

# **Epidemiologische Vorstudie zur Abklärung möglicher ursächlicher Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Tumorerkrankungen und dem Betrieb der Deponie Ihlenberg.**

Im Auftrag der Gesellschaft für Abfallwirtschaft und Altlasten Mecklenburg-Vorpommern mbH (GAA)

Bericht über das 1. Studienmodul (Stand 30.09.2006)

Autoren:

Stefan Weiß

Prof. Dr. Wolfgang Hoffmann, MPH (Projektleitung)

Institut für Community Medicine

Abt. Versorgungsepidemiologie und Community Health

Ernst-Moritz-Arndt-Universität

Ellernholzstraße 1-2

17487 Greifswald

Greifswald, den 19.12.2006 (präzisierte Fassung)

---

1	Einleitung und Problemstellung .....	2
1.1	Allgemeine Definitionen / Anforderungen an Deponien.....	2
1.2	Problemstellung und Aufbau der Vorstudie.....	5
1.3	Prinzipien der Kanzerogenese .....	6
1.4	Kanzerogene Umweltfaktoren (chemische Kanzerogene) .....	6
1.4.1	Kanzerogene in der Luft.....	6
1.4.2	Kanzerogene im Trinkwasser .....	13
1.4.3	Kanzerogene in der Nahrung .....	13
1.4.4	Kanzerogene am Arbeitsplatz .....	14
2	Gesundheitliche Beeinflussungen durch Deponien.....	14
2.1	Genotoxische Effekte .....	15
2.2	Effekte auf die menschliche Reproduktion .....	16
2.3	Maligne Erkrankungen .....	18
3	Zusammenfassende Interpretation epidemiologischer Deponie-Studien .....	21
3.1	Potentiale und Limitationen epidemiologischer Studien .....	21
3.2	Schlussfolgerungen aus der publizierten Fachliteratur.....	23
4	Arbeitsplatzbezogene und umgebungsbezogene Schadstoffpfade .....	24
4.1	Gasförmige Emissionen .....	24
4.2	Emissionen durch Austragung über Sickerwasser.....	33
4.3	Sonstige Emissionen und Belastungen (Auswirkungen auf die Umgebung).....	34
4.4	Überwachung / Bewertung der Deponie.....	34
5	Vorbefunde und Gutachten zur Deponie Ihlenberg.....	35
5.1	Toxikologisches Gutachten – Mögliche Gefährdung von Mensch und Umwelt durch luftgetragene Emissionen (aromatische und leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe, Metalle) der Deponie Ihlenberg.....	35
5.2	Ozonmonitoringprogramm zur räumlichen und zeitlichen Bestimmung von Emissionsquellen .....	36
5.3	Borisotopenverhältnisse in Sicker-, Grund- und Oberflächenwässern der Deponie Ihlenberg .....	37
5.4	Überarbeitung der Gefahrenabschätzung Bockholzberg auf der Grundlage der Daten der Jahre 2001 und 2002.....	38
5.5	Vinylchlorid auf der Deponie Ihlenberg.....	39
5.6	Rasterbegehungen im Umfeld der Deponie Ihlenberg .....	40
6	Schlussfolgerungen und erste Bewertung.....	41
7	Literatur .....	43

## 1 EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

### 1.1 Allgemeine Definitionen / Anforderungen an Deponien

Deponien sind Entsorgungsanlagen zur dauerhaften, geordneten und kontrollierten Ablagerung von Abfällen. Hier werden Abfälle abgelagert, die nicht vermieden oder verwertet werden können und nach Möglichkeit vorbehandelt worden sind. Physikalische, chemische und mikrobiologische Prozesse laufen im Deponiekörper weitestgehend unkontrolliert ab. Daher werden an einen Deponiestandort verschiedene Anforderungen gestellt. Hierzu gehören eine hydrologische und geologische Eignung, wie ein hohes Adsorptionsvermögen, eine geringe Wasserdurchlässigkeit und ein ausreichender Sicherheitsabstand zum Grundwasserleiter. Das Basisabdichtungssystem soll in Verbindung mit dem darauf angeordneten Entwässerungssystem verhindern, dass belastetes Sickerwasser in den Untergrund gelangt. Das Abdichtungssystem besteht im Allgemeinen aus wasserundurchlässigen natürlichen oder/und künstlichen Materialien. Grundlage bildet ein Multi-barrierenkonzept. Ein weit angelegtes Entwässerungssystem besteht aus grobkiesigen Flächenfiltern und einem Dränagerohrsystem, welches zur Sammlung und zügigen Ableitung des belasteten Sickerwassers zu einer Aufbereitungsanlage dient [1].

Die auf den Deponien abzulagernden Abfälle sollten weitgehend reaktionsträge (inert) und schadstoffarm sein, so dass die Sickerwasserbelastung gering ist und sich praktisch kein Deponiegas bildet. Ohne diese Eigenschaften sind die Abfälle im Vorfeld zu behandeln oder alternativ von einer Ablagerung auszuschließen. Ein Eintrag von Fremd- und Niederschlagswasser muss durch eine geeignete Oberflächenabdichtung verhindert werden. Eine auf der Oberflächenabdichtung angeordnete Rekultivierungsschicht einschließlich Bewuchs dient dem Schutz der Abdichtung und der Eingliederung des Deponiekörpers in die Landschaft.

Die Nutzung der Deponie nach Sanierung muss kontrolliert sein, um eine Beschädigung der Oberflächenabdichtung auszuschließen. Hierbei ist das Langzeitverhalten zu kontrollieren und zu dokumentieren. Diese Anforderungen sind in der Abfallablagerungsverordnung [2] und der Deponieverordnung [3] geregelt.

Altdeponien sind Deponien die bereits vor Inkrafttreten der Technischen Anleitung Siedlungsabfälle (TA Si) im Jahr 2005 in Betrieb oder in Planung waren. Heute betriebene Deponien sind weitestgehend solche Altdeponien. Sollten diese Altdeponien die technischen Anforderungen der TA Si nicht erfüllen bzw. können diese nicht entsprechend nachgerüstet werden, sind sie gemäß Abfallablagerungsverordnung je nach Abweichung von den Anforderungen spätestens 2005 oder bis 2009 außer Betrieb zu nehmen

**Tabelle 1.: Anzahl der Deponien nach Klassen in der Bundesrepublik Deutschland 2005 [4-6]**

Deponieklasse	nach EU-Spezifikation	typischer Abfall	Anzahl	abgelagerte Abfallmenge pro 1000 t
Deponieklasse 0	Inertabfälle	unbelasteter Boden	1312	13.318,8
Deponieklasse I	nicht gefährliche Abfälle	Bauschutt	279	13.963,1
Deponieklasse II	nicht gefährliche Abfälle	Siedlungsabfälle und z. T. Gewerbeabfälle	348	24.293,9
Deponieklasse III	gefährliche Abfälle	Sonderabfälle (oberirdische Ablagerung)	56	4.807,9
Deponieklasse IV	gefährliche Abfälle	Sonderabfälle (Untertageablagerung)	4	180,0
Langzeitlager			6	111,1
<b>Deponien gesamt</b>			<b>2005</b>	<b>56.674,8</b>
darunter besonders überwachungsbedürftige Abfälle			400	4.884,6
darunter Monodeponien			394	13.652,6

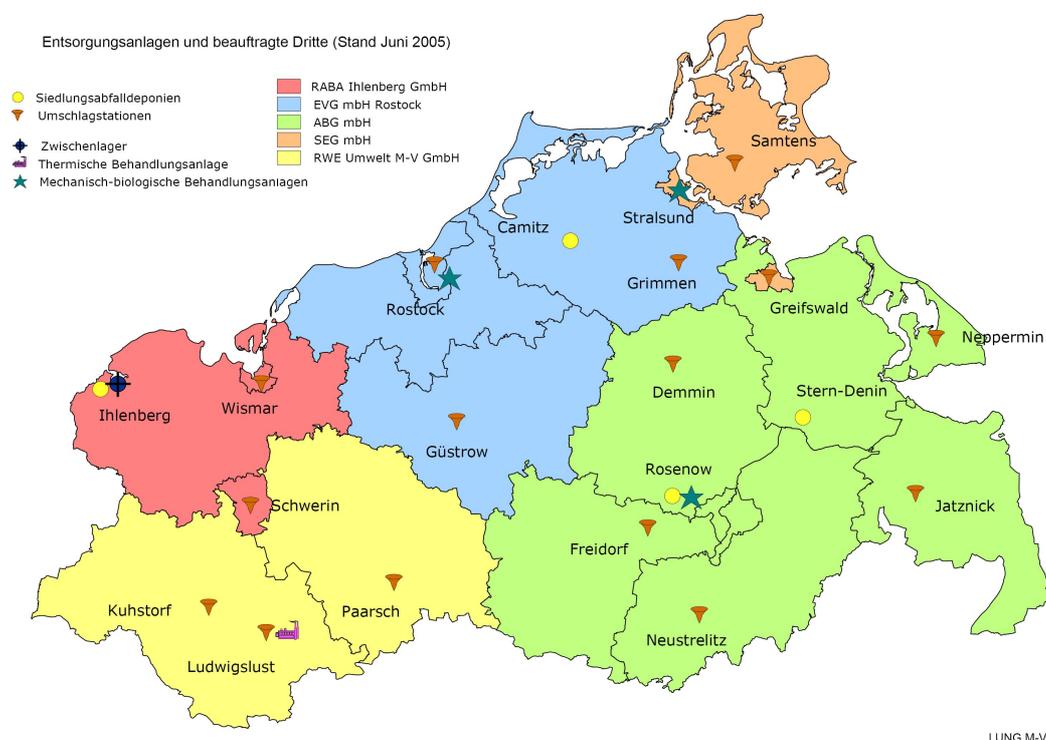
In Mecklenburg-Vorpommern werden 49 Wertstoffhöfe, bzw. –Annahmestellen betrieben. Vier Entsorgungsanlagen zur Deponierung befinden sich in Rosenow (Landkreis Demmin), Camitz (Landkreis Nordvorpommern), Selmsdorf (Landkreis Nordwestmecklenburg) und in Spantekow OT Dennin (Landkreis Ostvorpommern). Eine Anlage zur thermischen Behandlung (TBA) von nicht verwertbaren Siedlungsabfällen und Beseitigungsabfällen aus anderen Herkunftsbereichen befindet sich in im Landkreis Ludwigslust (seit Juni 2005 in Betrieb) (Abbildung 1). Außerdem gibt es für den Standort Rostock eine Genehmigung für den Bau einer kombinierten mechanisch-biologischen/thermischen Anlage. Des Weiteren haben drei mechanisch-biologische Behandlungsanlagen (MBA) zum 01.06.2005 ihren Betrieb aufgenommen (Hansestadt Rostock, Rosenow im Landkreis Demmin, Hansestadt Stralsund). Für den Standort Ihlenberg wurde eine Genehmigung erteilt [7]. In Tabelle 2 sind alle Abfallentsorgungsanlagen in Mecklenburg-Vorpommern (Stand: Juni 2005) und deren Anzahl aufgeführt [7].

**Tabelle 2.: Abfallentsorgungsanlagen in Mecklenburg-Vorpommern [7]**

Art der Anlage	Anzahl
Wertstoffhöfe und -Annahmestellen	49
Umschlagstationen	15
Siedlungsabfalldeponien	4
Anlagen zur Restabfallbehandlung	
Thermische Behandlungsanlagen	1
Mechanisch-biologische Behandlungsanlagen	3
Anlagen zur Abfallverwertung	
Bauabfallaufbereitungs- und –sortieranlagen	171
Kompostierungs- und Vergärungsanlagen	55
Recyclinganlagen <sup>(1)</sup>	44
Sortieranlagen für Siedlungsabfälle (ohne Bauabfälle)	26
Zwischenlager	1

<sup>(1)</sup> hierzu gehören: Elektro-/Elektronikschrottaufbereitungsanlagen, Kühlgerätebehandlungsanlagen, Altholzaufbereitungsanlagen, Reifenrecyclinganlagen, Altpapieraufbereitungsanlagen und Kunststoffaufbereitungsanlagen.

In Mecklenburg-Vorpommern wurden im Jahr 2005 (Stand 08/05) insgesamt 4 Deponien betrieben [7]. Auf allen Deponien wurden im Jahr 2004 insgesamt  $1.104 \times 10^3$  Tonnen Abfälle verbracht. Die Restvolumen (noch vorhandene Kapazität) werden mit  $18.664 \times 10^3$  m<sup>3</sup> beziffert [6].



**Abbildung 1.:Standorte und Betreiber von Abfallentsorgungsanlagen (modifiziert nach [7]).**

Die Deponie Ihlenberg (Landkreis Nordwestmecklenburg) vereint eine Chemisch-physikalisch-biologische (CPB) Behandlungsanlage (Sickerwasserbehandlungsanlage), eine Sortieranlage für Siedlungsabfälle und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, ein Zwischenlager und die oberirdische Deponie. Besonderheit der Deponie Ihlenberg ist die Verwertung und Ablagerung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle.

Dieses sind „Gefährliche Abfälle, die nach § 41 Abs. 1 Satz1 und Abs. 3 Nr. 1 KrW-/AbfG besonders überwachungsbedürftig sind (in der Abfallverzeichnisverordnung durch Sternchen gekennzeichnet) sowie überwachungsbedürftige Abfälle, für die durch die zuständige Behörde eine Nachweispflicht nach § 42 Abs. 1 oder 2 oder § 45 Abs. 1 oder 2 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes angeordnet ist und deren Nachweis mittels Begleitschein und Entsorgungsnachweis erfolgt“ [8,9]. Besonders überwachungsbedürftige Abfälle werden in den gesetzlichen Regelungen der Europäischen Union als „gefährliche Abfälle“ (hazardous wastes) bezeichnet. Die formalisierte Überwachung der Entsorgung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle wird in der Verordnung über Verwertungs- und Beseitigungsnachweise [10] durch Entsorgungsnachweise, Begleitscheine und Übernahme-scheine geregelt. Unter Beteiligung des Abfallerzeugers, des Abfallentsorgers und der zuständigen Behörde wird mit dem Entsorgungsnachweis die Umweltverträglichkeit eines vorgesehenen Entsorgungsweges vorab geprüft (Vorabkontrolle). Durch die Begleit- und

Übernahmescheine wird in einem „Quittierungsverfahren“ die Einhaltung des vorab geprüften Entsorgungsweges für jeden einzelnen Abfalltransport nachvollziehbar dokumentiert (Verbleibskontrolle). Besonders überwachungsbedürftige Abfälle können der chemisch physikalischen Behandlung, der Verbrennung, der oberirdischen Deponierung, der Untertagedeponierung, der Zwischenlagerung und einer sonstigen Behandlung zugeführt werden. Eine Einzelfallprüfung entfällt bei der Entsorgung durch ein nach der Entsorgungsfachbetriebsverordnung zertifiziertes Unternehmen [8].

## 1.2 Problemstellung und Aufbau der Vorstudie

Die Deponie Ihlenberg zählt mit einer Gesamtfläche von zirka 165 ha zu den größten Anlagen ihrer Art in Europa [11]. Die Deponie ist seit 1979 in Betrieb. Seit längerer Zeit besteht der Verdacht, dass unter den Beschäftigten der Deponie und der umliegenden Bevölkerung eine erhöhte Rate an Krebserkrankungen vorliegen könnte. Bis Dezember 2004 wurden durch die Deponieleitung 16 an Krebs erkrankte Beschäftigte bei der Berufsgenossenschaft Tiefbau angezeigt. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sollen insgesamt 20 (ehemalige) Mitarbeiter der Deponie an Krebs erkrankt sein.

Das Institut für Community Medicine wurde durch die Gesellschaft für Abfallwirtschaft und Altlasten Mecklenburg-Vorpommern mbH (GAA) beauftragt, in einer Vorstudie die Häufigkeit der malignen Erkrankungen innerhalb der Beschäftigtenkohorte abzuklären und hinsichtlich möglicher Zusammenhänge mit dem Betrieb der Deponie Ihlenberg zu bewerten.

Die Vorstudie ist planmäßig am 01.01.2006 unter dem Titel „Epidemiologische Vorstudie zur Abklärung möglicher ursächlicher Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Tumorerkrankungen und dem Betrieb der Deponie Ihlenberg.“ am Institut für Community Medicine angelaufen.

Diese Vorstudie ist modular konzipiert. Im *ersten Modul* der Studie sollen mögliche arbeitsplatzbezogenen und umgebungsbezogene Risikofaktoren und Schadstoffpfade zusammengestellt und bewertet werden. Hierbei sollen mögliche Belastungssituationen dargestellt und geeignete Indikatorparameter für weitergehende Untersuchungen aufgezeigt werden. Im *zweiten Modul* werden die arbeitsplatzbezogenen, alters- und geschlechtsspezifischen Inzidenzraten maligner Erkrankungen bei den Beschäftigten berechnet. Zur Bewertung werden Vergleiche mit der Allgemeinbevölkerung und geeignete weitere Vergleichspopulationen herangezogen. Im *dritten Modul* werden die Mortalität und die Inzidenz von Krebserkrankungen im Wohnumfeld der Deponie, ausgehend von den Befunden der ersten zwei Studienmodule erfasst und bewertet.

Im Folgenden werden die Ergebnisse des ersten Moduls gemäß der im Werkvertrag festgeschriebenen Fragstellung dargestellt. Es erscheint jedoch sinnvoll auch weiterhin verfügbare Daten zu sammeln und zu sichten. Die zum jeweiligen Zeitpunkt aktuelle Datenlage sollte bis zum Ende der Vorstudie am 31.12.2007 in die laufende Arbeit eingefügt und somit das erste Studienmodul sinnvoll ergänzt werden.

### 1.3 Prinzipien der Kanzerogenese

Die Entstehung maligner Tumoren ist multifaktoriell und verläuft in mehreren Stufen. Diese wird nach Knudson [12] in drei Phasen unterteilt, in deren Verlauf die Zelle zunächst einer zeitlich begrenzten Einzeldosis einer mutagenen Substanz ausgesetzt wird, welche zur Mutation führt. In dieser Phase ist die Mutation in der Zelle bereits irreversibel. Die Mutation wird bei Teilung der Zelle an die Tochterzellen weitergegeben. Die nächste Phase kann eine Latenzzeit von 15 bis 20 Jahren haben. Wird in dieser Zeit die in der ersten Phase initiierte Zelle weiteren auslösenden Faktoren ausgesetzt, kann es zur Proliferation, zu weiteren Mutationen oder zur Umwandlung in eine sich autonom teilende Tumorzelle kommen. Das Zusammenwirken verschiedener Kanzerogene kann die Kanzerogenese verstärken und beschleunigen. Auslösende Faktoren müssen nicht die Stoffe der Initiierung sein. In der letzten Phase kommt es schließlich zum ungehinderten Wachstum der Zelle bis zur klinischen Manifestation des Tumors.

Die meisten kanzerogenen Agenzien wirken synergistisch. An der Entstehung von Krebs ist somit in der Regel nicht nur eine Substanz beteiligt. Es handelt sich vielmehr um ein multiples Zusammenwirken vieler Substanzen und weiterer Faktoren. Unter diesem Aspekt ist es im Individualfall schwierig retrospektiv zu erfassen, welche Substanzen an der Entstehung von Krebs beteiligt waren.

In Tabelle 3 sind für eine Auswahl von malignen Erkrankungen potentielle und gesicherte Risikofaktoren zusammengefasst.

### 1.4 Kanzerogene Umweltfaktoren (chemische Kanzerogene)

Die meisten Krebserkrankungen werden vermutlich durch kanzerogene Umweltfaktoren verursacht. Bereits um 1930 schätzte der Epidemiologe Richard Doll, dass 70-90% der Krebsfälle in der Bevölkerung auf Kanzerogene in der Umwelt zurückzuführen sind [13]. Kanzerogene Umweltfaktoren können im Wesentlichen in vier Kategorien [14] eingeteilt werden:

- chemische Kanzerogene (z.B. Zigarettenrauch, Vinylchlorid, Benzol),
- lokal reizende Stoffe (z.B. Asbeststaub),
- ionisierende Strahlung und UV-Licht und
- Viren (z.B. Papillomaviren, EBV).

#### 1.4.1 Kanzerogene in der Luft

Allgemeine Beispiele für chemische Kanzerogene in der Luft sind Dioxin, Dieselrußpartikel, Benzol und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) [15,16]. Menge und Zusammensetzung chemischer Kanzerogene unterscheidet sich je nach Ort und unterliegt temporären Schwankungen. Beispielsweise wird in industriellen Gebieten eine höhere Konzentration an kanzerogenen in der Umgebungsluft vorhanden sein als vergleichsweise in ländlichen Regionen. In hochindustriellen Regionen werden Emissionen von Fabrikanlagen

**Tabelle 3.: Vermutete und gesicherte Risikofaktoren maligner Erkrankungen [17-19].**

	ICD-10	Rauchen und Alkohol	Ernährung	Viren, Bakterien, Schimmelpilze	Medizinische Faktoren und Vorgeschichte	Berufliche Exposition	Genetische Faktoren
Bösartige Neubildungen der Lippe, der Mundhöhle und des Pharynx	C00-C14	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alkohol</li> <li>Rauchen</li> <li>beides multiplikativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Genuss von salzgetrocknetem Fleisch und Fisch</li> <li>geringer Verzehr an Obst und Gemüse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Viren (diskutiert)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Propylalkohol,</li> <li>Holzstaub (BK anerkannt)</li> </ul>	
Bösartige Neubildung der Speiseröhre	C15	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rauchen (gesichert)</li> <li>Alkohol (gesichert)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>frische Früchte und Gemüse (protektiver Effekt) insb. Vitamin A und C</li> <li>Übergewicht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Papillomviren (vermutet)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>chronische Entzündung der Speiseröhre (event. Risikoerhöhung)</li> </ul>		
Bösartige Neubildung des Magens	C16	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rauchen (nicht konsistent)</li> <li>Alkohol (nicht konsistent)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>frische Früchte und Gemüse (protektiver Effekt)</li> <li>alte Konservierungsmethoden (Salzen, Pökeln oder Räuchern)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vorherige Infektion durch Helicobacter pylori (bei Vorerkrankungen des Magens) [20]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vorliegen atropischen Gastritis</li> <li>perniziöse Anämie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asbestexposition (Schiffbau) [21]</li> <li>Kohlebau</li> <li>Landwirtschaft</li> <li>Metallverarbeitung</li> </ul>	
Bösartige Neubildung des Dickdarmes und Bösartige Neubildung des Rektums, der Übergangsstelle des Colon sigmoideum in das Rektum und des Anus	C18-21	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alkohol (geringes Risiko)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>frische Früchte und Gemüse (protektiver Effekt)</li> <li>hoher Faseranteil (protektiv)</li> <li>hoher Fettkonsum</li> <li>Nitrosamine</li> <li>Übergewicht</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>ulzerierende Kolitis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asbest</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>erbliche Faktoren</li> <li>familiäre adenomatöse Polyposis (FAP)</li> <li>vererbare nichtpolypöse kolorektale Tumore</li> </ul>
Bösartige Neubildung der Leber und der intrahepatischen Gallengänge	C22	<ul style="list-style-type: none"> <li>exzessiver Alkoholkonsum</li> <li>Rauchen (diskutiert)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>chronische Infektion Hepatitis-B (HBV) [20]</li> <li>chronische Infektion Hepatitis-C (HCV) [20]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Leberzirrhose</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vinylchlorid (gesichert) [21]</li> <li>inhalierter oder demal aufgenommene Lösungsmittel (Hinweise)</li> <li>chlorierte Kohlenwasserstoffe (Hinweise)</li> <li>Asphaltdämpfe (Hinweise)</li> </ul>	
Bösartige Neubildung der Gallenblase und der extrahepatischen Gallengänge	C23-C24		<ul style="list-style-type: none"> <li>frische Früchte und Gemüse (protektiver Effekt)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Gallensteine</li> </ul>		
Bösartige Neubildung der Bauchspeicheldrüse	C25	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rauchen (gesichert) [22]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>frische Früchte und Gemüse (protektiver Effekt) faserreiche Kost, beta Karotin,</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Diabetes mellitus Typ I (diskutiert)</li> <li>chronische Pankreatitis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2-Naphtylamin</li> <li>Benzidin</li> <li>DDT</li> </ul>	

	ICD-10	Rauchen und Alkohol	Ernährung	Viren, Bakterien, Schimmelpilze	Medizinische Faktoren und Vorgeschichte	Berufliche Exposition	Genetische Faktoren
			<i>Vitamin C</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>hohe Aufnahmen an Cholesterol, Kohlehydrate</li> <li>Übergewicht, fettreiche Ernährung</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Lynch-Syndrom (HNPCC)</li> <li>familiäre adenomatöse Polyposis (FAP)</li> </ul>		
Bösartige Neubildung des Kehlkopfes	C32	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rauchen (gesichert) [22]</li> <li>Alkohol (gesichert) [23]</li> <li>beides multiplikativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>frische Früchte und Gemüse (protektiver Effekt) Vitamin A und C</i></li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>Asbest (BK anerkannt)</li> <li>Gummiindustrie (nicht konsistent)</li> <li>Assoziationen gegenüber Zement, Fichtenholzstaub, Steinkohlen-Teerprodukte, Farben Lacke (nicht konsistent)</li> <li>Nickel, PAHs</li> </ul>	
Bösartige Neubildung der Luftröhre, der Bronchien und der Lunge	C33-C34	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rauchen (gesichert) [22]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>frische Früchte und Gemüse (protektiver Effekt) Vitamin E und Beta-Karotin</i></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>genetische Prädisposition</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asbestexposition [24]</li> <li>Tätigkeiten in Aluminiumherstellung, Kohlegas- und Koksherstellung, Gießereien, Maler, Gummiherstellung</li> <li>Arsen, Nickel, Chrom, polyzyklische Kohlenwasserstoffe, PVC-Stäube, Acrylnitrit</li> <li>Radonexposition (Uranabbau) BK anerkannt</li> </ul>	
Bösartiges Melanom der Haut	C43-C44				<ul style="list-style-type: none"> <li>dysplastisches Nävusyndrom</li> <li>familiäres atypische multiples Mutteralmelanom</li> </ul>		
Bösartige Neubildung der weiblichen Brustdrüse	C50	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alkohol (diskutiert)</li> <li>Rauchen (diskutiert)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>frische Früchte und Gemüse (protektiver Effekt)</i></li> <li>Übergewicht</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>Brustkrebsfamilien (z.B. BRCA1 und BRCA2 Trägerinnen)</li> <li>Erkrankungen in näheren Verwandtschaft</li> <li>bestimmte proliferative Vorerkrankungen</li> </ul>
Bösartige Neubildung der Zervix uteri	C53	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rauchen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>frische Früchte und Gemüse (protektiver Effekt)</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Papillomviren HPV Typ 16 und 18 (gesichert) [25]</li> </ul>			

	ICD-10	Rauchen und Alkohol	Ernährung	Viren, Bakterien, Schimmelpilze	Medizinische Faktoren und Vorgeschichte	Berufliche Exposition	Genetische Faktoren
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Papillomviren HPV Typ 31 und 33 (wahrscheinlich) [25]</li> </ul>			
Bösartige Neubildung des Corpus uteri	C54-C55		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übergewicht (postmenopausal)</li> <li>• <i>frische Früchte und Gemüse (protektiver Effekt)</i></li> </ul>				
Bösartige Neubildung des Ovariums und sonstiger Adnexe	C56		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>frische Früchte und Gemüse (protektiver Effekt)</i></li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brust-Ovar-Krebssyndrom (BRCA1 und BRCA2)</li> <li>• nicht polypöse Kolonkrebssyndrom (HNPCC)</li> <li>• familiäre Vorbelastung</li> </ul>
Bösartige Neubildung der Prostata	C61	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rauchen (diskutiert)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hoher Fettkonsum (diskutiert)</li> <li>• Übergewicht</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metall, Cadmium [26]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorerkrankungen bei Vätern und Brüdern</li> </ul>
Bösartige Neubildung des Hodens	C62		<ul style="list-style-type: none"> <li>• erhöhter Fettkonsum (diskutiert)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kryptorchismus</li> <li>• inguinale Hernien, Hypospadien, Hydrozelen</li> </ul>		
Bösartige Neubildung der Harnblase	C67	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rauchen (gesichert) [22]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>frische Früchte und Gemüse (protektiver Effekt)</i></li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• aromatische Amine (z.T. Farbindustrie)</li> <li>• 4-Amino-Biphenyl, Benzidine, 2-Naphthylamin</li> <li>• Magentaherstellung [27]</li> <li>• Herstellung Koks, Kohlenteer, Kohlenteerpech, Kohlevergasung</li> <li>• Aluminiumproduktion, Gummiindustrie, Textilherstellung [21]</li> </ul>	
Bösartige Neubildung der Niere sowie sonstiger und n.n.bez. Harnorgane	C64-C66 und C68	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rauchen [22]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übergewicht (insb. Frauen)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erkrankungen an Nierensteinen, Niereninfektion, Nierenverletzungen, Bluthochdruck Diabetes (Hinweise)</li> <li>• chronische Niereninsuffizienz (begünstigend)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asbest und Cadmiumexposition</li> <li>• Koksherstellung, Eisen- und Stahlindustrie</li> <li>• Arbeit mit Lösungsmitteln zur chemischen Reinigung</li> <li>• Umgang mit Treibstoffen und Petroleumprodukten</li> </ul>	

	ICD-10	Rauchen und Alkohol	Ernährung	Viren, Bakterien, Schimmelpilze	Medizinische Faktoren und Vorgeschichte	Berufliche Exposition	Genetische Faktoren
						<ul style="list-style-type: none"> <li>aromatische Amine: 2.Naphtylamin, Benzidin und Derivate, 4-Aminobiphenyl</li> </ul>	
Bösartige Neubildung des Gehirns	C70-C72				<ul style="list-style-type: none"> <li>Kopfverletzungen</li> <li>Epilepsie &amp; Meningitis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vinylchlorid (gesichert) [21]</li> <li>Pestizide</li> <li>organische Lösungsmittel</li> <li>Tätigkeiten in der Kunststoffherstellung</li> </ul>	
Bösartige Neubildung der Schilddrüse	C73		<ul style="list-style-type: none"> <li>frische Frücht und Gemüse (protektiv)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Strahlentherapie im Kopf und Halsbereich</li> <li>Kropferkrankungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>strahlendiagnostische Tätigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>familiäre Vorgeschichte</li> </ul>
Lymphosarkom und Retikulumzellsarkom und Sonstige bösartige Neubildung des lymphatischen und histiozytären Systems	C82-C85	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rauchen (diskutiert)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Epstein-Barr-Virus</li> <li>Retroviren HIV-Infektion</li> <li>Helicobacter pylori</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Tätigkeit in der Landwirtschaft</li> <li>Pestizide</li> <li>Pflanzenschutzmittel (vermutet)</li> <li>Benzol als BK anerkannt</li> <li>Gummiindustrie, Kunststoffherstellung, Holzverarbeitung</li> <li>Asbest</li> </ul>	
Morbus Hodgkin	C81			<ul style="list-style-type: none"> <li>Epstein-Barr-Virus</li> <li>Retroviren HIV-Infektion</li> <li>Helicobacter pylori</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>infektiöse Ätiologie (Agenzien)</li> </ul>		
Multiples Myelom und immunproliferative Neubildungen	C90			<ul style="list-style-type: none"> <li>KSHV (Kaposi's Sarcoma-associated herpes virus)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Benzol</li> <li>Schwermetalle</li> <li>organische Lösungsmittel</li> </ul>	
Lymphatische Leukämie, Myeloische Leukämie, Monozytäre Leukämie, Sonstige näher bez. Formen der Leukämie, Leukämie n.n.bez. Zellart	C91-C95			<ul style="list-style-type: none"> <li>Epstein-Barr-Virus</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Benzol [28]</li> <li>benzolhaltige Lösungsmittel [28]</li> <li>Pestizide (inkonsistent)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>erhöhtes Risiko bei Trisomie 21, Neurofibromatose, Fanconi-Anämie, Bloom-Syndrom</li> </ul>

**Fortsetzung der Tabelle 3: Vermutete und gesicherte Risikofaktoren maligner Erkrankungen [17-19].**

	ICD-10	Hormoneinnahme	Reproduktions- geschichte	Medikamente	Umwelt	ionisierende Strahlung
Bösartige Neubildung des Dickdarmes und Bösartige Neubildung des Rektums, der Übergangsstelle des Colon sigmoideum in das Rektum und des Anus	C18-C21	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>postmenopausale Hormonsubstitution (protektiv)</i></li> <li>• <i>orale Kontrazeptiva (protektiv)</i></li> </ul>				
Bösartige Neubildung der Leber und der intrahepatischen Gallengänge	C22			<ul style="list-style-type: none"> <li>• phenazetinhaltige Analgetika</li> <li>• Zyklophosphamide</li> </ul>		
Bösartige Neubildung der Gallenblase und der extrahepatischen Gallengänge	C23-C24	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Hormonsupplementierung (risikovermindernd)</i></li> </ul>				
Bösartige Neubildung des Kehlkopfes	C32				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung von Öfen und fossilen Brennstoffen</li> </ul>	
Bösartige Neubildung der Luftröhre, der Bronchien und der Lunge	C33-C34				<ul style="list-style-type: none"> <li>• hoher Schadstoffgehalt der Luft</li> </ul>	
Bösartiges Melanom der Haut	C43-C44				<ul style="list-style-type: none"> <li>• exzessives Sonnenbaden in Abhängigkeit von Hauttyp und Anzahl der Sonnenbrände [29]</li> <li>• UV-Strahlung</li> </ul>	
Bösartige Neubildung der weiblichen Brustdrüse	C50	<ul style="list-style-type: none"> <li>• orale Kontrazeptiva (leichte Risikoerhöhung)</li> <li>• postmenopausale Hormonsubstitution (leichte Risikoerhöhung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• frühe Menarche</li> <li>• späte Menopause</li> <li>• erstmalige Schwangerschaft nach dem 30. Lebensjahr</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• elektromagnetische Felder (diskutiert)</li> </ul>	
Bösartige Neubildung des Corpus uteri	C54-C55	<ul style="list-style-type: none"> <li>• östrogenantagonist Tamoxifen</li> <li>• <i>orale Kontrazeptiva (protektiv)</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• frühe Menarche</li> <li>• späte Menopause</li> </ul>			
Bösartige Neubildung des Ovariums und sonstiger Adnexe	C56	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>orale Kontrazeptiva (protektiv)</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• frühe Menarche</li> <li>• späte Menopause</li> </ul>			
Bösartige Neubildung des Hodens	C62					<ul style="list-style-type: none"> <li>• ionisierende Strahlung</li> </ul>
Bösartige Neubildung der Niere sowie sonstiger und n.n.bez. Hamorgane	C64-C66 und C68			<ul style="list-style-type: none"> <li>• phenazetinhaltige Analgetika [21]</li> <li>• Bluthochdruckmedikamente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ionisierende Strahlung</li> </ul>
Bösartige Neubildung des Gehirns	C70-C72				<ul style="list-style-type: none"> <li>• elektromagnetische Felder (insb. bei Frauen) (diskutiert)</li> </ul>	
Bösartige Neubildung der Schilddrüse	C73					<ul style="list-style-type: none"> <li>• ionisierende Strahlung (gesichert)</li> </ul>
Lymphosarkom und Retikulumzellsarkom und Sonstige bösartige Neubildung des	C82-C85					<ul style="list-style-type: none"> <li>• ionisierende Strahlung</li> </ul>

	ICD-10	Hormoneinnahme	Reproduktions- geschichte	Medikamente	Umwelt	ionisierende Strahlung
lymphatischen und histiozytären Systems						
Multiples Myelom und immunproliferative Neubildungen	C90					<ul style="list-style-type: none"> <li>• ionisierende Strahlung (15-20Jahre nach Exposition konsistente Risikoerhöhung)</li> </ul>
Lymphatische Leukämie, Myeloische Leukämie, Monozytäre Leukämie, Sonstige näher bez. Formen der Leukämie, Leukämie n.n.bez. Zellart	C91- C95					<ul style="list-style-type: none"> <li>• ionisierende Strahlung (Risiko umso größer je niedriger Alter bei Exposition)</li> <li>• Risikohöhe unterschiedlich: AML (höchste) CML ALL CLL (niedrigste)</li> </ul>

Abkürzungen: ICD-10: International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems - Revision 10; BK anerkannt: als Berufskrankheit anerkannt

die Hauptquelle chemischer Kanzerogene darstellen [30]. In Städten sind zudem Kraftfahrzeugabgase eine wichtige Expositionsquelle [31].

#### 1.4.2 Kanzerogene im Trinkwasser

Wasser war früher eine Hauptquelle für die Verbreitung von Infektionskrankheiten. Die Übertragung dieser Krankheiten über das Trinkwasser wurde jedoch durch die Zugabe von Chlor und mittels moderner Hygienemaßnahmen weitestgehend eliminiert. Seit 1950 wird diskutiert, ob Trinkwasser als Überträger für chemische Kanzerogene in Frage kommt [32,33].

In der Bundesrepublik Deutschland sind mit der Trinkwasserverordnung sehr strenge Richtlinien für die Qualität des Trinkwassers festgeschrieben. Für die meisten Schadstoffe ist der zulässige Gehalt an Schadstoffen im Trinkwasser in Deutschland äußerst niedrig. Es besteht jedoch jederzeit die Möglichkeit, dass nicht-kanzerogene Substanzen durch routinemäßig dazugegebenes Chlor infolge komplexer chemischer Vorgänge in kanzerogene Stoffe umgewandelt werden. Ein Beispiel hierfür ist Trichlormethan (Chloroform) [34,35]. Trinkwasser kann jedoch auch durch äußere Einflüsse, wie zum Beispiel durch die Kontamination mit Öl oder Benzin oder Sickerwasser von Deponien, kontaminiert werden und somit eine potentielle Expositionsquelle darstellen.

#### 1.4.3 Kanzerogene in der Nahrung

Ein großer Anteil an Krebserkrankungen wird vermutlich durch Kanzerogene in der Nahrung ausgelöst [36]. Sehr wichtigen Einfluss haben Fette. Im Tiermodell konnte gezeigt werden, dass eine fettreiche Ernährung zu einer Verstärkung der Kanzerogenese führt. Dies passiert vermutlich aufgrund der Beeinflussung des Hormonhaushaltes, einer Stimulation der Zellteilung oder Veränderungen der Zelldifferenzierung [37].

Nahrungsbestandteile können durch externe Einflüsse in Kanzerogene umgewandelt werden oder in die Nahrungskette gelangen. So wird diskutiert, ob durch Dioxin, welches von Verbrennungsanlagen emittiert wird und Nahrungsmittel kontaminieren kann, möglicherweise krebsauslösend wirkt. [38-40]. Nahrungsmittelkanzerogenen, wie zum Beispiel Nitrosamine, Benzo[a]pyren und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), sind von quantitativ hoher Bedeutung [41,42].

Durch Stoffwechselreaktionen wird das nicht kanzerogene und nicht mutagene Benzo[a]pyren in stark mutagene und kanzerogene Substanzen umgewandelt. Benzo[a]pyren ist Bestandteil von Autoabgasen, entsteht bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe und ist Bestandteil von Tabakrauch. Werden Nahrungsmittel gebraten, geräuchert oder gegrillt, entsteht diese Verbindung [43,44].

Eine weitere Gruppe wichtiger Nahrungsmittelkanzerogene sind Nitrosamine. Diese werden bei der Spaltung von Proteinen (Eiweiß von Fleisch) zu Aminosäuren gebildet. Durch Einpökeln und Räuchern, welches heutzutage routinemäßig passiert, gelangen Nitrite in die

Nahrungsmittel (z.B. Schinken, Speck, Salami und Würste). Die Nitrite reagieren mit Aminen und bilden Nitrosamine [45-48].

#### 1.4.4 Kanzerogene am Arbeitsplatz

Die ersten Zusammenhänge zwischen malignen Tumoren und einer Exposition am Arbeitsplatz wurden bereits vor über 200 Jahren durch den britischen Arzt Percival Pott erkannt. Pott fand heraus, dass bei jungen als Schornsteinfeger tätigen Männern eine Häufung an Skrotumkrebs zu beobachten war, weil sich der Ruß in den Hautfalten ablagerte und über die Haut aufgenommen wurde. Diese Beschreibung gilt als erste berufsbedingte maligne Erkrankung. Weitere Zusammenhänge zwischen berufsbedingten Expositionen und malignen Erkrankungen, zum Beispiel beim Umgang mit Arsenverbindungen in Kupferschmelzen oder beim Umgang mit aromatischen Aminen in der Farbindustrie, wurden im 19. Jahrhundert dokumentiert. Eine bereits in der Mitte des 14. Jahrhunderts beschriebene Erkrankung bei Silbergrubenarbeitern in der Schneeberg-Jachimov Region wurde am Anfang des vergangenen Jahrhunderts als maligne Erkrankung aufgrund einer Exposition gegenüber hoher Radonstrahlung erkannt [49-53]. Seit 1925 ist die nach der Grubenregion Schneeberg benannte Form des Bronchialkarzinoms, die Schneeberger Lungenkrankheit, als Berufkrankheit anerkannt.

## 2 GESUNDHEITLICHE BEEINFLUSSUNGEN DURCH DEPONIEEN

Vorwiegend in der internationalen Fachliteratur werden die Einflüsse von Expositionen durch Deponien auf die menschliche Gesundheit beschrieben und kontrovers diskutiert. Inhaltlich konzentrieren sich die Autoren zu einem großen Teil auf Untersuchungen der in der Nähe von Deponien lebenden Bevölkerung. Untersuchungen von Gesundheitsrisiken von Personen die im Umgang, Transport, Säuberung oder der Instandsetzung auf Deponien beschäftigt sind, sind eher selten und werden erst in jüngster Zeit zum Schwerpunkt der Umweltepidemiologie.

Im Zusammenhang mit Deponien werden neben der Untersuchung von malignen Erkrankungen verschiedener Lokalisationen, auch Einflüsse auf die menschliche Reproduktion, d.h. insbesondere Auswirkungen auf Neugeborene (z.B. Längenwachstum oder Fehlbildungen) analysiert.

Ein zunehmendes Risiko von nachteiligen Gesundheitseffekten (niedriges Geburtsgewicht, Fehlbildungen, maligne Erkrankungen verschiedener Lokalisationen) wurde in der Nähe von Deponien in einigen Studien berichtet. Obwohl Bias und Confoundingfaktoren nicht als mögliche Erklärungen für die Ergebnisse ausgeschlossen werden können, wurden in einer Vielzahl der Studien ein realer Zusammenhang mit der Wohnnähe zu verschiedenen Deponien angedeutet. Allerdings ist das Fehlen einer direkten individuellen Expositionsmessung eine häufige Schwäche der Studien. Zudem sind Effekte von umweltbedingten Niedrig-Dosis-Expositionen der allgemeinen Bevölkerung von Natur aus schwer zu bewerten. Aber auch eine zunehmende Prävalenz von selbstberichteten Symptomen unter den Anwohnern, wie Ermüdungen, Schläfrigkeiten und Kopfschmerzen,

wurden in mehreren Studien berichtet [54-57]. Eine Bewertung, ob diese Symptome ein Effekt des direkten toxischen Einflusses von präsenten Chemikalien in den Deponien, ein Effekt von Stress und Angst gegenüber Deponien oder ein Effekt eines Reportingbias sind, ist hingegen schwierig.

Viele Chemikalien oder Gruppen von Chemikalien, die potentiell auf Deponien präsent sind, wie organische Lösungsmittel, Polychlorierte Biphenyle (PCBs) und Schwermetalle, haben nachteilige Effekte auf die menschliche Gesundheit oder in Tierexperimenten gezeigt.

Generell können zwei verschiedene Studienansätze unterschieden werden. *Single site* Studien untersuchen Gesundheitseffekte einer spezifischen Deponie. Diese Studien sind im Allgemeinen als Antwort auf Beschwerden oder Klagen der Öffentlichkeit über berichtete Kontaminationen von der Deponie oder berichtete Krankheitscluster verschiedenster Ausprägung initiiert, oftmals sogar unter einem beachtlichen politischen Druck. Nachteil der Studien ist deren Anfälligkeit gegenüber einem Recall oder Reporting Bias. Diese schwächen die Untersuchungen und können die berichteten Gesundheitsoutcomes teilweise erklären. Durch ein adäquates Studiendesign können diese Verzerrungsquellen vermieden werden. Schwieriger ist hingegen die Größe der untersuchten Population. Diese ist im Allgemeinen klein und limitiert bei Betrachtungen seltener Krankheiten, wie zum Beispiel Krebs, die statistische Power der Untersuchung. *Multi site* Studien berücksichtigen hingegen mehrere Deponien. Diese Studien sind im Allgemeinen nicht durch die Öffentlichkeit initiiert. Im Folgenden werden die wichtigsten Studien mit ihren methodischen Ansätzen und wesentlichen Ergebnissen skizziert.

## 2.1 Genotoxische Effekte

Chromosomenaberrationen sind Abweichungen von der normalen Chromosomenzahl, sowie strukturelle Abweichungen einzelner Chromosomen von ihrer üblichen Form und Struktur, z.B. Chromosomenbrüche. Chromosomenaberrationen werden durch ionisierende Strahlung oder durch das Einwirken genotoxischer Substanzen ausgelöst. Chromosomenaberrationen stellen ein Maß für die Veränderung des Erbgutes dar. Sie sind biologische Marker und werden als frühe Antwort auf eine Exposition gegenüber mutagenen und kanzerogenen Chemikalien bestimmt [58]. Sie sind nicht mit kanzerogenen Erbgutveränderungen gleichzusetzen. Anhand quantitativer Analysen werden für den Menschen relevante Wirkungen genotoxischer Substanzen experimentell quantifiziert [59-61].

Einige Chromosomenschäden stehen direkt in Beziehung mit der Krebsätiologie. Allerdings ist die Anzahl der Agenzien, für die gezeigt werden konnte, dass diese solche Schäden beim Menschen induzieren, limitiert [62]. Neuere Studien zeigen, dass bestimmte Chromosomenaberrationen Krebsrisiken vorhersagen können [63-65].

Das genotoxische Potential komplexer Gemische aus Deponieschadstoffen (zum Beispiel Dioxin, polychlorierte Biphenyle oder Schwermetalle) wurde bei Deponiebeschäftigten unter anderem von Fender et al., Hartmann et al., Gonsebatt et al. und Gonzales et al. untersucht [66-68].

Fender et al. untersuchten bei 82 exponierten Beschäftigten zweier großer zentraler Deponien und 72 gematchten Kontrollpersonen, mittels einer quantitativen zytogenetischen Analyse struktureller Chromosomenaberrationen. Eine statistisch erhöhte Häufigkeit an Chromosomenaberrationen (dizentrische Chromosomen und azentrische Fragmente) wurde bei den Beschäftigten ermittelt. Die Beschäftigungsdauer der Angestellten von 0,5 – 13 Jahre hatte jedoch keinen maßgeblichen Einfluss auf die Rate an Chromosomenaberrationen. Ein ähnliches Studiendesign wurde durch Hartmann et al. durchgeführt. Strukturelle Chromosomenaberrationen traten unter den 44 Beschäftigten der Deponie häufiger auf als unter den 47 gematchten Kontrollpersonen. Eine signifikante Erhöhung konnte bei den azentrischen Fragmenten und dem Anteil anomaler Zelle nachgewiesen werden. Die Dauer der Beschäftigung hatte auch hier keinen Einfluss auf die Häufigkeit der Aberrationen. Die Ergebnisse der Studie deuten auf eine mögliche Exposition des Deponiepersonals gegenüber Genotoxinen. Die Autoren betonen jedoch, dass aufgrund der Studienergebnisse nicht davon ausgegangen werden darf, dass jede Deponie ein gefährliches Potential besitzt.

Andere Publikationen deuten hingegen auf ein eher allgemeines Problem. Gonsebatt et al. finden unter einer Gruppe Hochrisikobeschäftigter auf einer mexikanischen Deponie für toxische Abfälle eine signifikant höhere Häufigkeit der Chromosomenaberrationen, deren Ausmaß mit der Expositionszeit korrelierte. Die Beschäftigten hatten über einen längeren Zeitraum ohne geeigneten Schutz direkten Kontakt mit den toxischen Substanzen.

Gonzales et al. führten Blutuntersuchungen bei Beschäftigten einer Müllverbrennungsanlage und der in der Nähe wohnenden Bevölkerung durch. Sie finden bei beiden Gruppen keine Zunahme an kanzerogenen und möglichen kanzerogenen Schadstoffen (insbesondere polychlorierte Biphenyle (PCDD), Furane (PCDF) und Schwermetalle im Blut.

## 2.2 Effekte auf die menschliche Reproduktion

Eine mögliche Häufung an angeborenen Fehlbildungen, niedrigem Geburtsgewicht oder anderen nachteiligen Auswirkungen auf die Fortpflanzung werden in einer Vielzahl von Studien im Zusammenhang mit einer möglicher Exposition ausgehend von Deponien, Müllverbrennungsanlagen oder Schmelzöfen diskutiert [69-74]. Vorteil des Indikators *niedriges Geburtsgewicht* ist die relative Sensibilität gegenüber Effekten chemischer Expositionen. Daten zum Geburtsgewicht sind relativ leicht, zum Beispiel über Geburtenbücher, zu sammeln. Eindeutiger Nachteil ist hingegen die große Anzahl von assoziierten Risikofaktoren die als Confoundingfaktoren agieren können, wie zum Beispiel Rauchen, der sozioökonomische Status, Ernährungsfaktoren und die Größe der Eltern. Geburtsdefekte und nachteilige Auswirkungen auf die Fortpflanzung haben weniger Risikofaktoren und sind somit unanfälliger gegenüber Confoundingfaktoren.

Fünf wichtige Studien aus den USA und Kanada stammen von Geschwind et al., Kharrazi et al., Goldberg et al. und Croen et al [71,73-76], in denen angeborenen Fehlbildungen und niedriges Geburtsgewicht bei Neugeborenen im Zusammenhang mit der Wohnnähe der Mütter zu Deponien für besonders überwachungsbedürftige Abfälle untersucht werden.

Geschwind et al. zeigten, dass Kinder ein erhöhtes Risiko für angeborene Fehlbildungen haben, wenn deren Mütter in unmittelbarer Umgebung einer unkontrollierten Deponie wohnten [75]. Croen et al. finden ein 1,5-5 faches Risiko für Neuralrohrdefekte und angeborene Herzfehler [76]. Kharrazi et al. [73] finden keine nachteiligen reproduktiven Effekte, allerdings ein signifikant niedrigeres Geburtsgewicht während der aktiven Deponierung. Goldberg et al. [74] zeigen eine Überschreitung des niedrigen Geburtsgewichts von 20%, wenn die Mütter in den von Deponiegas hochexponierten Gebieten gelebt haben. Berry et al. [71] können ebenfalls eine Zunahme von Neugeborenen mit niedrigem Geburtsgewicht während der aktiven Deponierung feststellen.

Eine der bekanntesten Studienregionen ist der Love Canal im südöstlichen LaSalle Bezirk der City von Niagara Falls im US-amerikanischen Bundesstaat New York. Die Love Canal Region bekam ihren Namen durch den Unternehmer William T. Love, der 1892 plante dort ein Wasserkraftwerk zu errichten. Der Bau, einer ursprünglich als sieben Meilen langer Kanal geplante Verbindung zum Lake Ontario, wurde auf einer Länge von 914 Metern und einer Breite von 18 Metern abgebrochen. Der unvollendete Kanal wurde 1920 versteigert und als Deponie für besonders überwachungsbedürftige Abfälle genutzt [77]. Es wird vermutet, dass seitdem zirka 190,000 Tonnen Abfälle, wie zum Beispiel organische Lösungsmittel, Chlorkohlenwasserstoffe, Säuren und andere gefährliche Stoffe dort verbracht wurden [78].

1953 wurde der Kanal mit Bodenmaterial verschlossen und das Gebiet verkauft und anschließend besiedelt. 1977 wurden massiv erhöhte Schadstoffwerte in benachbarten Bächen, Auslasskanälen, Böden und Innenräumen gefunden. Hierbei wurden insbesondere organische Lösungsmittel, chlorierte Kohlenwasserstoffe und Säuren, einschließlich Benzol, Vinylchlorid, PCBs, Dioxin, Toluol, Trichlorethen und Tetrachlorethen nachgewiesen. Das New York State Department of Health fand 1978 eine Erhöhung an Fehlgeburten bei den dortigen Anwohnern und evakuierte in den folgenden zwei Jahren 1035 Familien aus dem Gebiet.

Das Geburtsgewicht von Neugeborenen der Love Canal Region als Indikator für negative Effekte von Schadstoffen auf die Gesundheit wurde von Vianna et al. untersucht. Zwei wesentliche Belastungspfade werden bei der Betrachtung des Zeitraums 1940-1978 herausgestellt. Zum einen eine Exposition aufgrund von Entwässerungswegen und zum anderen eine Exposition durch das Einatmen giftiger Dämpfe. Für eines von drei untersuchten Gebieten, das Entwässerungsgebiet, wurde für den Zeitraum der aktiven Deponierung eine signifikante Verringerung des Geburtsgewichts festgestellt. Nach Schließung der Deponie waren die Geburtsgewichte wiederum mit den Daten des Umlandes von New York vergleichbar [79].

Paigen et al. untersuchten ebenfalls das Wachstum der Kinder in der Umgebung des Love Canals. Die Beurteilung des Wachstums wurde anhand der Statur, des Gewichts und des Alters bei der Menarche definiert. Expositionspfad ist eine Wanderung von Sickerwasser in Erdböden und durch poröse Kellerwände. In Innenräumen wurden Toluol, Benzol, Chloroform, Trichlorethylen, Hexan und Xylen nachgewiesen. Im Schulgebäude wurde

insbesondere Lindan nachgewiesen. Die Kinder konnten durch die Pfade: Einatmen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) zuhause, Spielen auf dem Schulplatz, Spielen auf verseuchten Böden oder Spielen in Flüssen exponiert gewesen sein. Eine signifikante Reduktion des Längenwachstums wurde bei Kindern festgestellt, die mindestens 75% ihrer Kindheit dort verbracht hatten. Es wurde ein Zusammenhang zwischen einer zunehmenden Lebenszeitexposition und einer Minderung des Längenwachstums beschrieben. Ein direkter Zusammenhang zwischen der Wohnnähe und den Belastungspfaden wurde nicht nachgewiesen [78].

### 2.3 Maligne Erkrankungen

Eine potentielle Erhöhung der Häufigkeit maligner Erkrankungen in der Love Canal Region wurde durch Janerich et al. untersucht. Anhand der über 80 detektierten Stoffe (zum Beispiel des Kanzerogens Benzol) wurden wahrscheinliche assoziierte Krebserkrankungen abgeleitet. Ein Vergleich der Standardisierten Inzidenzraten (SIR) für 25 Einzugsgebiete zeigte keine Erhöhung der assoziierten Erkrankungen Leberkrebs, Leukämien oder Lymphome. Mit Ausnahme von Atemwegskrebs wurde keine signifikante Erhöhung der untersuchten Krebslokalisationen gefunden. Unsichere Latenzzeiten sowie eine kleine Studienpopulation könnten die Aussagekraft der Studie einschränken.

Weitere Studien untersuchen eine mögliche Erhöhung von malignen Erkrankungen bei der Bevölkerung in der Nähe von Deponien. In vielen Studien wurden signifikante Erhöhungen von Krebsfällen in der Nähe von Deponien aufgezeigt [80-85].

Inzidenz- und Mortalitätsraten verschiedener Lokalisationen um das Castlereagh-Regional-Mülldepot, Australien verglichen mit der Region New South Wales waren in der Bevölkerung höher als erwartet [81]. Eine signifikant erhöhte Inzidenz wurde für die Lokalisation Hirntumor nachgewiesen. Betrachtungen kürzerer Zeitperioden verzeichnete zusätzlich signifikante Erhöhungen von Brust- und Uteruskrebs. Die Inzidenz aller Lokalisationen war nicht signifikant verschieden gegenüber den Erwartungswerten. Bei der Analyse der Mortalitätsraten wurden keine signifikanten Unterschiede zur Erwarteten gefunden. Die Aussagekraft der Studie war ebenfalls durch kleine Fallzahlen limitiert.

Für den Zeitraum 1950-1979 wurden die Mortalitätsraten der Bevölkerung (N=39.000) um die Superfund Site in Clinton County, Pennsylvania (USA) untersucht. Das Gebiet war mit  $\beta$ -Naphthylamin, Benzol und Benzidin kontaminiert. Signifikante Zunahmen der Mortalität wurden für die Krebslokalisationen: Blase, Speicheldrüse- und Knochen bei Männern und Uterus-, Larynx-, Rektal-, Brustkrebs und bei den Frauen sowie die Gruppe der anderen Lymphome (ICD-9 200, 202) bei beiden Geschlechtern [80].

Der Einfluss auf das Krebsrisiko aufgrund der Wohnnähe der Menschen zu der Deponie Miron Quarrel (kommunale Feststoffdeponie in Montreal, Quebec Canada) wurde von Goldberg et al. untersucht [84]. Eine Untergliederung der Wohngebiete erfolgte in vier Expositionszonen. Diese wurden in Entfernung zur Deponie als „hoch“, „mittel“ und „niedrig“ eingestuft. Die Expositionszone „hoch“ wurde des Weiteren in zwei überlappende Subzonen

unterteilt, um den vorherrschenden Windrichtungen Rechnung zu tragen. Ein erhöhtes Risiko wurde für Pankreaskrebs, Leberkrebs und Prostatakrebs in der Expositionszone „hoch“ nachgewiesen. In der Subzonen „hoch“ in Windrichtung der Deponie wurde ebenfalls ein erhöhtes Risiko für Pankreaskrebs und für Non-Hodgkin-Lymphome aufgezeigt. Anhand der vorliegenden Daten wurde gezeigt, dass die in der Nähe der Deponie lebende Bevölkerung einem erhöhten Risiko für Leberkrebs, Nierenkrebs und Pankreaskrebs und Non-Hodgkin-Lymphome ausgesetzt ist. Durch Betrachtung der Hauptwindrichtung gewinnen die ökologischen Analysen an Plausibilität, da festgestellt werden konnte, dass die Bevölkerung in Windrichtung von der Deponie einer vergleichsweise höheren Exposition gegenüber Biogasen ausgesetzt war als die entgegengesetzt der Windrichtung wohnende Bevölkerung.

Ein genereller Nachteil der bisher genannten Studien sind die geringen Fallzahlen und Populationsgrößen. Die statistische Aussagekraft der Studien ist eingeschränkt (z.B. eine zu kleine statistische Power).

Studien in denen größere Populationen betrachtet werden, wurden unter anderem vom Griffith et al. und Najem et al. durchgeführt. Es handelt sich um multi-site Studien, in denen jeweils mehrere Deponien Untersuchungsgegenstand sind. Die meisten dieser Deponien sind auf der National Priority List der USA aufgeführt. Die National Priority List (NPL) umfasst Deponien, Betriebe und andere Orte, durch die gefährliche Substanzen, Schadstoffe oder Fremdstoffe freigesetzt werden oder freigesetzt werden können. Diese Liste wird durch die Environmental Protection Agency (EPA) gepflegt [86].

Griffith et al. betrachten 593 Sondermülldeponien in 339 Bezirken in insgesamt 49 Staaten der USA, für die Beweise einer Grundwasserkontamination existierten [83]. Für jeden Bezirk wurden für 13 verschiedene Krebslokalisationen über den Zeitraum von 1970-1979 die altersstandardisierten Mortalitätsraten berechnet. Eine signifikante Erhöhung der Mortalität konnte für Lungenkrebs, Blasenkrebs, Ösophaguskrebs, Magenkrebs, Dickdarmkrebs und Mastdarmkrebs für männliche Weiße und Lungenkrebs, Brustkrebs, Blasenkrebs, Magenkrebs, Dickdarmkrebs und Mastdarmkrebs für weibliche Weiße nachgewiesen werden.

Sowohl Budnick et al. [80] als auch Griffith et al. [83] geben in ihren Arbeiten zu bedenken, dass neben der Deponie auch andere Expositionsquellen in Frage kommen. Die erhöhte Anzahl der Krebsfälle könnte auf einer möglichen Exposition der Menschen während der Arbeit in den Fabriken beruhen. Beispielsweise sind Blasenkrebsfälle bei Männern mit einer beruflichen Exposition, unter anderem in der Farb- und Gummiindustrie, der elektrischen Kabelherstellung und der Lederindustrie, assoziiert. Die Autoren stellen heraus, dass eine berufliche Exposition gegenüber Asbest, Metallstäuben und Kohlebergbau eine Rolle bei der Entstehung von Magenkrebs spielt. Eine berufliche Exposition gegenüber Asbest und andere Faktoren, wie Ernährung, spielen eine entscheidende Rolle bei der Entstehung von Dickdarm- und Mastdarmkrebs.

Der Studie von Najem et al. liegt die Vermutung zugrunde, dass im Staat New Jersey, USA, eine ungewöhnlich hohe Krebsmortalität vorlag. Für den Zeitraum von 1968 bis 1977 wurden

altersstandardisierte Mortalitätsraten für insgesamt 13 Krebslokalisationen berechnet. In dieser Studie wurden die Krebsmortalitäten der Bevölkerungen von 194 Gemeinden, mit jeweils mindestens 10.000 Einwohnern (in 21 Landkreisen) mit der Krebsmortalität der Gesamtbevölkerung der USA verglichen. Die Mortalitätsraten auf Gemeindeebene wurden unter anderem mit der Verteilung von chemisch-toxischen Mülldeponien korreliert. Krebsmortalitätscluster wurden in 23 Gemeinden (10 Landkreise) beobachtet. In diesen Clustern lagen 98 altersstandardisierte Krebsmortalitätsraten mindestens 50% über der als Vergleich hinzugezogenen nationalen Mortalitätsrate. Von diesen 98 waren 72% dem Gastrointestinaltrakt (Magen, Rektum, Kolon) und 28% Larynx, Blase, Uterus, Eierstöcken und Brust zuzuordnen. Die meisten der betroffenen 23 Gemeinden befanden sich in den hoch industrialisierten, dicht besiedelten Gebieten des nordöstlichen Teils des Staates New Jersey. Es konnten signifikante Zusammenhänge zwischen den Deponien und der Krebsmortalität in einer oder mehreren Subpopulationen bei den Krebslokalisationen Ösophagus, Magen, Kolon, Rektum, Larynx, Lunge, Uterus und Gebärmutterhals festgestellt werden [82]. Es konnten keine Erklärung für die erhöhten Mortalitätsraten von Magen-, Kolon- und Rektalkrebs gefunden werden. Es ist jedoch möglich, dass eine Erhöhung der Mortalitätsraten auf eine Aufnahme von Kanzerogenen und kanzerogenen Promotoren aus industriellen Abfällen oder auf den Betrieb der Deponien zurückzuführen sein könnte.

Andere Publikationen finden keine signifikant erhöhten Raten an Krebsfällen in der Nähe von Deponien [87]. Der Schwerpunkt der Untersuchungen von Polednak et al. ist das Auftreten von Lungenkrebs bei Anwohnern des Bezirks Niagara, im Staat New York, USA. Es wurden 9 Bevölkerungsgebiete, auf denen insgesamt 12 Mülldeponien für toxische Abfälle mit bekannten oder vermuteten Lungenkanzerogenen existieren, betrachtet. Die auf den einzelnen Deponien nachgewiesenen Lungenkanzerogene umfassen unter anderem Chromkomponenten, Asbest, Arsen, Steinkohleteer, Nickel, Vinylchlorid sowie ionisierende Strahlung von Uranoxiden und Radium. In dieser Fall-Kontroll-Studie wurden 339 an Lungenkrebs Verstorbene und 676 gematchte Kontrollen für den Zeitraum zwischen 1978-1981 bezüglich ihres Wohnortes miteinander verglichen. Es wird gezeigt, dass kein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Lungenkrebs und einem Wohnsitz in Deponienähe besteht. Lediglich bei einem einzelnen Gebiet mit einer Vinylchlorid-belasteten Deponie traten erhöhte Odds Ratios auf. In der Diskussion wird herausgestellt, dass eine tatsächliche Exposition der Fälle und Kontrollen bezüglich der Fremdstoffe der 12 Mülldeponien nicht bekannt war. Es wird betont, dass die durchgeführte Fall-Kontroll-Studie wegen des Fehlens von potentiellen Expositionsdaten der Bevölkerung, wie z.B. die Migration der Chemikalien im Boden, nur eine vorläufige Näherung darstellt. Die negativen Befunde sind somit mit Vorsicht zu betrachten.

Eine große deutsche epidemiologische Fall-Kontroll-Studie wurde 1995 am Bremer Institut für Präventionsforschung und Sozialmedizin durchgeführt [88]. Die Basis der Studie bildeten zwei zuvor durchgeführte retrospektive Studien, in denen die Inzidenz an Leukämien, malignen Lymphomen und multiplen Myelomen mit der Fragestellung nach einer statistisch bedeutsamen Erhöhung der Leukämiehäufigkeit in der Nähe der ehemaligen Sondermülldeponie Münchenhagen ermittelt wurde. Durch Beobachtungen eines niedergelassenen

Arztes war hier der Verdacht aufgekommen, durch mögliche Emissionen der Deponie könnte eine Erhöhung der Leukämiehäufigkeit gegeben sein. Aus den Ergebnissen beider Studien konnte nicht geschlossen werden, ob die in einzelnen Gemeinden und in den Landkreisen erhöhten Inzidenzen auf vermutete Emissionen der Deponie oder andere Faktoren zurückzuführen sind.

In der retrospektive Fall-Kontroll-Studie wurde nach einem ursächlichen Zusammenhang zwischen der erhöhten Inzidenzrate an Leukämien, malignen Lymphomen und multiplen Myelomen in der Umgebung der Deponie Münnehagen und möglichen Emissionen der Deponie gesucht. Hauptrisikofaktor war die Wohnnähe zur Deponie und die Wohndauer. Ziel war zu klären ob dieser Risikofaktor zu einem Leukämieerkrankungsrisiko beiträgt und welchen Einfluss verschiedene andere Risikofaktoren auf das Erkrankungsrisiko haben. Die Autoren führen zunächst alle, für die Einzeldiagnosen von Leukämien bekannten und relevanten Risikofaktoren auf. Für jede Person (Fall oder Kontrolle) wurde das Vorhandensein vermuteter Risikofaktoren bestimmt. Ein Vergleich zwischen beiden Gruppen ermöglichte die Feststellung, ob ein Risikofaktor zum Erkrankungsrisiko beiträgt.

Die Deponie liegt im dünnbesiedelten Gebiet. Die minimale mittlere Wohnentfernung betrug 3,6km. In einem Umkreis von 5km wohnten 20 Probanden, innerhalb von 7km 44 Probanden und innerhalb von 10km 130 Probanden. Die Ergebnisse zeigten für sämtliche Leukämien und die Kombination beider Geschlechter eine signifikante Zunahme der Risikoerhöhung mit zunehmender Wohnnähe. In unmittelbarer Nähe zur Deponie traten die höchsten Erkrankungsrisiken für sämtliche Leukämien sowie für chronisch-lymphatische und chronisch-myeloische Leukämien, wenn beide Geschlechter zusammen analysiert wurden, auf. Männer und Frauen weisen jedoch „stark divergierende Trends in den Risikoerhöhungen in verschiedenen Abstandsbereichen zur Deponie auf“. In Bezug auf andere Diagnosen konnte bei der Beschäftigung in der Landwirtschaft (teilweise begründet durch Umgang mit Herbiziden, Insektiziden und Fungiziden) ein erhöhtes Risiko gefunden werden, „das umso größer ist, je länger man dort arbeitet“. Für verschiedene Berufsgruppen und Branchen konnten bei verschiedenen diagnostischen Gruppen erhöhte Krankheitsrisiken identifiziert werden. Ein Zusammenhang zwischen den untersuchten Diagnosen und Rauchen konnte nicht gezeigt werden. Die Autoren weisen darauf hin, dass im Rahmen der Studie nur regional Häufungen zu ermitteln waren. Weiterhin wird das Fehlen valider Daten über die Einlagerungen in der Deponie sowie über mögliche Emissionen als „unbefriedigend“ angesehen, so dass ersatzweise die Wohnnähe zur Deponie herangezogen wurde. Die Autoren schlussfolgerten, „dass eine Beeinflussung des Erkrankungsrisikos durch die Nähe von Deponien nicht ausgeschlossen, aber auch nicht als bewiesen angesehen werden kann“.

### **3 ZUSAMMENFASSENDE INTERPRETATION EPIDEMIOLOGISCHER DEPONIE-STUDIEN**

#### **3.1 Potentiale und Limitationen epidemiologischer Studien**

Umweltepidemiologische Studien können unter Umständen in der Durchführung und der späteren Interpretation mit allgemeinen Problemen behaftet sein. Ein generelles Problem

von Studien zu malignen Erkrankungen sind die langen Latenzzeiten zwischen der Exposition und der klinischen Manifestation von Krebs. Die Latenzzeit kann, abhängig von der Krebslokalisierung zwei Jahren (Lymphome) bis über 20 Jahre betragen. Viele Studien betrachten zumeist nicht einen genügend langen Zeitraum, um die Latenzzeit vollständig einzuschließen. Dies reduziert die Power der Studie. Zudem sind Langzeiteffekte schwer zu finden. Des Weiteren können, insbesondere in Hinblick auf Bevölkerungsstudien, aufgrund langer Latenzzeiten eine nicht zu unterschätzende Anzahl von Menschen zwischenzeitlich umgezogen sein. Der Umzug kann entweder in das Untersuchungsgebiet oder aus dem exponierten Gebiet erfolgen.

In vielen Studien liegen keine oder nur unzureichende Informationen über eine potentielle menschliche Exposition vor. Obwohl Deponien sehr weit verbreitet sind, wurden nur wenige in Bezug auf die Art der Chemikalien und das Ausmaß der freigesetzten Emissionen bewertet. Führend ist in den USA das so genannte Superfund Programm. Des Weiteren ist wenig über das Ausmaß der Exposition von Anwohnern in der Nähe von Deponien bekannt. Nur wenige Studien haben verschiedene Substanzen im Blut und im Urin gemessen. Im Allgemeinen wurde keine Zunahme von flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs), Blei, polyzyklische aromatische Biphenyle (PCBs) im Blut der Anwohner gefunden. In umweltepidemiologischen Studien fehlt zumeist die Kenntnis der Konzentration der Substanzen im Blut der Probanden. Die Exposition wird in epidemiologischen Studien daher hauptsächlich auf Ersatzmessungen, wie z.B. Wohnnähe in einem Gebiet dicht an der Deponie oder der Abstand des Wohnortes von der Deponie bezogen. Dies kann zu einer Fehlklassifikation der wahren biologisch relevanten Exposition führen und somit die Sensitivität der Studie einen wahren Effekt zu finden, mindern. Sind die Anwohner gegenüber Stoffen von Deponien exponiert, so sind dies im Allgemeinen multiple Substanzen, die in niedrigen Dosen über einen langen Zeitraum auftreten. Diese sind naturgemäß schwer zu bewerten. In vielen Studien sind die exakten Routen der Exposition unbekannt. Die Wanderung von gefährlichen Substanzen in Böden, das Grund- und Oberflächenwasser sind oft eine wichtige umweltbedingte Besorgnis in Bezug auf Deponien. Allerdings stammt in vielen dieser Untersuchungen die Trinkwasserzufuhr nicht von der lokalen Umgebung. Deponien können des Weiteren die Quelle von luftübertragenen chemischen Schadstoffen durch die Migration von Gasen und Stäuben sein. Allerdings gilt auch hier zu beachten, dass nur wenig über die Wahrscheinlichkeit der Luftexposition durch Deponiegase bekannt ist. In wenigen Studien wurden VOC in Innenräumen von Häusern in der Nähe von Deponien [78,79,89-91], in der Außenluft in deponieumgebenen Gebieten [54,73,92,93] berichtet. Ein weiterer Expositionspfad stellt die Kontamination der Nahrungskette dar. Diese ist relevant für den Fall des Konsums von Produkten aus dem eigenen Anbau. Kontaminiertes Trinkwasser ist nur dann eine mögliche Route, wenn das Wasser lokal entnommen wird, was hierzulande selten der Fall ist. Bei der Nutzung von Hausbrunnen zur Trinkwassergewinnung ist eine Inhalation von verdampften VOCs und/oder ein direkter Kontakt möglich.

### 3.2 Schlussfolgerungen aus der publizierten Fachliteratur

Die Sichtung der international publizierten Fachliteratur lässt die folgenden Schlussfolgerungen zu:

Die Mechanismen der Kanzerogenese sind trotz intensiver Forschung bis heute noch nicht vollständig geklärt. Ein Großteil der Krebserkrankungen wird vermutlich durch ein multiples Einwirken kanzerogener Umweltfaktoren verursacht. Für einige Krebslokalisationen konnten Risikofaktoren und initiiierende Faktoren nachgewiesen oder charakterisiert werden (Tabelle 3). Allerdings ist die Ätiologie der meisten Krebsformen bislang erst unzureichend aufgeklärt. Den chemischen Kanzerogenen ist eine besondere Rolle zuzusprechen. Eine Exposition gegenüber chemischen Kanzerogenen kann über die Luft, das Trinkwasser, die Nahrung und am Arbeitsplatz erfolgen. Einige Berufsgruppen (z.B. Beschäftigte der Gummi-Industrie [94], der Farbindustrie [95], der Herstellung und Verpackung von Pestiziden [96] und Bergleute [53,97]) sind beispielsweise einem erhöhten Risiko ausgesetzt.

Eine Exposition von Beschäftigten auf Deponien, insbesondere Deponien für besonders überwachungsbedürftige Abfälle, gegenüber chemischen Kanzerogenen wurde in epidemiologischen Studien bislang nur unzureichend untersucht. Kanzerogene entstehen hauptsächlich bei anaeroben Abbauprozessen innerhalb des Deponiekörpers. Zu den häufigsten in epidemiologischen Studien nachgewiesenen Kanzerogenen auf Deponien zählen unter anderem Trichlorethylen [98], Benzol [28] und Vinylchlorid [21,99]. Flüchtige organische Verbindungen (VOCs) konnten zumeist in Umgebungsstudien in der Luft von Innenräumen [78,79,89-91] und in der Umgebungsluft von Deponien [54,73,92,93] nachgewiesen werden.

In vielen Studien waren die Einwohner über potentielle Wanderungen gefährlicher Substanzen von Deponien in das Grund- und Trinkwasser besorgt. Allerdings stammt in vielen der Studien die Trinkwasserversorgung der Bevölkerung nicht aus der lokalen Umgebung. Sind Grund- oder Oberflächenwasser kontaminiert, kann eine Emission über verdampfende VOCs oder durch direkten Kontakt erfolgen. Eine mögliche Gefahr besteht, falls Menschen einem direkten Kontakt mit kontaminierten Böden oder kontaminierten Oberflächenwasser ausgesetzt sind. Eine Kontamination von Nahrungsmitteln ist relevant, wenn Produkte aus der lokalen Umgebung oder aus dem eigenen Anbau konsumiert werden.

In vielen epidemiologischen Studien wurde der Einfluss von Deponieemissionen auf die Gesundheit der Bevölkerung anhand von Chromosomenaberrationen, reproduktiver Parameter und dem Auftreten von Krebserkrankungen untersucht. Ein Großteil der publizierten Studien findet (teilweise statistisch signifikant) erhöhte Krebsinzidenzen. Die am häufigsten in der internationalen Fachliteratur beschriebenen Krebslokalisationen sind Bronchien und Lunge, der Gastrointestinaltrakt, Pankreas, Blase, Leber und Lymphome.

## 4 ARBEITSPLATZBEZOGENE UND UMGEBUNGSBEZOGENE SCHADSTOFFPFADE

Mögliche Gesundheitsgefährdungen durch Deponien ausgehend von Emissionen führen in der Bevölkerung häufig zu Besorgnissen und oft zu einem Widerstand gegen die Errichtung, die Erweiterung oder den allgemeinen Betrieb einer solchen Anlage. Es werden Bedenken in Bezug auf die Umwelthygiene, mögliche Verwehungen von Keimen und Sporen, sowie das Auftreten von Ungeziefer und Vögeln geäußert [57]. Am wichtigsten sind jedoch Befürchtungen über gesundheitsgefährdende Emissionen von toxischen Substanzen über den Luftpfad und eine mögliche Kontamination des Grundwassers durch das Deponiesickerwasser. Die Bundesärztekammer stuft in einer allgemeine Einschätzung der Gesundheitsgefährdung der Bevölkerung durch Deponien rekultivierte Deponienflächen in Hinsicht auf mögliche Deponiegasemissionen bei Menschen, die sich über längere Zeit dort aufhalten, als mögliche Gesundheitsgefährdung ein [100].

Mit der Umsetzung der Technischen Anleitung Siedlungsabfälle (TASI) [5] wird die Ablagerung schwer definierbarer Mischungen hygienisch bedenklicher, mikrobiell zersetzbarer und mit anorganischen Stoffen belasteter Abfälle grundlegend geändert. Zukünftig dürfen nur noch vorbehandelte Abfälle auf Deponien verbracht werden. Mit der TASI soll erreicht werden, dass Emissionen aus Deponien, die zu mittelbaren und unmittelbaren Gesundheitsgefährdungen des Menschen führen können, weitestgehend minimiert werden. Systeme zur Eindämmung und Vermeidung von Deponieemissionen werden weiterhin entwickelt und verbessert, so dass heute Deponien mit sehr hohen (sicherheits-) technischen Anforderungen betrieben werden können. Alt-Deponien sind entsprechend den Auflagen der TASI - wenn möglich – nachzurüsten oder nach einer Übergangszeit vom Betrieb auszuschließen.

Für eine Beurteilung möglicher Umweltbelastungen, und/oder Gesundheitsgefährdungen sind somit Emissionen von Deponiegas, Gerüchen und Sickerwasser sowie andere Belastungen, wie Lärm, Siedlungsungeziefer, Vögel und Mikroorganismen (Pilze, Bakterien und Viren) zu beachten.

### 4.1 Gasförmige Emissionen

Deponiegase entstehen bei der Zersetzung der organischen Substanzen des Deponieabfalls durch Mikroorganismen bei Temperaturen von 40°C bis 70°C und sind in ihrer Zusammensetzung sehr heterogen. Der Deponiekörper stellt hierbei die Hauptemissionsquelle dar. Bei der Zersetzung des Abfalls entstehen hauptsächlich Wasser (H<sub>2</sub>O), Kohlendioxid (CO<sub>2</sub> bis zu 45%), Stickstoff (N<sub>2</sub>) und Methan (CH<sub>4</sub> bis zu 55%). Im Laufe mehrerer Jahrzehnte kann eine theoretisch mögliche Gasproduktion von 205 m<sup>3</sup> Methan und 170 m<sup>3</sup> Kohlendioxid je Tonne organischer Substanz (200 kg Kohlenstoffgehalt) entstehen [101]. Während der Abbauprozesse entstehen ebenfalls geruchsintensive Stoffe (zum Beispiel schwefelhaltige Verbindungen, Terpene, Amine, Aldehyde und Ester), welche bereits weit unterhalb der toxischen Konzentration belästigend sein können. Außerdem können potentiell toxische Stoffe (zum Beispiel halogenierte Verbindungen, monozyklische Aromate und sauerstoffhaltige Verbindungen) und kanzerogene Substanzen (zum Beispiel

Benzol und Vinylchlorid) (Tabelle 4 und Tabelle 5). Die neben den Hauptkomponenten vorhandenen und entstehenden Begleitstoffe werden in der anaeroben Phase zusammen mit dem Methan ausgetrieben. In den heute üblichen Gaserfassungssystemen werden die Begleitstoffe nur unvollständig erfasst. Im Deponiegas nachweisbar sind chlorhaltige, fluorhaltige und schwefelhaltige Komponenten. Die Ausbreitung der Gase erfolgt durch Druck- und Konzentrationsdifferenzen. Daher ist eine wirksame Absaugung der Gase über Gaserfassungsbrunnen erforderlich. Erfolgt diese nicht, werden die Gase aus dem Deponiekörper, durch Spalten, Rohre und lockere Zonen herausgedrückt. Dies betrifft insbesondere die bei aeroben Abbauprozessen in den oberen Schichten entstehenden geruchsintensiven Stoffe. Generell können Geruchsemissionen nicht völlig unterbunden werden, da eine vollständige Erfassung des Deponiegases technisch nicht möglich ist [102]. Deponiegas wird in Gut- und Schlechtgas getrennt abgesaugt. Die Vorteile sind die Verhinderung von Vegetationsschäden, eine Vermeidung von Geruchsbelästigungen durch Gasaustritte und – migration, eine Vorsorge gegen die Bildung explosionsgefährlicher Gemische (die untere Zündgrenze von Methan liegt bei 5 Vol%) und eine Nutzung der vorhandenen Energie durch Verbrennung in speziellen Fackeln. Bei einer unvollständigen Verbrennung können jedoch aus wenig toxischen Stoffen neue, unter Umständen toxische Stoffe synthetisiert werden (zum Beispiel Furane und Dioxine). Für die gesundheitliche Bewertung der gasförmigen Emissionen aus Deponien jeglicher Klasse sind Erfassung und Identifizierung toxikologisch relevanter Einzelsubstanzen in den Deponiegasen unerlässlich.

Eine weitere mögliche inhalative Exposition kann über Stäube erfolgen. Erhöhte Staubbelastungen können bei Ablagerung feinkörniger Materialien entstehen. Insbesondere sind Vorsichtsmaßnahmen bei der Deponierung von Materialien mit krebserzeugenden Fasern (zum Beispiel Asbest in BigBags) zu beachten.

In erster Linie ist das Deponiebetriebspersonal dem Deponiegas ausgesetzt. Durch die Umgebungsluft kann jedoch für eine Exposition eine erhebliche Verdünnung des Deponiegases angenommen werden [103]. Messungen ergaben bereits an der Deponieoberfläche eine Verdünnung des Methans um den Faktor 1000 bis 10000. In der bereits zitierten Stellungnahme der Bundesärztekammer [100] wird festgestellt, dass „unter der Annahme einer 1000 fachen Verdünnung für die Einzelkomponenten zeigt ein Vergleich mit den MAK- oder TRK-Werten, dass in der Atemluft des Deponiebetriebspersonals sämtliche MAK-oder TRK-Werte unterschritten werden“ [100].

Konzentrationen für Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz, bei denen im Allgemeinen die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht beeinträchtigt wird (Maximal Arbeitsplatzkonzentration MAK) sowie die nach Stand der Technik erreicht werden kann (Technische Richtkonzentration TRK), werden vom Ausschuss für gefährliche Stoffe festgelegt [104]. TRK-Werte wurden für krebserzeugende, -verdächtige und erbgutverändernde Stoffe, für die kein MAK-Wert angegeben werden darf, angeführt. Mit Novellierung der Gefahrenstoffverordnung sind 2005 alle TRK-Werte außer Kraft getreten [105]. In Tabelle 4 sind die Deponiegaskomponenten mit MAK-Werten [104] und TRK-Werten (2001) [106] und den Gesundheitsbeeinträchtigungen bei Kurz- und Langzeitexposition aufgeführt.

Die beschriebenen Prozesse sind angesichts des eingelagerten Materials (Siedlungsabfälle, etc.) ebenfalls für die Deponie Ihlenberg anzunehmen. Hingegen liegen keine genauen Kenntnisse zu der Zusammensetzung der Stoffe vor. Es ist damit zu rechnen, dass aufgrund der natürlichen biochemischen Vorgänge im Deponiekörper Gasemissionen in großem Umfang auftreten. Somit kann eine umfangreiche Exposition der Beschäftigten und der deponienahen Bevölkerung gegenüber gesundheitsgefährdenden Stoffen, insbesondere Kanzerogenen, nicht primär ausgeschlossen werden. Maßgeblich für das Ausmaß der Exposition sind die emittierten Volumina, die spezifische Zusammensetzung der emittierten Gase und Umgebungsfaktoren, die die Emission beeinflussen können. Dieses sind zum Beispiel expositionsseitig die Verdünnung (Verdünnungsfaktoren) sowie beschäftigtenseitig die Aufenthaltszeiten, Arbeitsabläufe, Arbeitsschutzmaßnahmen, etc. Ausführlicher wird dieses in den in Kapitel 5 dargestellten Befunden und Gutachten vertieft.

Tabelle 4.: MAK- und TRK-Werte, Expositionspfad und Wirkung bei Kurz- und Langzeitexposition der gängigsten Deponiegaskomponenten [104,106,107].

Komponente	CAS Nr.	MAK-Wert		TRK-Wert		Exposition	Wirkung bei	
		ml/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	ml/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>		bei Kurzzeitexposition	Wiederholte oder Langzeitexposition
Ammoniak	7664-41-7	20	14	-	-	inhalativ, dermal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verätzt Augen, Haut und Atemwege</li> <li>• Lungenödem bei hoher Konzentration</li> <li>• Erfrierungen bei schneller Verdampfung</li> </ul>	k.A.
Kohlendioxid	124-38-9	5000	9100	-	-	inhalativ, dermal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hyperventilation und Bewusstlosigkeit bei hohen Konzentrationen</li> <li>• Erfrierungen bei schneller Verdampfung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mögliche Auswirkungen auf den Stoffwechsel</li> </ul>
Kohlenmonoxid	630-08-0	30	35	-	-	inhalativ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effekte auf Blut, Herz-Kreislaufsystem und Zentralnervensystem</li> <li>• Bewusstseinsbeeinträchtigung und Tod bei hohen Konzentrationen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effekte auf Nerven- und Herz-Kreislaufsystem</li> <li>• Nerven- und Herzfunktionsstörungen</li> <li>• Verdacht auf fortpflanzungsschädigende Wirkung wie neurologische Probleme, geringes Geburtsgewicht, erhöhte Totgeburtswahrscheinlichkeit und angeborene Herzprobleme</li> </ul>
Sauerstoff	7782-44-7	-	-	-	-	inhalativ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reizung der Atemwege bei hohen Konzentrationen</li> <li>• mögl. Auswirkungen auf Zentralnervensystem, Augen und Lunge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risiko der Lungenschädigung bei Inhalation hoher Konzentration</li> </ul>
Schwefelwasserstoff	7783-06-4	5	7,1	-	-	inhalativ, dermal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reizung der Augen und Atemwege</li> <li>• mögl. Auswirkungen auf das ZNS</li> <li>• kann zu Bewusstlosigkeit und Tod führen</li> <li>• kann Lungenödem verursachen</li> <li>• Erfrierungen bei schneller Verdampfung</li> </ul>	k.A.
Stickstoff	7727-37-9	-	-	-	-	inhalativ	k.A.	k.A.
Wasserstoff	1333-74-0	-	-	-	-	inhalativ, dermal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erstickungsgefahr durch Sauerstoffverdrängung</li> </ul>	k.A.
Argon	7440-37-1	-	-	-	-	inhalativ, dermal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erstickungsgefahr</li> <li>• Erfrierungen (Flüssigkeit)</li> </ul>	k.A.
<b>Aromaten</b>								
Benzol*	71-43-2	-	-	1	3,2	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>• reizt Augen, Haut und Atmungsorgane</li> <li>• bei Verschlucken Aufnahme in die Lunge (Gefahr der Aspirationspneumonie)</li> <li>• mögl. Effekte auf das ZNS</li> <li>• Bewusstseinsbeeinträchtigung</li> <li>• Bewusstlosigkeit und Tod bei Expositionen weit oberhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flüssigkeit entfettet die Haut</li> <li>• mögl. Effekte auf Knochenmark und Immunsystem</li> <li>• Abnahme der Blutzellen</li> <li>• krebserzeugend (Kategorie 1) [104]</li> </ul>
Ethylbenzol*	100-41-4	-	-	-	-	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>• reizt Augen, Haut und Atemwege</li> <li>• bei Verschlucken Aufnahme in die Lunge (Gefahr der Aspirationspneumonie)</li> <li>• mögl. Auswirkungen auf das ZNS</li> <li>• Bewusstseinsbeeinträchtigung bei Expositionen weit oberhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dermatitis bei wiederholtem oder andauerndem Hautkontakt</li> <li>• möglicherweise krebserzeugend (Kategorie 3A) [104]</li> </ul>
Toluol	108-88-3	50	190	-	-	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>• reizt Augen und Atmungsorgane</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flüssigkeit entfettet die Haut</li> </ul>

Komponente	CAS Nr.	MAK-Wert		TRK-Wert		Exposition	Wirkung bei	
		ml/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	ml/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>		bei Kurzzeitexposition	Wiederholte oder Langzeitexposition
							<ul style="list-style-type: none"> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS</li> <li>bei Verschlucken Aufnahme in die Lunge (Gefahr der Aspirationspneumonie)</li> <li>Bewusstlosigkeit und Herzrhythmusstörungen bei Expositionen weit oberhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS</li> <li>durch Lärmeinwirkungen verursachte Hörschäden können verstärkt werden</li> <li>möglicherweise fruchtbarkeitsschädigend oder entwicklungsschädigend</li> </ul>
Xylol	1330-20-7	100	440	-	-	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>reizt Augen und Atmungsorgane</li> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS</li> <li>bei Verschlucken Aufnahme in die Lunge (Gefahr der Aspirationspneumonie)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flüssigkeit entfettet die Haut</li> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS</li> <li>durch Lärmeinwirkungen verursachte Hörschäden können durch verstärkt werden</li> <li>mögl. fruchtbarkeitsschädigend oder entwicklungsschädigend</li> </ul>
<b>Alkane, Alkene</b>								
Ethan	74-84-0	-	-	-	-	inhalativ, dermal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erfrierungen bei schneller Verdampfung</li> </ul>	k.A.
Ethen*	74-85-1	-	-	-	-	inhalativ	<ul style="list-style-type: none"> <li>kann zu Bewusstseineintrübungen führen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>möglicherweise krebserzeugend (Kategorie 3B) [104]</li> </ul>
Heptan	142-82-5	500	2100	-	-	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flüssigkeit reizt Augen und Haut</li> <li>Dampf reizt Augen, Haut und Atemwege</li> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS</li> <li>bei Verschlucken Aufnahme in die Lunge (Gefahr der Aspirationspneumonie)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flüssigkeit entfettet die Haut</li> <li>mögl. Auswirkungen auf die Leber mit nachfolgenden Funktionsstörungen</li> </ul>
Methan	74-82-8	-	-	-	-	inhalativ, dermal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erfrierungen bei schneller Verdampfung</li> </ul>	k.A.
Nonan	111-84-2	-	-	-	-	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substanz reizt Augen, Haut und Atemwege</li> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS</li> <li>bei Verschlucken Aufnahme in die Lunge (Gefahr der Aspirationspneumonie)</li> <li>Dampf kann zu Bewusstseineintrübung führen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flüssigkeit entfettet die Haut</li> </ul>
<b>Halogenverbindungen</b>								
Chlorethan*	75-00-3	-	-	9	25	inhalativ, dermal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substanz reizt leicht Augen, Haut und Atemwege</li> <li>Erfrierungen bei schneller Verdampfung</li> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS</li> <li>Bewusstlosigkeit, Herzrhythmusstörungen und Tod bei Expositionen weit oberhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>möglicherweise krebserzeugend (Kategorie 3B) [104]</li> </ul>
Chlorfluormethan*	593-70-4	0,5	1,4	-	-		<ul style="list-style-type: none"> <li>Substanz reizt Augen, Haut und Atmungsorgane</li> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS mit nachfolgender Bewusstseineintrübung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Risiko der Lungenschädigung</li> <li>Bronchitis</li> <li>mögl. Auswirkungen auf Leber und Niere</li> <li>wahrscheinlich krebserzeugend (Kategorie 2) [104]</li> </ul>
1,2-Dibromethan*	106-93-4	-	-	0,1	0,8	inhalativ, dermal	k.A.	<ul style="list-style-type: none"> <li>wahrscheinlich krebserzeugend (Kategorie 2) [104]</li> </ul>

Komponente	CAS Nr.	MAK-Wert		TRK-Wert		Exposition	Wirkung bei	
		ml/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	ml/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>		bei Kurzzeitexposition	Wiederholte oder Langzeitexposition
1,1 Dichlorethen*	75-35-4	2	0,8	-	-	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flüssigkeit reizt Augen, Haut und Atmungsorgane</li> <li>bei Verschlucken Aufnahme in die Lunge (Gefahr der Aspirationspneumonie)</li> <li>Bewusstseinstäubung bei Exposition hoher Konzentrationen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>mögl. Auswirkungen auf Leber und Niere</li> <li>Dermatitis bei wiederholtem oder andauerndem Hautkontakt</li> <li>möglicherweise krebserzeugend (Kategorie 3B) [104]</li> </ul>
1,2-Dichlorethan*	107-06-2	-	-	5	20	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dampf reizt Augen, Haut und Atemwege</li> <li>Inhalation des Dampfes kann zu Lungenödem führen</li> <li>mögl. Auswirkungen auf das ZNS, Niere und Leber mit nachfolgenden Funktionsstörungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dermatitis bei wiederholtem oder andauerndem Hautkontakt</li> <li>wahrscheinlich krebserzeugend (Kategorie 2) [104]</li> </ul>
Dichlormethan*	75-09-2	-	-	-	-	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substanz reizt Augen, Haut und Atmungsorgane</li> <li>Bewusstseinstäubung</li> <li>kann zur Bildung von Carboxyhämoglobin führen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dermatitis bei wiederholtem oder andauerndem Hautkontakt</li> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS und Leber</li> <li>möglicherweise krebserzeugend (Kategorie 3A) [104]</li> </ul>
Epichlorhydrin*	106-89-8	-	-	3	12	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substanz verätzt Augen, Haut und Atmungsorgane</li> <li>Ätzend bei Verschlucken</li> <li>Dampfinhalation kann zu Lungenödem und Asthma führen</li> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS, Niere und Leber</li> <li>Krämpfe, Nierenschäden, Leberschäden</li> <li>Tod bei Exposition hoher Konzentrationen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hautsensibilisierung bei wiederholtem oder andauerndem Hautkontakt</li> <li>mögl. Auswirkungen auf Niere, Leber und Lunge</li> <li>Funktionsstörungen</li> <li>wahrscheinlich krebserzeugend (Kategorie 2) [104]</li> <li>mögl. fruchtbarkeitschädigend oder entwicklungsschädigend (Tierversuch)</li> </ul>
Methylchlorid*	74-87-3	50	100	-	-	inhalativ, dermal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erfrierungen (Flüssigkeit)</li> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS</li> <li>Bewusstlosigkeit</li> <li>Schäden der Leber, Herzkreislaufsystem und Niere bei Exposition weit oberhalb des Arbeitsplatzgrenzwertes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS mit nachfolgenden Auswirkungen</li> <li>mögl. fruchtbarkeitschädigend oder entwicklungsschädigend (Tierversuch)</li> <li>möglicherweise krebserzeugend (Kategorie 3B) [104]</li> </ul>
1,1,2,2-Tetrachlorethan*	79-34-5	1	7,0	-	-	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substanz reizt Augen, Haut und Atemwege</li> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS; Niere und Leber mit nachfolgender Depression des ZNS und Funktionsstörungen</li> <li>Bewusstlosigkeit</li> <li>Tod</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flüssigkeit entfettet die Haut</li> <li>mögl. Auswirkungen auf das ZNS und Leber mit nachfolgenden Funktionsstörungen</li> <li>möglicherweise krebserzeugend (Kategorie 3B) [104]</li> </ul>
Tetrachlorethen*	127-18-4	-	-	-	-	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substanz reizt Augen, Haut und Atmungsorgane</li> <li>bei Verschlucken Aufnahme in die Lunge (Gefahr der Aspirationspneumonie)</li> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS</li> <li>Bewusstlosigkeit bei Exposition hoher Konzentrationen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dermatitis bei wiederholtem oder andauerndem Hautkontakt</li> <li>mögl. Auswirkungen auf Niere und Leber</li> <li>wahrscheinlich krebserzeugend (Kategorie 3B) [104]</li> </ul>

Komponente	CAS Nr.	MAK-Wert		TRK-Wert		Exposition	Wirkung bei	
		ml/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	ml/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>		bei Kurzzeitexposition	Wiederholte oder Langzeitexposition
Tetrachlorkohlenwasserstoff*	56-23-5	0,5	3,2	-	-	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substanz reizt Augen</li> <li>mögl. Auswirkungen auf Leber, Niere und ZNS mit nachfolgender Bewusstlosigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dermatitis bei wiederholtem oder andauerndem Hautkontakt</li> <li>möglicherweise krebserzeugend (Kategorie 4) [104]</li> </ul>
1,1,2-Trichlorethan	79-00-5	10	55	-	-	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>mögl. Auswirkungen auf Leber, Niere und ZNS mit nachfolgender Depression des ZNS, Leber- und Nierenschäden</li> <li>Bewusstlosigkeit bei Exposition hoher Konzentrationen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flüssigkeit entfettet die Haut</li> <li>möglicherweise krebserzeugend (Kategorie 3B) [104]</li> </ul>
Trichlorethen*	79-01-6	-	-	-	-	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substanz reizt Augen und Haut</li> <li>bei Verschlucken Aufnahme in die Lunge (Gefahr der Aspirationspneumonie)</li> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS, mit nachfolgendem Atemversagen</li> <li>Bewusstseinsstrübung bei Exposition</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dermatitis bei wiederholtem oder andauerndem Hautkontakt</li> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS, Leber und Niere</li> <li>Gedächtnisverlust</li> <li>krebserzeugend (Kategorie 1) [104]</li> </ul>
Trichlormethan (Chloroform)*	67-66-3	0,5	2,5	-	-	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flüssigkeit reizt die Augen</li> <li>mögl. Effekte auf das ZNS, Leber und Niere</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flüssigkeit entfettet die Haut</li> <li>mögl. Effekte auf Leber und Niere</li> <li>möglicherweise krebserzeugend (Kategorie 4) [104]</li> </ul>
Vinylchlorid*	75-01-4	-	-	2	5	inhalativ, dermal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gas reizt Augen</li> <li>Flüssigkeit kann Erfrierungen hervorrufen</li> <li>mögl. Auswirkungen auf das ZNS</li> <li>Bewusstseinsstrübungen bei Exposition</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>mögl. Auswirkungen auf Leber, Milz, Blut und periphere Blutgefäße, Fingergewebe und -knochen</li> <li>krebserzeugend (Kategorie 1) [104]</li> </ul>
<b>O-N-S-substituierte Kohlenwasserstoffverbindungen</b>								
Aceton	67-64-1	500	1200	-	-	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dampf reizt Augen und Atmungsorgane</li> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS, Leber, Niere und Magendarmtrakt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>wiederholter und anhaltender Hautkontakt kann Dermatitis hervorrufen</li> <li>mögl. Auswirkungen auf Blut und Knochenmark</li> </ul>
Acetaldehyd*	75-07-0	50	91	-	-	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substanz reizt Augen, Haut und Atmungsorgane</li> <li>mögl. Effekte auf ZNS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>wiederholter und anhaltender Hautkontakt kann Dermatitis hervorrufen</li> <li>mögl. Effekte auf die Atmungsorgane</li> <li>führt zu Gewebeschäden</li> <li>möglicherweise krebserzeugend (Kategorie 3B) [104]</li> </ul>
Ethylmercaptan	75-08-1	0,5	1,3	-	-	inhalativ, dermal, oral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substanz reizt Augen, Haut und Atemwege</li> <li>mögl. Auswirkungen auf ZNS mit nachfolgender Bewusstseinsstrübung und Atemdepression</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>k.A.</li> </ul>

Abkürzungen: \* Krebserzeugend oder möglicherweise Krebserzeugend (Kategorien nach [104] in der Spalte Langzeitexposition angegeben); k.A. keine Angabe; ml/m<sup>3</sup> Milliliter pro Kubikmeter; mg/m<sup>3</sup> Milligramm pro Kubikmeter, MAK Maximale Arbeitsplatzkonzentration, TRK Technische Richtkonzentration; CAS Nr. Chemical Abstract Service Registry Number

**Tabelle 5.: Komponenten des Deponiegases mit Bewertung der Kanzerogenität und der Konzentration im Deponiegas [100,102,108].** In der Übersicht ist die Einstufung jedes Stoffes als Kanzerogen durch die IARC (International Agency for Research on Cancer) und die DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) angegeben. Des Weiteren sind die in der Literatur gefundenen maximalen und mittleren Konzentrationen, bzw. der Geruchsschwellenwert der Stoffe im Deponiegas aufgeführt.

Komponente	chemische Formel	CAS Nr.	IARC	DFG [104]	IARC Referenz	maximale Konzentration des Stoffes im Gasgemisch (Minimum ist 0)				mittlere Konzentration		Geruchsschwellenwert in der Luft
						Referenz: [108]		Referenz: [102]		Referenz: [100]		
						Vol-%	ppm	Vol-%	ppm	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	7664-41-7	k.A.	k.A.	-		0,35		100			
Kohlendioxid	CO <sub>2</sub>	124-38-9	k.A.	k.A.	-	88		80				
Kohlenmonoxid	CO	630-08-0	k.A.	k.A.	-	2,8		3				
Sauerstoff	O <sub>2</sub>	7782-44-7	k.A.	k.A.	-	31,6		21				
Schwefelwasserstoff	H <sub>2</sub> S	7783-06-4	k.A.	k.A.	-		70		100	633	48	7 · 10 <sup>-4</sup>
Stickstoff	N <sub>2</sub>	7727-37-9	k.A.	k.A.	-	82,5		78				
Wasserstoff	H <sub>2</sub>	1333-74-0	k.A.	k.A.	-	3,6		3				
Argon	Ar	7440-37-1	k.A.	k.A.	-	0,01						
<b>sonstige Kohlenwasserstoffe (ohne Aromaten)</b>												
	C <sub>2</sub> – C <sub>11</sub>									50		
<b>Aromaten</b>												
Benzol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	71-43-2	1	1	[21,28]	0,08			15	4	2	30
Ethylbenzol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	100-41-4	2B	3A	[109]				10	20	11	120
Toluol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	108-88-3	3	k.A.	[110]				15	236	32	0,8
Xylol	m-	108-38-3		k.A.						20	19	2,3
	o-	95-47-6	3	k.A.	[110]					9	5	0,07
	p-	106-42-3		k.A.					15	20	19	2,2
<b>Halogenverbindungen</b>												
Chlorethan	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> Cl	75-00-3	3	3B	[34,110]							
Chlorfluormethan	CH <sub>2</sub> ClF	593-70-4	3	2	[110,111]							
1,2-Dibromethan	Br(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> Br	106-93-4	2A	2	[110]							
1,1 Dichlorethen	H <sub>2</sub> C=CCl <sub>2</sub>	75-35-4	3	3B	[110]				100	1	n.n.	200

Komponente	chemische Formel	CAS Nr.	IARC	DFG [104]	IARC Referenz	maximale Konzentration des Stoffes im Gasgemisch (Minimum ist 0)				mittlere Konzentration		Geruchsschwellenwert in der Luft	
						Referenz: [108]		Referenz: [102]		Referenz: [100]			
						Vol-%	ppm	Vol-%	ppm	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	
1,2-Dichlorethan	ClCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Cl	107-06-2	2B	2	[21,110]								
Dichlormethan	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	75-09-2	2B	3A	[110]					106	7	230	
Epichlorhydrin	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> ClO	106-89-8	2A	2	[21,110]								
Methylchlorid	CH <sub>3</sub> Cl	74-87-3	3	3B	[110]				100				
1,1,2,2-Tetrachlorethan	CHCl <sub>2</sub> CHCl <sub>2</sub>	79-34-5	3	3B	[110]								
Tetrachlorethen	Cl <sub>2</sub> C=CCl <sub>2</sub>	127-18-4	2A	3B	[98]					6	2	340	
Tetrachlorkohlenwasserstoff	CCl <sub>4</sub>	56-23-5	2B	4	[110]				100	n.n.	n.n.	21	
1,1,2-Trichlorethan	CHCl <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Cl	79-00-5	3	3B	[110,112]								
Trichlorethen	ClCH=CCl <sub>2</sub>	79-01-6	2A	1	[98]				100	6	3	110	
Trichlormethan (Chloroform)	CHCl <sub>3</sub>	67-66-3	2B	4	[35]					11	n.n.	1100	
Vinylchlorid	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	75-01-4	1	1	[21,99]					10	48	10	11000
<b>Alkane, Alkene</b>													
Ethan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	74-84-0	k.A.	???	-					30			
Ethen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	74-85-1	2B	3B	[113]					65			
Heptan	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	142-82-5	k.A.	k.A.	-	0,45							
Methan	CH <sub>4</sub>	74-82-8	k.A.	???	-	85	80						
Nonan	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	111-84-2	k.A.	???	-	0,09							
<b>O-N-S-substituierte Kohlenwasserstoffverbindungen</b>													
Aceton	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> CO	67-64-1	k.A.	k.A.	-		100		100				
Acetaldehyd	CH <sub>3</sub> CHO	75-07-0	k.A.	3B	-		150		150				
Ethylmercaptan	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> SH	75-08-1	k.A.	k.A.	-		120		120				

Abkürzungen: Vol-%: Volumenprozent; ppm: parts per million; mg/m<sup>3</sup>: Milligramm pro Kubikmeter

## 4.2 Emissionen durch Austragung über Sickerwasser

Neben den Gasemissionen aus dem Deponiekörper ist das Sickerwasser, insbesondere der „sauren Phase“, eine nicht zu unterschätzende Emissionsquelle. Die Menge an gebildetem Sickerwasser ist von vielen Faktoren abhängig. Hauptfaktoren sind der Niederschlag und die Verdunstung. Niederschlagswasser, welches den Deponiekörper durchdringt, löst auf seinen Sickerwegen Abfallinhaltsstoffe und transportiert diese in Richtung Deponiebasis. Näherungsweise wird angenommen, dass in etwa ein Viertel des auf Deponie fallenden Niederschlags im Jahresmittel als Sickerwasser anfällt – solange die Deponie oberflächlich nicht abgedichtet ist. Hypothetisch würden somit auf dem Ihlenberg bei einer Deponiefläche von 113 ha und einer mittleren Jahresniederschlagsmenge von 582 mm für das Jahr 2005 rund 450 m<sup>3</sup> Sickerwasser pro Tag anfallen<sup>(2)</sup>. Anfallendes Sickerwasser wird in Sickerwassersammelbecken gesammelt und anschließend der Sickerwasserbehandlungsanlage (Umkehrosmoseanlage) zugeführt. In der Behandlungsanlage werden dann die toxischen Stoffe „ausgestrippt“<sup>(3)</sup>. Eine effiziente Eindämmung der Emissionen kann durch ein Verschließen der Rohrleitungen und Schächte bzw. das Abdecken der Sickerwassersammelbecken erfolgen.

Wasserlösliche Stoffe oder mit Wasser mischbare Stoffe können bei unzureichenden oder fehlenden Dichtungs- und Drainage-Systemen aus dem Deponiekörper über einen unkontrollierten Sickerwasseraustritt in die Umwelt gelangen und Grund- und Oberflächenwasser in erheblichem Ausmaß belasten. Dieser Vorgang setzt sich bis zur vollständigen Auslaugung der Deponie, welche unter Umständen über 100 Jahre betragen kann, fort. Daher ist in den Umgebungsbereichen von Alt-Deponien der Austrag von Stoffen in Grund- und Oberflächenwasser über lange Zeiträume sorgfältig zu überwachen. Durch Sickerwasser belastetes Grundwasser ist von der Nutzung für die Trinkwasserversorgung auszuschließen. Zur toxikologischen Bewertung der Stoffe im Sickerwasser sind die Konzentrationen der relevanten Stoffe fallspezifisch zu bestimmen und entsprechend zu bewerten. Deponiesickerwasser müssen so aufbereitet werden, dass die im Anhang 51 der Abwasserverordnung festgelegten Mindestanforderungen erfüllt werden [115].

Wie bei jeder Form der Deponierung entsteht Sickerwasser auf der Deponie Ihlenberg. Zum Management der Entstehung und des Ausmaßes des Sickerwassers existieren auf der Deponie Ihlenberg effiziente Barriere- und Erfassungssysteme. Eine Exposition der deponienahen Bevölkerung kann dennoch, abhängig von verschiedenen Einflussgrößen, nicht vollständig ausgeschlossen werden. Diese Einflussgrößen sind vor allem die Niederschlagsmenge, die Möglichkeit des Eindringens in den Deponiekörper (anthropogene Barriersysteme), das Ausmaß der gelösten Schadstoffe (Zusammensetzung des Abfalls), die Möglichkeit des Eintrags in Grund- und Oberflächenwasser (natürliche Barriersysteme) und schließlich deren Nutzung (Trinkwasser, Badeseen, Fischzucht, Felderbewirtschaftung, etc.).

---

<sup>(2)</sup> Berechnungen wurden auf der Grundlage der gemessenen, durchschnittlichen monatlichen Niederschlagsmenge der Wettermessstation Schwerin (Deutscher Wetterdienst) für das Jahr 2005 durchgeführt [114].

<sup>(3)</sup> Der Vorgang des Strippen ist ein chemisches Verfahren, im dem flüchtige Stoffe aus einer wässrigen Lösung bei der Überführung in die Gasphase herausgelöst werden.

#### 4.3 Sonstige Emissionen und Belastungen (Auswirkungen auf die Umgebung)

Weitere für die Beschäftigten der Deponie und die deponienahe Bevölkerung relevante Deponieemissionen sind Stäube, die vor allem bei der Anlieferung und dem Abladen, Verschieben, Verdichten der Abfälle auf dem Deponiekörper entstehen, sowie Brände. Lärm, Abluftemissionen durch Schwerlastverkehr und Deponiefahrzeuge sowie Bakterien und Pilze die durch Verwehungen und Vogelkot weitergetragen stellen eine relevante Belästigung dar.

Eine Weitere nicht zu unterschätzende Gesundheitsgefährdung entsteht durch offene und verdeckte Deponiebrände. Auch wenn Brände eher selten sind, ist die Gefahr eines Brandes des Abfalls aufgrund hoher Temperaturen im Deponiekörper stets gegenwärtig. Die Emissionen von Deponiebränden sind mit den Emissionen bei Bränden von Wohn-Geschäfts- und Gewerbegebieten vergleichbar. Anforderungen des Brandschutzes und der Brandbekämpfung sind konsequent unter Berücksichtigung deponiespezifischer Besonderheiten zu beachten. Die Deponie Ihlenberg hat beispielsweise am Standort eine eigene Betriebfeuerwehr, die durch Mitarbeiter der IAG betrieben wird.

#### 4.4 Überwachung / Bewertung der Deponie

Die Verbringung und Deponierung von Abfällen ist seit Jahrzehnten eine weit verbreitete Form der Abfallentsorgung. Trotzdem sind nur wenige Deponien in Bezug auf die Arten und das Ausmaß der freigesetzten Chemikalien, die eine potentielle menschliche Exposition betreffen, bewertet worden. Im Rahmen des Superfund<sup>(4)</sup>-Programms der Regierung der USA werden bereits seit Jahren unkontrollierte, gefährliche oder illegale Betriebe und Anlagen mit gefährlichen Abfällen, die eine derzeitige oder zukünftige Bedrohung der menschlichen Gesundheit oder der Umwelt darstellen, rekultiviert. Die U. S. Environmental Protection Agency (EPA) arbeitet eng mit den Kommunen und staatlichen und regionalen Behörden sowie den Bundesbehörden zusammen, um gefährliche Standorte zu identifizieren, den Zustand zu testen, Rekultivierungspläne zu erstellen und die anschließend die Anlagen zu rekultivieren.

Durch das Superfund-Programm werden die gefährlichsten Deponien auf der National Priority List (NPL) aufgelistet. Die NPL ist vorwiegend eine Informationsquelle der EPA zur Bestimmung, welche Anlagen weitere Untersuchungen und Rekultivierungsmaßnahmen rechtfertigen. Im Rahmen des CERCLA wird eine Rangliste der häufigsten Substanzen mit einer signifikanten, potentiellen Gefährdung der menschlichen Gesundheit formuliert. Jede Substanz auf der Liste der CERCLA bekommt ein toxikologisches Profil durch die ATDSR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry). Die Liste basiert auf der Häufigkeit des Auftretens der Substanz auf NPL Anlagen, der Toxizität und des Expositionspotentials der gefundenen Substanzen gegenüber dem Menschen. Es werden unter anderem Substanzen mit einer niedrigen Toxizität aber einer Erhöhung in Auftreten und in Exposition auf der Liste vertreten sein.

---

<sup>(4)</sup> Superfund ist eine gängige Bezeichnung. Die offizielle Bezeichnung lautet: CERCLA (Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act).

Die in Tabelle 6 aufgelisteten Stoffe und Verbindungen konnten bereits in einer Vielzahl von epidemiologischen Studien nachgewiesen werden. Dieses sind vor allem umweltgefährdende und humantoxische Substanzen wie Arsen, die Schwermetalle Blei, Quecksilber und Kadmium, polychlorierte Biphenyle (PCBs), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAHs), und die beiden Kanzerogene Benzol und Vinylchlorid. Einige dieser Stoffe wurden auch im Deponiekörper der Deponie Ihlenberg nachgewiesen (siehe Kapitel 5).

**Tabelle 6.: CERCLA Rangliste der gefährlichsten Substanzen (1997-2005) [116].**

Substanz	CAS-Nr.	2005	2003	2001	1999	1997
Arsen	7440-38-2	1	1	1	1	1
Blei	7439-92-1	2	2	2	2	2
Quecksilber	7439-97-6	3	3	3	3	3
Vinylchlorid	75-01-4	4	4	4	4	4
Polychlorierte Biphenyle (PCBs)	1336-36-3	5	5	5	6	6
Benzol	71-43-2	6	6	6	5	5
Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe	130498-29-2	7	8	9	9	10
Kadmium	7440-73-9	8	7	7	7	7
Benzo[a]pyren	50-32-8	9	9	8	8	8
Benzo[b]Fluoranthene	205-99-2	10	10	10	10	9
Chloroform	67-66-3	11	11	11	11	11
DDT, p, p'-	50-29-3	12	12	12	12	13
Aroclor 1254	11097-69-1	13	13	13	14	12
Aroclor 1260	11096-82-5	14	14	14	13	14
Dibenzo (a,h) antracene	53-70-3	15	15	16	17	17
Trichlorethylene	79-01-6	16	16	15	15	15
Dieldrin	60-57-1	17	18	17	18	18
Chrom, Hexavalent	18540-29-9	18	17	18	16	16
weißer Phosphor	7723-14-0	19	19	24	29	-
DDE, p, p'-	72-55-9	20	21	21	20	22

## 5 VORBEFUNDE UND GUTACHTEN ZUR DEPONIE IHLENBERG

### 5.1 Toxikologisches Gutachten – Mögliche Gefährdung von Mensch und Umwelt durch luftgetragene Emissionen (aromatische und leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe, Metalle) der Deponie Ihlenberg.

Infolge der schriftlichen Anordnung des Staatlichen Amtes für Umwelt und Natur (StAUN) wurden durch die Firma LIMES im Jahr 1993 Luftkonzentrationen von aromatischen und chlorierten Kohlenwasserstoffen sowie Schwermetallen im Luv und Lee auf der Deponien Ihlenberg gemessen. Im Toxikologischen Gutachten der Abteilung Toxikologie und Arbeitsmedizin des Instituts für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund, wurde anhand der Messergebnisse aus den Beprobungen eine mögliche schädliche Umwelteinwirkung durch die luftgetragenen Emissionen der Deponie Ihlenberg eingeschätzt [117].

Die Untersuchungen zeigen, dass „bei den im Luv und Lee der Deponie Ihlenberg gemessenen Konzentrationen der aromatischen und chlorierten Kohlenwasserstoffe Toluol, Xylol, Ethylbenzol, Trimethylbenzol, Styrol, Dichlormethan, 1,1-Dichlorethan, 1,2-Dichlorethan, cis-1,2-Dichlorethen, trans-1,2-Dichlorethen, Trichlorethen, Tetrachlorethen

und Vinylchlorid nach dem derzeitigen Kenntnisstand für den Menschen und die Umwelt keine Risiko besteht“, wenn die in der Literatur angegebenen Grenzwerte berücksichtigt werde. Allerdings war Vinylchlorid, wahrscheinlich infolge der hohen Luftfeuchtigkeit, bei den Beprobungen nicht nachweisbar. Dieses gilt ebenfalls für die im Schwebstaub vorhandenen Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom und Kupfer. Luftkonzentrationen insbesondere von Benzol, Xylol, Ethylbenzol und Toluol sind „nach Lage der Dinge im wesentlichen auf Kraftfahrzeugabgase zurückzuführen“.

In dem Gutachten werden in Bezug auf die Humankarzinogene Benzol und Arsen Einschränkungen bei der Aussage über ein mögliches Gefährdungspotential angeben. „Wenn es auch inzwischen gelungen ist, mit tierexperimentellen Versuchsansätzen die kanzerogene Wirkung des Benzols zu bestätigen, sind die experimentellen Daten doch zu wenig geeignet, das quantitative Risiko für den Menschen abzuschätzen“ (S. 12). Die gefundenen Benzol-Gehalte sind „mit hoher Wahrscheinlichkeit, zumindest in wesentlichen Teilen, auf Kraftfahrzeugabgase zurückzuführen“. In Bezug auf die Beschäftigten liegen die gemessenen Werte unter den gültigen TRK-Werten. Dennoch, „aus den Daten kann eine Gefährdung von Mensch und Umwelt durch eine auf dem Deponiegelände erfolgende Benzol-Freisetzung nicht abgeleitet werden.“ „Eine Begrenzung und bessere Steuerung des Kfz-Verkehrs in der Region wäre in Hinblick auf die Immissionssituation von Benzol am ehesten ein wesentliches Moment und sollte daher langfristig angestrebt werden.“ „Eine Gefährdung des Menschen und der Umwelt durch die gemessenen Deponie-bedingten Arsen-Immissionen“ sind „nicht wahrscheinlich“. Zusammengefasst wird festgestellt, dass die Analysen „unter winterlichen Bedingungen und bei dem damals vorherrschenden regnerischen Wetter“ durchgeführt wurden. „Es ist davon auszugehen, dass die Emission dieser Stoffe möglicherweise bei sommerlichen Lufttemperaturen höher sein kann.“ Windgeschwindigkeit und Windrichtung beeinflussen bei gleich hoher Emission die Schadstoffkonzentrationen in der Luft. So nimmt der Gehalt an flüchtigen Stoffen durch zunehmende Windgeschwindigkeit und infolge des Verdünnungseffekts ab. Gleichzeitig verbreitert sich durch Abdrift das Ausbreitungsgebiet. Bei regnerischem Wetter können die Schwebstaubmengen nur gering sein. Bei trockenem Wetter können höhere Konzentrationen in der Luft nachzuweisen sein. Daher wären Messungen während des gesamten Jahres unter der Berücksichtigung der simultanen Beprobung mehrere Positionen im Luv und Lee, wobei „das Höhenprofil der Deponie, klimatische Bedingungen und externer und interner Fahrzeugverkehr möglichst zu berücksichtigen sind“, wünschenswert. Der Anteil der Kraftfahrzeugabgase oder der abgelagerten Abfälle an den gemessenen Emissionen kann erst durch weitere Untersuchungen geklärt werden.

## 5.2 Ozonmonitoringprogramm zur räumlichen und zeitlichen Bestimmung von Emissionsquellen

Im Auftrag des Landesamts für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern (LAUN) wurden im Zeitraum 1995 bis 1997 durch das Büro für Ökologische Diagnostik bioindikatorische Untersuchungen zur potentiellen Bildung eines Ozonpools im Bereich der Deponie Ihlenberg durchgeführt [118]. Als Indikator wurden Tabakpflanzen (*Nicotiana*

*tabacum*), welche sich „aufgrund ihrer morphologischen Reaktion als guter Indikator für Ozon“ darstellen, genutzt. Für die Untersuchungen wurden zwei Indikationsbereiche (Standort Löcknitz und die Umgebung der Deponie Ihlenberg mit acht Expositionsorten) ausgewählt. In die Betrachtungen wurden ebenfalls der Einfluss von Schädlingen und Krankheiten der Tabakpflanzen einbezogen, um auftretende Immissionsschäden genau bestimmen zu können. An einigen der Expositionsorte (insbesondere Südwestlich der Deponie) traten jahreszeitlich hohe Konzentrationen von Ozon auf. Die Nekrosebildung in den Tabakpflanzen nahm mit der Entfernung zur Deponie ab. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass der „aufgrund der im Sommer vorherrschenden Witterungssituation eine Ozonbildungsförderung durch die Deponie über mögliche Deponiegase angenommen werden“ kann.“ „Die Schadwerte halten sich jedoch noch in den Toleranzbereichen, so dass akute Maßnahmen nicht vorzusehen sind.“ Es wurde jedoch die Abdeckung des Deponiekörpers und „das Pflanzen von ozontoleranten Bäumen als Fangwald“ zur Diskussion gestellt.

Im Gutachten des Büros für Ökologische Diagnostik wurde eine Interaktion von Deponiegasen der Deponie Ihlenberg mit anderen Umweltmedien aufgezeigt, welche die Bildung von Ozon insbesondere im deponienahen Bereich fördern würde. Diese erhöhten Ozonkonzentrationen wurden vorwiegend im südwestlichen Teil der Deponie nachgewiesen. Das Gutachten stützt die Aussage epidemiologischer Studien, dass Deponiegase in einem ausgedehnten Bereich des Deponieumfeldes die Beschäftigten sowie die Anwohner aufgrund höherer Schadstoffbelastungen möglicherweise nachteilig beeinflussen. Dies sollte bei der Durchführung der Vorstudie, insbesondere bei der Verwirklichung des dritten Studienmoduls (Exposition der deponienahen Bevölkerung) berücksichtigt werden. Laut diesem Gutachten besteht die Möglichkeit, dass vorwiegend im südwestlichen Teil der Deponie lebende Anwohner durch emittierte Stoffe der Deponie und Ozon stärker exponiert sind, als beispielsweise Anwohner im Osten der Deponie oder Anwohner in weiterer Entfernung zur Deponie. Für die Durchführung der Vorstudie bedeutet dies, dass die Krebsinzidenzen sowie Krebsmortalitäten in der Bevölkerung insbesondere im Nahbereich zu analysieren und Vergleiche verschiedener Ortstypen und Entfernungen (z.B. Nord, Süd, Südwest, etc) anzustreben sind.

### 5.3 Borisotopenverhältnisse in Sicker-, Grund- und Oberflächenwässern der Deponie Ihlenberg

Im Auftrag des Geologischen Landesamtes Mecklenburg-Vorpommern wurden im Bereich der Deponie Ihlenberg die Grund-, Oberflächen- und Sickerwasser mit dem Schwerpunkt, Hinweise auf potentielle Einträge von Sickerwasser in das Grundwasser zu bekommen, anhand von Borisotopenverhältnissen durch das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung untersucht [119]. „Borisotopenverhältnisse können Hinweise auf Deponieeinträge in Grundwasser oder andere anthropogene Einflüsse in natürliche Wasser geben.“ Sickerwasser der Deponie wurden als mögliche Kontaminationsquellen, Grundwässer im Anstrom der Deponie als unbeeinflusste Wässer, Grundwässer im Abstrom der Deponie und Oberflächenwasser untersucht. Seit 1979 wurde auf dem damaligen VEB

Deponie Schönberg eine mineralische Dichtungsschicht eingebaut. Ab 1985/1986 erfolgte eine sechslagige Basisabdichtung. Im Bereich der Deponie ist ein vorrangiges Grundwasserfließgeschehen in südliche Richtung zu finden. Die Analysen der Boristopenverhältnisse und die Analysen der leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffe deuten „auf einen bis dato unbekanntem Deponiesickerwassereintrag in Grundwasser im südlichen Abstrombereich der Deponie hin“ (S. 4). Weiterhin lassen die Analysen „einen Sickerwassereintrag in das Wasser einer Grundwassermessstelle im nördlichen Bereich der Deponie vermuten.“ Im Anstrom zur Deponie befindet sich im Grundwasserleiter unbeeinflusstes Grundwasser.

In diesem Gutachten wird eine mögliche Beeinflussung des Grundwassers in den Bereichen nördlich sowie südlich der Deponie Ihlenberg aufgezeigt. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Gutachtens haben, ähnlich wie im Gutachten unter 5.2, eine direkte Bedeutung für das dritte Studienmodul. Die in den Bereichen nördlich und südlich der Deponie lebende Bevölkerung kann durch den Sickerwassereintrag und somit durch mitgeführte Schadstoffe und Kanzerogene potentiell exponiert sein. Daher ist zu klären, inwieweit das Grundwasser für die ansässige Bevölkerung nutzbar gemacht wird.

#### 5.4 Überarbeitung der Gefahrenabschätzung Bockholzberg auf der Grundlage der Daten der Jahre 2001 und 2002

Grundlage der vorliegenden Untersuchung [120] durch das Institut für Umweltschutz und Qualitätssicherung Dr. Krenzel GmbH ist eine umfangreiche Gefährdungsabschätzung (Gutachten liegt zurzeit nicht vor) aus dem Jahr 2002 für den nordöstlichen Bereich der Deponie Ihlenberg, da hier 1996 erhöhte Befunde von adsorbierbaren organischen Halogenverbindungen (AOX) im Grundwasser gefunden wurden. Es wurde überprüft, „ob die Konzentrationen der Einzelkomponenten Vinylchlorid und Trichlorethen sich verringern, die Konzentration der Komponente cis-Dichlorethan ansteigt und sich das Verhältnis cis- zu trans-Dichlorethen verändert hat“. Datenbestände (vorliegende Berichte und Messprotokolle) wurden gesichtet und ausgewertet. Die gemessenen Konzentrationen der Grundwassermessstelle P 360 für den Zeitraum 1996–2002 und der Grundwassermessstellen (Pegel) P1001-1004 für den Zeitraum 2001/2002 wurden unter der obigen Fragestellung ausgewertet. Die Autoren kommen für die Messstelle P 360 zu dem Ergebnis, dass trotz starker Schwankungen der AOX-Werte „die Durchschnittswerte keine großen Differenzen“ zeigen. 1,1-Dichlorethan ist „in einem beträchtlichen Anteil im Grundwasserpegel enthalten“ und stellt „einen wesentlichen prozentualen Anteil an der Summe der leichtflüchtigen Halogenverbindungen“ dar. Es wurde eine signifikante Senkung des Vinylchloridgehaltes gegenüber 1996 festgestellt. Ein nicht signifikanter Anstieg von Trichlorethen wurde gezeigt. Auswertungen der Pegel 1001-1004 zeigten für 1001-1003 im Gegensatz zu Pegel 1004 leichte Erhöhungen des AOX Gehaltes. Im Pegel 1001 wurde ein Anstieg des Vinylchlorids beobachtet, welche „eindeutig auf anaerobe Bedingungen“ zurückzuführen waren. In den Pegeln 1002-1004 wurde kein Vinylchlorid nachgewiesen. Trichlorethen wurde in den Pegeln 1001 und 1003 „in sehr geringen Spuren“ nachgewiesen. Gasuntersuchungen für die Jahre 2000 bis 2002 zeigen, dass die „Maximalgehalte seit 1999

gesunken sind.“ Es wurde festgestellt, dass „die Vinylchloridgehalte sind seit 1998 relativ konstant“ sind. Die Autoren zeigen, dass in den Grundwassermessstellen sowie in den drei Gasmessstellen im Zeitraum 2001-2002 „zum Teil erhebliche Methangehalte festgestellt worden“ sind. Eine Deponiegasmigration besteht weiterhin in diesem Bereich der Deponie. Die Autoren empfehlen, dass 1,1 Dichlorethan „in das Untersuchungsprogramm der Grundwassermessstellen im Bereich Bockholzberg aufgenommen werden“ sollte.

Für die Durchführung der Vorstudie sind die Kenntnisse über potentielle Schadstoffe, insbesondere Kanzerogene, sowie über die Dauer einer Exposition des Betriebspersonals und der deponienahen Umgebung wichtig. Das vorliegende Gutachten beschreibt das Vorkommen und die tendenzielle Entwicklung der kanzerogenen Substanzen Vinylchlorid und 1,2-Dichlorethan in einem zeitlichen Verlauf von 1996-2002 im Deponiegas und im Grundwasser. Eine Abnahme der Konzentrationen wurde beispielsweise für Vinylchlorid verzeichnet. Die Deponie Ihlenberg ist seit 1979 in Betrieb. Biochemische Prozesse beginnen im Deponiekörper simultan mit der Ablagerung der Abfälle, so dass schnell potentielle Schadstoffe und Kanzerogene gebildet und emittiert werden. Obwohl die Erfassung und Eliminierung der Schadstoffe auf der Deponie Ihlenberg jederzeit nach dem Stand der Technik erfolgt, kann vermutet werden, dass aufgrund des technischen Standards während der späten 70er und frühen 80er Jahre möglicherweise quantitativ mehr Gase aus dem Deponiekörper emittierten und quantitativ mehr Sickerwasser entstanden sind. Somit könnten in dieser Zeit höhere, für die Krebsentstehung relevante, Emissionen stattgefunden haben, als in der heutigen Zeit durch den Einsatz ausgereifter und effizienter Multibarriersysteme möglich ist. Ein solcher Zeitverlauf wäre relevant für die Bewertung der lebenslangen Exposition der Beschäftigten und auch der Anwohner im Nahbereich der Deponie.

## 5.5 Vinylchlorid auf der Deponie Ihlenberg

Im vorliegenden Bericht werden die dem Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) vorliegenden Emissions- und Immissionsberechnungen der Jahre 1996-2001, insbesondere mit dem Schwerpunkt auf das Kanzerogen Vinylchlorid, zusammenfassend ausgewertet [121]. Immissionsmessungen werden auf dem Ihlenberg mit Hilfe eines Flammenionisationsdetektors (FID) aus der Deponieoberfläche in 1m (ab 1999 in 1,2m) Höhe bestimmt. Mit Hilfe von Bodenluftsonden werden gleichzeitig in zirka 1m Tiefe Deponiegase (Methan, Kohlendioxid, Sauerstoff und Spurenstoffe) bestimmt. Gase unterliegen unmittelbar nach dem Austritt der atmosphärischen Verdünnung, so dass die Ergebnisse mittels eines Verdünnungsfaktors adjustiert werden. Der Verdünnungsfaktor variiert mit den meteorologischen Bedingungen. Aus den vorliegenden Berichten ist für das Kanzerogen Benzol eine Konzentration von (2-4 Größenordnungen) unterhalb der zu dem Zeitpunkt gültigen Technischen Richtkonzentration (TRK) beschrieben. Messungen von Vinylchlorid wiesen hingegen über den Zeitraum erhebliche Schwankungen auf. Die maximalen Messwerte „erreichten“ den festgelegten TRK-Wert. Der wesentliche Abfall in den Messwerten des Jahres 2001 im Vergleich zu den fünf Vorjahren konnte mit einem veränderten Emissionsverhalten, unterschiedlichen Verdünnungsfaktoren, unterschiedlichen

meteorologischen Verhältnissen und der Analytik der Spurengasproben nicht erklärt werden. Messungen der Jahre 1991 und 1992 hatten Vinylchloridmesswerte „unterhalb der Nachweisgrenzen“ ergeben. Das Vinylchlorid war „wahrscheinlich infolge der hohen Luftfeuchtigkeit während der Probenentnahme nicht nachweisbar“ gewesen. In den Jahren 1993/1994 konnten ebenfalls kein Vinylchlorid nachgewiesen werden. Hier wird als wahrscheinlicher Grund wiederum angegeben, dass Vinylchlorid „empfindlich gegen Probeentnahme bei höherer Luftfeuchtigkeit“ sei. Es wird zusammengefasst, dass die „diskontinuierlichen Vinylchloridmessungen und –berechnungen“ die „momentane Konzentration an jeweils wenigen Messorten wiedergibt. „Aussagen zum zeitlichen Verlauf der Immissionen sind auf dieser Basis prinzipiell nicht möglich.“ Das LUNG schlägt für eine „zeitlich hochaufgelöste kontinuierliche Messung über einen längeren Zeitraum“, mit der auch „Bezüge zu den Arbeitsschutzwerten (TRK) hergestellt werden können“, vor, „Vinylchloridemissionen (und Benzol) mittels automatischer Messungen auf dem Gelände der Deponie kontinuierlich zu erfassen. „Werden auf dem Deponiegelände messbare Vinylchloridkonzentrationen gefunden, können Kontrollimmissionsmessungen auf die nächstgelegenen Wohngebiete erweitert werden.“

## 5.6 Rasterbegehungen im Umfeld der Deponie Ihlenberg

Das NORDUM Institut für Umwelt und Analytik GmbH & Co KG wurde für den Zeitraum August 2002 bis Juli 2003 mit einer Rasterbegehung im Umfeld der Deponie Ihlenberg beauftragt, um zu klären, ob die von der Deponie Ihlenberg und deren Nebenanlagen ausgehenden Geruchsimmissionen eine erhebliche Belästigung der Nachbarschaft der Deponien und des allgemeinen Wohls darstellen [122]. In zwei 6-monatigen Begehungen wurden an 6 ausgewählten Beurteilungsflächen (Entfernung von der Deponie 800-3300m) durch zehn olfaktometrisch überprüfte Probanden des NORDUM Instituts (Studenten und Absolventen) die Häufigkeit der Geruchsereignisse und deren Intensität festgestellt. Messpunkte waren mit jeweils einer Beurteilungsfläche das Dorf Sülsdorf und der Ortsteil der Stadt Schönberg Bauhof West sowie mit jeweils zwei Beurteilungsflächen die Stadt Schönberg (1 und 2) und die Stadt Selmsdorf (1 und 2). Die Geruchsqualitäten sollten, wenn trennbar, in Sickerwasser, Hausmüll und Deponiegas eingeteilt werden. Zusätzlich sollten anlagenfremde Gerüche (z.B. Tierhaltung) im Erfassungsbogen protokolliert werden.

Jede der sechs Beurteilungsflächen wurde 104 mal beprobt. In der ersten Beurteilungsfläche von Schönberg1 lagen die Immissionen im Grenzbereich der zulässigen Häufigkeiten. „Unter Berücksichtigung der Häufigkeit, Intensität und Hedonik“ konnten für jeweils eine Beurteilungsfläche in Schönberg2 und Selmsdorf2 ohne Berücksichtigung von Kaltluftabflüssen keine erheblichen Immissionen festgestellt werden. Wurden hingegen die Kaltlufteinflüsse berücksichtigt, sind „grundsätzliche erhebliche Belästigungen“ festgestellt worden. Hierbei handelte es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um deutlich überschwellige Gerüche. An den Beurteilungsflächen Selmsdorf1, Sülsdorf und Bauhof West traten unzulässig häufig intensive und unangenehme Gerüche auf, welche von den Probanden als erhebliche Belästigungen bewertet wurden.

Aufgrund dieser Ergebnisse hat das NORDUM Institut „einen dringenden Handlungsbedarf zur Durchführung von signifikanten Emissionsminderungsmaßnahmen“ durch die Ergebnisse der Rasterbegehungen abgeleitet. Als Hauptemitter wurde im Rahmen der Untersuchungen das Sickerwasserspeicherbecken identifiziert. Es wurde empfohlen, geruchsmindernde Maßnahmen auf das Becken zu konzentrieren und gleichzeitig ein innerbetriebliches Geruchsminderungsmanagement zu erarbeiten. Außerdem sollen offene Kippflächen durch vermehrte Zwischenabdeckungen verringert, die Gaserfassung ausgebaut und die Abluftreinigungssysteme für gefasste Abluftquellen erweitert werden.

Das NORDUM Institut zeigt in diesem Gutachten die prinzipielle Möglichkeit, dass durch olfaktometrisch geschulte freiwillige Probanden des Instituts Emissionen der Deponie Ihlenberg erfasst und teilweise auch den verursachenden Quellen zugeordnet werden können. Für die Vorstudie ist das Ausmaß, d.h. insbesondere die Intensität und Reichweite der Deponiegasemissionen relevant. Bereits im Gutachten aus 5.2 wurde auf potentielle Emissionen im deponienahen Bereich verwiesen. Die zum Teil erheblichen Gerüche der Deponie Ihlenberg wurden von den Probanden in einem Umkreis vom 3 km deutlich wahrgenommen. Da im Deponiegas nicht nur geruchsintensive sondern ebenfalls potentielle Schadstoffe transportiert werden, ergeben sich aus den Ergebnissen des Gutachtens Anhaltspunkte für die Definition des „Nahbereiches“ (Region mit möglichen Expositionen) im Modul 3. Eine mögliche Exposition der Bevölkerung muss demnach im Bereich bis zu 3 km um die Deponie Ihlenberg in die Betrachtungen eingeschlossen werden.

## **6 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND ERSTE BEWERTUNG**

Auf Deponien für Siedlungsabfälle wird eine Vielzahl heterogener Abfälle in den Deponiekörper eingebaut. Im Deponiekörper wird der abgelagerte Abfall durch mikrobielle Prozesse zersetzt. Verbrachte Stoffe und durch biochemische Vorgänge entstehende Zwischen- und Endprodukte können durch Emissionen in die Luft, den Boden oder das Wasser gelangen. Gase, Dämpfe und Stäube können in die Umgebungsluft freigesetzt werden, wenn diese nicht effizient abgesaugt oder durch Barriersysteme wirksam am Austritt gehindert werden. Fremdstoffe können durch Verwehungen und Deposition fremdstoffbelasteter Stäube in die Böden der Umgebung, einschließlich landwirtschaftlich genutzter Flächen, eingebracht werden. Wasser, welches vor allem durch Niederschläge in den Deponiekörper eindringt, kann Stoffe auswaschen. Das kontaminierte Deponiewasser kann in das Grundwasser oder Oberflächenwasser eindringen und deren Qualität nachhaltig beeinträchtigen, wenn es nicht effizient abgeleitet wird.

Wie bei anderen Entsorgungsverfahren entstehen bei der Deponierung unbehandelter Abfälle für die Umwelt und für den Menschen potentiell gefährdende Emissionen. Auf Deponien für Hausmüll und Siedlungsabfälle wurden im Deponiegas und im Sickerwasser eine Reihe von toxischen Substanzen nachgewiesen. Einige der emittierten Stoffe wurden von der IARC als Kanzerogene eingestuft. Die Emissionen aus einer Deponie können sowohl das beschäftigte Personal sowie die in der Umgebung einer Deponie lebende Bevölkerung mittelbar oder unmittelbar belasten. Expositionswege sind inhalativ, oral und

dermal über das Deponiegas oder Sickerwasser. Epidemiologische Studien und Biomarker-Studien konnten darlegen, dass diese Expositionen auf Deponien und in der Umgebung von Deponien auftreten können. Beobachtete Gesundheitsbeeinflussungen sind genotoxische Effekte (Schadstoffe im Blut sowie Chromosomenaberrationen), Effekte auf die menschliche Reproduktion (reduziertes Längenwachstum sowie Fehlbildungen), sowie maligne Erkrankungen (zum Beispiel Leberkrebs, maligne Lymphome, etc.). Es wurde jedoch auch gezeigt, dass viele Untersuchungen methodische Limitationen (fehlende Expositionsdaten, kleine Fallanzahlen) aufweisen.

Eine Sichtung der Befunde und Gutachten zur Deponie Ihlenberg zeigt, dass die in der Literatur beschriebenen Emissionen von Substanzen mit zum Teil erheblichen genotoxischen oder kanzerogenen Potential auch auf der Deponie Ihlenberg auftreten können. Zu den potentiell emittierten Stoffen gehören die Kanzerogene Vinylchlorid und Benzol sowie die möglicherweise krebserzeugende Substanz 1,2 Dichlorethan, aber auch andere mögliche Kanzerogene, wie zum Beispiel einige Schwermetalle (Kadmium, Arsen, Blei, etc). Weiter ist zu beachten, dass auf der Deponie Ihlenberg besonders überwachungsbedürftige Abfälle abgelagert werden. Somit können, neben den im Allgemeinen auf Deponien emittierten kanzerogenen Substanzen, weitere nachgewiesene und potentielle kanzerogene Stoffe aus besonders überwachungsbedürftigen Abfällen (z.B. AOX kontaminierte Böden oder Asbest in BigBags) emittiert werden.

Emittierte Stoffe wurden auf der Deponie Ihlenberg vorwiegend in der beiden relevanten Belastungspfaden Deponiegas sowie Sickerwasser nachgewiesen. In den vorliegenden Berichten und Gutachten wurde aufgezeigt, dass die Emissionen weder zeitlich noch räumlich genau definiert werden können. Gasemissionen wurden vor allem im Nahbereich, aber auch in einer Entfernung von bis zu 3 km entfernt von der Deponie nachgewiesen. Sickerwassereinträge wurden im nördlichen sowie insbesondere im südwestlichen Gebiet der Deponie Ihlenberg gezeigt.

Für die Durchführung der Vorstudie bedeutet dies, dass Emissionen von Kanzerogenen weder auf der Deponie selbst, noch im Nahbereich der Deponie sicher ausgeschlossen werden können. Nach ersten Erkenntnissen ist mit gasförmigen Emissionen in einem Radius von bis zu 3km zu rechnen. Die Gutachten zeigen ferner, dass Emissionen über die Betriebszeit der Deponie erheblichen Schwankungen unterliegen. Der abnehmende Trend ist unter anderem durch die Umsetzung der TA Siedungsabfall und den Einsatz effizienterer Systeme zur Ableitung und Verhinderung von Emissionen jeglicher Art aus dem Deponiekörper erklärbar.

Die Wahrscheinlichkeit mit der jeder einzelne der betroffenen Beschäftigten einer ausreichend hohen Exposition zur Initiierung bis hin zur Manifestation einer malignen Erkrankung führen ausgesetzt war, soll und kann im Rahmen dieser Arbeit nicht beurteilt werden. Grundsätzlich kann eine langjährige Exposition gegenüber kanzerogenen Substanzen während des Deponiebetriebes ein Indiz für eine mögliche berufsbedingte Entstehung von Krebs sein. Eine intervallweise Analyse der Emissionskonzentrationen

relevanter Stoffe erlaubt dagegen keine Bewertung einer generellen Gefährdung, da diese nur Momentaufnahmen der Belastung darstellen und daher nur selten Rückschlüsse auf länger zurückliegende Belastungen, die evtl. zur Krebsrisikoerhöhung geführt haben, zulassen. Die Abschätzung einer möglichen Gesundheitsgefährdung, insbesondere zurückliegender Belastungen, kann nur durch eine valide Ermittlung der Emissionen und Immissionen der relevanten Substanzen im Zeitverlauf und deren toxikologische Bewertung erfolgen. Wegen der potentiellen Schädlichkeit krebserzeugender Stoffe auch in niedrigen Konzentrationen ist eine spezifische und quantitative, analytische Bestimmung erforderlich. Zusatzbelastungen sind für die Abschätzung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen toxikologisch zu bewerten. Hierbei sind die Hintergrundbelastungen aus anderen Quellen zu berücksichtigen. Im Allgemeinen ist das Langzeitverhalten von Deponien aufgrund der Inhomogenität des Abfalls, der Vielzahl an organischen Bestandteilen sowie der auf einer begrenzten Anzahl von Indikatoren beruhenden Überwachung nicht sicher zu beurteilen. Aus den für die Deponie Ihlenberg vorliegenden Daten und Befunden können wichtige Randbedingungen und Modellparameter für eine Beurteilung des zweiten und dritten Studienmoduls abgeleitet werden. Eine Beurteilung des Ausmaßes der möglichen individuellen Exposition der Beschäftigten und der Anwohner ist beispielsweise durch Studien mit einem toxikologischen Schwerpunkt möglich. Die Beurteilung der Notwendigkeit solcher Studien ist ein Teil der epidemiologischen Vorstudie. Eine entsprechende Empfehlung soll auf der Basis der Ergebnisse der epidemiologischen Vorstudie erfolgen.

## 7 LITERATUR

1. Umweltbundesamt. Deponie. [Internet]. 07.10.2003 [zitiert 05.09.2006]; URL: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/deponie.htm>.
2. Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen - AbfAbIV, Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit vom 24.7.2002, BGBl. I S. 305 und S. 2820.
3. Verordnung über Deponien und Langzeitlager - DepV, Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit vom 26.11.2002, BGBl. I Nr. 81 2002 S. 4417.
4. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. Abfallablagerung. [Internet]. 2006 [zitiert 29.08.2006]; URL: <http://www.lua.nrw.de/abfall/deponierung/deponierung.htm>.
5. Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz), Bundesministerium für Umwelt NuR vom 14.5.1993, BAnz. Nr. 99a.
6. Statistisches Bundesamt. Umwelt - Abfallentsorgung 2004. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt, 2006.
7. Kietzmann H, Bever L, Lindtner M, Suppra MDr. Daten zur Abfallwirtschaft 2004. Güstrow, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, 2005.
8. Umweltbundesamt. Sonderabfälle, gefährliche Abfälle und besonders überwachungsbedürftige Abfälle. [Internet]. 02.08.2006 [zitiert 05.09.2006]; URL: <http://www.umweltbundesamt.de/abfallwirtschaft/sonderabfall/index.htm>.
9. Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW/AbfG),

- Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit vom 27.9.1994, BGBl. I S.2705.
10. Verordnung über Verwertung- und Beseitigungsnachweise - NachwV, Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit vom 17.6.2002, BGBl. I Nr. 44 vom 03. Juli 2002 S. 2374.
  11. Ihlenberger Abfallentsorgungsgesellschaft mbH. IAG - Ihlenberger Abfallentsorgungsgesellschaft mbH. [Internet]. 2004 URL: <http://www.ihlenberg.de>.
  12. Knudson A. Genetic events in human carcinogenesis. In: Brugge J, Curran T, Harlow E, McCormick F, Hrsg. *Origins of human cancer: a comprehensive review*. Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1991, 17-25.
  13. Doll R. Strategy for detection of cancer hazards to man. *Nature* 1977, **265**, 589-596.
  14. Mutschler E. *Arzneimittelwirkungen*. 6. völlig neu bearb. u. erw. Aufl. Auflage. Stuttgart, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH; 1991.
  15. Farmer PB, Singh R, Kaur B, et al. Molecular epidemiology studies of carcinogenic environmental pollutants. Effects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in environmental pollution on exogenous and oxidative DNA damage. *Mutat Res* 2003, **544**, 397-402.
  16. Georgiadis P, Kyrtopoulos SA. Molecular epidemiological approaches to the study of the genotoxic effects of urban air pollution. *Mutat Res* 1999, **428**, 91-98.
  17. Becker N, Wahrendorf J. *Krebsatlas der Bundesrepublik Deutschland 1981-1990*. 3 Aufl. Auflage. Berlin, Heidelberg, Springer Verlag; 1998.
  18. *Krebs in Deutschland*. Saarbrücken: Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. und das RKI; 2006.
  19. Berger DP, Engelhardt R, Mertelsmann R, editor. *Das Rote Buch - Hämatologie und internistische Onkologie*. Landsberg/Lech, ecomed; 1997.
  20. World Health Organization. *Hepatitis Viruses*. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 59, Lyon, France: IARC, 1994.
  21. World Health Organization. *Overall evaluations of carcinogenicity: an updating of IARC monographs volumes 1 to 42*. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. Suppl 7, Lyon, France: IARC, 1987.
  22. World Health Organization. *Tobacco Smoking*. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 38, Lyon, France: IARC, 1986.
  23. World Health Organization. *Alcohol Drinking*. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. I. Vol. 44, Lyon, France: IARC, 1988.
  24. World Health Organization. *Asbestos*. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 14, Lyon, France: IARC, 1977.
  25. World Health Organization. *Human Papillomaviruses*. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 64, Lyon, France: IARC, 1995.
  26. World Health Organization. *Beryllium, Cadmium, Mercury, and Exposures in the Glass Manufacturing Industry*. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 58, Lyon, France: IARC, 1994.
  27. World Health Organization. *Occupational Exposures of Hairdressers and Barbers and Personal Use of Hair Colourants; Some Hair Dyes, Cosmetic Colourants, Industrial Dyestuffs*

- and Aromatic Amines. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 57, Lyon, France: IARC, 1993.
28. World Health Organization. Some industrial chemicals and dyestuffs. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 29, Lyon, France: IARC, 1982.
  29. World Health Organization. Solar and Ultraviolet Radiation. IARC. Vol. 55, Lyon, France: IARC, 1992.
  30. Motykiewicz G, Michalska J, Pendzich J, Perera FP, Chorazy M. A cytogenetic study of men environmentally and occupationally exposed to airborne pollutants. *Mutat Res* 1992, **280**, 253-259.
  31. Nielsen PS, Andreassen A, Farmer PB, Ovrebø S, Autrup H. Biomonitoring of diesel exhaust-exposed workers. DNA and hemoglobin adducts and urinary 1-hydroxypyrene as markers of exposure. *Toxicol Lett* 1996, **86**, 27-37.
  32. Morin MM, Sharrett AR, Bailey KR, Fabsitz RR. Drinking water source and mortality in US cities. *Int J Epidemiol* 1985, **14**, 254-264.
  33. Cantor KP. Drinking water and cancer. *Cancer Causes Control* 1997, **8**, 292-308.
  34. World Health Organization. Chlorinated drinking-water; chlorination by-products; some other halogenated compounds; cobalt and cobalt compounds. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 52, Lyon, France: IARC, 1991.
  35. World Health Organization. Some chemicals that cause tumours of the kidney or urinary bladder in rodents, and some other substances. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 73, Lyon, France: IARC, 1999.
  36. Prescott DM, Flexer AS. Krebs - Fehlsteuerung von Zellen; Ursachen und Konsequenzen. Heidelberg, Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft; 1990.
  37. Rogers AE. Influence of dietary content of lipids and lipotropic nutrients on chemical carcinogenesis in rats. *Cancer Res* 1983, **43**, 2477-2484.
  38. Ma HW, Lai YL, Chan CC. Transfer of dioxin risk between nine major municipal waste incinerators in Taiwan. *Environ Int* 2002, **28**, 103-110.
  39. Nessel CS, Butler JP, Post GB, Held JL, Gochfeld M, Gallo MA. Evaluation of the relative contribution of exposure routes in a health risk assessment of dioxin emissions from a municipal waste incinerator. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 1991, **1**, 283-307.
  40. Nouwen J, Cornelis C, De Fre R, et al. Health risk assessment of dioxin emissions from municipal waste incinerators: the Neerlandquarter (Wilrijk, Belgium). *Chemosphere* 2001, **43**, 909-923.
  41. Lijinsky W, Shubik P. Benzo[a]pyrene and other polynuclear hydrocarbons in charcoal-broiled meat. *Science* 1964, **145**, 53-55.
  42. Kazerouni N, Sinha R, Hsu CH, Greenberg A, Rothman N. Analysis of 200 food items for benzo[a]pyrene and estimation of its intake in an epidemiologic study. *Food Chem Toxicol* 2001, **39**, 423-436.
  43. Dungal N. The special problem of stomach cancer in Iceland, with particular reference to dietary factors. *JAMA* 1961, **178**, 789-798.
  44. Imsland AK, Eldon BJ, Arinbjarnarson S, Magnusson J. Gastric cancer in Iceland. *Gastric Cancer* 2002, **5**, 51-54.

45. Sen NP, Miles WF, Donaldson B, Panalaks T, Iyengar JR. Letter: formation of nitrosamines in a meat curing mixture. *Nature* 1973, **245**, 104-105.
46. Fong YY, Chan WC. Bacterial production of di-methyl nitrosamine in salted fish. *Nature* 1973, **243**, 421-422.
47. Mirvish SS. Role of N-nitroso compounds (NOC) and N-nitrosation in etiology of gastric, esophageal, nasopharyngeal and bladder cancer and contribution to cancer of known exposures to NOC. *Cancer Lett* 1995, **93**, 17-48.
48. Ho JH, Huang DP, Fong YY. Salted fish and nasopharyngeal carcinoma in southern Chinese. *Lancet* 1978, **2**, 626.
49. Aurand K, Jakobi W, Schraub A. Zur biologischen Strahlenwirkung des Radon und seiner Folgeprodukte. Sonderband zur Strahlentherapie. 1955;35:237-43.
50. Bale WF. Memorandum to the files, March 14, 1951: Hazards associated with radon and thoron. *Health Phys* 1980, **38**, 1062-1066.
51. Archer VE, Wagoner JK, Lundin FE. Lung cancer among uranium miners in the United States. *Health Phys* 1973, **25**, 351-371.
52. Sevc J, Kunz E, Placek V. Lung cancer in uranium miners and long-term exposure to radon daughter products. *Health Phys* 1976, **30**, 433-437.
53. Darby SC, Whitley E, Howe GR, et al. Radon and cancers other than lung cancer in underground miners: a collaborative analysis of 11 studies. *J Natl Cancer Inst* 1995, **87**, 378-384.
54. Ozonoff D, Colten ME, Cupples A, et al. Health problems reported by residents of a neighborhood contaminated by a hazardous waste facility. *Am J Ind Med* 1987, **11**, 581-597.
55. Baker DE, Greenland S, Mendlein J, Harmon P. A Health Study of two communities near the Stringfellow Waste disposal Site. *Arch Environ Health* 1988, **43**, 325-334.
56. Dayal H, Gupta S, Trieff N, Maierson D, Reich D. Symptom clusters in a community with chronic exposure to chemicals in two superfund sites. *Arch Environ Health* 1995, **50**, 108-111.
57. Miller MS, McGeehin MA. Reported health outcomes among residents living adjacent to a hazardous waste site, Harris County, Texas, 1992. *Toxicol Ind Health* 1997, **13**, 311-319.
58. Vrijheid M. Health effects of residence near hazardous waste landfill sites: a review of epidemiologic literature. *Environ Health Perspect* 2000, **108 Suppl 1**, 101-112.
59. Hoffmann W. Inzidenz maligner Erkrankungen bei Kindern und Jugendlichen in der Region Ellweiler, Rheinland-Pfalz - Epidemiologie und Biologische Dosimetrie zur Ermittlung möglicher Belastungspfade [Dissertation]. Medizinisches Zentrum für Radiologie der Philipps-Universität Marburg - Fachbereich Humanmedizin; 1993.
60. Schmitz-Feuerhake I, von Boetticher H, Dannheim B, et al. Estimation of x-ray overexposure in a childhood leukaemia cluster by means of chromosome aberration analysis. *Radiation Protection Dosimetry* 2002, **98, No.3**, 291-297.
61. Heimers A. Untersuchungen zur biologischen Wirksamkeit der Strahlenexposition des Flugpersonals bei Interkontinentalflügen mittels strahleninduzierter Chromosomenaberrationen [Dissertation]. Fachbereich 2 (Biologie/Chemie) der Universität Bremen; 2001.
62. Sorsa M, Wilbourn J, Vainio H. Human cytogenetic damage as a predictor of cancer risk. *IARC Sci Publ* 1992, 543-554.

63. Hagmar L, Stromberg U, Bonassi S, et al. Impact of types of lymphocyte chromosomal aberrations on human cancer risk: results from Nordic and Italian cohorts. *Cancer Res* 2004, **64**, 2258-2263.
64. Smerhovsky Z, Landa K, Rossner P, et al. Increased risk of cancer in radon-exposed miners with elevated frequency of chromosomal aberrations. *Mutat Res* 2002, **514**, 165-176.
65. Hagmar L, Stromberg U, Tinnerberg H, Mikoczy Z. Epidemiological evaluation of cytogenetic biomarkers as potential surrogate end-points for cancer. *IARC Sci Publ* 2004, 207-215.
66. Fender H, Wolf G. Cytogenetic investigations in employees from waste disposal sites. *Toxicol Lett* 1998, **96-97**, 149-154.
67. Hartmann A, Fender H, Speit G. Comparative biomonitoring study of workers at a waste disposal site using cytogenetic tests and the comet (single-cell gel) assay. *Environ Mol Mutagen* 1998, **32**, 17-24.
68. Gonsebatt ME, Salazar AM, Montero R, et al. Genotoxic monitoring of workers at a hazardous waste disposal site in Mexico. *Environ Health Perspect* 1995, **103 Suppl 1**, 111-113.
69. Johnson BL. A review of the effects of hazardous waste on reproductive health. *Am J Obstet Gynecol* 1999, **181**, S12-S16.
70. Najem GR, Voyce LK. Health effects of a thorium waste disposal site. *Am J Public Health* 1990, **80**, 478-480.
71. Berry M, Bove F. Birth weight reduction associated with residence near a hazardous waste landfill. *Environ Health Perspect* 1997, **105**, 856-861.
72. Dolk H, Vrijheid M, Armstrong B, et al. Risk of congenital anomalies near hazardous-waste landfill sites in Europe: the EUROHAZCON study. *Lancet* 1998, **352**, 423-427.
73. Kharrazi M, Von Behren J, Smith M, et al. A community-based study of adverse pregnancy outcomes near a large hazardous waste landfill in California. *Toxicol Ind Health* 1997, **13**, 299-310.
74. Goldberg MS, Goulet L, Riberdy H, Bonvalot Y. Low birth weight and preterm births among infants born to women living near a municipal solid waste landfill site in Montreal, Quebec. *Environ Res* 1995, **69**, 37-50.
75. Geschwind SA, Stolwijk JA, Bracken M, et al. Risk of congenital malformations associated with proximity to hazardous waste sites. *Am J Epidemiol* 1992, **135**, 1197-1207.
76. Croen LA, Shaw GM, Sanbonmatsu L, Selvin S, Buffler PA. Maternal residential proximity to hazardous waste sites and risk for selected congenital malformations. *Epidemiology* 1997, **8**, 347-354.
77. University at Buffalo Libraries. Love Canal Collection. [Internet]. 13.10.1998 [zitiert 05.06.2004]; URL: <http://ublib.buffalo.edu/libraries/projects/lovecanal/>.
78. Paigen B, Goldman LR, Magnant MM, Highland JH, Steegmann Jr. AT. Growth of children living near the hazardous waste site, Love Canal. *Hum Biol* 1987, **59**, 489-508.
79. Vianna NJ, Polan AK. Incidence of low birth weight among Love Canal residents. *Science* 1984, **226**, 1217-1219.
80. Budnick LD, Sokal DC, Falk H, Logue JN, Fox JM. Cancer and birth defects near the Drake superfund site, Pennsylvania. *Arch Environ Health* 1984, **39**, 409-413.
81. Williams A, Jalaludin B. Cancer incidence and mortality around a hazardous waste depot. *Aust N Z J Public Health* 1998, **22 Suppl 3**, 342-346.

82. Najem GR, Louria DB, Lavenhar MA, Feuerman M. Clusters of cancer mortality in New Jersey municipalities; with special reference to chemical toxic waste disposal sites and per capita income. *Int J Epidemiol* 1985, **14**, 528-537.
83. Griffith J, Duncan RC, Riggan WB, Pellom AC. Cancer mortality in U.S. counties with hazardous waste sites and ground water pollution. *Arch Environ Health* 1989, **44**, 69-74.
84. Goldberg MS, Siemiatycki J, Dewar R, Desy M, Riberdy H. Risks of developing cancer relative to living near a municipal solid waste landfill site in Montreal, Quebec, Canada. *Arch Environ Health* 1999, **54**, 291-296.
85. Goldberg MS, Al Homsy N, Goulet L, Riberdy H. Incidence of Cancer among Persons living near a municipal solid waste Landfill Site in Montreal, Quebec. *Arch Environ Health* 1995, **50**, No.6, 416-424.
86. U.S.Environmental Protection Agency. U.S. Environmental Protection Agency. [Internet]. 2005 URL: <http://www.epa.gov/>.
87. Polednak AP, Janerich DT. Lung cancer in relation to residence in census tracts with toxic-waste disposal sites: a case-control study in Niagara County, New York. *Environ Res* 1989, **48**, 29-41.
88. Greiser E, Lotz I, Hoffmann W, Schill W, Hilbig K. Nähe zu einer Sondermülldeponie und andere Risikofaktoren für die Entstehung von Leukämien, malignen Lymphomen und multiplen Myelomen. Bremen, Bremer Institut für Präventionsforschung und Sozialmedizin (BIPS); 1995.
89. Janerich DT, Burnett WS, Feck G, et al. Cancer incidence in the Love Canal area. *Science* 1981, **212**, 1404-1407.
90. Heath CW, Nadel MR, Zack MM, Chen ATL, Bender MA, Preston J. Cytogenetic Findings in Persons living near the Love Canal. *Journal of the American Medical Association* 1984, **251**, 1437-1440.
91. Paigen B, Goldman LR. Prevalence of Health Problems in Children Living Near Love Canal. *Hazardous Waste & Hazardous Materials* 1985, **2**, No.1, 23-43.
92. Zmirou D, Deloraine A, Saviuc P, Tillier C, Boucharlat A, Maury N. Short-term health effects of an industrial toxic waste landfill: A retrospective follow-up study in Montchanin, France. *Arch Environ Health* 1994, **49**, 228-238.
93. Deloraine A, Zmirou D, Tillier C, Boucharlat A, Bouti H. Case-control assessment of the short-term health effects of an industrial toxic waste landfill. *Environ Res* 1995, **68**, 124-132.
94. World Health Organization. The Rubber Industry. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 28, Lyon, France: IARC, 1982.
95. World Health Organization. Some Organic Solvents, Resin Monomers and Related Compounds, Pigments and Occupational Exposures in Paint Manufacture and Painting. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 47, Lyon, France: IARC, 1989.
96. World Health Organization. Occupational Exposures in Insecticide Application, and some Pesticides. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 53, Lyon, France: IARC, 1991.
97. World Health Organization. Man-made Mineral Fibres and Radon. IARC. Vol. 43, Lyon, France: IARC, 1988.

98. World Health Organization. Dry cleaning, some chlorinated solvents and other industrial chemicals. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 63, Lyon, France: IARC, 1995.
99. World Health Organization. Some monomers, plastics and synthetic elastomers, and acrolein. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 19, Lyon, France: IARC, 1979.
100. Vilmar K, Bachmann K-D. Gesundheitsgefährdung der Bevölkerung durch Mülldeponien (Siedlungsabfall). *Deutsches Ärzteblatt* 1995, **92**, 2597-2604.
101. Stegmann R, Ehrig H-J. Entstehung von Gas und Sickerwasser in geordneten Deponien - Möglichkeiten der Beeinflussung biologischer Abbauprozesse -. *Müll und Abfall* 1980, **2**, 41-52.
102. Spillmann P. Abfall- und Deponiewirtschaft. Rostock, Fachbereich Landeskultur und Umweltschutz - Institut für Landschaftsbau und Abfallwirtschaft - Universität Rostock, 2004.
103. Bruckmann P, Mülder W. Der Gehalt an organischen Spurenstoffen in Deponiegasen. *Müll und Abfall* 1982, **12**, 339-346.
104. Deutsche Forschungsgemeinschaft. Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, editor. MAK- und BAT-Werte-Liste 2006 - Mitteilung 42. Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2006.
105. Verordnung zum Schutz vor Gefahrenstoffen - GefStoffV, Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit vom 23.12.2004, BGBl. I S. 3855.
106. Deutsche Forschungsgemeinschaft. Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, editor. MAK- und BAT-Werte-Liste 2001. Mitteilung 37. Auflage. Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH; 2001.
107. The National Institute for Occupational Safety and Health. International Chemical Safety Cards. [Internet]. 2004 [zitiert 28.09.2006]; URL: <http://www.cdc.gov/niosh/ipcs/icstart.html>.
108. Winter K. Umweltbundesamt, editor. Sicherheitstechnische Kriterien bei baulichen Einrichtungen auf Deponien hinsichtlich der Gefährdung durch Gase. Materialien 1/80. Auflage. Berlin, Erich Schmidt Verlag Berlin; 1979.
109. World Health Organization. Some industrial chemicals. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 77, Lyon, France: IARC, 2000.
110. World Health Organization. Re-evaluation of some organic chemicals, hydrazine and hydrogen peroxide. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 71, Lyon, France: IARC, 1999.
111. World Health Organization. Some halogenated hydrocarbons and pesticide exposures. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 41, Lyon, France: IARC, 1986.
112. Infant-Rivard C, Amre D, Sinnett D. GSTT1 and Cyp2E1 polymorphisms and trihalomethanes in drinking water: effect on childhood leukemia. *Environ Health Perspect* 2002, **110**, 591-593.
113. World Health Organization. Some industrial chemicals. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements. Vol. 60, Lyon, France: IARC, 1994.
114. Deutscher Wetterdienst. Deutscher Wetterdienst. [Internet]. 2005 [zitiert 12.09.2006]; URL: [www.dwd.de](http://www.dwd.de).

- 
115. Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer - AbwV Abwasserverordnung, Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit vom 17.6.2004, BGBl. I Nr. 28 vom 22.06.2006 S. 1108.
  116. Department of health and human services. Agency for toxic substances and disease registry. [Internet]. 2006 [zitiert 12.09.2006]; URL: <http://www.atsdr.cdc.gov/>.
  117. Bolt HM. Toxikologisches Gutachten - Mögliche Gefährdung von Mensch und Umwelt durch luftgetragene Emissionen (aromatische und leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe, Metalle) der Deponie Ihlenberg. Dortmund, 1994.
  118. Giersberg M. Ozonmonitoringprogramm zur räumlichen und zeitlichen Bestimmung von Emissionsquellen - Studie im Auftrag des Landesamts für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern. Stülow, 1998.
  119. Gäbler HE. Borisotopenverhältnisse in Sicker-, Grund und Oberflächenwässern der Deponie Ihlenberg. Hannover, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, 1999.
  120. Krengel D. Gutachten - Überarbeitung der Gefährdungsabschätzung Bockholzberg auf der Grundlage der Daten der Jahre 2001 und 2002. Grevesmühlen, Institut für Umweltschutz und Qualitätssicherung Dr. Krengel GmbH, 2003.
  121. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern. Vinylchlorid auf der Deponie Ihlenberg - Zusammenfassende Auswertung vorliegender Emissionsmessungen und Immissionsberechnungen., 2002.
  122. NORDUM - Institut für Umwelt und Analytik. Rasterbegehungen im Umfeld der Deponie Ihlenberg. [Gutachten]. Kessin, 2003.