicht ausschließlich das Feinkorn, sondern das gesamte geförderte Bohrgut anteilmäßig zu beproben. Dadurch können die Rückstellproben bei Bedarf nicht nur ausschließlich für chemische Analysen, sondern gegebenenfalls auch im Zuge einer Sanierungsplanung für spezielle physikalische Untersuchungen (Heizwertbestimmungen, Siebanalysen, etc.) verwendet werden. Allerdings sind die Proben nach längerer Lagerzeit zum Nachweis organischer Schadstoffe nicht mehr geeignet.

**Chemische Analysen** sollten - falls sie für erforderlich gehalten werden - bevorzugt an Eluat durchgeföhrt werden. Hierzu kann im Vergleich zur Vollanalyse die Gesamtprobe (ein-

schließlich der Grobfraktion) verwendet werden. Dadurch kann am ehesten eine Aussage zur tatsächlichen Stoffgefährlichkeit für das Schutzgut Grundwasser gemacht werden.

Der **Historischen Erkundung** kommt bei Altablagerungen eine besondere Bedeutung zu. Sie bietet unter Umständen die Möglichkeit, aus Aufzeichnungen die Art und Menge des abgelagerten Mülls zu erfahren. Dies kann in Ausnahmefällen, zumindest bei jüngeren Deponien, bis zur Typisierung des Mülls nach Abfallschlüsseln gehen. Derartige Informationen sind durch eine technische Erkundung nicht zu gewinnen.

Aus der Schadstoffbelastung von **Sickerwasser** können sehr wichtige Informationen zur Stoffgefährlichkeit für das Schutzgut Grundwasser abgeleitet werden. Es empfiehlt sich deshalb, falls Sickerwasser im Rahmen der Erkundungsmaßnahmen angetroffen wird, dieses zu beproben und nach einer umfangreichen Parameterliste zu analysieren.

**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 Gewerbe- oder Industrieanlagen befindet. Aus Deponiegasmessungen kann indirekt auch auf eine Stoffgefährlichkeit für das Schutzgut Grundwasser geschlossen werden. So kann aus einer abnehmenden Deponiegasproduktion geschlossen werden, daß der Bestand an organischem Material, also auch manchen organischen Schadstoffen, abgenommen hat.

Die Spurengase im **Deponiegas** geben wichtige Hinweise auf flüchtige Bestandteile im Deponiekörper. Für das Schutzgut Luft sind sie zusammen mit den Hauptkomponenten des Deponiegases allein maßgebend für die Beurteilung der Stoffgefährlichkeit. Messungen in der Gasphase haben gegenüber einer direkten Erkundung den Vorteil, daß sie bis zu einem gewissen Grad integrierend wirken. So kann eine punktförmige Schadstoffquelle, zum Beispiel ein beschädigtes, mit Benzol gefülltes Faß, sehr wahrscheinlich auch in einigen Metern Entfernung in der Gasphase nachgewiesen werden.

Die wichtigste **indirekte Erkundungsmethode** ist neben der Historischen Erkundung die **Erkundung des Grundwassers**. Neben dem Schadstoffeintrag kann daraus auch indirekt auf den Schadstoffaustrag und letztendlich auf die Stoffgefährlichkeit geschlossen werden. Der große Vorteil dieser Erkundungsmethode liegt in der integrierenden Erfassung mehrerer Eintragsstellen. So ist es fast unmöglich, eine punktförmige Schadstoffquelle in einer Deponie durch direkte Erkundung zu erfassen, 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.

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

## 5 Empfehlungen für das zukünftige Vorgehen zur Ermittlung der Stoffgefährlichkeit (ro) ehemaliger Hausmülldeponien

Für die routinemäßige **Erkundung der Stoffgefährlichkeit** bei ehemaligen **Hausmülldeponien** wird empfohlen folgendermaßen vorzugehen:

- Durchführung einer fundierten **Historischen Erkundung**. Sie hat bei Altablagerungen eine noch größere Bedeutung wie bei Altstandorten, da physikalisch-chemische Erkundungsmethoden bei Altablagerungen weniger aussagekräftig sind. 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 Sickerwasser-Proben mit einer umfangreichen Parameterliste.
- Erkundung des **Gaspfades** [s. Leitfaden Deponiegas, RUK 1992, Veröffentlichung in Vorbereitung].
- Erkundung des **Grundwasserpfades** wie bisher. Zur Abschätzung von Sickerwassermenge und -belastung ist die Betrachtung des gesamten Wasserhaushaltes von Bedeutung.
- Durchführung von **Rammkernsondierungen** nur in Ausnahmefällen zur Erkundung spezieller Fragestellungen zur Stoffgefährlichkeit. Für andere Fragestellungen, beispielsweise zur Abgrenzung des Deponiekörpers zum Nebengestein, können Sondierungen jedoch notwendig 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.
- **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 durchgeführt werden.

## 6 Literaturverzeichnis

- Arge-Ing. Röver + Partner /TAUW Infra Consult (1988 bis 1990):  
Berichte zur technischen Erkundung des Modellstandortes Mannheim, Friesenheimer Insel (unveröffentlicht).
- Arge-Ing. Röver + Partner /TAUW Infra Consult (1991a):  
Kosten-Wirksamkeits-Abschätzung von Sicherungs - und Sanierungsmaßnahmen am Modellstandort Mannheim, Friesenheimer Insel (unveröffentlicht).
- Arge-Ing. Röver + Partner /TAUW Infra Consult (1991b):  
Modellstandort Mannheim, Friesenheimer Insel - Geostatistische Auswertung der chemischen Zusammensetzung des Müllkörpers (unveröffentlicht).
- Beirat beim BMI (1979):  
Lagerung und Transport wassergefährdender Stoffe (LTwS)": Bewertung wassergefährdender Stoffe. Hrsg.: Umweltbundesamt Berlin.
- Beirat beim BMI (1980):  
Lagerung und Transport wassergefährdender Stoffe (LTwS)": Katalog wassergefährdender Stoffe. Hrsg.: Umweltbundesamt Berlin.
- 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 S, ecomed GmbH Landsberg/Lech.
- Fricke, H. (1981):  
Grundwasserverunreinigung durch Herstellung und Anwendung von chloriertem Lösemittel aus der Sicht der Industrie. - DVGW-Schriftenreihe Wasser, 29; S.119-132.
- Friege, H. (1988):  
Meßstrategien zur Altlastenuntersuchung. in: Franzius et al. [Hrsg.]: - Handbuch der Altlastensanierung, Kapitel 3.2.2.5. R.v. Decker's Verlag, G. Schenck GmbH, Heidelberg.
- 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. Decker's Verlag, G. Schenck GmbH, Heidelberg.
- Ingenieur-Gemeinschaft Obermeyer/Lurgi (1987):  
Historische Erkundung Osterhofen (unveröffentlicht).
- Klein, E. (1990):  
Maßnahmen zur Entgiftung von Müll. Begründung der Maßnahmen zur Schadstoffentfrachtung. - Entsorgungspraxis-Spezial, 3; S.15-19.
- Koch, T. C. & Seeberger J. (1986):  
Ökologische Müllverwertung - Handbuch für optimale Müllkonzepte, 2. Aufl., Alternative Konzepte, Band 44, Verlag C. F. Müller, Karlsruhe. Bild 1.5, entnommen aus: Buchwald, K. & Engelhard, H. (Hrsg.): Handbuch für Planung, Gestaltung und Schutz der Umwelt.

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 (unveröffentlicht).

LfU BW Hrsg. (1990):

Leitlinien zur Geophysik an Altlasten. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 2..

LfU BW (1991):

Verfahrensempfehlungen zur Probenahme von Boden, Abfall, Grundwasser, Sickerwasser für die chemisch-physikalische Untersuchung bei der Altlastenerkundung (Stand: August 1990 mit Änderungen vom Februar 1991).

LWA NRW Hrsg. (1987):

Untersuchung und Beurteilung von Abfällen; Teil 2; - Abfallwirtschaft in Nordrhein-Westfalen.

Matz, G. (1989):

Mobile Meßgeräte für den Einsatz auf Altlasten. in: Franzius et al. [Hrsg.]: - Handbuch der Altlastensanierung, Kapitel 3.2.2.5. R. v. Decker's Verlag, G. Schenck GmbH, Heidelberg.

Müller, K. R., Schmitt-Gleser, G. (Hrsg.), 1991:

Handbuch der Abfallentsorgung: TA Sonderabfall. - Grundwerk 1989. - ecomed, Landsberg

Neifer, H. (1990):

Modellstandortkonzeption Baden-Württemberg, Ergebnisse für die Praxis der Altlastenerkundung. - In: Kongreßband "Altlastensanierung" 90 KfK/TNO (10.-14. Dezember 1990) in Karlsruhe.

Parkhurst, D. F. (1984):

Optimal sampling geometry for hazardous waste sites, Environmental Science Technology, Vol. 18, pp. 521-523; zitiert in: Gilbert, R. O. (1987): Statistical methods for environmental pollution monitoring; Van Nostrand Reinhold Company, New York, 320 p.

Röver + Partner (1987):

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

RUK (1992):

Erkundung des Deponiegaspfades bei Altablagerungen (Leitfaden Deponiegas). Veröffentlichung in Vorbereitung.

Schlegel & Partner GmbH (1987):

Deponie Herten/Rheinfelden - Historische Erkundung (unveröffentlicht).

Schlegel & Partner GmbH (1988 bis 1989):

Berichte zur Technischen Erkundung des Modellstandortes Herten (unveröffentlicht).

SRU (1990):

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

Straßburger, A. (1991):

Strategien zur Technischen Erkundung von Altlasten. - "Hinweise zur Altlastenbearbeitung - aus den Erfahrungen und Erkenntnissen der Modellstandort-Bearbeitung" (unveröffentlicht).

Tabasaran, O. (1983):

Abfallkompostierung. in: Ministerium für Soziales, Gesundheit und Umwelt, Rheinland Pfalz [Hrsg.]: Abfallbeseitigung in Rheinland Pfalz, Symposium am 06.12.1982 in Speyer, S. 21-33; Mainz.

TGU GmbH (1988 bis 1990):

Berichte zur technischen Erkundung des Modellstandortes Osterhofen (unveröffentlicht).

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):

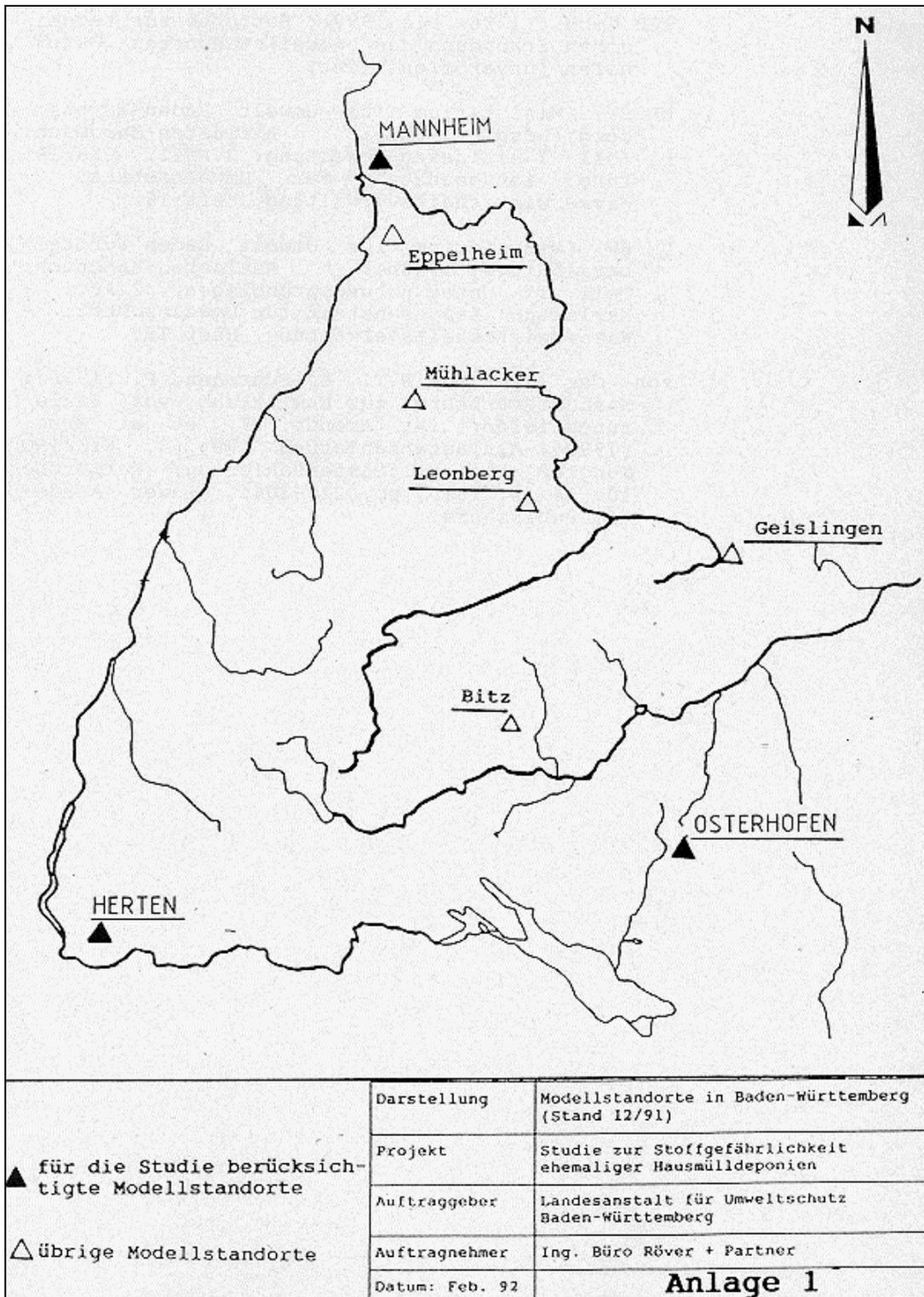
Altlasten-Handbuch; Teil II Untersuchungsgrundlagen; 2. Aufl. - Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz. Wasserwirtschaftsverwaltung, Heft 19.

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.

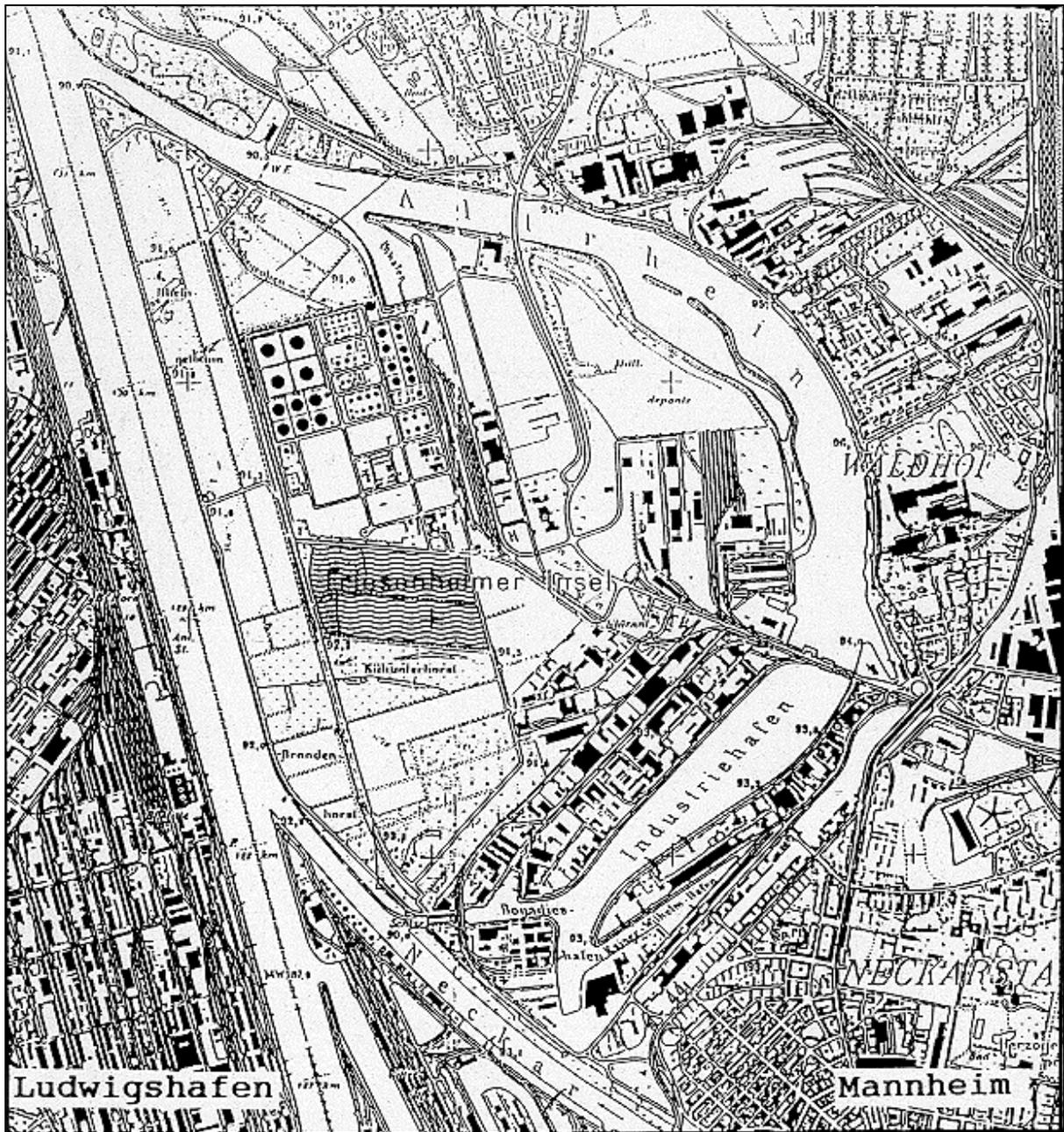
## Anlagen

### Anlage 1: Modellstandorte in Baden-Württemberg



Anlage 1: Modellstandorte in Baden-Württemberg (Stand 12/91)

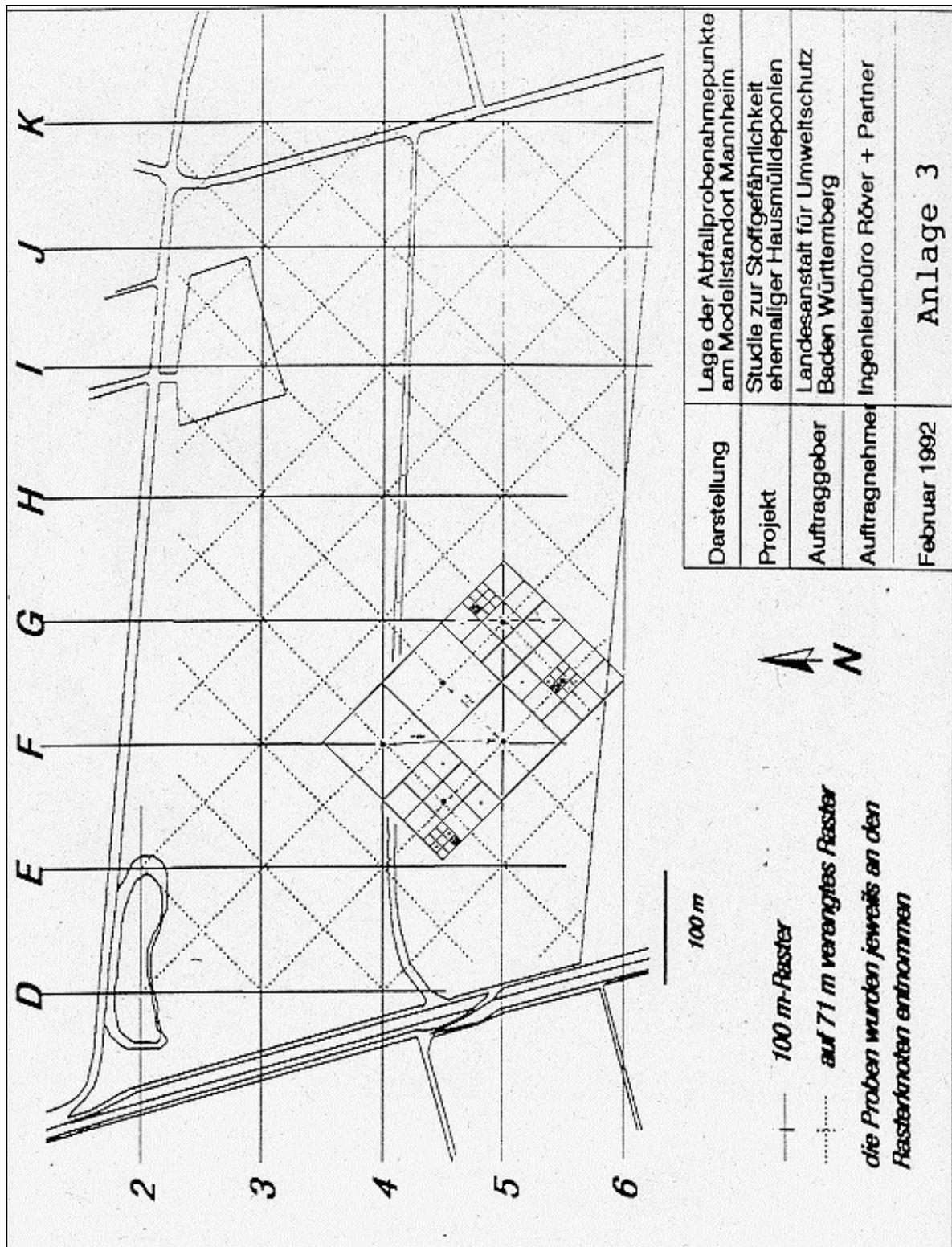
## Anlage 2: Übersichtsplan des Modellstandortes Mannheim, Friesenheimer Insel



 <p><b>Modellstandort Mannheim, Friesenheimer Insel</b></p>	Darstellung	Übersichtsplan des Modellstandortes Mannheim, Friesenheimer Insel
	Projekt	Studie zur Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien
	Auftraggeber	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Stadt Mannheim
	Auftragnehmer	Ing. Büro Röver + Partner
	Datum: Feb. 92	<b>Anlage 2</b>

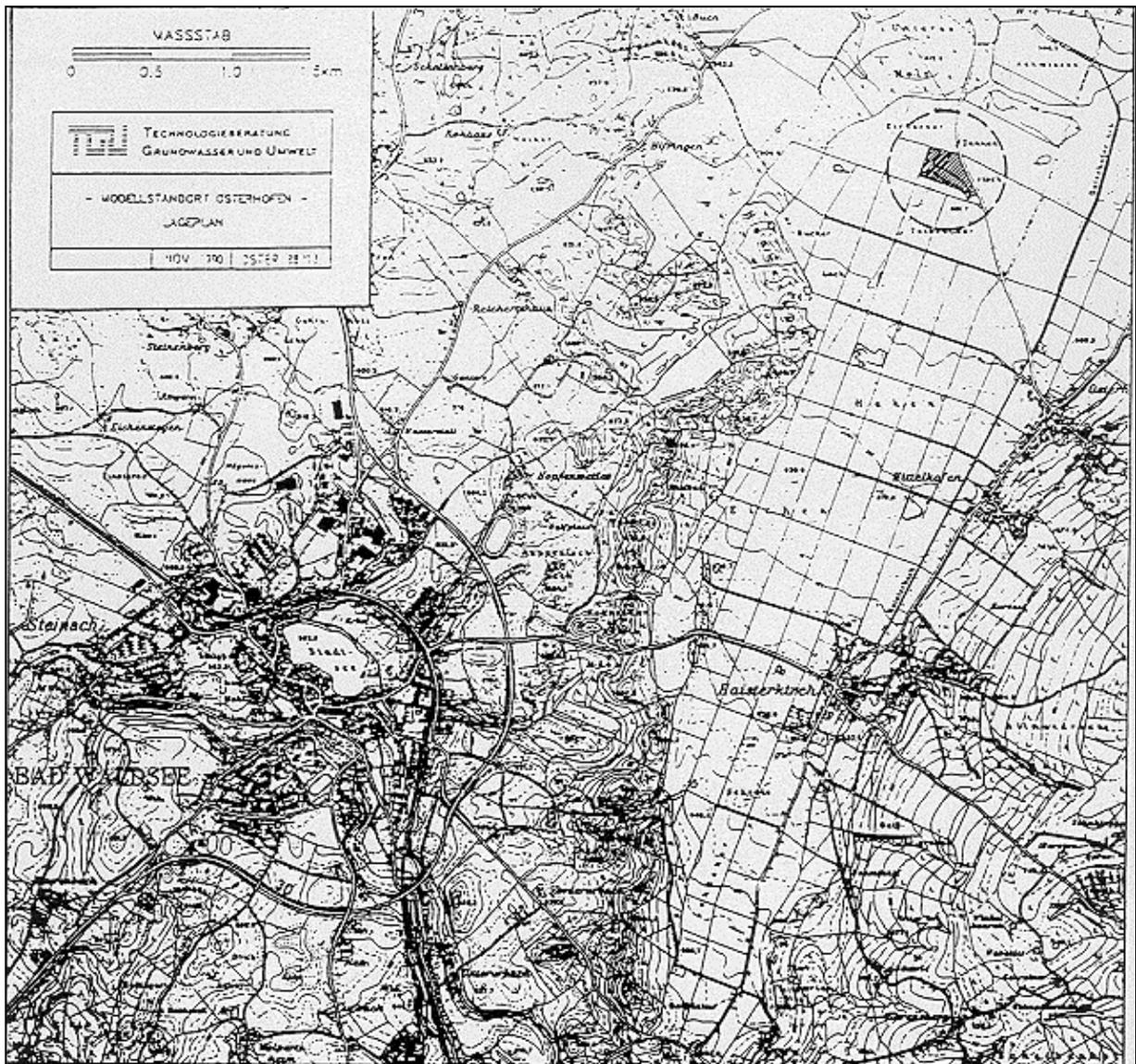
Anlage 2: Übersichtsplan des Modellstandortes Mannheim, Friesenheimer Insel

### Anlage 3: Lage der Abfallprobenahmepunkte am Modellstandort Mannheim



Anlage 3: Lage der Abfallprobenahmepunkte am Modellstandort Mannheim

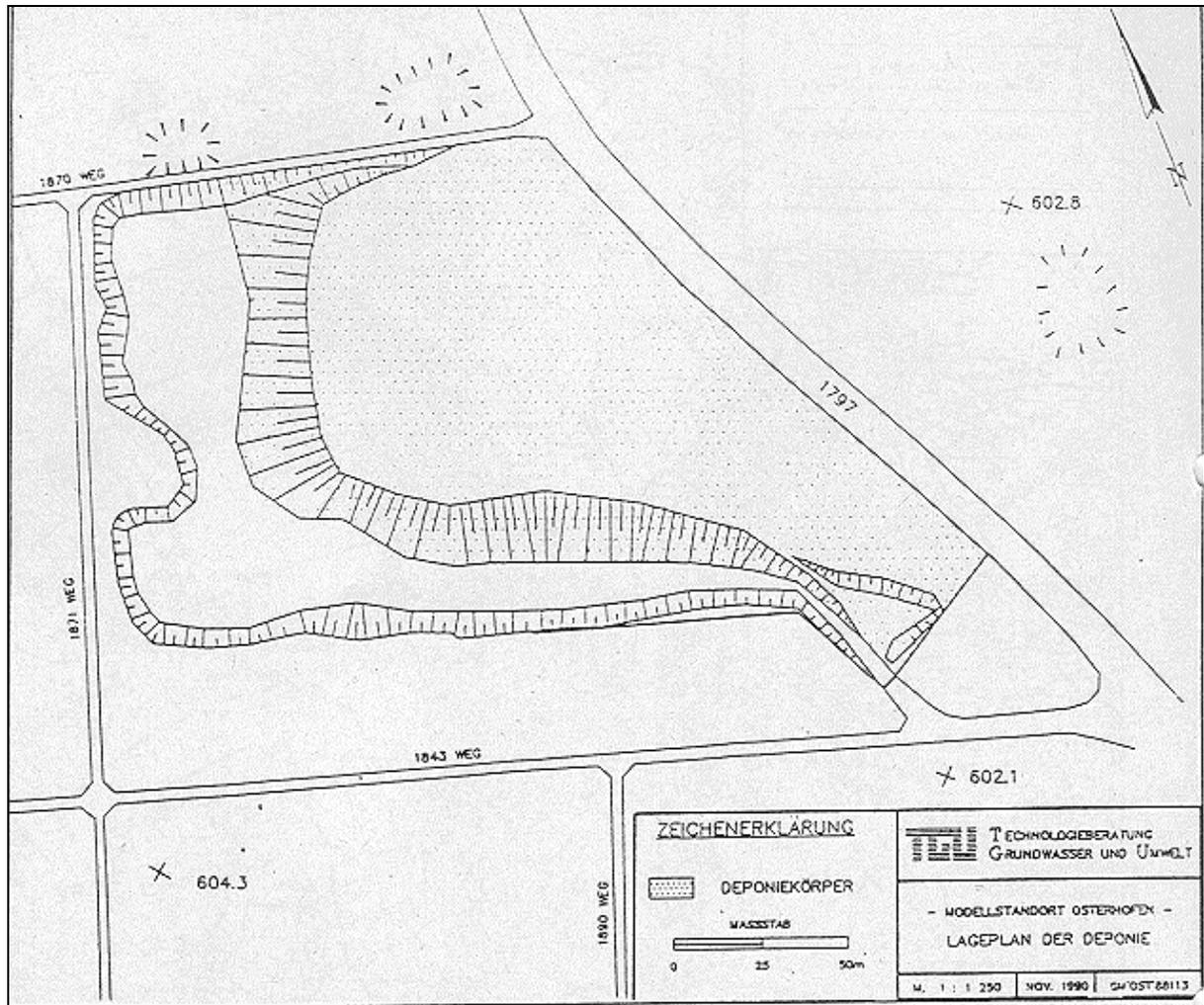
## Anlage 4: Übersichtsplan des Modellstandortes Osterhofen



Darstellung	Übersichtsplan des Modellstandortes Osterhofen
Projekt	Studie zur Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien
Auftraggeber	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Auftragnehmer	Ing. Büro Röver + Partner
Quelle	TGU GmbH 1990
Datum: Feb. 92	<b>Anlage 4</b>

Anlage 4: Übersichtsplan des Modellstandortes Osterhofen

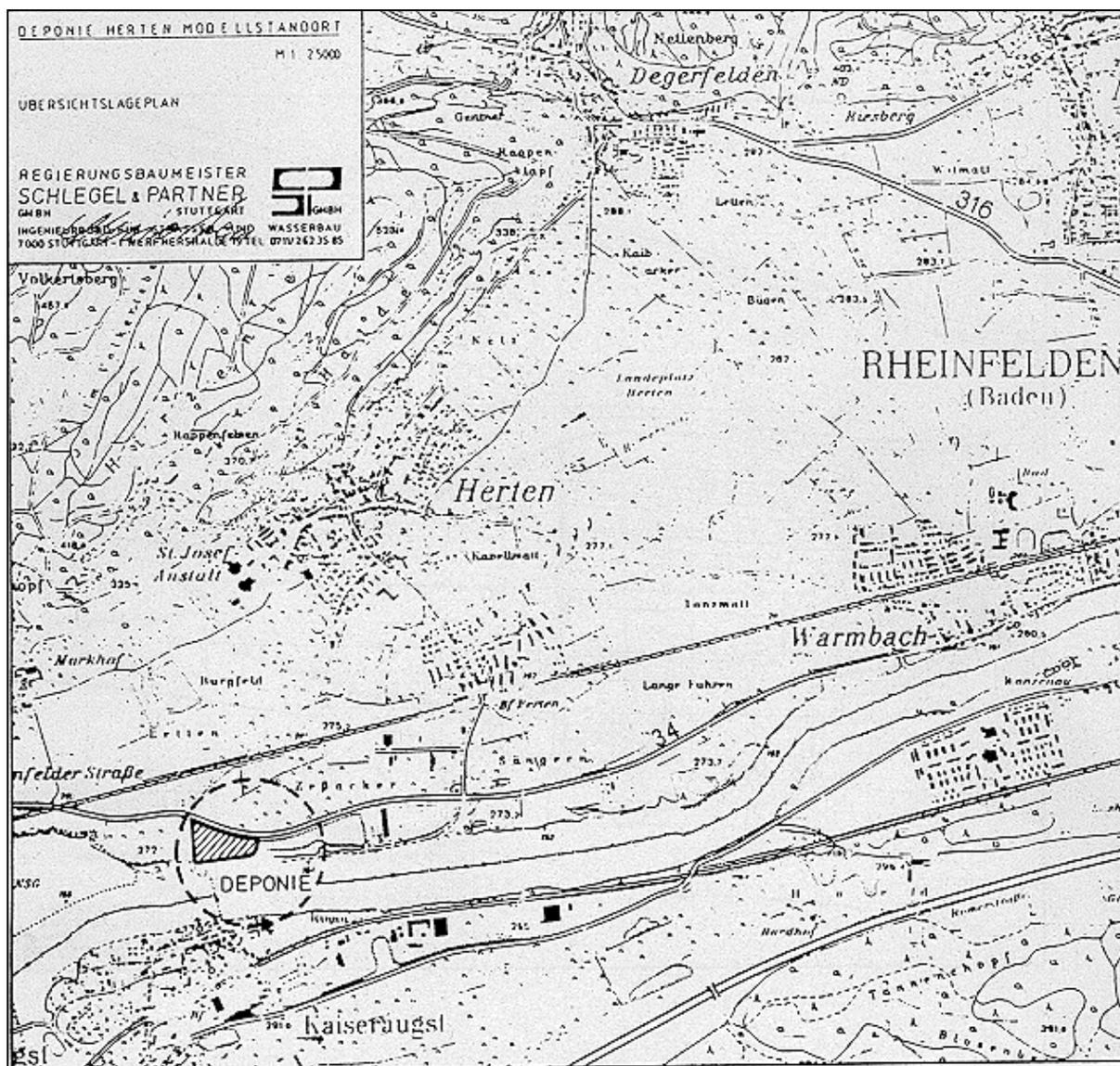
## Anlage 5: Lageplan des Modellstandortes Osterhofen



Darstellung	Lageplan des Modellstandortes Osterhofen
Projekt	Studie zur Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien
Auftraggeber	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Auftragnehmer	Ing. Büro Röver + Partner
Quelle	TGU GmbH 1990
Datum: Feb. 92	<b>Anlage 5</b>

Anlage 5: Lageplan des Modellstandortes Osterhofen

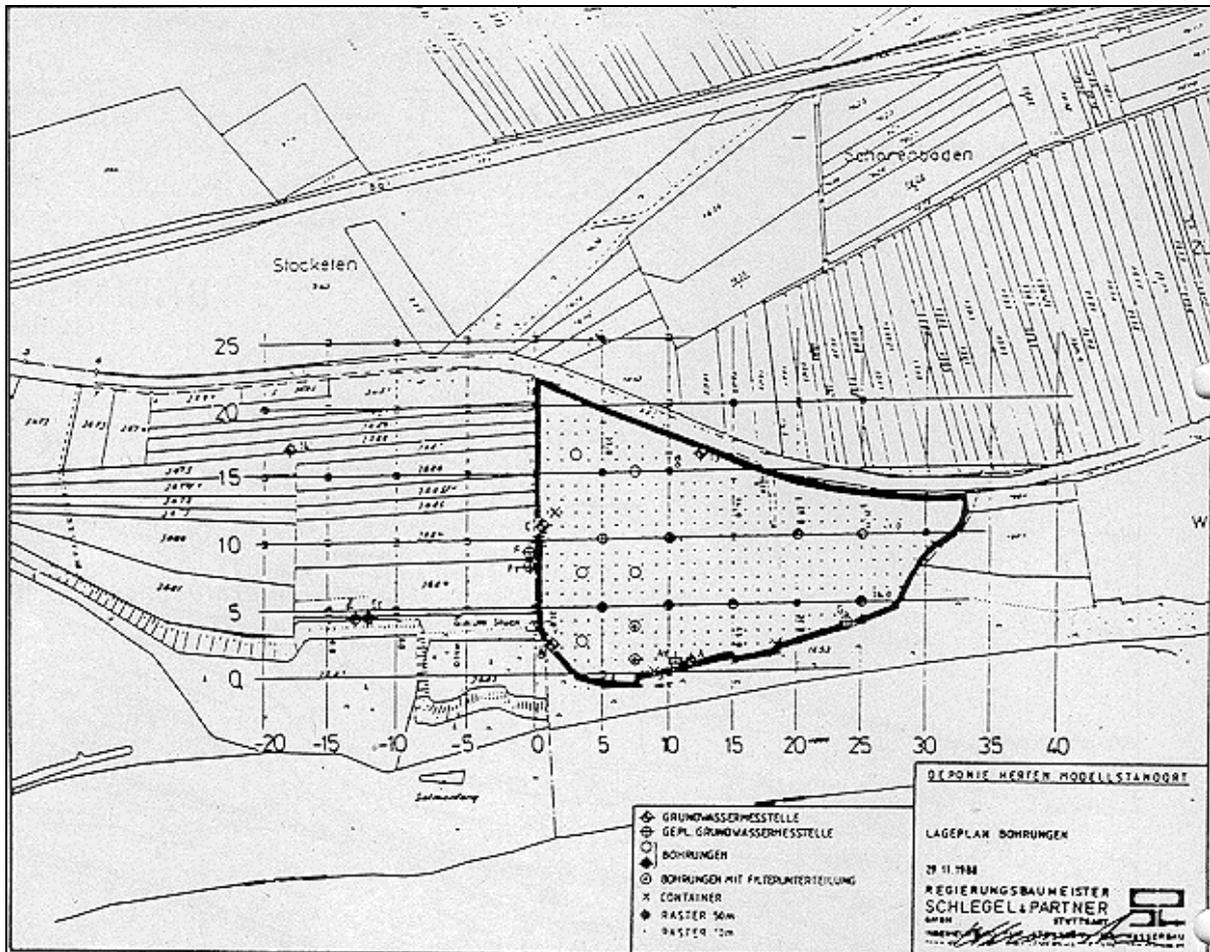
## Anlage 6: Übersichtsplan des Modellstandortes Herten



Darstellung	Übersichtsplan des Modellstandortes Herten
Projekt	Studie zur Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien
Auftraggeber	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Auftragnehmer	Ing. Büro Röver + Partner
Quelle	Schlegel & Partner GmbH 1988
Februar 1992	Anlage 6

Anlage 6: Übersichtsplan des Modellstandortes Herten

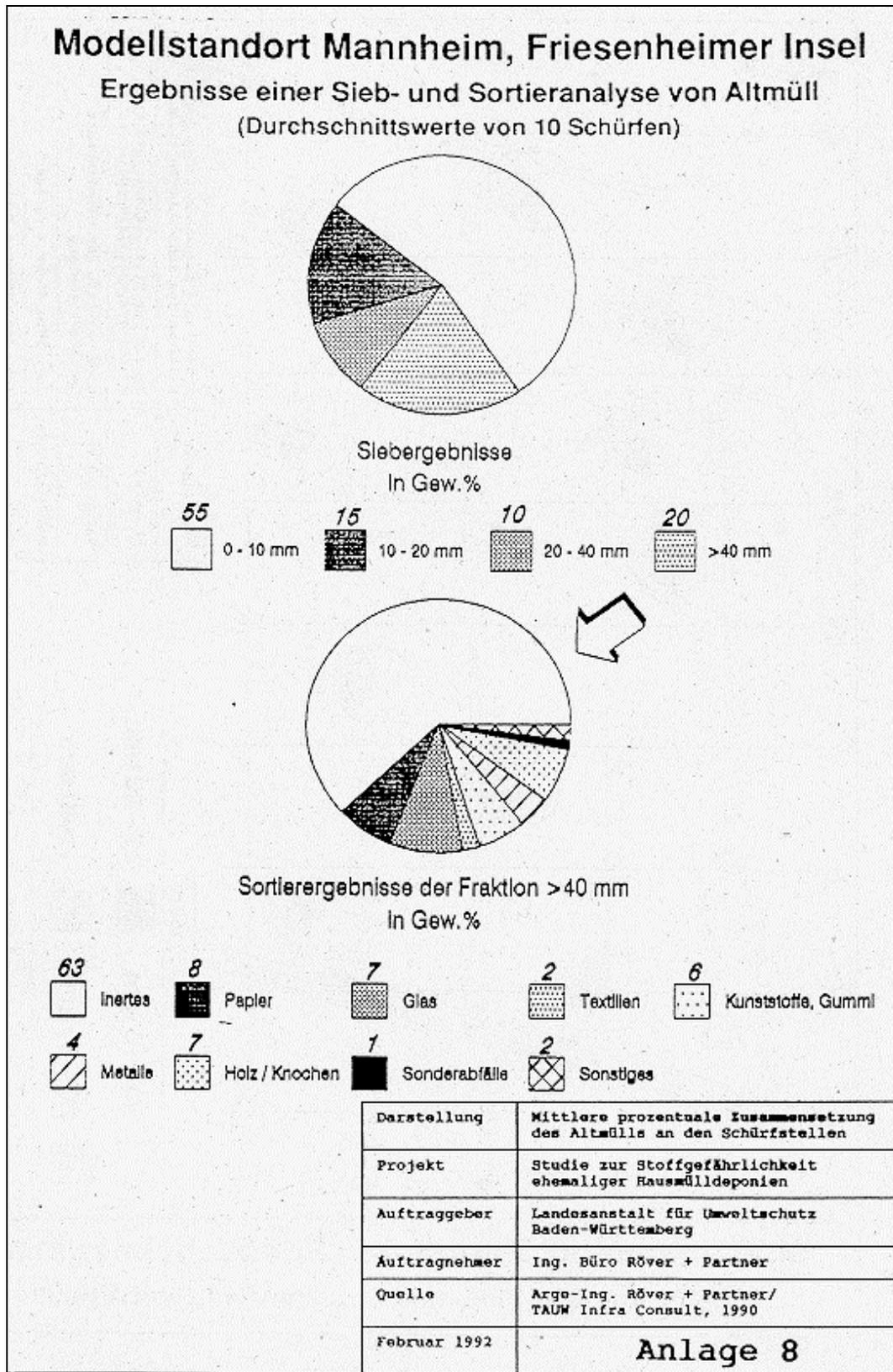
## Anlage 7: Lageplan des Modellstandortes Herten



Darstellung	Lageplan des Modellstandortes Herten
Projekt	Studie zur Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien
Auftraggeber	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Auftragnehmer	Ing. Büro Röver + Partner
Quelle	Schlegel & Partner GmbH 1988
Februar 1992	<b>Anlage 7</b>

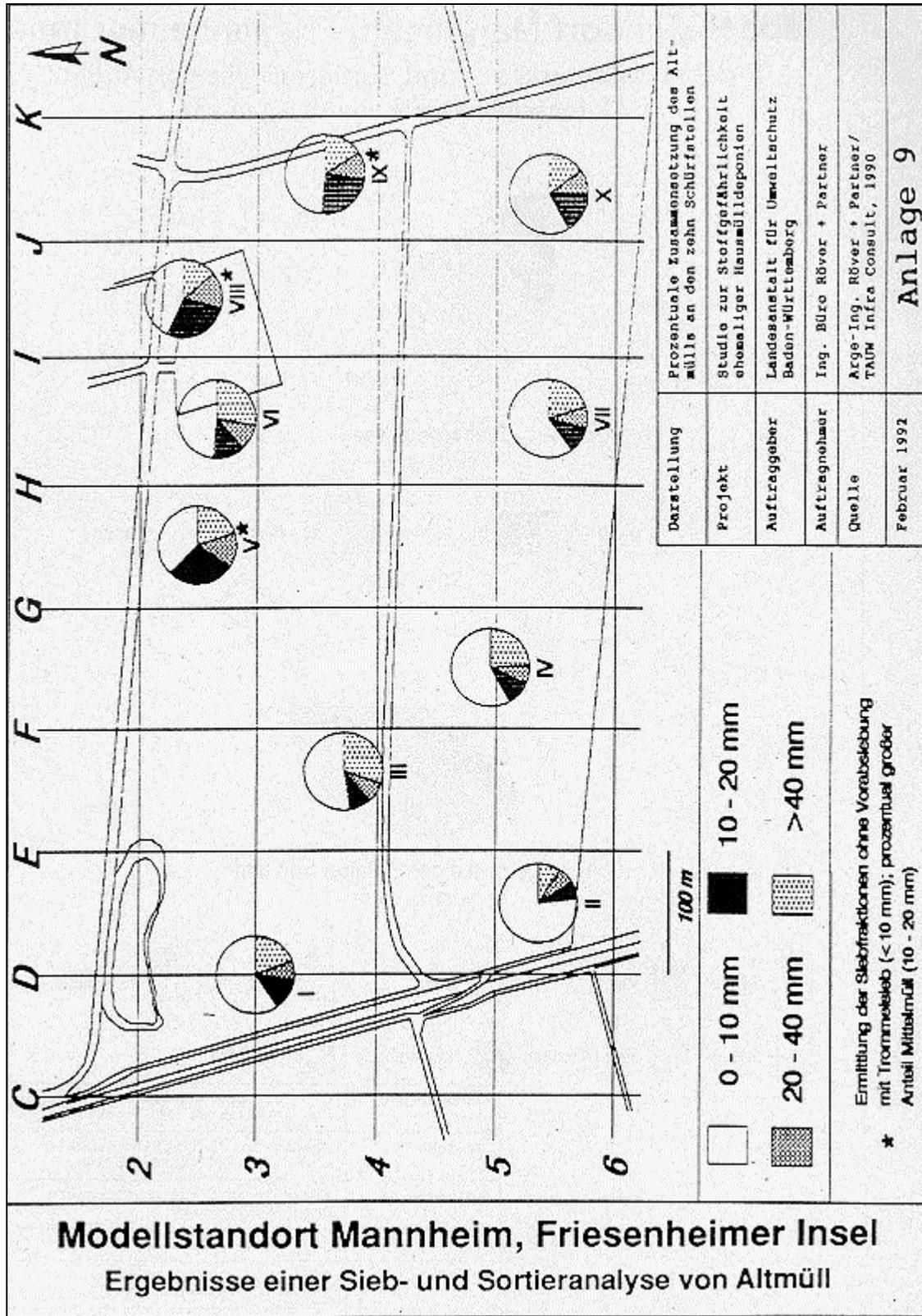
Anlage 7: Lageplan des Modellstandortes Herten

## Anlage 8: Mittlere prozentuale Zusammensetzung des Altmülls an den Schürfstellen



Anlage 8: Mittlere prozentuale Zusammensetzung des Altmülls an den Schürfstellen

## Anlage 9: Prozentuale Zusammensetzung des Altmülls an den zehn Schürfstellen



Anlage 9: Prozentuale Zusammensetzung des Altmülls an den zehn Schürfstellen

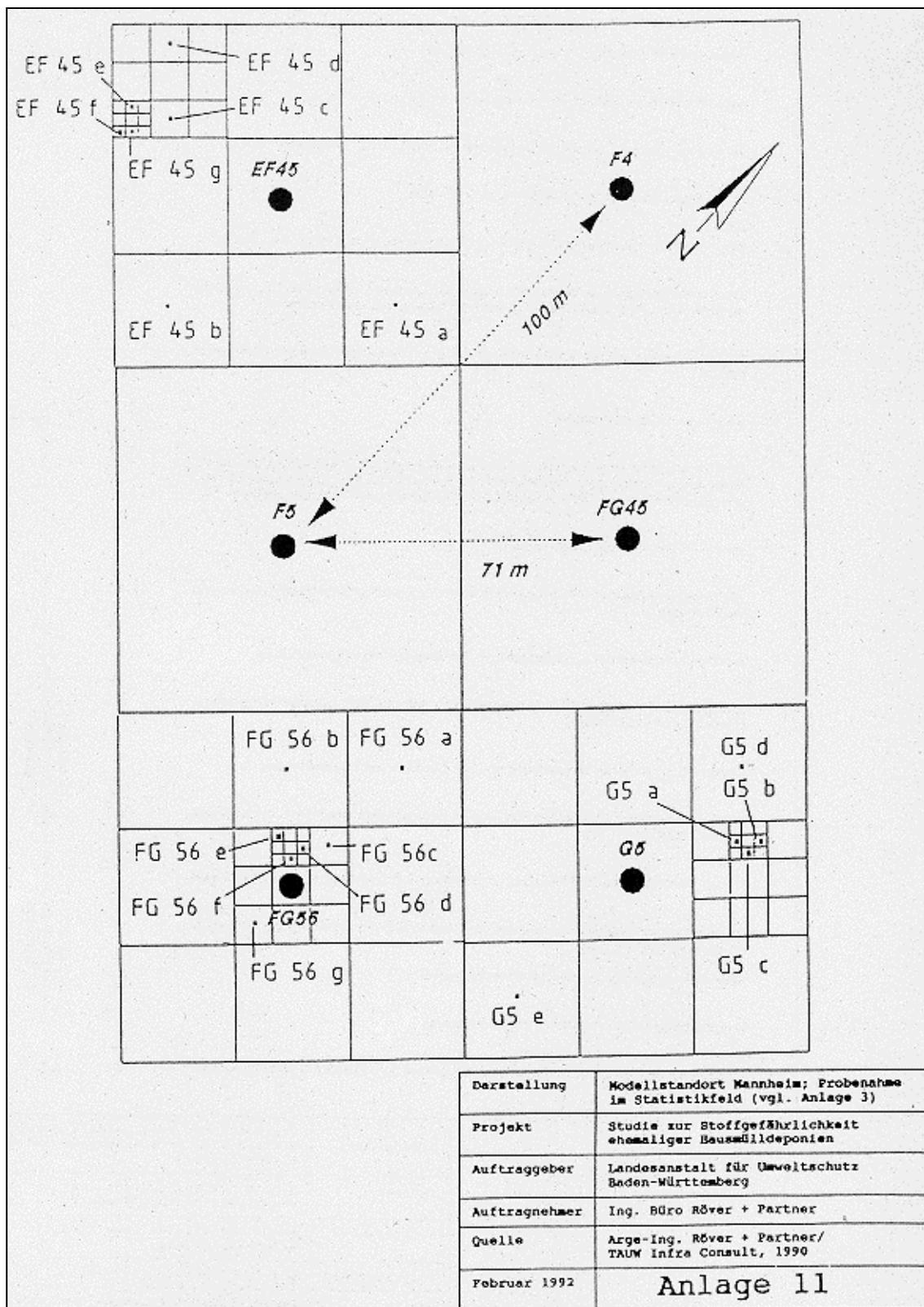
## Anlage 10: Beispiele der Stoffgefährlichkeit für die Schutzgüter Grundwasser und Oberflächengewässer

Merkmale	$r_0$
standortgleicher Erdaushub, mineralisierter Gartenabfall	ca. 0,2
nicht standortgleicher Erdaushub mit mineralischem Bauschutt, kein Hausmüll	1,0
nicht standortgleicher Erdaushub, mineralisierter Hausmüll, je nach Anteil Hausmüll	2,0
mineralisierter Hausmüll ohne Gewerbe- und Sonderabfall	2,5
teilmineralisierter Hausmüll ohne Gewerbe- und Sonderabfall, je nach Mineralisierungsgrad	2,5
„die Kippe“ einer kleinen, landwirtschaftlich geprägten Gemeinde, Hausmüll noch nicht vollständig mineralisiert, Anteil Gewerbeabfall (hausmüllähnlich) gering, kein Sonderabfall	2,5
Merkmale wie bei $r_0 = 2,5$ je nach Art und Anteil Hausmüll sowie Anteil hausmüllähnlicher Gewerbeabfall	2,5
Bauschutt und Baustellenabfälle	2,7
nicht mineralisierter Hausmüll, größere Anteile hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls und „unkritischer“ Abfälle (Verpackungen, Brauereiabfälle, Schlachthofabfälle, ausgehärtete Kunststoffe, etc.) und geringe Mengen (ca. 1%) Sonderabfall (z. B.: Galvanikschlamm, Tankstellenabfälle)	3,0
je nach Art und Anteil der Sonderabfälle	3,0
„die Kippe“ einer Gemeinde/Stadt mit wenig kritischem (qualitativ und quantitativ) Gewerbe- und Industriebesatz	3,5
je nach Art und Anteil des Sonderabfalls bzw. des Gewerbe- und Industriebesatzes	3,5
„die Kippe“ einer Gemeinde/Stadt mit überdurchschnittlich kritischem (qualitativ und quantitativ) Gewerbe- und Industriebesatz	4,5
je nach Art und Anteil des Sonderabfalls bzw. des Gewerbe- und Industriebesatzes	4,5
wenig Hausmüll, ganz überwiegend Sonderabfall, insgesamt noch oberirdisch ablagerbar (vgl. Abfallartenkatalog)	5,0
je nach Ablagerbarkeit und Anteilen des Sonderabfalls, Salzschlacke je nach Löslichkeitsanteil	5,0
kein Hausmüll, ausschließlich Sonderabfall, ganz überwiegend nicht oberirdisch ablagerbar (vgl. Abfallartenkatalog)	5,5
Gaswerk ohne Sanierungs- oder Sicherheitsmaßnahmen	5,5
je nach Ablagerbarkeit und Anteilen des Sonderabfalls	5,5
ausschließlich extrem kritische, nicht oberirdisch ablagerbare Sonderabfälle (vgl. Abfallartenkatalog)	6,0

Darstellung	Beispiele der Stoffgefährlichkeit für die Schutzgüter Grundwasser und Oberflächengewässer
Projekt	Studie zur Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien
Auftraggeber	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Auftragnehmer	Ing. Büro Röver + Partner
Quelle	UM BW 1988a (Altlasten-Handbuch, T.I)
Datum: Feb. 92	<b>Anlage 10</b>

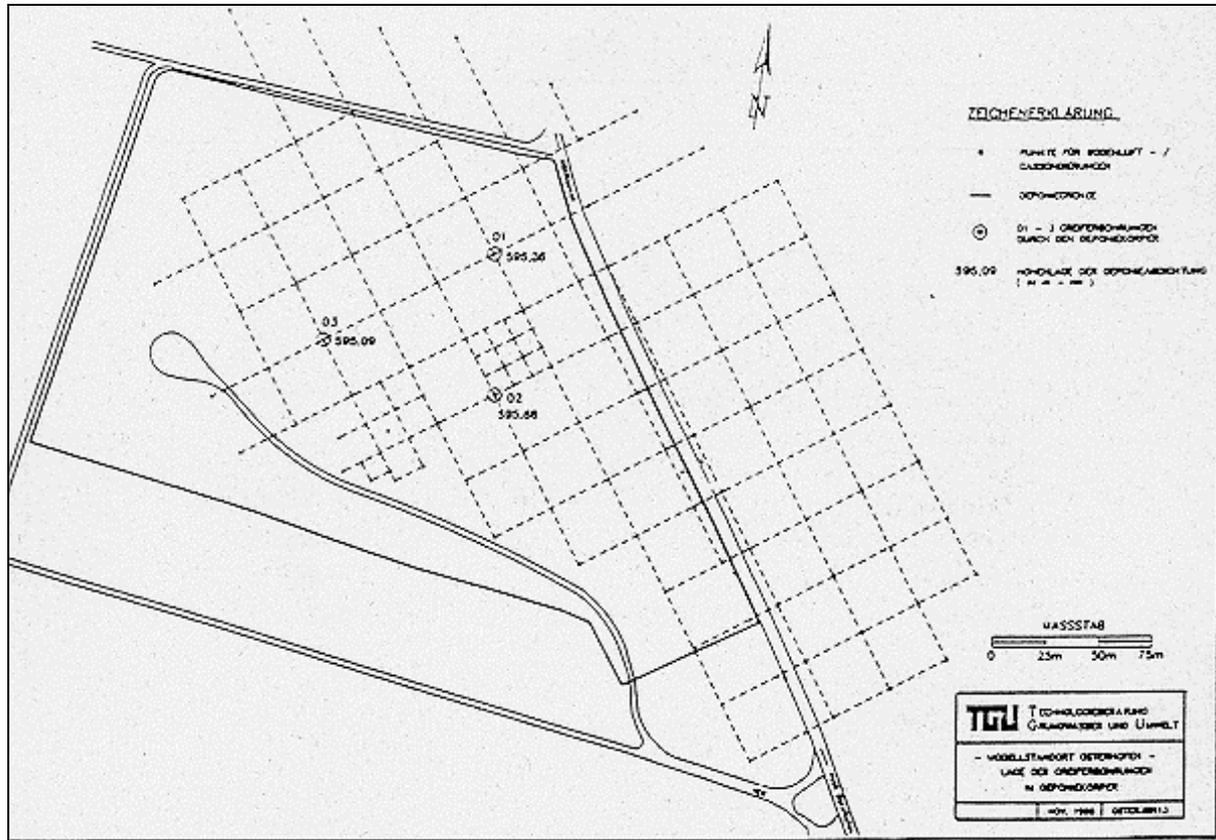
### Anlage 10: Beispiele der Stoffgefährlichkeit für die Schutzgüter Grundwasser und Oberflächengewässer

## Anlage 11: Modellstandort Mannheim; Probenahme in Statistikfeld



Anlage 11: Modellstandort Mannheim; Probenahme in Statistikfeld (vgl. Anlage 3)

## Anlage 12: Modellstandort Osterhofen Rasterflächen für Deponiegasmessungen und Bohrpunkte für Greiferbohrung



Darstellung	Modellstandort Osterhofen Rasterflächen für Deponiegas- messungen und Bohrpunkte für Greiferbohrungen
Projekt	Studie zur Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien
Auftraggeber	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Auftragnehmer	Ing. Büro Röver + Partner
Quelle	TGU GmbH 1990
Februar 1992	<b>Anlage 12</b>

Anlage 12: Modellstandort Osterhofen Rasterflächen für Deponiegasmessungen und Bohrpunkte für Greiferbohrung



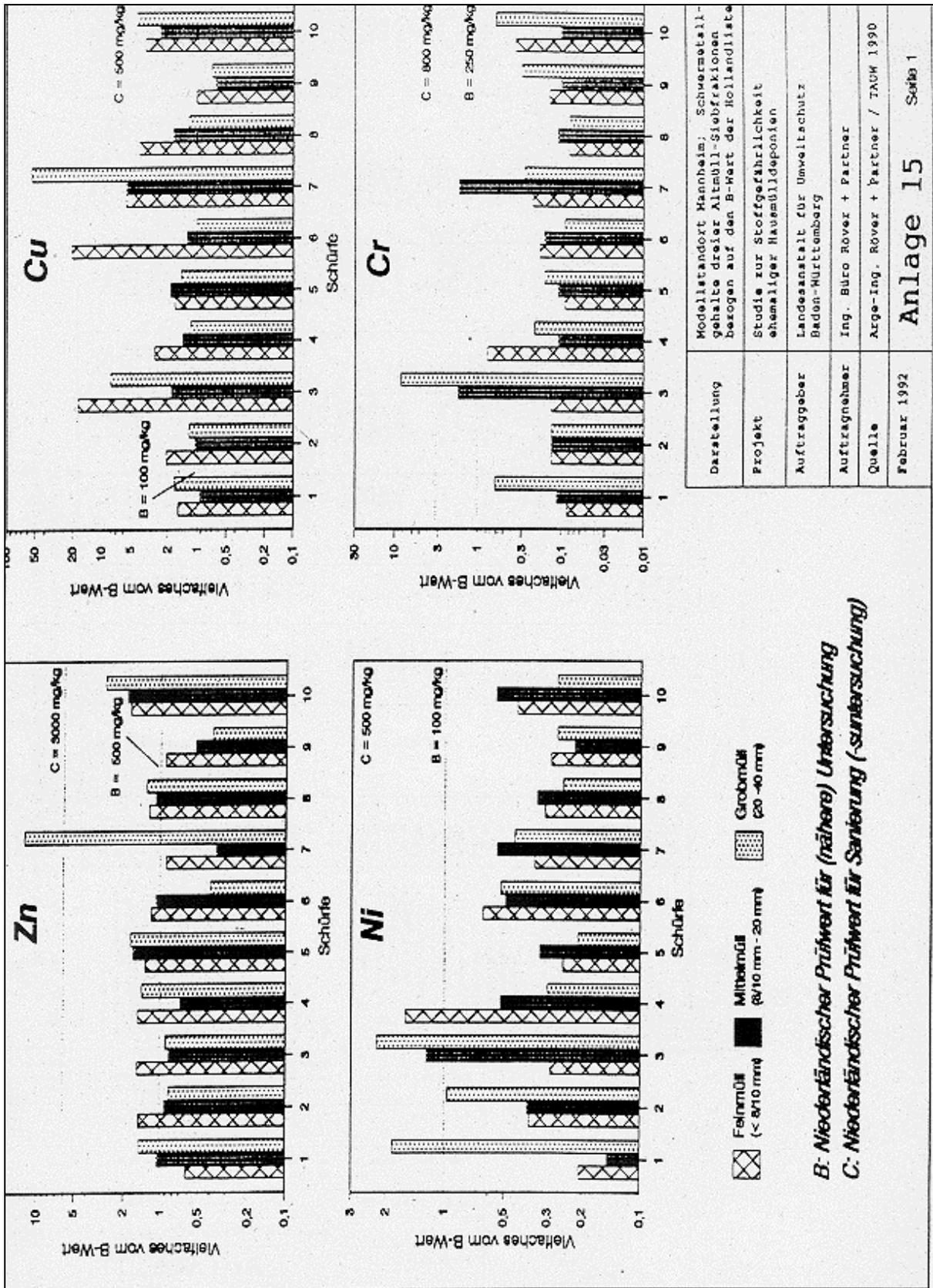
# Anlage 14: Modellstandort Mannheim; Mittlere, minimale und maximale Schadstoffkonzentrationen dreier Siebfraktionen

Parameter	Einheit	B-Wert der Holland-Liste	Feinfraktion (< 8/10 mm)		Mittelfraktion (8/10 - 20 mm)		Grobfraktion (20 - 40 mm)		
			Mittelwert	Max.-wert	Mittelwert	Max.-wert	Mittelwert	Max.-wert	
Blei	mg/kg	150	419,10	1.430,00	546,10	89,10	1.263,70	114,00	8.810,00
Cadmium	mg/kg	5	1,78	1,10	0,80	0,80	2,34	0,60	5,90
Kupfer	mg/kg	100	600,80	2.060,00	186,19	64,20	744,04	69,70	5.370,00
Nickel	mg/kg	100	47,19	158,00	47,62	14,80	72,73	20,60	223,00
Chrom	mg/kg	250	54,44	191,00	107,82	24,50	267,64	194,00	2.060,00
Zink	mg/kg	500	626,90	881,00	506,70	180,00	1.196,10	194,00	6.300,00
Arsen	mg/kg	30	14,65	6,40	19,17	7,30	23,63	7,40	99,40
Durchfallbez	mg/kg	2	1,43	0,00	1,01	0	1,06	0	1,70
FOX	mg/kg	8	227,02	1.14	6,21	0	120,66	1,20	539,00
<b>CHLORBIENOLE</b>									
1,2-Dichlorbenzol	mg/kg	1	0	0	0	0	0	0	0
1,4-Dichlorbenzol	mg/kg	1	0,00166	0,007	0,0014	0	0,0026	0	0,0172
1,3,5-Trichlorbenzol	mg/kg	1	0	0	0	0	0	0	0
1,2,4-Trichlorbenzol	mg/kg	1	0,00223	0,0179	0,0054	0	0,0083	0	0,0643
1,2,4,5-Tetrachlorbenzol	mg/kg	1	0	0	0	0	0	0	0
1,2,3,5-Tetrachlorbenzol	mg/kg	1	0,00027	0,0013	0,0004	0	0,0003	0	0,0012
1,2,3,4-Tetrachlorbenzol	mg/kg	1	0,00014	0,0007	0,0002	0	0,0002	0	0,0013
Pentachlorbenzol	mg/kg	1	0,00021	0,0011	0,0003	0	0,0004	0	0,0021
Hexachlorbenzol	mg/kg	1	0,00048	0,0062	0,0005	0	0,0018	0	0,0137
Summe Chlorbenzole	mg/kg	2	0,00338	0,0342	0,0084	0	0,0136	0	0,0997
<b>PAK</b>									
naphthalin	mg/kg	5	2,61	20,54	2,84	0,11	19,21	2,18	8,09
Acenaphthylen	mg/kg	-	0,19	0,50	0,19	0,04	0,42	0,15	0,44
Acenaphthen	mg/kg	-	0,11	1,93	0,76	0,13	1,74	0,98	2,92
Fluoren	mg/kg	10	6,77	2,90	0,84	0,17	2,47	0,93	2,80
Anthracen	mg/kg	10	1,45	5,14	5,73	0,96	13,34	3,82	11,74
Fluoranthren	mg/kg	10	4,28	11,42	10,10	1,19	26,81	4,92	17,42
Pyren	mg/kg	5	1,24	5,13	7,13	0,36	21,06	4,16	17,09
Chrysen	mg/kg	5	2,03	5,13	6,22	0,85	20,07	4,23	16,36
Benzo(a)anthracen	mg/kg	5	2,48	4,38	5,36	0,65	3,08	3,08	25,20
Benzo(b,k)fluoranthren	mg/kg	5	4,40	5,72	10,27	1,32	5,92	0,37	17,51
Benzo(a)pyren	mg/kg	1	2,12	1,18	4,96	0,58	3,17	0,31	18,66
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	mg/kg	5	1,60	0,80	2,93	0,28	11,51	2,10	32,74
Benzo(g,h,i)perylen	mg/kg	10	1,39	2,00	2,98	0,37	11,01	1,71	9,60
Dibenz(a,h)anthracen	mg/kg	-	0,66	0,14	1,26	0,18	1,07	0,06	5,14
Summe PAK (*)	mg/kg	20	29,13	81,81	61,80	6,62	177,63	32,59	164,38

(\*) In der Summe PAK sind die zehn PAK-Einzelsubstanzen enthalten, die in der Holland-Liste aufgeführt und in der obigen Tabelle mit einem + markiert sind.

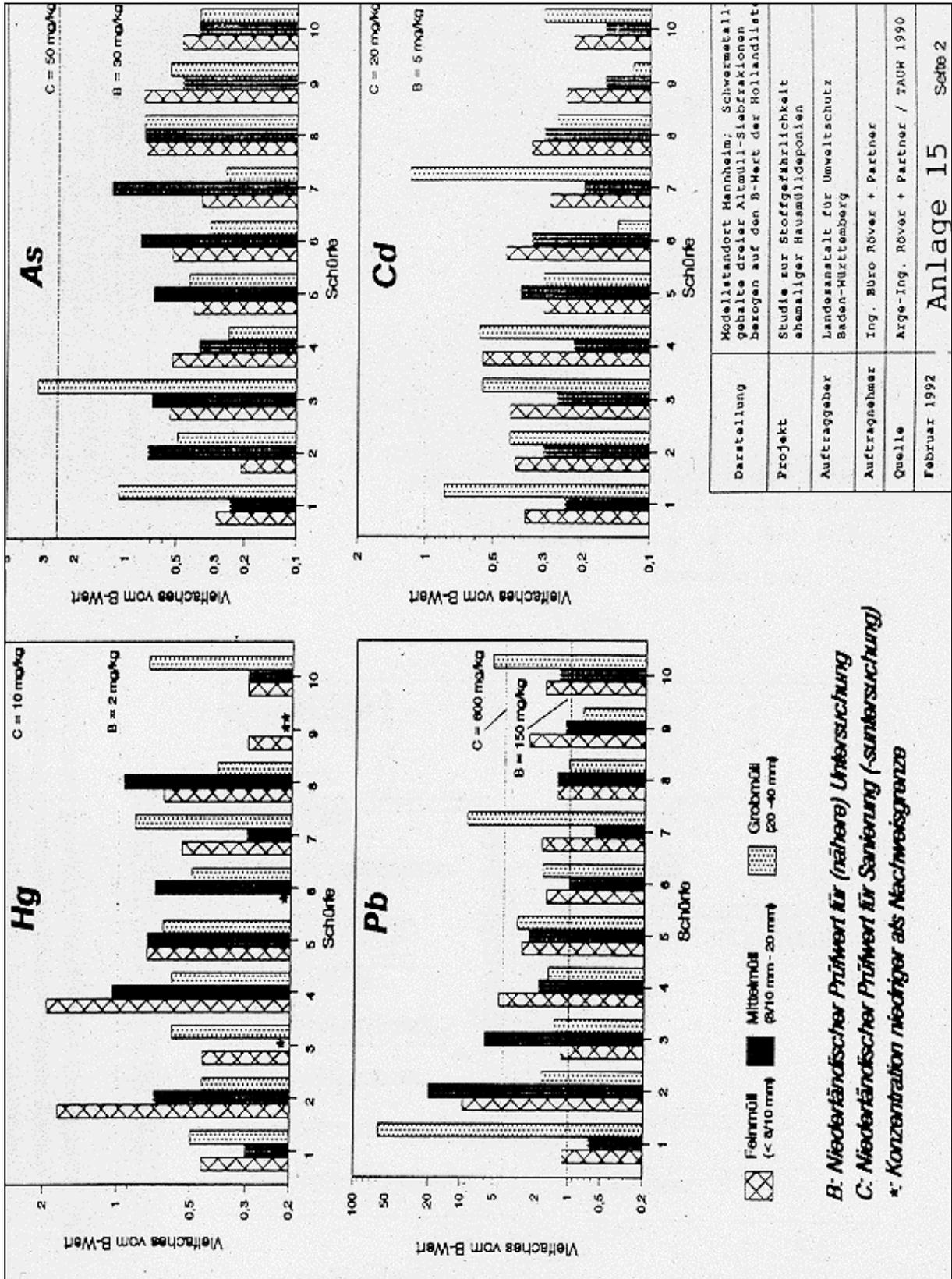
Anlage 14: Modellstandort Mannheim; Mittlere, minimale und maximale Schadstoffkonzentrationen dreier Siebfraktionen

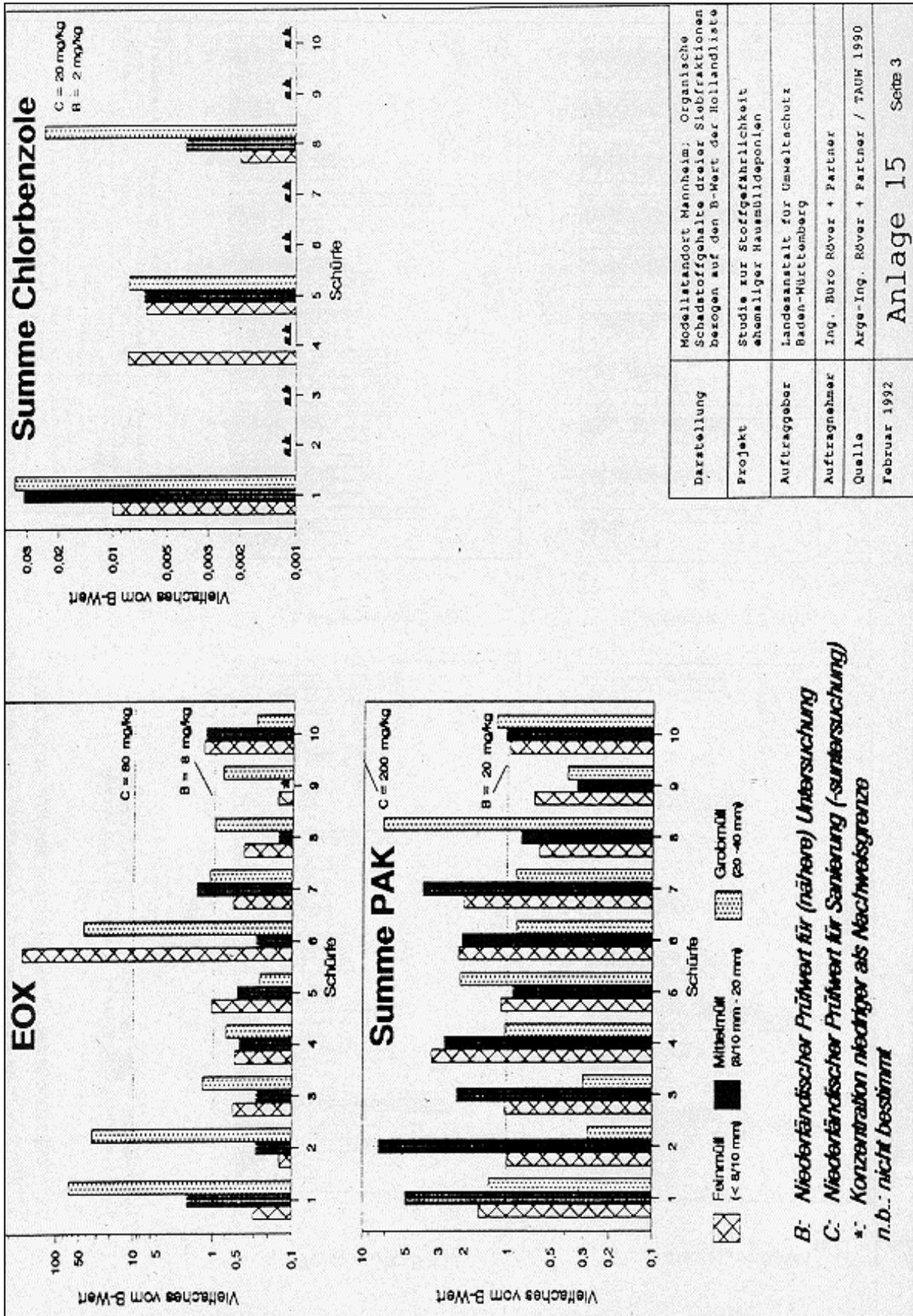
# Anlage 15: Modellstandort Mannheim; Schwermetallgehalte dreier Altmüll-Siebfraktionen



Darstellung	Modellstandort Mannheim; Schwermetallgehalte dreier Altmüll-Siebfraktionen bezogen auf den B-Wert der Hollandliste
Projekt	Studie zur Stoffgefährlichkeit ehemaliger Hausmülldeponien
Auftraggeber	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Auftragnehmer	Ing. Büro Rover + Partner
Quelle	Arge-Ing. Rover + Partner / TAUM 1990
Februar 1992	Anlage 15 Seite 1

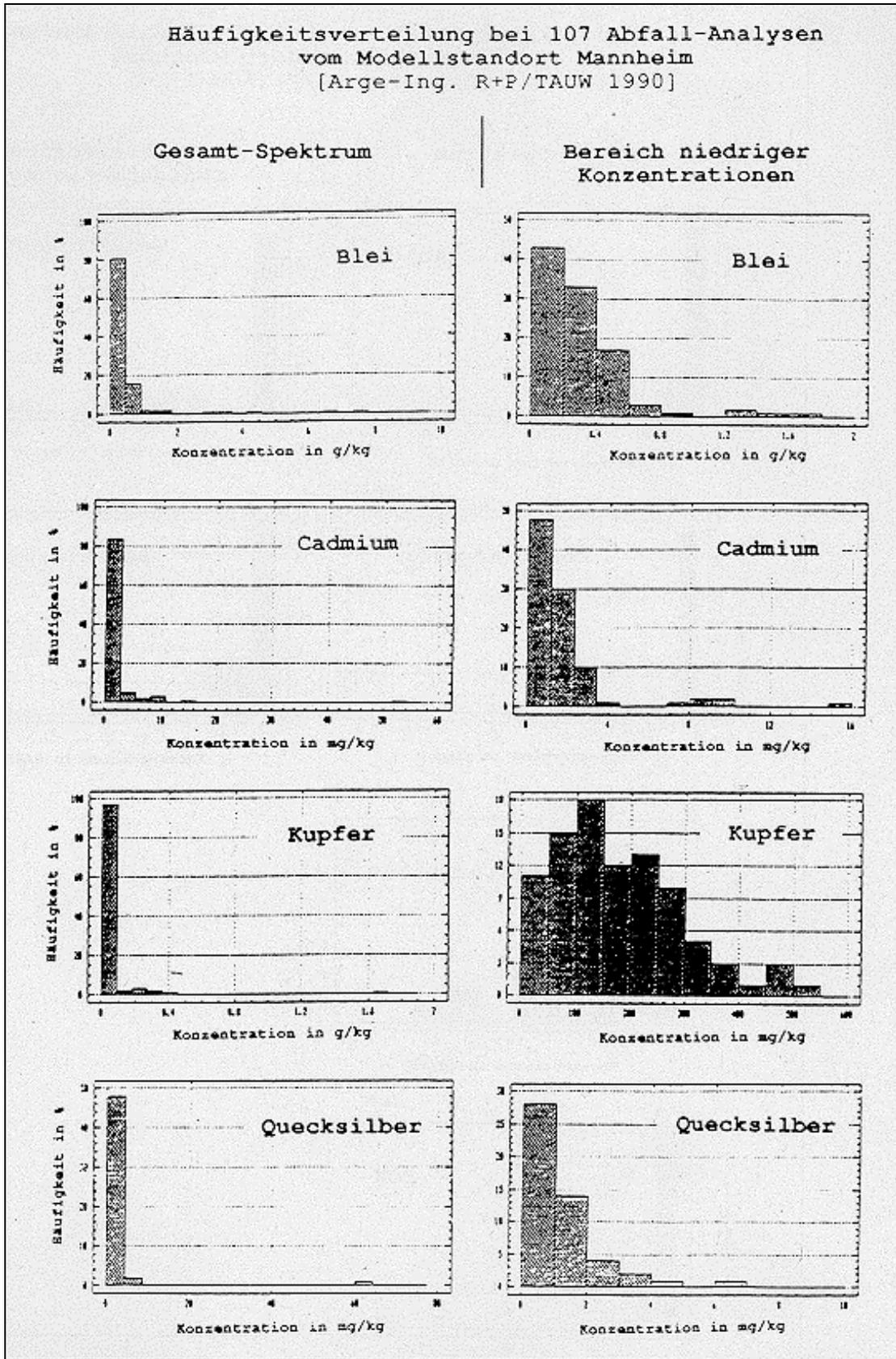
*B: Niederländischer Prüfwert für (nähere) Untersuchung  
 C: Niederländischer Prüfwert für Sanierung (-untersuchung)*

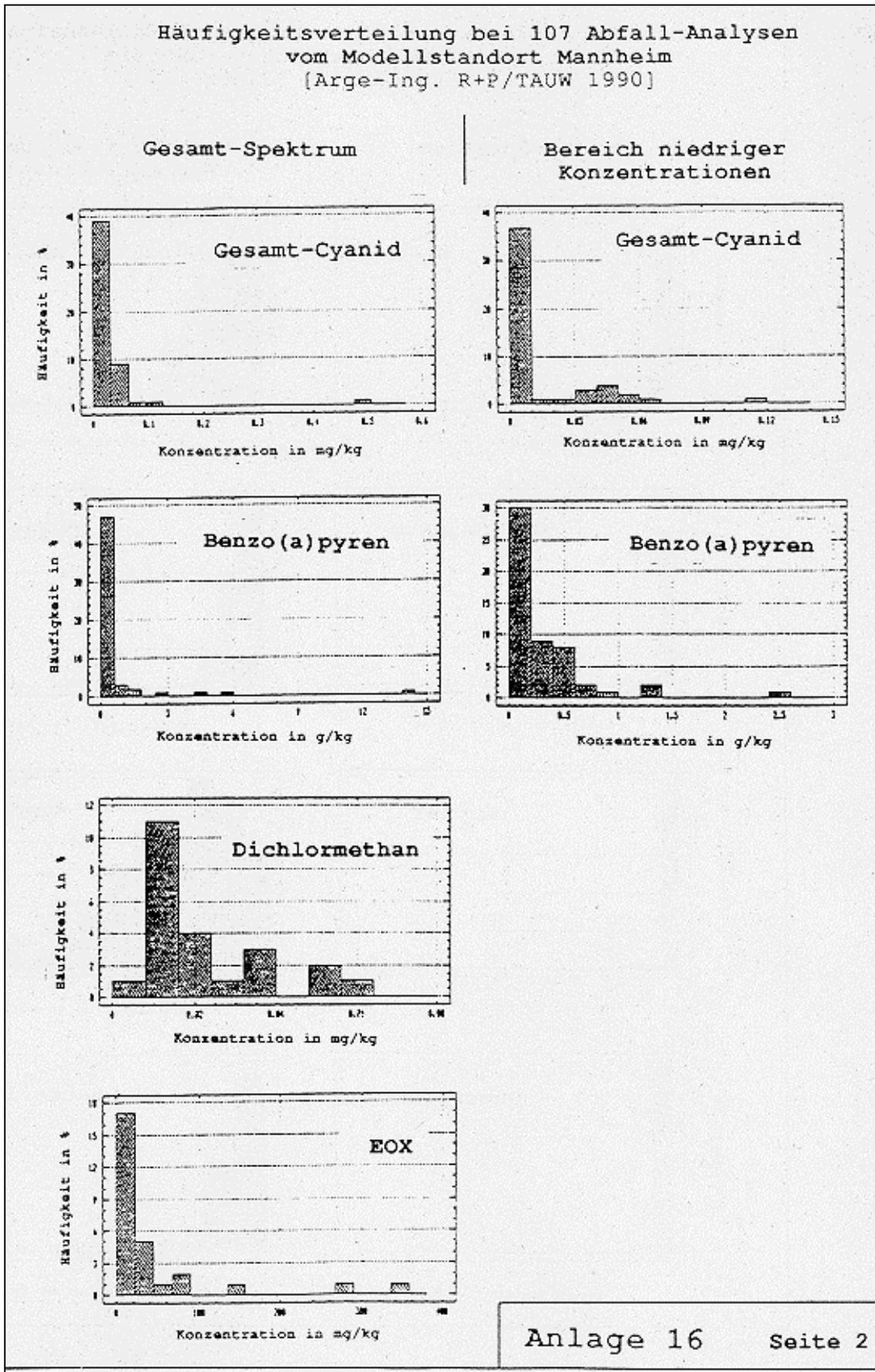




Anlage 15: Modellstandort Mannheim; Schwermetallgehalte dreier Altmüll-Siebfraktionen bezogen auf den B-Wert der Hollandliste

## Anlage 16: Häufigkeitsverteilung bei 107 Abfall-Analysen vom Modellstandort Mannheim





Anlage 16: Häufigkeitsverteilung bei 107 Abfall-Analysen vom Modellstandort Mannheim [Arge-Ing. R+P/TAUW 1990]

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Matrix zur Ermittlung des Handlungsbedarfes .....	3
Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der Hausmüllzusammensetzung in Stuttgart .....	7
Abbildung 3: Historische Entwicklung der Lösemittelverwendung in Textilreinigungen .....	8
Abbildung 4: Beispiele für $r_0$ -Werte für das Schutzgut Boden .....	10
Abbildung 5: Beispiele für $r_0$ -Werte für das Schutzgut Luft (im Vergleich zu den $r_0$ -Werten für das Schutzgut Grundwasser) .....	10
Abbildung 6: Prozentuale Wahrscheinlichkeiten, einen kugelförmigen Schadstoffherd mit den Durchmessern 10 m, 20 m und 30 m mit einem quadratischen oder dreieckigen Beprobungsraster von 100 m aufzuspüren .....	15
Abbildung 7: Rastergröße, um mit 50 bzw. 75%iger Wahrscheinlichkeit einen hypothetischen, kugelförmigen Schadstoffherd mit einem Durchmesser von 10 m zu finden .....	16
Abbildung 8: Größe eines Schadstoffherdes, der mit 90 bzw. 50%-iger Wahrscheinlichkeit mit einem 100 m-Raster aufgespürt werden kann .....	16
Abbildung 9: Schwermetall-Konzentrationen in Abfall .....	18
Abbildung 10: Schadstoffgehalte in Altmüll, frischem Hausmüll und Kompost .....	20
Abbildung 11: Meßniveaus für die geschachtelte Varianz-Analyse von Abfallproben am Modellstandort Mannheim .....	21
Abbildung 12: Berechnete prozentuale und kumulative Varianzen der Schadstoffbelastung am Modellstandort Mannheim in Abhängigkeit des Meßniveaus .....	21
Abbildung 13: Analysenergebnisse von Spurenkomponenten im Deponiegas vom Modellstandort Mannheim .....	23
Abbildung 14: Chemische Zusammensetzung von Sickerwasserproben von den Modellstandorten Mannheim und Osterhofen im Vergleich zu Sickerwasser von anderen Hausmülldeponien und von Sondermülldeponien .....	25
Abbildung 15: Vergleich der Grundwasserbelastung im Bereich der drei untersuchten Modellstandorte an ausgewählten Analyseparametern .....	26
Abbildung 16: Bewertung verschiedener Methoden zur Erkundung bewertungsrelevanter Sachverhalte zur Stoffgefährlichkeit .....	29

Anlage 1: Modellstandorte in Baden-Württemberg (Stand 12/91) .....	35
Anlage 2: Übersichtsplan des Modellstandortes Mannheim, Friesenheimer Insel .....	36
Anlage 3: Lage der Abfallprobenahmepunkte am Modellstandort Mannheim.....	37
Anlage 4: Übersichtsplan des Modellstandortes Osterhofen .....	38
Anlage 5: Lageplan des Modellstandortes Osterhofen.....	39
Anlage 6: Übersichtsplan des Modellstandortes Herten .....	40
Anlage 7: Lageplan des Modellstandortes Herten.....	41
Anlage 8: Mittlere prozentuale Zusammensetzung des Altmülls an den Schürfstellen.....	42
Anlage 9: Prozentuale Zusammensetzung des Altmülls an den zehn Schürfstellen.....	43
Anlage 10: Beispiele der Stoffgefährlichkeit für die Schutzgüter Grundwasser und Oberflächengewässer .....	44
Anlage 11: Modellstandort Mannheim; Probenahme in Statistikfeld (vgl. Anlage 3).....	45
Anlage 12: Modellstandort Osterhofen Rasterflächen für Deponiegasmessungen und Bohrpunkte für Greiferbohrung .....	46
Anlage 13: Zuordnungskriterien für oberirdisch ablagerbare Abfälle.....	47
Anlage 14: Modellstandort Mannheim; Mittlere, minimale und maximale Schadstoffkonzentrationen dreier Siebfraktionen.....	48
Anlage 15: Modellstandort Mannheim; Schwermetallgehalte dreier Altmüll-Siebfraktionen bezogen auf den B-Wert der Hollandliste.....	51
Anlage 16: Häufigkeitsverteilung bei 107 Abfall-Analysen vom Modellstandort Mannheim.	53

## Indexverzeichnis

<b>A</b>		
Abfall		
Allgemeines .....	15	
Schadstoffparameter .....	26	
Abfallprobe		
Allgemeines .....	14	
chemische Analytik .....	16, 28, 29	
Altablagerung		
historische Erkundung .....	30	
Sondierungen .....	28	
Aufschlußgröße .....	12	
Aufschlußverfahren		
Allgemeines .....	11	
<b>B</b>		
Beprobung von Abfall .....	14, 29	
Beprobungsraster .....	15	
<b>C</b>		
chemische Analytik		
Abfallprobe .....	16, 28, 29	
Hausmülldeponie .....	17	
<b>D</b>		
Deponiegas		
Allgemeines .....	30	
Deponiegasmessung .....	30	
<b>E</b>		
Erkundung		
Aufschlußverfahren .....	11	
Hausmülldeponie .....	28	
Hausmülldeponie (Stoffgefährlichkeit)		
.....	31	
organoleptischer Befund .....	12	
Vor-Ort-Detektion von Schadstoffen .	13	
Erkundungsmethoden Grundwasser		
indirekte .....	30	
Erkundungsmethoden zur		
Stoffgefährlichkeit .....	28	
<b>G</b>		
Gasmessung		
Hausmülldeponie .....	23	
Gasphase .....	13	
Grundwasserbelastung		
Modellstandorte .....	26	
Grundwassererkundung		
Hausmülldeponie .....	30	
<b>H</b>		
Hausmülldeponie		
chemische Analytik .....	16, 28, 29	
Erkundung .....	28	
Erkundung Stoffgefährlichkeit .....	31	
Gasmessung .....	23	
historische Erkundung .....	30, 31	
Probennahme .....	14	
räumliche Abhängigkeit der		
Schadstoffbelastung .....	22	
sekundärer Alterungsprozeß .....	8	
Sickerwasser .....	24, 30	
Stoffgefährlichkeit .....	9	
stoffliche Zusammensetzung .....	7	
<b>L</b>		
Literatur		
Stoffgefährlichkeit von		
Hausmülldeponien .....	32	
<b>M</b>		
Modellstandort Hertzen		
Allgemeines .....	6, 14	
Grundwasserbelastung .....	26	
historische Erkundung .....	23	
Lageplan .....	41	
Schwermetall-Konzentration Abfall ...	17	
Übersichtsplan .....	40	
Modellstandort Mannheim		
Allgemeines .....	5, 8, 11, 12, 14, 19	
Grundwasserbelastung .....	26	
historische Erkundung .....	22	
Schadstoffgehalt Altmüll .....	19	
Schwermetall-Konzentration Abfall ...	17	
Sickerwasser .....	24	
Übersichtsplan .....	36	
Modellstandort Osterhofen		
Allgemeines .....	5, 8, 14	
Grundwasserbelastung .....	26	
historische Erkundung .....	22	
Lageplan .....	39	
Schwermetall-Konzentration Abfall ...	17	
Sickerwasser .....	25	
Müll		
Schadstoffparameter .....	26	
<b>O</b>		
organoleptischer Befund		
Allgemeines .....	12	
Sonderabfall .....	12	
verschiedene Müllsorten .....	12	

<b>P</b>		<b>Sondierungen</b>	
Photoionisationsdetektor (PID) .....	13	Altablagerung.....	28
Probennahme		<b>Stoffgefährlichkeit</b>	
Hausmülldeponie .....	14	Abschätzung.....	9
<b>S</b>		Allgemeines .....	9, 14, 15
Schadstoffe		Erkundungsmethoden.....	28
räumliche Abhängigkeit in		Hausmülldeponie .....	9, 28, 31
Hausmülldeponien .....	22	historische Erkundung.....	22
Vor-Ort-Detektion .....	13	Literatur.....	32
Schadstoffgehalt Altmüll		Schutzgut Boden .....	10
Modellstandorte .....	19	Schutzgut Grundwasser.....	10, 19, 25
Schadstoffherd .....	15	Schutzgut Luft.....	10, 24
Schwermetalle		Schutzgut Oberflächengewässer	10, 19,
Modellstandorte .....	17	25	
Sickerwasser		Sickerwasser.....	24, 30
Analyse .....	25	<b>T</b>	
Hausmülldeponie .....	24, 30	Testfeld-Programm .....	8
Stoffgefährlichkeit .....	24	<b>V</b>	
Sickerwasserprobe		Vor-Ort-Analytik	
chemische Zusammensetzung .....	25	Allgemeines .....	13