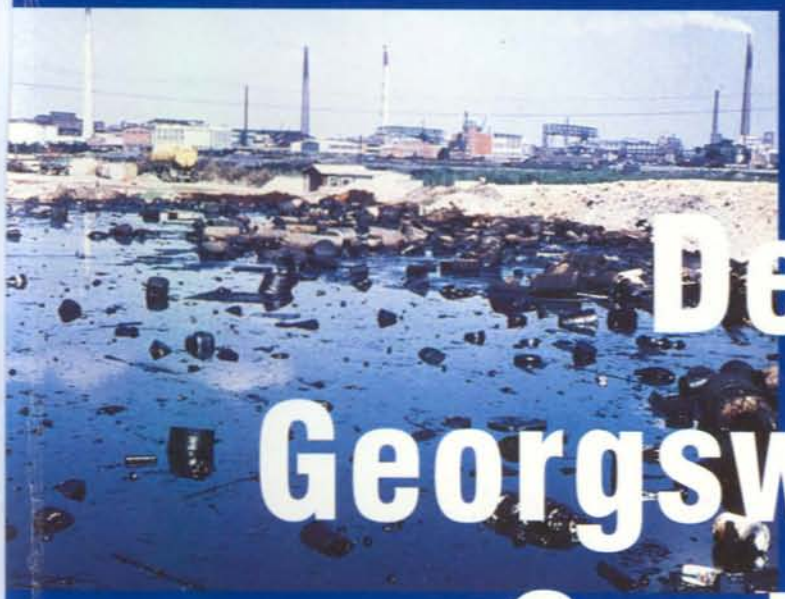
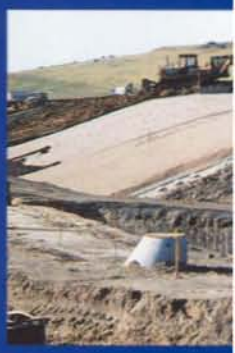


Deponie Georgswerder Sanierung 1984-95



Umweltbehörde Hamburg

Impressum

Herausgeber:
Freie und Hansestadt Hamburg
Umweltbehörde, Amt für Umweltschutz-Altlastensanierung
Billstraße 84
20539 Hamburg

Konzept und Redaktion:
Rudolf Hecht
Imme Bialas

Autoren:
Imme Bialas, Harald Fremdling, Maren Gätjens, Geert Gilberger, Thomas Haupt, Johann Heinz, Günther Helm, Peter Hesse, Dr. Ralf Kilger, Peter Klenner, Gregor Kühnel, Hans Lewitz, Ulrich Rudolph, Peter Schnittger, Rainer Scholz, Dr. Volker Sokollek, Dr. Martin Zarth, Herbert Zickermann

Gesamtgestaltung, Grafiken, Satzherstellung:
Carsten Müller, Hamburg

Druck:
Norddruck Nehlsen GmbH, Hamburg

Papier:
100g/qm Paroli matt 100% Recycling

Quellenangaben:
Abbildungen und Grafiken werden, soweit sie nicht in der Umweltbehörde erstellt wurden, im Abbildungsverzeichnis ausgewiesen.
Ein Verzeichnis mit allen Veröffentlichungen über die Deponie Georgswerder kann auf Wunsch zugesandt werden. Hierfür wenden Sie sich bitte schriftlich an die oben genannte Adresse.

Vorwort

von Senator Dr. Fritz Vahrenholt

Hamburgs Deponie Georgswerder, ehemals eine der größten Deponien Europas, steht heute als Synonym für die Altlasten-Problematik in der Bundesrepublik Deutschland sowie in West- und Osteuropa. In Hamburg markiert sie auch einen Wendepunkt im öffentlichen Bewußtsein: Jeder Bürger dieser Stadt weiß heute, daß ein bedenkenloses Deponieren verschiedenster Stoffe nicht etwa billig ist, sondern einen Umweltfrevel darstellt, der am Ende sehr teuer sein kann. Die Deponie Georgswerder wird außerdem in Zukunft ein Beispiel dafür sein, daß eine Stadt aus ihren Umweltsünden lernt, die Konsequenzen zieht und die Herausforderung einer Schadensbegrenzung wirklich annimmt.

Als Ende 1983 im austretenden Sickerwasser der Deponie das Seveso-Gift Dioxin nachgewiesen wurde, wurde das Ausmaß dieser Herausforderung offenbar: Es galt, die erste große Altlast der Bundesrepublik zu sanieren - ein Novum nicht nur in der Geschichte der Stadt Hamburg. Seitdem steht diese Arbeit immer wieder im Blickpunkt des öffentlichen Interesses.

Denn 1983 stand Hamburg vor einem gigantisch anmutenden Problem, ohne daß die Stadt über Erfahrungen im Umgang mit Altlasten dieser Größenordnung verfügte. So konnte die Frage nach der potentiellen Gefährdung der Bevölkerung und der Umwelt zunächst nicht schlüssig beantwortet werden.

Eine Pioniertat war gefordert, Forschung und Wissenschaft waren gefragt. Nach umfangreichen Untersuchungen und Sanierungsüberlegungen, auch unter Beteiligung in- und ausländischer Experten, fiel die Entscheidung schließlich zugunsten von einzigartigen Sicherungsmaßnahmen. 12 Jahre danach ist Hamburgs höchster Müllberg sicher, die Gefahr für die Umwelt ist gebannt, aber aus der Welt ist sie nicht: Die Überwachung der Anlagen und des Geländes wird deshalb dauerhaft nötig sein - eine unendliche Geschichte!

Die Sanierungsarbeiten auf der Deponie Georgswerder setzten Maßstäbe - sie flossen teilweise ein in die TA Abfall und die TA Siedlungsabfall. Aber, und das sei nicht verschwiegen, die Höhe der damit verbundenen Kosten zeigte sehr bald: Die Sanierung der Deponie Georgswerder kann nicht zum Maßstab aller künftigen Sanierungen werden.

Die Hoffnung, sämtliche Altlasten vollständig sanieren zu können, die uns 100 Jahre Industrieproduktion hinterlassen haben, wird sich nicht erfüllen. Jeder Einzelfall bedarf der genauen Prüfung. Die Sanierungsplanung wird künftig - unter dem Diktat des knappen Geldes - Fragen nach der vorgesehenen Nutzung des Geländes (Wohnen, Gewerbe, Industrie), nach Kosten und ökologischer Wirksamkeit stärker denn je einbeziehen müssen. Aber auch hier gilt: Erste Priorität hat die ökologische Sicherheit.

Die Deponie Georgswerder ist einer der größten und bekanntesten Sanierungsfälle Europas. Wegen der Menge und des Schadstoffpotentials der dort eingelagerten Stoffe kam und kommt ihr eine besondere Bedeutung zu. Nirgendwo lassen sich die Erfahrungen und damit die Entwicklungsgeschichte der Altlastensanierung besser nachvollziehen als an dieser Deponie. Ich hoffe, daß die vorliegende Broschüre hierzu einen Beitrag leistet.

Senator Dr. Fritz Vahrenholt

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Einführung 7

1.1 Geschichte 8

1.2 Beteiligung Betroffener 9

1.3 Aufbau, Geologie, Hydrologie 10

1.4 Deponieinhaltsstoffe 11

1.5 Schadstoffausbreitung und Gefährdungspotential 12

1.6 Sanierungsziele 14

2. Sanierungskonzept 15

2.1 Sanierungskonzept - Stand 1985 15

2.2 Neue Erkenntnisse und konzeptionelle Änderungen 1985-1995 15

2.2.1 Abdeckung 15

2.2.2 Stauflüssigkeiten 16

2.2.3 Grundwasserschutz 18

2.2.4 Hochtemperaturverbrennungsanlage/Zwischenlager 18

2.3 Sanierungskonzept - Stand 1995 18

3. Forschungs- & Entwicklungsprojekte 19

4. Abdeckung 29

4.1 Funktion und Anforderungen 29

4.2 Aufbau 29

4.3 Fußpunktausbildung 30

4.4 Abdeckung Becken 5 und 6 30

4.5 Entwässerungssystem 31

4.6 Genehmigungen 31

4.7 Bauausführung 32

5. Sickerflüssigkeiten 35

5.1 Sickerflüssigkeitsfassung 35

5.2 Sickerflüssigkeitsbehandlung 36

5.2.1 Leichtstoffabscheidung 36

5.2.2 Flotation 36

5.2.3 Weitergehende Reinigung 37

5.3 Entsorgung von Reststoffen 37

5.3.1 Sickeröl 38

5.3.2 Flotatschlamm 40

5.3.3 Sonstige Reststoffe 41

6. Grundwassersanierung 43
6.1 Sanierungsziel 43
6.2 Grundwassermodelle 43
6.3 Sanierungsstrategien 43
6.4 Ausgewählte Sanierungsmaßnahmen 45
6.4.1 Grundwasserentnahme 45
6.4.2 Grundwasserbehandlung 45
7. Deponiegas 49
7.1 Entgasungsanlage 49
7.2 Betrieb der Entgasungsanlage 50
8. Arbeitsschutz 51
8.1 Gefährdungsanalyse 51
8.2 Pflichten des Arbeitgebers 52
8.3 Meßgeräte für den Arbeitsschutz 52
8.4 Schutzmaßnahmen 53
8.5 Bisherige Erfahrungen 54
9. Unterhaltung der Bauwerke 55
10. Überwachung 57
10.1 Anlaß und Ziele 57
10.2 Gesamtkonzeption der Überwachung 57
10.3 Überwachung des Altlastenkörpers 58
10.3.1 Stauflüssigkeitshaushalt 58
10.3.2 Setzungen 58
10.4 Überwachung der Abdeckung 59
10.4.1 Vegetation/Erosion 59
10.4.2 Wasserhaushalt des Abdecksystems 60
10.4.3 Abflußqualität 62
10.5 Überwachung von Schutzgütern 62
10.5.1 Grundwasserhydraulik 62
10.5.2 Grundwasserbeschaffenheit 62
11. Flora & Fauna 65
12. Windkraftanlagen 67
13. Zukünftige Nutzung 69
14. Kosten & Finanzierung 71
15. Erfahrungen & Ausblick 73
16. Chronologie 75
Schrifttum

1. Einführung

Die Deponie Georgswerder erlangte einen nationalen und internationalen Bekanntheitsgrad, als im Herbst 1983 an den Flanken des Müllberges in den austretenden Sickerflüssigkeiten das Sevesogift Dioxin gefunden wurde. In der Folge wurde vom Senat der Freien und Hansestadt beschlossen, die von der Deponie ausgehenden Gefahren zu ermitteln und durch entsprechende Sanierungsmaßnahmen zu beseitigen.

Abb. 1.1 Lage der Deponie

Die größten Gefährdungen dieser ehemaligen Hausmülldeponie, die von 1948 - 1979 beschickt worden war, gingen von flüssigen, pastösen und festen Sonderabfällen der Industrie aus. Von 1967 bis 1973 wurden in Erdbecken ca. 150.000 t flüssige Abfälle sowie in 100.000 Fässern feste und pastöse Stoffe abgelagert. Ziel war die bis dahin weitgehend unkontrollierte Ablagerung von Sonderabfällen in Hamburg auf Georgswerder so lange zu konzentrieren, bis eine zeitgleich geplante und gebaute Sonderabfallbeseitigungsanlage ihren Betrieb aufnehmen konnte. Man glaubte damals, dieses verantworten zu können, daß der ca. 7 Mio. m³ große Müllberg die Sonderabfälle wie ein Schwamm aufsaugen und so immobil halten würde. Dies war jedoch ein Irrtum: Das in den Müllkörper eindringende Regenwasser mobilisierte viele der Schadstoffe, die sowohl seitlich als Flüssigkeiten sichtbar austraten und in die Oberflächengewässer gelangten, als auch nach unten durch die aus Marschenböden bestehende Basis der Deponie in das Grundwasser eindrangen. Darüber hinaus war bereits vor 1983 erkannt worden, daß durch biologische Abbauvorgänge Deponiegas entstand, welches eine Gefahr für Fauna und Flora werden konnte.

Sonderabfälle und Deponiegase verhinderten die geplante Nutzung der geschlossenen und bereits rekultivierten Deponie als öffentliche Grünanlage. Auch die vom Senat 1985 beschlossenen Sanierungsmaßnahmen schließen zukünftig eine solche Nutzung aus. Altablagerungen dieser Größenordnung lassen sich auch aus heutiger Sicht aus technischen und finanziellen Gründen nicht beseitigen (sanieren), sie lassen sich lediglich bei Erhalt des Schadstoffpotentials sichern. Es entstehen Ingenieurbauwerke mit einer endlichen Lebensdauer; diese müssen auf unabsehbare Zeit kontrolliert und notfalls repariert werden. Eine Gefahr für die Umwelt kann mit diesen Sicherungsmaßnahmen allerdings ausgeschlossen werden.

Die betroffene Bevölkerung ist über alle Schritte der Sanierung von der Abschätzung der Gefahren bis hin zur Baudurchführung stets umfassend informiert worden, so daß insgesamt eine hohe Akzeptanz hergestellt worden ist.

Die Deponie Georgswerder war seinerzeit eine der größten Altlasten in Europa, das technische Wissen im Umgang mit solchen Altablagerungen war noch in den Anfängen. Folgerichtig wurde das Sanierungskonzept stufig angelegt, begleitet von zahlreichen Forschungs- und Entwicklungsprojekten. Heute, 10 Jahre nach Aufstellung des Konzepts, ist die Entwicklung der Sanierungstechnologien sehr viel weiter fortgeschritten - auch dank Georgswerder. Es haben sich aber auch die ökonomischen Rahmenbedingungen geändert. Das Konzept von 1985 wurde bei der Umsetzung diesen Entwicklungen soweit vertretbar und möglich angepaßt.

Der vorliegende Bericht soll diese Veränderungen und Erfahrungen sowie die Lehren für den zukünftigen Umgang mit Altlastfällen aufzeigen.

Abb. 1.2 Luftbild der Deponie

Einführung

1.1 Geschichte

Die Region um die Deponie Georgswerder liegt im Elbeurstromtal, einer typischen Marschenlandschaft, die ursprünglich landwirtschaftlich genutzt wurde. Später wurde die Landwirtschaft durch den Abbau der zur Ziegelherstellung benötigten oberflächennahen Kleischicht zurückgedrängt. Den Grundstein für die spätere Deponie Georgswerder legte Mitte der '30er Jahre die damalige Stadt Harburg-Wilhelmsburg, indem sie eine kleine Hausmüllkippe einrichtete.

Während des 2. Weltkrieges diente das Gelände um die heutige Deponie durch Flakstellungen zur Verteidigung Hamburgs. Etwa 100 Bombenkrater in der Geländeoberfläche sind auf die Luftangriffe aus dieser Zeit zurückzuführen. Mit dem Ende des Krieges wurde der Deponie durch das Ablagern von Trümmerschutt und später von Hausmüll endgültig ihre Aufgabe zugewiesen.

Da die Privatwirtschaft, damals zuständig für die Sonderabfallentsorgung, diese Aufgabe nicht mit genügend Sorgfalt betrieb, schaltete sich die Stadt Hamburg, primär aus Sorge um das Grundwasser, ein. So übernahm 1969 die Stadtreinigung, eine Abteilung der Baubehörde, die Regie für die Ablagerung auf der Deponie.

Die Schließung der Sonderabfalldeponie Müggenburger Straße 1967 hatte zur Folge, daß die Stadt den privaten Firmen (die vorher die Müggenburger Straße genutzt hatten) eine Fläche auf der Deponie Georgswerder für das Ablagern von Sonderabfällen aus Gewerbe und Industrie einräumte, mit dem Ziel, unerwünschte, ungeordnete und unkontrollierte Ablagerungen zu vermeiden.

Abb.1.3 Die Deponie zur Zeit der Ablagerung

Für diesen Zweck baute die Stadt im Zeitraum von 1967 - 1974 zehn spezielle Flüssigkeitsbecken. Zunächst waren dies einfache, ungedichtete Erdbecken im Müll zur Ablagerung von Flüssigabfällen. Später wurden die Becken mit einer Folie abgedichtet und durch Schwimmroste abgedeckt. Zusätzlich wurden vier Faßlager eingebaut.

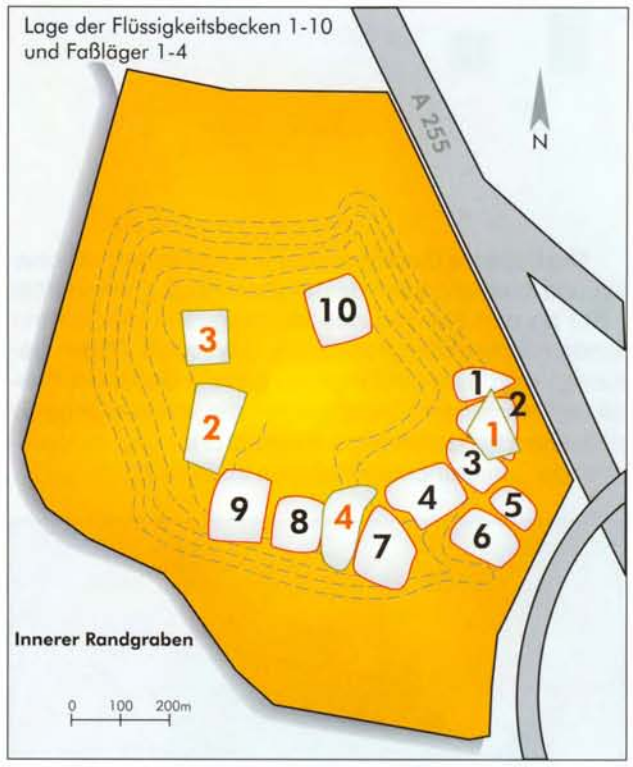


Abb.1.4 Lage der Flüssigkeitsbecken und Faßlager

Im Juli 1971 wurde das hamburgischen Abfallbeseitigungsgesetz, das erste derartige Gesetz eines Bundeslandes, erlassen. Es bildete eine wichtige Grundlage für das dann ein Jahr später erlassene Abfallbeseitigungsgesetz des Bundes vom Juni 1972. Durch den Erlaß des Abfallbeseitigungsgesetz wurde die umweltgefährdende Deponierung von Sonderabfällen im schleswig-holsteinischen und niedersächsischen Umland von den dortigen Behörden zunehmen verboten. Obwohl die angebliche Ablagerung von 149 Parathion-Fässern (Handelsname E 605) auf der Deponie Georgswerder im Jahre 1970 erheblich zum beschleunigten Erlaß dieses Gesetzes beigetragen hatte, hielt die Stadtreinigung bis Ende 1974 sowohl aus ökonomischen wie auch aus technischen Gründen (chlor- und schwefelhaltige Produktionsabfälle waren nur in geringen Mengen verbrennbar) zunächst an der Sonderabfallbeseitigung auf der Deponie Georgswerder fest.

Allerdings paßte die Stadtreinigung den Deponiebetrieb und die Deponietechnik mit wachsendem Umweltbewußtsein wiederholt dem Stand der Technik an. So entwickelte sich die Deponie von einer wilden, ungeordneten Abkippfläche langsam zu einer zentralen Großdeponie, auf der Müll hochverdichtet eingebaut und regelmäßig mit Boden abgedeckt wurde. Verschie-

Abb.1.5 Das Faßlager 2. Die Fässer wurden in 3 Schichten gestapelt. Jede Schicht wurde mit Boden abgedeckt.

dene Maßnahmen sollten helfen, Belästigungen und Beeinträchtigungen der Umgebung der Deponie zu vermeiden:

Als Beispiele seien hier genannt:

- die Abdichtung und Abdeckung der Flüssigkeitsbecken zur Vermeidung von Geruchsbelästigungen,
- das Aufstellen von Papierfangzäunen,
- das tägliche Abdecken des Mülls mit Boden, um Vögel fernzuhalten,
- der Bau des Inneren Randgrabens und von Ölabscheidern zur Fassung und Reinigung des Deponiesickerwassers und dessen Einleitung in das öffentliche Siel.

1979 wurden die Ablagerungen eingestellt und damit begonnen, die Deponie zu rekultivieren, um so ein Naherholungsgebiet zu gestalten. Die Rekultivierung hatte das Ziel, eine topographisch reizvolle Landschaft zur Freizeitnutzung im Süden Hamburgs zu schaffen. Doch als Bäume und Sträucher im oberen Bereich der Deponie nicht wuchsen, verursacht durch Entgasungsprozesse, waren Konsequenzen erforderlich. 1982 wurde eine erste Versuchsanlage mit drei Gassonden in Betrieb genommen. Ab 1983 wurde darauf basierend eine umfassende Entgasungsanlage mit 36 Sonden gebaut (siehe Kap. 7).

Die Pläne für ein Naherholungsgebiet scheiterten vollends 1983, als Dioxin in der öligen Phase des Sikkerwassers nachgewiesen wurde. Der Senat beauftragte daraufhin im Dezember 1983 die Baubehörde, ein Konzept vorzulegen, mit dem unter anderem zur Frage einer etwaigen Sanierung Stellung genommen wurde. Im Januar 1984 berief der damals zuständige Senator für Energiepolitik, Ver- und Entsorgung einen „Beauftragten für die Sanierung Georgswerder". Im Februar 1984 trafen sich in Hamburg Experten unter der fachlichen Leitung des Umweltbundesamtes und der TU Hamburg-Harburg, da die Verwaltung nur wenig Erfahrungen mit Deponiesanierungen, insbesondere von der Größenordnung der Deponie Georgswerder, verfügte. Aufbauend auf den Empfehlungen des Expertengespräches entstand ein Untersuchungsprogramm zur Sanierung der Deponie.

Die Ergebnisse der Untersuchungen und der Vorplanungen wurden im Spätsommer 1984 im Entwurf eines Sanierungskonzeptes zusammengefaßt. Es wurde mit nur geringen Modifikationen in einem zweiten Expertengespräch im Dezember 1984 gebilligt, im April 1985 vom Senat beschlossen und im Oktober 1985 von der Bürgerschaft zur Kenntnis genommen.

Ende 1984 war mit Vorlage des Sanierungskonzeptes jedoch deutlich geworden, daß die Durchführung der vielfältig funktionell und zeitlich verflochtenen Einzelmaßnahmen organisatorisch problematisch war. Nach Verabschiedung des Sanierungskonzeptes beschloß der Senat deshalb im Juni 1985 die Einrichtung einer neuen Hauptabteilung Flächensanierung in der Baubehörde mit zunächst 32 Planstellen interdisziplinärer Zusammensetzung.

Am 01. Juli 1986 erhielt die neue Hauptabteilung vom Amt für Stadtentwässerung die Zuständigkeit für die Deponie Georgswerder. Seit Oktober 1987 ist die Hauptabteilung als Fachamt Altlastensanierung in der Umweltbehörde zuständig für alle Altlastensanierungen, bei denen die Stadt Hamburg sanierungspflichtig ist oder im Wege der Ersatzvornahme auf privaten Flächen tätig werden muß.

1.2 Beteiligung Betroffener

Die Dioxinfunde auf der Deponie Georgswerder führten ab 1984 zu heftigen Bürgerprotesten in Hamburg, und hier insbesondere im betroffenen Stadtteil Wilhelmsburg. Im Zusammenhang mit der damals noch in Hamburg Pestizide produzierenden Firma Boehringer Ingelheim sowie mit der europaweiten Suche nach den Seveso-Giftfässern stand der Stoff bereits in der öffentlichen Debatte.

Obwohl in Deutschland damals noch keine Erfahrungen im konfliktlösenden oder -minimierenden Umgang zwischen Betroffenen und Verwaltung vorlagen (wie z. B. die Bildung von Beiräten oder Mediations-Verfahren), hat Hamburg in kurzer Zeit eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, die im „Sondergutachten Altlasten" des RATES DER SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN (1989/90) als beispielhaft Erwähnung fanden:

Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Sanierung der Deponie Georgswerder:

- zwei Tagungen zu Fragen der Deponieüberwachung und -sanierung sowie der Gesundheitsgefährdung, an denen sich die betroffenen und interessierten Bürger beteiligen konnten
- Veröffentlichung von sechs Berichten über den jeweils aktuellen Stand der Arbeit in hohen Auflagen
- Offenlegung aller Meßergebnisse von der Deponie
- Einrichtung einer Informations- und Beratungsstelle in einer nahegelegenen Schule mit regelmäßigen Sprechzeiten für die Anwohner
- zahlreiche themenbezogene Abendveranstaltungen, die Gelegenheit zur Diskussion mit den beteiligten Behörden boten
- Errichtung eines Informationspavillons auf dem Gelände der Deponie, der auch für Vortragsveranstaltungen genutzt wurde
- Beteiligung von Behördenvertetern an Versammlungen und Gesprächskreisen betroffener Bürger
- Einrichtung eines Sonderausschusses der Bezirksversammlung Harburg, dessen Sitzungen öffentlich waren
- kontinuierliche Information der Presse
- kontinuierliche Information der Bürgerschaft

Die Umweltbehörde kommt im nachhinein zu dem Schluß, daß ohne diese Maßnahmen die Akzeptanz für das Sanierungskonzept vermutlich nicht so weitgehend hätte herbeigeführt werden können, und führt auch das Verständnis der Bevölkerung für Schwierigkeiten und unvermeidliche Verzögerungen darauf zurück.

Abb.1.6 Senator mit Bürgern

Jährlich finden ein bis zwei Versammlungen mit den betroffenen Bürgern, insbesondere den Kleingartenvereinen, statt, in denen der Hamburger Umweltsenator und die beteiligten Behördenvertreter über den Fortgang der Sanierung informieren und Anregungen aufnehmen.

1.3 Aufbau, Geologie, Hydrologie

Der etwa 40 m hohe Deponiekörper wird von der 1979 aufgebrachten, 2 bis 4 m mächtigen Rekultivierungsschicht überdeckt. Im Innern der Ablagerung sind besonders die zehn Flüssigabfallbecken und die vier Faßlager zu beachten. Die Deponiebasis befindet sich bei etwa 2 m unter NN, da die Marschenablagerungen unter der Deponie, die sogenannten „Weichschichten", durch die gewaltige Auflast zusammengepreßt wurden.

Der Stauflüssigkeitskörper in der Deponie erreicht gegenwärtig eine Höhe bis zu 11 m über NN bzw. 13m über Deponiesohle und schließt damit die meisten Flüssigkeitsbecken ein. Entstehungsursachen für den mächtigen Stauflüssigkeitskörper waren:

- Stauende Marschenböden als Deponiebasis (k_f-Wert bei 10^{-9} m/s);
- gehemmter seitlicher Abfluß wegen eines den Zentralbereich der Deponie umschließenden Ringwalls sowie der Randwälle der Flüssigabfallbecken;
- Einbringen von ca. 150.000 m³ Flüssigabfällen;
- ungehinderter Niederschlagseintrag in der Betriebsphase der Deponie bis 1979;
- Einsickerung eines erheblichen Niederschlagsanteils (etwa 150.000 m³ pro Jahr) auch in der Phase der Rekultivierungsabdeckung 1979 bis 1986;
- Auspressung von Kapillarwasser aus dem Müll infolge von Setzungen.

Die Marschenablagerungen direkt unter der Deponie bestehen aus Klei und Mudde und sind zwischen 0,5 m und 7 m, überwiegend 2 bis 3 m, mächtig. Diese Schichten wurden im Holozän vor etwa 4000 Jahren gebildet. Aufgrund mehrfach wechselnder Ablagerungsbedingungen im Elbe-Urstromtal zeigen die Klei- und Muddeschichten, mit vereinzelten Sandlinsen, ein recht uneinheitliches Bild. Lokale kleine Fehlstellen sind aber nur am dicht abgebohrten Deponierand nachgewiesen. Die ursprünglich bei 1 m über NN liegende Oberfläche der Marschenböden wurde vor allem im 20. Jahrhundert in Georgswerder durch menschliche Eingriffe erheblich verändert. Großflächiger Abbau des oberen Kleies sowie etwa 100 Bombentrichter im Deponieuntergrund (die in der Regel aber wieder mit Feinmaterial verfüllt sind) haben zu einer Schwächung der natürlichen Deponiebasisschichten geführt.

Man rechnet heute mit einer Absickerung aus dem Stauwasserkörper durch die Marschenablagerungen in den Grundwasserleiter von 80.000 m³ pro Jahr, mit abnehmender Tendenz infolge absinkenden Stauwasserpotentials.

Der oberflächennahe Grundwasserleiter ist etwa 15 m mächtig. Er ist in zwei Sedimentationseinheiten untergliedert; jüngere Fein- und Mittelsande überlagern Weichseleiszeitliche grobe, kiesige Sande. Die Basis des Grundwasserleiters liegt bei 15 m bis 20 m unter NN und weist ein unruhiges Relief mit teilweise tief ein-

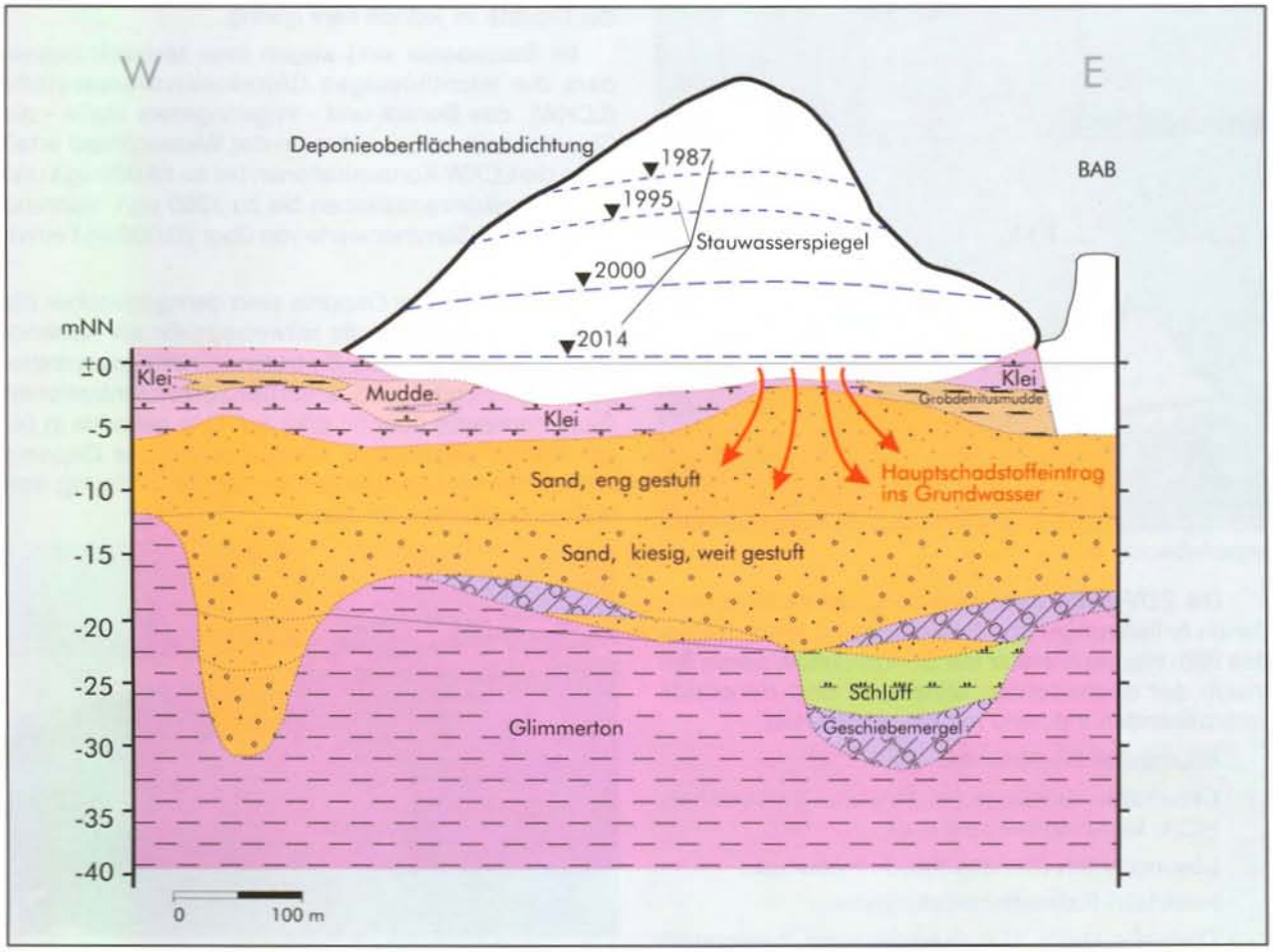


Abb. 1.7 Profilschnitt durch die Deponie mit ihrem Untergrund, mit Stauflüssigkeitsspiegel

geschnittenen pleistozänen Erosionsrinnen auf.

Der gespannte Grundwasserspiegel liegt im Deponiebereich bei 0,3 m über NN im Mittel und schwankt zwischen etwa 0,5 m unter NN und 1,5 m über NN, abhängig vom Wasserstand der Elbe. Die regelmäßigen tidebedingten Grundwasserschwankungen erreichen hier allerdings höchstens 20 cm pro Tidezyklus. Das Grundwasser strömt insgesamt mit geringer Geschwindigkeit (etwa 20 m jährlich) nach Südwesten.

Die Sohle des oberen Grundwasserleiters bildet der tertiäre Glimmerton, der stellenweise von Geschiebemergel und Geröll überlagert wird. Beim Glimmerton handelt es sich um einen marinen tonigen Schluff (obere Schichten) bzw. schluffigen Ton (tiefere Schichten) mit geringem Kalkgehalt. Die Gesamtmächtigkeit dieser sehr wirksamen Barriere beträgt etwa 40 m. Sie trennt den oberflächennahen Grundwasserleiter vom tieferen Grundwasserleiter der tertiären Braunkohlensande.

1.4 Deponie-Inhaltsstoffe

In der Deponie Georgswerder lagert auf einer Fläche von 42 ha ein konsolidiertes Müllvolumen von etwa 7 Millionen m³. Mengenmäßig besteht der Hauptanteil der Ablagerung aus Hausmüll, Sperrmüll, Bauschutt und Bodenaushub. Von entscheidender Bedeutung ist jedoch der Sondermüllanteil von über 200.000 m³, der im wesentlichen aus rund 150.000 m³ flüssigen Sonderabfällen in den zehn Becken und über 100.000 Fässern mit pastösen Sonderabfällen in vier Faßlagern besteht.

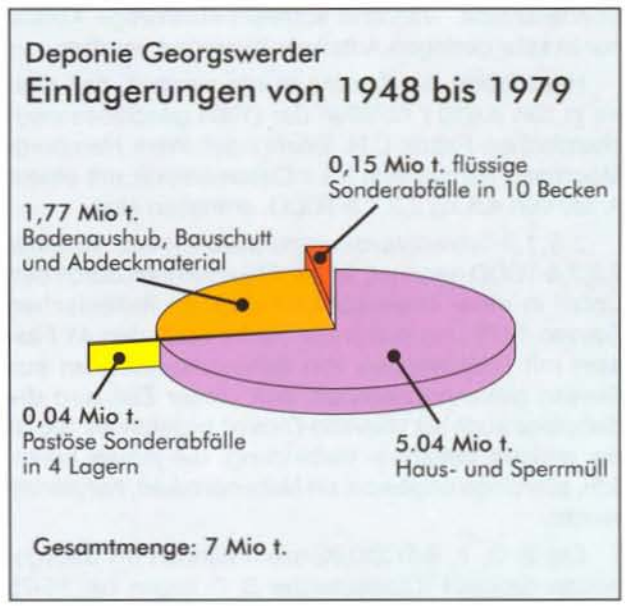


Abb. 1.8 Anteile verschiedener Müllarten an der Gesamtablagerung Georgswerder

Abb.1.9 Flüssigabfallbecken im Bau

Die EDV-gestützte Auswertung der noch vorhandenen Anlieferungs- und Begleitscheine ergab folgendes Bild: Hauptanlieferer der Sonderabfälle waren Betriebe der chemischen, Mineralöl- und mineralölverarbeitenden Industrie mit den Abfallarten

- bituminöse Rückstände
- Chlorkohlenwasserstoffe (Per- und Trichlorethen, HCH, Tetrachlorbenzole u.a.)
- Lösungsmittel (Benzol, Toluol, Xylole u.a.)
- Naphtalin-Raffinationsrückstände
- Ölabfälle (Altöl, Bohrölemulsionen, Leichtstoffabscheider- und Tankreinigungsrückstände)
- Phenolharzemulsionen
- Schlämme (Klärschlämme, aus Kunstharzherstellung, aus Naßentstaubung)
- Abfälle aus der Schmierölverarbeitung (Bleicherden, Sulfoseifen)

Demnach überwiegen bei weitem organische Sonderabfälle, während schwermetallhaltige Abfälle nur in sehr geringen Anteilen abgelagert wurden.

Hinsichtlich des Dioxins wurde ermittelt, daß alleine in den 5.610 t Abfällen der (1984 geschlossenen) chemischen Fabrik C.H. Boehringer, Werk Hamburg-Moorfleet, mindestens 13 t Gesamtdioxin mit einem Anteil von 4,5 kg 2,3,7,8-TCDD enthalten sind.

2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-para-dioxin, verkürzt 2,3,7,8-TCDD genannt, ist der Allgemeinheit durch den Unfall in einer chemischen Fabrik im italienischen Seveso 1976 und durch die Suche nach den 41 Fässern mit Rückständen von Sanierungsarbeiten aus Seveso bekanntgeworden. Seit dieser Zeit wird die Substanz auch als „Seveso-Dioxin" bezeichnet. Sie ist die giftigste bekannte Verbindung, die jemals künstlich, allerdings ungewollt als Nebenprodukt, hergestellt wurde.

Die 2, 3, 7, 8-TCDD-Konzentrationen im Georgswerder-Sickeröl (Ölabscheider S 7) liegen bei 15-75 ug/kg. Die Gesamtdioxinkonzentrationen erreichen im Öl etwa 10.000 bis 40.000 ug/kg. Die Wasserlöslichkeit der Dioxine ist jedoch sehr gering.

Im Stauwasser sind wegen ihrer Mobilität besonders die leichtflüssigen Chlorkohlenwasserstoffe (LCKW), das Benzol und - in geringerem Maße - die Chlorbenzole zu beachten. In der Wasserphase erreichen die LCKW-Konzentrationen bis zu 10.000 ug/l und die Benzolkonzentrationen bis zu 1000 ug/l, während Chlorbenzol-Summenwerte von über 20.000 ug/l ermittelt werden.

In den Ölen der Deponie sind demgegenüber die organischen Schadstoffe teilweise mehr als tausendfach höher konzentriert. So treten LCKW-Konzentrationen über 20g/kg und Chlorbenzolkonzentrationen (Summenwerte) über 50 g/kg auf. Das gesamte in öliger Phase abgelagerte CKW-Inventar der Deponie umfaßt dementsprechend die Größenordnung von mehreren tausend Tonnen.

Abb.1.10 Befülltes Flüssigabfallbeckens

1.5 Schadstoffausbreitung und Gefährdungspotential

Der Nachweis des Dioxins im austretenden Sickeröl führte zu der entscheidenden Erkenntnis, daß die Deponie zu einer Emissionsquelle geworden war. Die Deponie erfüllte ihren technischen Zweck nicht, die abgelagerten Stoffe, insbesondere die Sonderabfälle, auf Dauer in ihrem Innern festzuhalten, sondern gab sie allmählich wieder frei. Als Hauptursachen hierfür sind zu nennen:

- **Physikalisch/chemisch/biologische Prozesse im Deponieinnern:** Der Haus- und Sperrmüll war nicht, wie ursprünglich erhofft, in der Lage, die flüssigen Sonderabfälle vollständig aufzusaugen. Die gemischte Ablagerung vieler unterschiedlicher fester und flüssiger Stoffe führte nicht zu einer Neutralisation und Immobilisierung. Ein biologischer Abbau der organischen Sonderabfälle bis hin zu unbedenklichen Endprodukten hat nicht oder nur in geringem Maße stattgefunden; teilweise haben sich neue gefährliche Stoffe gebildet (z.B. Vinylchlorid).

- **Der Stauflüssigkeitskörper:** Das Stauwasser mobilisiert durch Lösungsvorgänge Schadstoffe insbesondere aus der öligen Phase und aus schadhaften Sonderabfall-Fässern. Aufschwimmende Ölschichten haben sich über die Beckenrandwälle hinweg oder durch diese Wälle hindurch in der Deponie ausgebreitet. Das Druckpotential der Stauflüssigkeiten führt zu

lateralen und vertikalen Flüssigkeits- und Schadstoffbewegungen.

- **Die fehlende Deponiekapsel:** Die ursprünglich aufgebrachte Rekultivierungsschicht war zu durchlässig, um laterale Aussickerungen zu unterbinden. Die Marschenablagerungen an der Deponiebasis weisen Schwachstellen auf und ermöglichen daher eine nicht unerhebliche Zusickerung zum Grundwasser.

Bei der Ermittlung und Bewertung des Gefährdungspotentials waren bzw. sind folgende Schadstoffpfade aus der Deponie in die Umwelt zu beachten:

Oberflächengewässer: Durch am Deponiefuß austretende Sickerflüssigkeiten hat eine Belastung des Inneren Randgrabens (früherer Ringgraben um die Deponie) und in geringerem Maße eine Belastung der Östlichen und der Westlichen Georgswerder Wettern stattgefunden.

Grundwasser: Ein permanenter Eintrag aus dem Stauwasserkörper in den Grundwasserleiter, hauptsächlich durch Schwachstellen in den Marschenablagerungen, hat zu einer massiven Grundwasserverunreinigung mit organischen Schadstoffen, vor allem leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (LCKW) und Benzol, geführt, sowohl unter der Deponie als auch im südwestlichen Abstrom. Bis 1994 sind nach Modellrechnungen des Geologischen Landesamtes etwa 280 kg LCKW ins Grundwasser gelangt. Auf

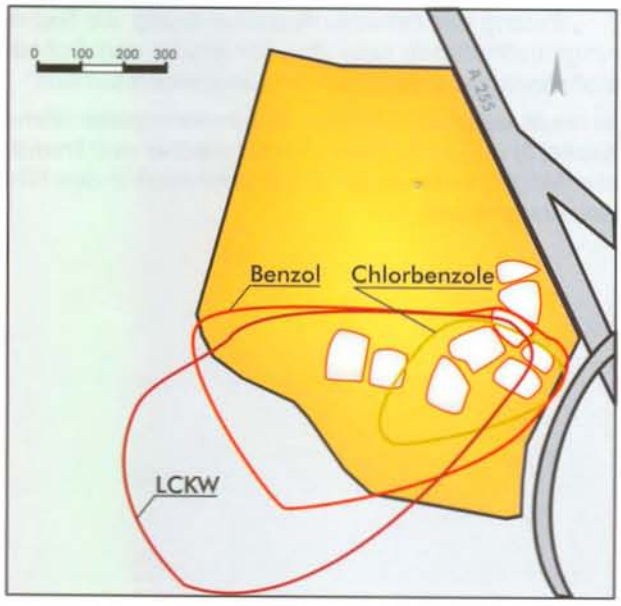


Abb. 1.11 LCKW-, Benzol- und Chlorbenzolfahne im oberen Grundwasserleiter

einer Fläche von etwa 39 ha wurde ein Grundwasser volumen von ca. 2 Millionen m³ verunreinigt.

Direkter Kontakt mit Menschen und Tieren: Trotz Rekultivierung unmittelbar nach Ende der Deponierung bestand vor Aufbringen der neuen Oberflächenabdichtung die Gefahr des direkten Kontaktes von Menschen mit hochtoxischen Stoffen z.B. im Bereich der Sickerflüssigkeitsaustritte. Außerdem haben auf der Deponie Tiere nachgewiesenermaßen Schadstoffe aufgenommen, und es bestand die Gefahr, daß sie diese nach außerhalb verschleppten.

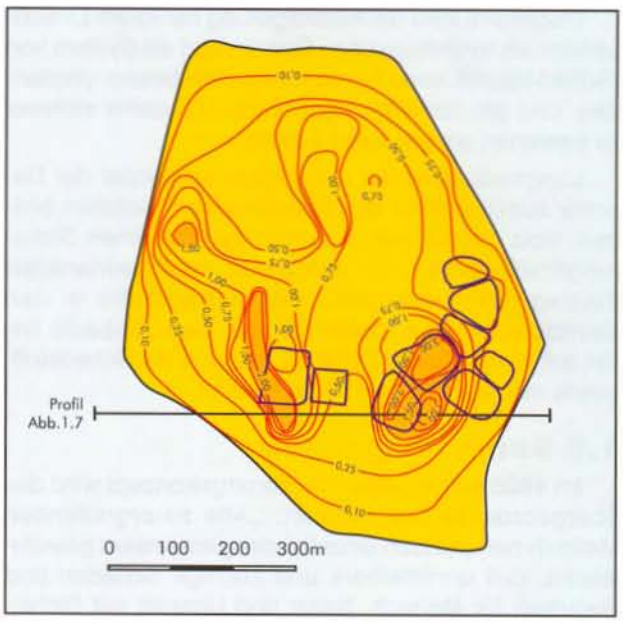


Abb. 1.12 Schwachstellen in den Marschenablagerungen des Deponieuntergrundes

Boden/Staubverwehung: Belastungen des Rekultivierungsbodens auf der Deponie durch Sickerflüssigkeiten haben bis zu Beginn der Sanierung stattgefunden. Eine mögliche Umgebungsbelastung infolge von Staubverwehungen wurde überprüft. Sowohl Schwebstaubanalysen als auch Bodenuntersuchungen im Kleingartengebiet brachten keine Hinweise auf deponiebürtige Belastungen.

Deponiegas: Eine mögliche Luftbelastung über unkontrolliert austretendes Deponiegas wurde ebenfalls überprüft. Demnach sind über der Deponieoberfläche keine erhöhten Schadstoffkonzentrationen festzustellen. Die Deponiegase haben allerdings den Bewuchs auf der früheren Rekultivierungsabdeckung der Deponiekuppe massiv geschädigt.

Ein hohes Gefährdungspotential und damit Sanierungsbedarf der Deponie Georgswerder ergab sich im wesentlichen aus:

- den abgelagerten großen Mengen teilweise hochgiftiger organischer Schadstoffe, die in der Deponie mehr oder weniger mobil vorliegen,
- dem möglichen Schadstoffpfad Kontakt mit Menschen und Tieren,
- dem Schadstoffpfad Oberflächengewässer,
- dem Schadstoffpfad Grundwasser,
- dem Deponiegas.

Für die Sanierungsentscheidung 1984/85 standen das Schadstoffpotential in der Deponie und generell die Dioxinproblematik im Vordergrund. Heute (1994/95) wird dem Pfad Grundwasser mit den Stoffen Benzol und Vinylchlorid größere Bedeutung beigemessen. Eine Sanierungsnotwendigkeit wird aufgrund der großflächigen Verunreinigung des oberflächennahen Grundwasserleiters und des fortgesetzten Schadstoffeintrags ins Grundwasser gesehen.

Insgesamt wird die Altablagerung mit ihrem Einflußbereich als hydrologisches System und als System von (Schad-)Stoffflüssen heute wesentlich besser verstanden, und das Gefährdungspotential ist damit sicherer zu bewerten als vor zehn Jahren.

Langfristig wird ein Gefährdungspotential der Deponie zumindest für das Grundwasser bestehen bleiben, trotz der Kapselungs- und hydraulischen Sicherungsmaßnahmen. Ein reduzierter, aber permanenter Eintrag mobiler organischer Schadstoffe in den Grundwasserleiter unterhalb der Deponiebasis findet auf unabsehbare Zeit statt, solange die Schadstoffquelle selbst nicht dekontaminiert ist.

1.6 Sanierungsziele

Im 1985 aufgestellten Sanierungskonzept wird das übergeordnete Ziel definiert: „Alle zu ergreifenden Maßnahmen müssen einzeln oder gemeinsam gewährleisten, daß unmittelbare und künftige Schäden und Gefahren für Mensch, Natur und Umwelt mit Sicherheit ausgeschlossen werden."

Im einzelnen werden die konzeptionellen Ziele verfolgt,

A. den Schutz der in der Umgebung wohnenden und an der Sanierung arbeitenden Menschen vor Kontakt mit Schadstoffen sicherzustellen,

B. die weitere Ausbreitung von Schadstoffen in die Umwelt zu verhindern,

C. das Schadstoffpotential in der Deponie zu mindern oder, wenn möglich, aufzuheben.

Hinsichtlich Dringlichkeit der Zielerreichung gilt die Reihenfolge A. - B. - C.

Das Ziel B. wird weiter aufgefächert in die Teilziele:

- Minimierung der Schadstoffmobilisierung im Deponiekörper durch eindringende Niederschläge,
- Verhinderung lateralen Abflusses aussickernder Stauflüssigkeiten in das Oberflächengewässersystem,
- Fassung und Abführung des sich ständig neu bildenden Deponiegases,
- Fassung und Sanierung der Kontaminationsfahne im Grundwasser.

Das letztgenannte Teilziel „Grundwassersanierung" wird aufgrund neuerer Erkenntnisse über die Grundwassersituation erst seit den neunziger Jahren verfolgt.

1985 wurde zudem ein Katalog von Handlungsgrundsätzen für die Durchführung von Maßnahmen aufgestellt, wovon hier eine Auswahl genannt wird, die bei der Umsetzung des Sanierungskonzeptes weitgehend beachtet wurde und wird:

- Rücksichtnahme auf die Bevölkerung von Georgswerder, langfristige Sicherung des Stadtteils Georgswerder als Wohn- und Arbeitsort;
- umfassender Arbeitsschutz bei der Sanierungsdurchführung;
- keine Sanierung durch Verdünnung, keine Sanierung durch Problemverlagerung;
- Einbeziehen natürlicher Vorgänge des Schadstoffabbaus im Deponieinnern;
- Beachtung der heute geltenden Anforderungen an Sondermülldeponien bei den Sanierungsmaßnahmen;
- doppelte Sicherung der Altablagerung, Kontrollier- und Reparierbarkeit der Sicherunganlagen, Sicherstellung einer Dauerüberwachung;
- Anstreben von Null-Konzentrationen im Grundwasser (bezüglich der Schadstoffe), keine nachteiligen Veränderungen des Grundwasserhaushalts;
- Beachtung der Wirtschaftlichkeit und Angemessenheit der Sanierungsmaßnahmen bei der Auswahl unter alternativen Möglichkeiten, im Hinblick auf Investitions, Betriebs- und Überwachungskosten.

Der ebenfalls 1985 aufgestellte Handlungsgrundsatz

„Vorrang der Schadstoffherdsanierung vor Sicherungsmaßnahmen oder der Sanierung von Schadstoffahnen im Hinblick auf die Langzeitwirksamkeit"

ist heute aufgrund vertiefter Systemkenntnisse (siehe Kapitel 2) und noch fehlender technischer und finanzieller Möglichkeiten einer Dekontamination in den Hintergrund gerückt.

2. Sanierungskonzept

2.1 Sanierungskonzept - Stand 1985 -

Ein Vollabtrag der Deponie und damit eine wirkungsvolle Beseitigung des gesamten Gefährdungspotentials wurde wegen der damit verbundenen Umweltrisiken und des Fehlens von Wiederablagerungsmöglichkeiten ausgeschlossen. Das 1985 vorgelegte Sanierungskonzept sah statt dessen eine Kombination verschiedener Sicherungs- und Dekontaminationsstrategien mit folgenden Hauptkomponenten (siehe Abb.2.1.) vor:

- Neuabdeckung der Deponie mit Dichtmaterialien,
- Entzug der Stauflüssigkeiten aus der Deponie,
- Sicherstellung des Grundwasserschutzes durch Herstellung einer Dichtwand oder/und durch hydraulische Maßnahmen,
- Bau einer Sickerflüssigkeitsbehandlungsanlage,
- Bau einer Hochtemperaturverbrennungsanlage; bis zu deren Inbetriebnahme Bau eines Silolagers auf der Deponie,
- Deponierung der Reststoffe aus der Verbrennungsanlage,
- Fassung und Nutzung der Deponiegase.

Unter Berücksichtigung der Notwendigkeit, der Dringlichkeit, aber auch des Standes der jeweiligen Realisierbarkeit wurde ein stufenweises Vorgehen vorgesehen:

- schnell und vorrangig zu realisierende Maßnahmen:
  - Abdeckung des oberen Bereiches der Deponie
  - Bau einer 1. Stufe einer umfassenden Sickerflüssigkeitsreinigungsanlage (Flotation)
- konkrete Maßnahmeplanungen
  - Grundwasserschutz durch Bau einer in den Glimmerton einbindenden Dichtwand oder durch einen Ring von Förderbrunnen im 1. Grundwasserleiter
  - Planung einer Hochtemperaturverbrennungsanlage (HTVA)
  - Planung eines Silolagers als Zwischenlager
- Untersuchungen mit dem Ziel der Entwicklung und Beurteilung von weiteren Sanierungsmaßnahmen
  - Behandlung der Stauflüssigkeiten aus der Deponie in einer 2. Behandlungsstufe
  - Entzug der Stauflüssigkeiten aus der Deponie
  - Untersuchung von Verfestigungsverfahren zur Fixierung von Schadstoffen
- flankierende und absichernde Untersuchungen
  - Wasserhaushalt mehrschichtiger Abdecksysteme
  - Langzeitverhalten von Deponiegasen
  - vertikale Ausbreitung von Grund- und Sickerwasser im Glimmerton
  - Dioxinanalytik
- Gegenüber dem Stand von 1985 wurden zusätzliche Untersuchungen durchgeführt:
  - Vor-Ort-Schnellanalytik
  - Entnahme von kontaminierten Böden und Abfällen
  - Prognose des Schadstofftransports im Deponieuntergrund
  - Vegetation der neuen Abdeckung

Die beschriebenen Planungen und Untersuchungen wurden überwiegend im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprojekten (FuE-Projekte) durchgeführt.

2.2 Neue Erkenntnisse und konzeptionelle Änderungen 1985 - 1995

Die seit 1985 durchgeführten Planungen und Untersuchungen haben zu nachfolgend dargestellten wichtigen Erkenntnissen und Einschätzungen geführt, die insgesamt eine Modifizierung des Sanierungskonzeptes von 1985 zur Folge hatten.

2.2.1 Abdeckung

Das mehrschichtige Abdecksystem, bestehend aus einer Rekultivierungs- und Dränageschicht sowie einer Kunststoffdichtungsbahn (PEHD) und einer bindigen mineralischen Dichtschicht (Mergel), hat sich als gut wirksam herausgestellt. Dies zeigen die Ergebnisse eines entsprechenden F u E-Projektes (Wasserhaushaltsuntersuchungen des mehrschichtigen Abdecksystems), die Überwachung des Abdecksystems sowie ein bereits zu beobachtender Rückgang des Stauflüssigkeitsspiegels von ca. 14 m über NN auf ca. 11 - 12 m über NN.

Gefährdungen für Lebewesen durch Kontakt mit Schadstoffen und Deponiegasen sowie für die Oberflächengewässer werden erfolgreich ausgeschlossen.

Es hat sich gezeigt, daß die Kunststoffdichtungsbahnen neben der ursprünglichen Aufgabe einer Wurzel- und Nagetiersperre eine ganz wesentliche Funktion als Dichtungselement übernehmen. Im FuE-Projekt wurde nachgewiesen, daß das Schichtenpaket aus Decksubstrat mit Dränage und PEHD-Bahn über 99 % des Niederschlags über Verdunstung bzw. lateralen Abfluß oberhalb der Dichtungsbahn zurückhält. Bei ca. 800 mm Jahresniederschlag verdunsten ca. 60 - 70 %, ca. 30 - 40 % fließen lateral als Dränageabfluß ab. Der Oberflächenabfluß macht nur ca. 1 % aus, die Dichtschichtdurchsickerung auf der oberen Abdeckung ca. 0,4 % (~ 3 mm/a).

Die mineralische Dichtungsschicht ohne aufliegende Kunststoffdichtungsbahnen altert sehr schnell; es

entstehen Schrumpfrisse, eine Selbstheilung ist nicht gegeben. Die beobachteten erhöhten Durchlässigkeiten stellen den Einsatz dieser Dichtungsschicht bei anderen Sanierungsmaßnahmen stark in Frage. Durch ein neues FuE-Projekt im Rahmen der Sanierung der Deponie Müggenburger Straße sollen daher alternative Abdecksysteme entwickelt werden.

Die Erfahrung bei der Herstellung der neuen Abdeckung hat darüber hinaus gezeigt, daß der Einbau der bindigen mineralischen Dichtungsschicht sehr stark witterungsabhängig ist, was unter anderem zu erheblichen zeitlichen Verzögerungen führt.

Der Vegetation kommt eine wesentliche Rolle sowohl bei der Verdunstung als auch beim Schutz der Abdeckung gegen Erosion zu. Ein entsprechendes FuE-Projekt ergab, daß sich auf der neuen Abdeckung innerhalb von 5 Jahren überwiegend hochdeckende, stabile Grünland-Pflanzengesellschaften gebildet haben. Allerdings sind nach wie vor Tiefwurzler (z. B. Meerrettich, Disteln) vorhanden. Die Flächendränage wird teilweise durchwurzelt. Auf Gehölzpflanzungen in Bereichen mit nur in Fallrichtung verschweißt verlegten PEHD-Bahnen wird deshalb weitgehend verzichtet.

2.2.2 Stauflüssigkeiten

1985 wurde aufgrund von Spiegelmessungen geschätzt, daß sich durch eindringendes Niederschlagswasser sowie durch abgelagerte Öle, Lösungsmittel und andere Flüssigkeiten ein Stauflüssigkeitskörper von ca. 1 Mio. m³ gebildet hatte, dessen maximale Spiegelhöhe bei ca. 14 m über NN lag. Diese Flüssigkeiten sickern lateral nach außen in die Oberflächengewässer und vertikal durch die Weich-

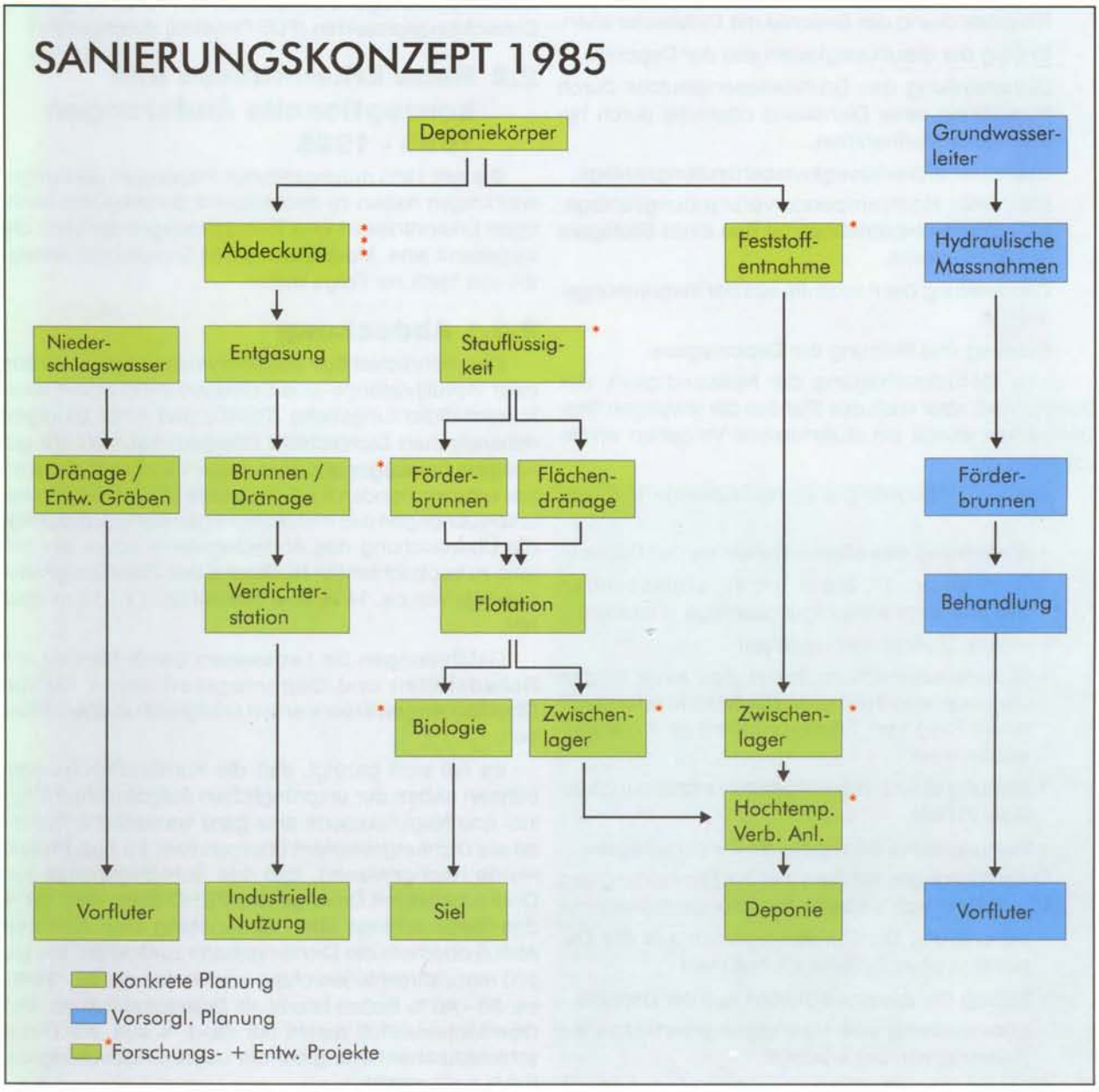


Abb.2.1 Sanierungskonzept 1985

schichten in den 1. Grundwasserleiter. Man rechnete seinerzeit damit, daß nach Aufbringen einer neuen dichten Abdeckung die Flüssigkeiten - vornehmlich Wasser - in ca. 25 Jahren von selbst absinken würden. Ziel eines aktiven, forcierten Entzugs war es, diese Frist abzukürzen und so das Gefährdungspotential entscheidend zu verringern.

Insbesondere die Ergebnisse aus dem FuE-Projekt „Prognose des Schadstofftransports im Deponieuntergrund" führten dazu, daß einige unsichere Annahmen nunmehr konkreter und belastbarer für die weitere Planung verwandt werden konnten.

Besonders hervorzuheben sind :

- Mit einer Erosion der Weichschichten (Klei- und Muddeschichten an der Deponiebasis) und einem damit verbundenen masiven Schadstoffdurchbruch ist nicht zu rechnen.
- Die Weichschichten unterhalb der Deponie können gesichert als Filter gegenüber der Ölphase angesehen werden. Ein Schadstofftransport findet lediglich über den Wasserpfad für gelöste Schadstoffe statt.
- Die jährlich durch die Weichschichten dem Grundwasser zusickernde Wassermenge beträgt gegenwärtig ca. 80.000 m³ (frühere Annahme 57.000 m³) mit abnehmender Tendenz.
- Der oberflächennahe Grundwasserleiter ist bereits erheblich kontaminiert (LCKW, Benzole). Ein Stauflüssigkeitsentzug würde den Aufwand an Maßnahmen, die am Grundwasser ansetzen müssen, nur geringfügig reduzieren.
- Ein kurzfristig ansetzender forcierter Stau-

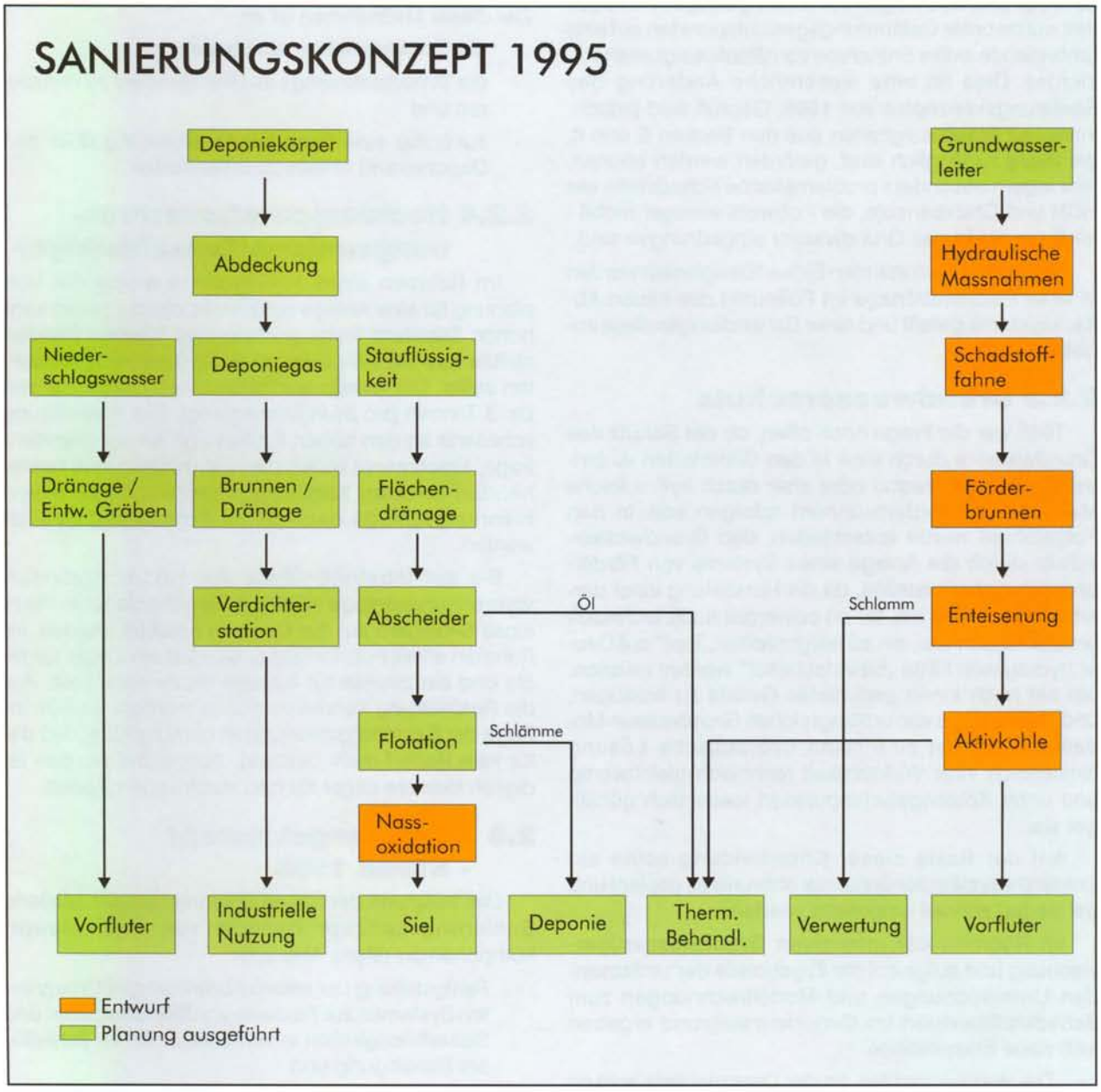


Abb.2.2 Sanierungskonzept 1995

flüssigkeitsentzug könnte nur noch ca. die Hälfte des derzeit vorhandenen Stauflüssigkeitskörpers von ca. 800.000 m³ fördern, wobei nur ca. ein Fünftel der ursprünglich ca. 150.000 t eingelagerten flüssigen Sonderabfälle entzogen werden würde.

- Das passive Absinken der Stauflüssigkeiten dauert nach Aufbringen des neuen Abdecksystems ca. 15 - 30 Jahre.
- Auch nach Absinken der Stauflüssigkeiten bleibt eine nicht förderbare Restmenge oberhalb der Weichschichten. Da die Grundwasserspiegellinie ca. 1,5 m oberhalb der Deponiesohle liegt, findet über Diffusion auf Dauer ein Schadstofftransport in das Grundwasser statt.

Angesichts der hohen Kosten für die Förderung, Reinigung und Beseitigung von Reststoffen, insbesondere der Öle, und wegen der relativ geringen Wirksamkeit wurde unter Gefährdungsgesichtspunkten auf eine umfassende aktive Entnahme von Stauflüssigkeiten verzichtet. Dies ist eine wesentliche Änderung des Sanierungskonzeptes von 1985. Geprüft wird jedoch, inwieweit Stauflüssigkeiten aus den Becken 5 und 6, die leicht zugänglich sind, gefördert werden können. Hier lagern besonders problematische Schadstoffe wie HCH und Chlorbenzole, die - obwohl weniger mobil - lokal bereits in das Grundwasser eingedrungen sind.

Die seitlich austretenden Sickerflüssigkeiten werden in einer Flächendränage im Fußpunkt des neuen Abdecksystems gefaßt und einer Behandlungsanlage zugeführt.

2.2.3 Grundwasserschutz

1985 war die Frage noch offen, ob der Schutz des Grundwassers durch eine in den Glimmerton einbindende tiefe Dichtwand oder aber durch hydraulische Maßnahmen (Förderbrunnen) erfolgen soll. In den Folgejahren wurde entschieden, den Grundwasserschutz durch die Anlage eines Systems von Förderbrunnen sicherzustellen, da die Herstellung einer derartig tiefen Wand (ca. 50 m) seinerzeit noch technisch problematisch war, ein so hergestellter „Topf" auf Dauer hydraulisch hätte „bewirtschaftet" werden müssen, um ein nach innen gerichtetes Gefälle zu erzeugen, und als Ergebnis von umfangreichen Grundwasser-Modellrechnungen eine reine hydraulische Lösung hinsichtlich ihrer Wirksamkeit technisch gleichwertig und unter Kostengesichtspunkten wesentlich günstiger war.

Auf der Basis dieser Entscheidung sollte ein Entnahmesystem zunächst nur entwurfsreif geplant und bei Bedarf schnell umgesetzt werden.

Im Rahmen der intensiven Grundwasserüberwachung und aufgrund der Ergebnisse der umfassenden Untersuchungen und Modellrechnungen zum Schadstofftransport im Deponieuntergrund ergaben sich neue Erkenntnisse:

- Die Weichschichten an der Deponiebasis weisen zwei Schwachzonen im Bereich der Flüssigkeitsbecken 3, 4 und 6 im Südosten und 8 und 9 im Südwesten auf,
- Das Grundwasser unterhalb der ehemaligen Flüssigkeitsbecken ist stark mit LCKW, Aromaten, Chlorbenzolen, Chlorphenolen und HCH verunreinigt,
- Die Schadstoffe LCKW und Benzole haben sich in einer Fahne im 1. Grundwasserleiter bereits bis zu 350 m über die südwestliche Deponiegrenze hinaus ausgebreitet,
- Die Wanderungsgeschwindigkeit der Schadstofffahne im Grundwasser beträgt ca. 15 - 20 m pro Jahr,
- Auch für die Zukunft ist von einem dauerhaften Eintrag auszugehen.

Die großflächige Verunreinigung des 1. Grundwasserleiters und der weitere zu erwartende Schadstoffeintrag machen heute Sanierungsmaßnahmen unumgänglich.

Ziel dieser Maßnahmen ist es,

- die Schadstoffahne abzubauen
- die Schadstoffmenge im Grundwasser zu reduzieren und
- zukünftig eine Schadstoffausbreitung über den Deponierand hinaus zu unterbinden.

2.2.4 Hochtemperaturverbrennungsanlage/Zwischenlager

Im Rahmen eines FuE-Projekts wurde die Vorplanung für eine Anlage aufgestellt, die auf einem sehr hohen Standard feste, pastöse und flüssige Sonderabfälle aus der Altlastensanierung thermisch vernichten sollte. Die Anlage wurde für einen Durchsatz von ca. 3 Tonnen pro Stunde ausgelegt. Die Realisierung scheiterte an den hohen Kosten und an der Standortfrage. Ersatzweise sollen die Kapazitäten einer bestehenden privaten hamburgischen Sonderabfallverbrennungsanlage nach deren Erneuerung genutzt werden.

Bis zur Inbetriebnahme der Hochtemperaturverbrennungsanlage sollte ein Zwischenlager in Form eines Silolagers auf der Deponie errichtet werden. Im Rahmen eines FuE-Projektes wurden ein Lager für feste und ein zweites für flüssige Stoffe entwickelt. Auf die Realisierung konnte verzichtet werden, da sich im Zuge der Sanierungsplanungen herausstellte, daß dafür kein Bedarf mehr bestand. Ausgeführt wurden lediglich kleinere Läger für den kurzfristigen Bedarf.

2.3 Sanierungskonzept - Stand 1995 -

Das aufgrund der neuen Erkenntnisse aktualisierte Sanierungskonzept besteht aus zwei Hauptkomponenten (siehe Abb.2.2):

- Fertigstellung der neuen Abdeckung mit integrierten Systemen zur Fassung von Deponiegasen und Sickerflüssigkeiten einschließlich deren schadloser Beseitigung und
- Bau eines Förderbrunnensystems im oberflächennahen Grundwasserleiter mit entsprechenden Reinigungsanlagen.

3. Forschungs- und Entwicklungsprojekte

Die Sanierung der Deponie Georgswerder wurde - wie die einiger anderer Großaltlasten in Deutschland - als Modellsanierung angelegt, da 1984, zu Beginn der Altlastensanierung, noch wenig Erfahrungen vorlagen. Dabei ließ man sich von den folgenden Grundsätzen leiten.

Die Erkundung des Gefährdungspotentials der Deponie Georgswerder sollte umfassend und grundlegend durchgeführt werden. Hierfür wurden neue Verfahren und Methoden entwickelt, die später auch bei anderen Altlasten genutzt werden konnten. Solche Techniken aus herkömmlichen Bereichen, die für Sanierungsmaßnahmen geeignet waren, wurden in modifizierter Form frühzeitig großtechnisch eingesetzt. Gleichzeitig wurden sie durch intensive wissenschaftliche Begleitung auf ihre Eignung und langfristige Wirksamkeit hin untersucht bzw. verfahrenstechnisch weiterentwickelt. Bei der Entwicklung neuer Verfahren wurden der Labor-, Technikums- und Feldmaßstab, soweit möglich, zeitlich parallel oder sinnvoll kombiniert betrieben, um frühestmöglich mit Maßnahmen tatsächlich beginnen und der zunehmenden Schadstoffausbreitung begegnen zu können.

Das damalige Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) erklärte sich 1984 bereit, die Sanierung der Deponie Georgswerder dadurch zu fördern, daß Teilprojekte mit Forschungs- und Entwicklungscharakter (FuE) bezuschußt werden. Daraufhin wurde ein FuE-Verbundvorhaben, bestehend aus zum Schluß 15 Teilvorhaben, aufgelegt, das inhaltlich mit den parallel laufenden FuE-Projekten außerhalb Hamburgs (zum Beispiel Gerolsheim) abgestimmt war. Einen Überblick über die Teilvorhaben und ihre Laufzeiten gibt die Abbildung 3.1. Das Gesamtvolumen belief sich auf 26,9 Mio DM, davon übernahm das BMFT 10,7 Mio DM.

Die FuE-Projekte haben wesentliche Beiträge zur Abschätzung des Gefährdungspotentials und zum Sanierungskonzept der Deponie Georgswerder erbracht (siehe hierzu die Ausführungen an den entsprechenden Stellen der anderen Kapitel). Viele der neuentwickelten Methoden, Verfahren und Ergebnisse können darüber hinaus auch bei der Sanierung anderer Altlasten genutzt werden.

Der neuartige Ansatz, einen Verbund von FuE-Projekten in ein laufendes Sanierungsprojekt zu integrieren, war erfolgreich und kann als zukunftsweisend gelten. Durch ihn konnten die komplexen ökologischen Zusammenhänge in angemessener Weise bearbeitet werden. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Universitäten, Ingenieurbüros, Firmen und behördlichen Stellen war befruchtend für alle Seiten. Sie erhöhte die Ausrichtung und Effektivität der Arbeiten und ermöglichte die schnelle Verwertung einmal erzielter Ergebnisse.

Im folgenden sind die Ergebnisse der einzelnen Teilvorhaben dargestellt.

Teilvorhaben 1a:

Vertikale Ausbreitung von Grund- und Sickerwässern im Deponiebereich von Georgswerder

Projektleiter: Dr. K. Wüstenhagen,
Geologisches Landesamt Hamburg

Ziel des Teilvorhabens 1a war es, das Schadstoff-Rückhaltevermögen des Glimmertons zu untersuchen, der unterhalb des ersten Grundwasserleiters ab etwa 20 m Tiefe ansteht. Es zeigte sich, daß die oberen Lagen des etwa 40 m mächtigen Glimmertons erheblich durchlässiger ($k_f = 10^{-8}$ m/s) als die darunterliegenden sind, die durchgängig eine hohe Dichtigkeit ($k_f = 10^{-10}$ bis 10^{-13} m/s) aufweisen. Die erhöhte Wasserdurchlässigkeit im oberen Bereich wird durch ausgeprägte Kluftsysteme (Risse) verursacht, die bei eiszeitlichen Prozessen entstanden sind.

An den Kluftoberflächen haben sich durch geochemische Prozesse Beläge aus Eisenhydroxid und anderen Stoffen gebildet, durch die die Schadstoffe aus dem durchströmenden Wasser zurückgehalten werden. Trotzdem sind sowohl organische wie anorganische Schadstoffe bis zu einer Tiefe

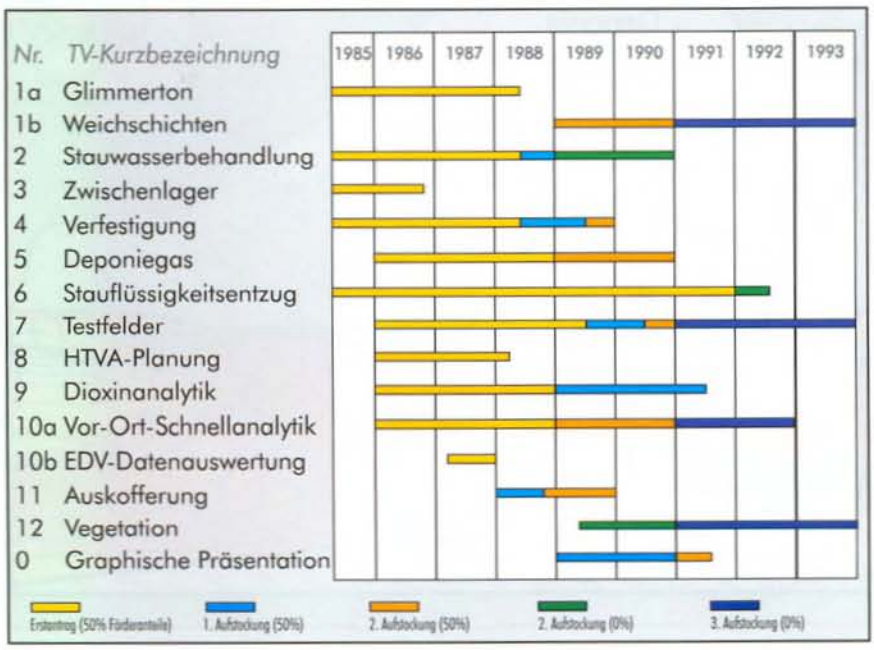


Abb.3.1 Laufzeiten der einzelnen Teilvorhaben (TV)

von etwa 10 m in den Glimmerton eingedrungen.

Die tidebedingten Schwankungen des Grundwasserspiegels (rund 0.2 m) verstärken den, insgesamt allerdings sehr langsamen, Austausch des Porenwassers innerhalb des Glimmertons mit dem darüber anstehenden Grundwasser. Diese Prozesse konnten aufgrund von Pegelmessungen im Glimmertonkörper und durch Isotopenuntersuchungen im Porenwasser des Glimmertons abgeschätzt werden.

Feld- und Laboruntersuchungen sowie Modellrechnungen haben ergeben, daß die Schadstoffe aus dem darüberliegenden Grundwasserleiter zwar relativ bald in die oberen Schichten des Glimmertons eindringen können, daß jedoch die darunterliegenden, ungestörten Schichten auch langfristig eine effektive Barriere bilden.

Teilvorhaben 1b:

Prognose des Schadstofftransports im Deponieuntergrund

Projektleiter: Dr. W. Schneider, Geologisches Landesamt Hamburg

Das Teilvorhaben 1b hat das Schadstoff-Rückhaltevermögen der Marschenablagerungen (Weichschichten) direkt unterhalb der Deponie Georgswerder in umfangreichen Labor- und Geländeversuchen untersucht und ein mathematisches Stofftransportmodell entwickelt.

Die aus Klei und Mudden bestehenden Weichschichten sind, wenn auch teils von nur geringer Mächtigkeit, durchgängig unterhalb des Deponiekörpers vorhanden. Sie halten das hochbelastete Öl, das im Stauflüssigkeitskörper vorhanden ist, wirksam zurück, während das schadstoffhaltige Stauwasser in den Grundwasserleiter einsickern kann. Die Weichschichten halten dabei die im Stauwasser gelösten Schadstoffe entsprechend ihren chemischen Eigenschaften mehr oder weniger stark zurück. Am mobilsten sind die leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffe (LCKW). Die Bereiche mit den höchsten Durchsickerungsraten liegen ungünstigerweise direkt unterhalb der Flüssigabfallbecken.

In den Labor- und Geländeversuchen konnten alle wesentlichen Stofftransportprozesse und -parameter so genau bestimmt werden, daß das darauf basierende mathematische Modell die tatsächlichen Verhältnisse recht gut wiederspiegelt. Für die LCKW und das etwas weniger mobile Benzol wurden die bisherige und die zukünftige Schadstoffausbreitung sowohl ohne wie auch mit verschiedenen Sanierungsmaßnahmen simuliert. Das Modell lieferte entscheidende Beiträge zur Abschätzung des Gefährdungspotentials, zur Auslegung von Sanierungsmaßnahmen (Lage und Förderraten von Grundwasserbrunnen) wie auch zur Bewertung alternativer Maßnahmen (siehe auch Kapitel 6).

Teilvorhaben 2:

Behandlungssystem für die Stauflüssigkeiten aus der Deponie Georgswerder

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. P. Wilderer, TU Hamburg-Harburg

Thema des Teilvorhabens 2 war die weitergehende Behandlung des in der Flotationsanlage vorgereinigten

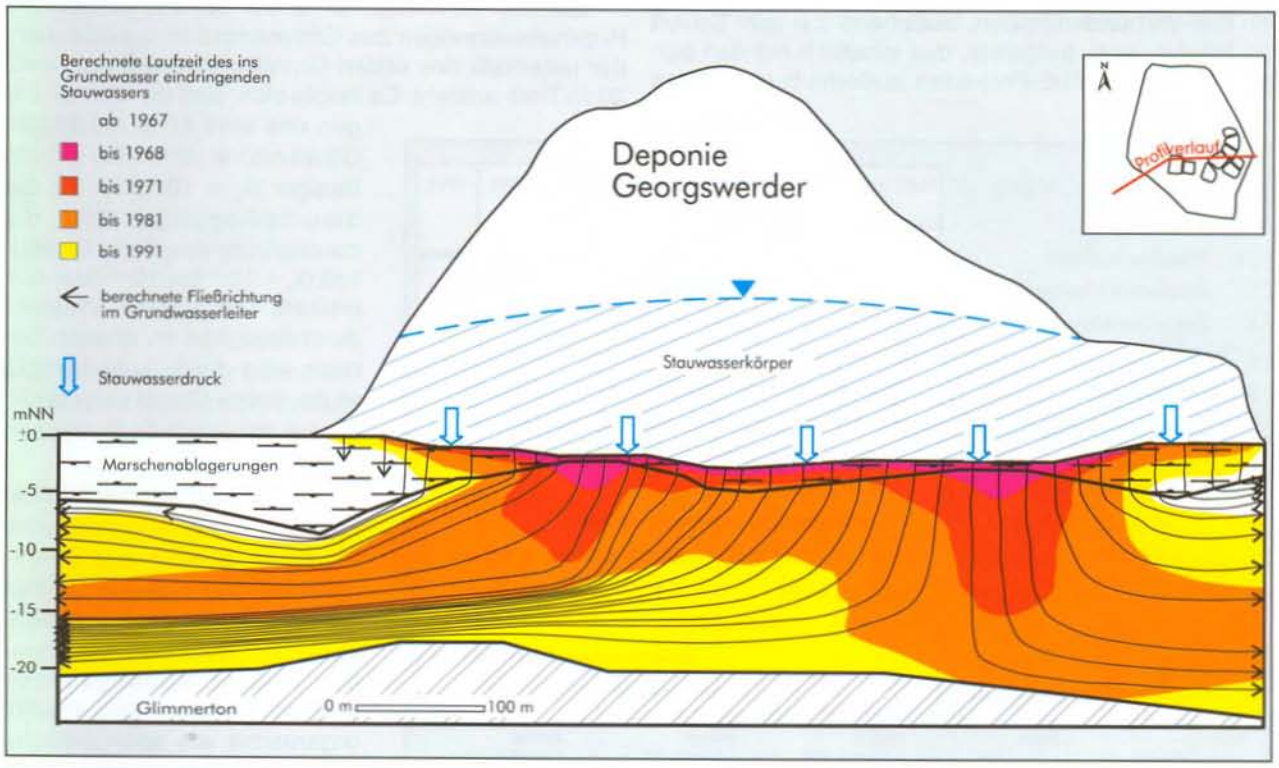


Abb.3.2 Berechnete Fließzeiten und -richtungen im 1. Grundwasserleiter

Sickerwassers. Der Schwerpunkt wurde auf die Entwicklung einer mikrobiologischen Stufe gelegt, für die ein diskontinuierlicher Betrieb (Sequencing-Batch-Reactor-Betrieb, SBR-Betrieb) gewählt wurde, um auch die schwer abbaubaren Schadstoffe möglichst weitgehend entfernen zu können.

Neben umfangreichen Laborversuchen wurde eine Pilotanlage neu entwickelt und optimiert. Die Anlage bestand aus zwei biologischen Stufen mit wahlweise vorgeschalteter Ammoniumfällung und einer nachgeschalteten Aktivkohlereinigung. Für die Sauerstoffversorgung wurden erstmals Silikonmembranen eingesetzt. Für die Laborversuche und die Pilotanlage wurde auf der Deponie ein Labor mit Dioxin-Sicherheitsstandard eingerichtet. Dieses Deponielabor wird seit Abschluß des Teilvorhabens 2 für Betriebs-, Optimierungs- und Entwicklungsaufgaben bei der Sickerwasserbehandlungsanlage genutzt.

In der Pilotanlage konnten über 50% der schwer- und nichtflüchtigen organischen Stoffe einschließlich der chlororganischen Komponenten eliminiert werden. Das Silikonmembransystem ermöglichte zudem den Abbau eines Großteils der flüchtigen Verbindungen (Aromaten über 95%). Mikrobiologische Untersuchungen belegten, daß die Mikroorganismen in der Anlage zum Abbau zahlreicher Schadstoffgruppen fähig sind. Der SBR-Modus erlaubte die vollständige Nitrifikation bei hohen Raum-Zeitausbeuten.

Um die Grenzwerte für Halogenorganika (250 μg Cl/l AOX für die Einleitung in die Schmutzwasserkanalisation) zu erreichen, war jedoch ein nachgeschalteter Aktivkohlefilter erforderlich. Für dieses Filter konnten gute Standzeiten erzielt werden, und es war in Laborversuchen mit Modellsubstanzen mikrobiologisch regenerierbar. Laborversuche zeigten außerdem, daß sich die Grenzwerte auch durch eine chemische Oxidationsstufe zwischen den beiden Bioreaktoren erreichen lassen.

Basierend auf den Ergebnissen wurden Vorschläge für die technische Realisierung einer biologischen Reinigungsanlage mit einem Membranbegasungssystem entwickelt (siehe auch Kapitel 5).

Teilvorhaben 3:

Durchführbarkeitsuntersuchungen für ein Zwischenlager zur mittelfristigen Lagerung hochkontaminierten Deponiematerials

Projektleiter: Dr. A. Schwennicke,
STRABAG BAU-AG, Hamburg

Ursprünglich wurde erwartet, daß bei der Sanierung der Deponie Georgswerder große Mengen hochkontaminierter flüssiger und fester Deponieinhaltsstoffe anfallen würden und daß diese zwischengelagert werden müßten. Da es für ein derartiges Zwischenlager außer Ideenskizzen keine konkreten Konzeptionen gab, wurde im Rahmen des Teilvorhabens 3 ein Betriebs- und Baukonzept mit Vorentwurfscharakter erarbeitet, bei dem die Arbeits- und Emissionssicherheit sowie der Umweltschutz besonders berücksichtigt wurden.

Das Konzept sah für feste Stoffe eine Behälterdeponie als überdachtes, geschlossenes Silolager vor. Flüssigkeiten sollten in Fässern, Kleincontainern und Tanks in einer Halle eingelagert werden. Es handelte sich um standortunabhängige und wiederabbaubare Bauwerke aus modular erweiterbaren Systemeinheiten, die hohe Ansprüche an die Kontrollierbarkeit und Reparierbarkeit erfüllten. Es hätte die mittelfristige, differenziert rückholbare Einlagerung hochkontaminierter und aggressiver Stoffe erlaubt.

Teilvorhaben 4:

Verfestigungsverfahren für Sonderabfälle

Projektleiter: Prof. Dr. U. Förstner,
Prof. Dr.-Ing. R. Stegmann,
TU Hamburg-Harburg

Das Teilvorhaben 4 hat die Möglichkeiten der Verfestigung von Sickerölen der Deponie Georgswerder anhand von Modellölen untersucht. Dabei sollte geklärt werden, welchen Beitrag Verfestigungsverfahren zur Sanierung der ölhaltigen, hochkontaminierten Deponiebereiche grundsätzlich liefern könnten.

Mit anorganischen Bindemitteln (Zement, Flugasche, Hochofenmehl, Weißkalk, Weißkalkhydrat, Gips) lassen sich zwar Verfestigungsprodukte mit teils hoher Festigkeit herstellen. Jedoch geben alle Produkte, auch solche mit Tensidanteilen, bereits bei Kontakt mit normalem Wasser einen großen Teil des eingebundenen Öls wieder ab und verlieren dabei ihre Festigkeit zum Teil vollständig.

Organische Bindemittel (Trinidadasphalt, Bitumenemulsion, Braunkohle, Feinstkoks) vermögen Öle dagegen erheblich besser einzubinden. Allerdings muß in allen Fällen mindestens das Drei- bis Vierfache an Verfestigungsmitteln zudosiert werden, um ausreichend gute Eigenschaften des Verfestigungsprodukts zu erhalten. Die besten Ergebnisse wurden mit einer Mischung aus 80% Trinidadasphalt und 20% Braunkohlestaub erzielt. Bei einem Verhältnis des Zuschlagstoffs zum Modellöl von 3:1 erfüllt das erdähnliche Verfestigungsprodukt die bodenmechanischen Anforderungen für eine Deponierung.

Durch Wasser werden die Schadstoffe nur sehr wenig ausgelaugt. Es gab mehrere Hinweise, daß die Schadstoffe zum Teil stärker als nur rein sorptiv an die organischen Bindemittel gebunden werden. Leichtflüchtige Stoffe werden allerdings auch von den organischen Bindemitteln nur wenig eingebunden. Insgesamt gesehen ist die Leistungsfähigkeit der Verfestigungsverfahren somit relativ eingeschränkt. Sie sind bei der Sanierung der Deponie Georgswerder nicht eingesetzt worden.

Teilvorhaben 5:

Untersuchungen zum Langzeitverhalten der in der Deponie Georgswerder produzierten Gaskomponenten

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. R. Stegmann,
TU Hamburg-Harburg

Das Teilvorhaben 5 führte neben Messungen zur Menge, Ausbreitung und Absaugung des in der Deponie Georgswerder produzierten Gases vor allem Untersuchungen zu Art, Konzentration und Verteilung der in dem Deponiegas neben Methan und Kohlendioxid enthaltenen Spureninhaltsstoffe durch.

Die Gaswegigkeit im Deponiekörper erwies sich als erheblich besser, als zunächst angenommen worden war. Daraus konnten Hinweise für den Betrieb der Entgasungsanlage abgeleitet werden.

Im Gas der Deponie Georgswerder sind die für Hausmülldeponien vergleichbaren Alters typischen organischen Spureninhaltsstoffe enthalten. Zusätzlich sind einige weitere Kohlenwasserstoffe wie Toluol und teilhalogenierte Kohlenwasserstoffe (FCKW) vorhanden. Die potentiell gefährlichsten Stoffe sind Vinylchlorid, Benzol und Schwefelwasserstoff. Dibenzodioxine und Furane kommen praktisch nicht vor; ihre Konzentrationen liegen niedriger als in der Umgebungsluft. Die über mehr als vier Jahre beobachteten Konzentrationen der Spureninhaltsstoffe schwanken relativ stark. Sie zeigen keine Trends, die auf eine zunehmende Freisetzung von Schadstoffen aus den Sonderabfallbereichen hinweisen würden. Die räumliche Verteilung der Spurenkomponenten zeigt nur für das Toluol einen direkten Zusammenhang mit den Sonderabfallbereichen und schwankt im übrigen ebenfalls relativ stark. Die Schwermetalle, die teils mit neu entwickelten Methoden untersucht wurden, liegen im Deponiegas durchgängig nur in sehr niedrigen Konzentrationen vor.

In den nicht abgedeckten unteren Deponiebereichen waren die Emissionen von Deponiegas im wesentlichen auf wenige begrenzte Bereiche beschränkt. Die Obere Abdeckung, bei der die Folie nicht vollständig verschweißt ist, ist gegenüber Deponiegas nicht undurchlässig, so daß Gasemissionen nur bei Betrieb der Entgasungsanlage vollständig vermieden werden können. Die relativ starken Einflüsse der barometrischen Luftdruckschwankungen konnten weitgehend geklärt werden. Bei sinkendem Wassergehalt des Mergels nimmt die Gasdurchlässigkeit laut Laborergebnissen überproportional stark zu. In den oberen Bodenschichten können geringe Mengen an Methan mikrobiologisch abgebaut werden, wenn Sauerstoff vorhanden ist.

Teilvorhaben 6:

Entnahmesysteme für schadstoffbelastete Flüssigkeiten aus Deponien

Projektleiter: Dr.-Ing. K. Günther,
IGB Hamburg

Das Sanierungskonzept sah ursprünglich den aktiven Entzug des Stauwasserkörpers (seinerzeit ca. 1 Mio m³) und der fließfähigen Öle vor, um schnellstmöglich eine weitere Ausbreitung der Schadstoffe über diese mobilen Phasen zu unterbinden. Da zuvor noch nie Stauflüssigkeiten aus einer Altdeponie entzogen worden waren, mußten im Teilprojekt 6 zunächst die Grundlagen für die komplexen Strömungsvorgänge von Wasser-Öl-Gas-Gemischen im Deponiekörper erarbeitet und Bemessungsverfahren für die Entnahmesysteme entwickelt werden.

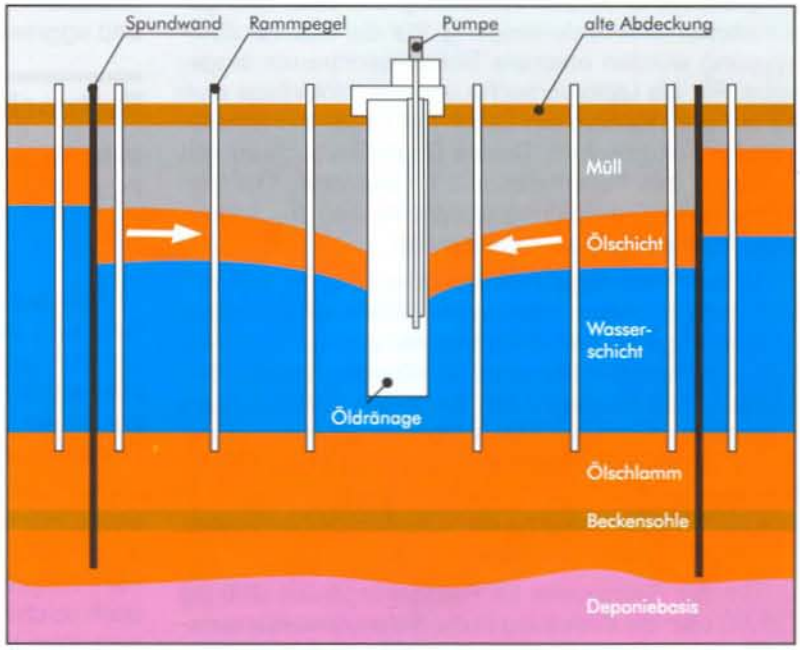


Abb.3.3 Pilotanlage zur Flüssigkeitsentnahme aus Becken 6

Bei der Entwicklung von Entnahmesystemen mußte berücksichtigt werden, daß in den Sickerölen hochtoxische Schadstoffe enthalten sind, daß sich aus dem Deponiegas explosionsfähige Gemische bilden können und daß die Bildung schwer behandelbarer Wasser-Öl-Emulsionen vermieden werden sollte. Außerdem sollte die Stauflüssigkeitsentnahme so gesteuert werden, daß sich die Ölphase während der Entnahme nicht weiter im Deponiekörper ausbreitet und daß so viel Öl wie möglich entzogen werden kann.

Am Schluß des Projektes wurden drei verschiedene Entnahmesysteme im Pilotmaßstab mehrere Monate erfolgreich getestet. Es zeigte sich, daß in realistischen Zeiträumen das Stauwasser weitgehend entnommen werden kann, während, je nach Viskosität, bis zu 30% der Öle rückholbar sind. Die Pilotversuche bestätigten dabei auch die Eignung der mathematischen Bemessungsverfahren.

Teilvorhaben 7:

Wasserhaushalt und Wirksamkeit mehrschichtiger Abdecksysteme Untersuchungszeitraum 1986 bis 1990

Projektleiter: Dr. S. Melchior, Prof. Dr. G. Miehlich
Universität Hamburg

Im Teilprojekt 7 wurde untersucht, welche Wirksamkeit das auf der Deponie Georgswerder realisierte Abdecksystem tatsächlich erreicht und wieweit diese Wirksamkeit auch langfristig, trotz möglicher Alterungsprozesse, voraussichtlich erhalten bleibt. Für diese Untersuchungen wurden sechs je 10 x 50 m große, meßtechnisch umfangreich ausgerüstete Testfelder (Großlysimeter) entworfen und in das Abdecksystem auf der Deponie integriert. Diese Testfelder erlaubten weltweit erstmals, die Wasserbilanz derartiger Systeme vollständig und mit der erforderlichen Genauigkeit unter Feldbedingungen zu erfassen. In den Testfeldern wurden auch Abdecksystem-Varianten realisiert und untersucht. Daneben wurden für eine Reihe von Fragestellungen Versuche im Labormaßstab durchgeführt.

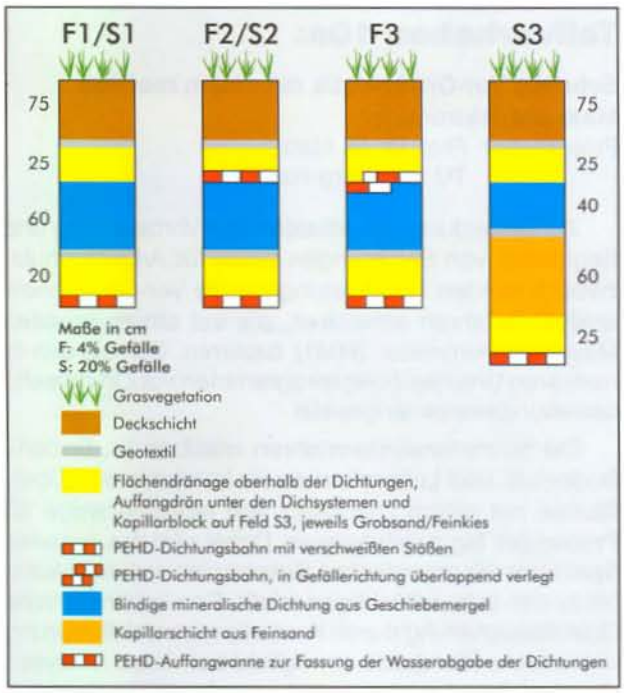


Abb.3.4 Schichtenaufbau der sechs Testfelder

Die seit 1988 gesammelten umfangreichen Daten zeigen, daß die Kombinationsdichtung der Abdeckung, bestehend aus einer Kunststoff-Dichtungsbahn über einer mineralischen Geschiebemergel-Dichtung, sehr gut wirksam ist (Durchsickerung < 4 mm/Jahr). Allerdings tritt im Sommer eine geringe, von der Bodentemperatur abhängige, abwärtsgerichtete Wasserabgabe aus der bindigen mineralischen Dichtung auf, die diese langfristig gefährden könnte und die deshalb in Feldversuchen weiter untersucht wird. Die Untersuchungen haben zudem umfangreiches Material zu Verbesserungen bei Planung, Bau und Überwachung derartiger Systeme geliefert.

Vielversprechende Ergebnisse wurden mit der erweiterten Kapillarsperre erzielt. Dies ist eine noch in der Entwicklung befindliche Systemvariante. Sie besteht aus zwei nicht bindigen Schichten (feiner Sand über Kies) mit genau definierter Korngrößenverteilung.

Im Gegensatz dazu haben die Systemvarianten, die keine Kunststoff-Dichtungsbahn über der bindigen mineralischen Dichtung (Geschiebemergel) enthalten, ihre anfänglich gute Wirksamkeit bereits nach wenigen Jahren verloren, verursacht durch kapillaren Wasseraufstieg, Austrocknung und Schrumpfungen in den Sommermonaten (siehe Abbildung 3.5). Damit können bindige mineralische Einfachdichtungen bei zukünftigen Sanierungen von vornherein als ungeeignet ausgeschieden werden.

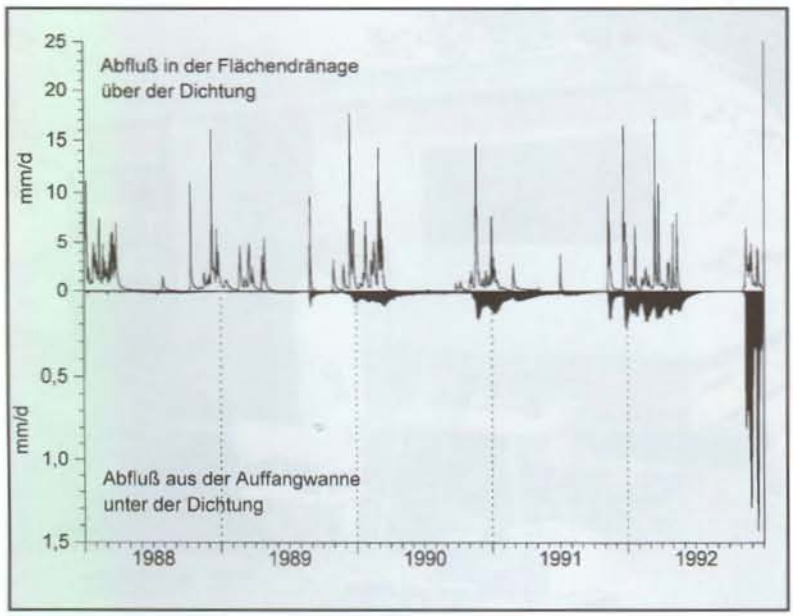


Abb.3.5 Nachlassende Wirksamkeit beim Testfeld 1

Teilvorhaben 8:

Projektierung einer Entsorgungsanlage zur Behandlung hochtoxischer Sonderabfälle in Hamburg (HTVA)

Projektleiter: Dr.-Ing. H. Zwahr,
CONSULECTRA GmbH,
Hamburg

Ziel des Teilvorhabens 8 war die Projektierung einer Hochtemperatur-Verbrennungsanlage zur möglichst schadlosen und umweltverträglichen Beseitigung von Stoffen, die bei der Sanierung der Deponie Georgswerder sowie bei anderen Altlasten und bei der industriellen Produktion in Hamburg anfallen und die mit herkömmlichen Verfahren nicht zu entsorgen waren. Die Anlage mußte insbesondere auch für dioxinhaltige Sonderabfälle geeignet sein.

Zunächst wurde im Rahmen der Grundlagenermittlung das Abfallauf-

kommen geschätzt und daraufhin für die Auslegung der Anlage ein Durchsatz von 3 t/h festgelegt. Daneben recherchierte man weltweit die Vielzahl der möglichen Technologien, die seinerzeit Stand der Technik waren oder die sich in der Entwicklung fanden und führte eine vergleichende Bewertung durch. Daraus wurde ein technisches Anlagenkonzept entwickelt, das eine flexible, ergänzbare Modulbauweise mit zunächst nur einer thermischen Hauptverfahrenslinie und einer parallelen Flüssigstoffbehandlung vorsah. Diesem Kernbereich wurde ein Annahme- und Lagerungsbereich mit anschließender chemisch-physikalischer Vorbehandlung vorgeschaltet. Die anfallenden Reststoffe sollten mit neuartigen Verfahren nachbehandelt werden, um insbesondere die Restgehalte an Dioxinen und Schwermetallen weiter zu reduzieren. Weiterhin waren eine mehrstufige, abwasserfreie Rauchgasreinigung und eine Abwärmenutzung vorgesehen. Das Projekt schloß Nutzwert- und ökologische Risikoanalysen sowie Standortuntersuchungen mit ein. Das Konzept wurde aus Kostengründen nicht realisiert (siehe auch Kapitel 2).

Teilvorhaben 9:

Nachweis und Quantifizierung halogenierter Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane
Projektleiter: Prof. Dr. W. Francke,
Universität Hamburg

Zu Beginn des Verbundvorhabens bestand bei der Analytik der polychlorierten Dibenzo-p-dioxine und -furane (PCDD/DF) und ähnlicher Spurenschadstoffe erheblicher Entwicklungsbedarf im Hinblick auf Analysequalität und -dauer. Im Rahmen des Teilvorhabens 9 wurde deshalb unter Einsatz modernster Analysetechniken, insbesondere der hochauflösenden Massenspektroskopie (HRMS), diese Spurenanalytik für den Altlastenbereich weiterentwickelt und bei den in anderen Teilvorhaben auftretenden Fragestellungen eingesetzt. Wegen der hohen Arbeitsschutzanforderungen war die Einrichtung eines Labors mit Dioxinsicherheitsstandard erforderlich.

Durch Senkung der Nachweisgrenze konnten die Spurengehalte an PCDD/DF auch im ölfreien Sickerwasser nachgewiesen und deren Verbleib bei der Sickerwasserbehandlung verfolgt werden. In der Flotationsanlage wurden Eliminationsraten von 35 bis 90% festgestellt. Im biologischen Anlagenteil wurde neben den PCDD/DF auch eine Vielzahl weiterer mehrfachchlorierter Spurenschadstoffe analytisch erfaßt. Ein Teil dieser Stoffe konnte tatsächlich, wie angestrebt, in der mikrobiologischen Stufe abgebaut werden, andere Stoffe, zum Beispiel die Chlorbenzole, wurden jedoch erst in der Aktivkohlestufe adsorbiert.

Die begleitende Analytik zeigte, daß mit allen drei Dechlorierungsverfahren: Natriumaufschluß, Pyrolyse und elektrochemischer Abbau, eine weitgehende Reduzierung der PCDD/DF-Gehalte im Sickeröl der Deponie Georgswerder erzielt werden kann. Schließlich wurden auch für mineralische Materialien Probenaufbereitungsverfahren entwickelt.

Teilvorhaben 10a:

Schnelle Vor-Ort-Analytik mit einem mobilen Massenspektrometer
Projektleiter: Prof. Dr. G. Matz,
TU Hamburg-Harburg

Zur Erkundung von Altlasten, zur Vorbereitung und Begleitung von Sanierungen sowie für Arbeitsschutzzwecke wurden hochleistungsfähige Vor-Ort-Schnellanalyseverfahren entwickelt, die auf einem mobilen Massenspektrometer (MM1) basieren. Sie wurden in mehreren Untersuchungsprogrammen vor Ort getestet beziehungsweise eingesetzt.

Die Schnellanalyseverfahren erlauben es, Boden-, Bodenluft- und Luftproben sowie kontaminierte Oberflächen mit einem Durchsatz von typischerweise 30 Proben pro Tag zu analysieren. Dabei wird das gesamte Spektrum der organischen Substanzen von den leicht- bis zu den schwerflüchtigen erfaßt. Eine kontinuierliche Qualitätssicherung durch Kontrollproben, Kalibrierung und interne Standards ermöglicht bei vielen Analysen einen mit herkömmlichen Laboranalysen vergleichbaren Standard. Da die Schnellanalytik nur kleine Probenmengen von wenigen Gramm einsetzt und eine große Anzahl von Analysewerten liefert, können mit ihr die häufig sehr inhomogenen Schadstoffbelastungen erheblich besser und verläßlicher erfaßt werden, als dies mit wenigen, im Labor analysierten Mischproben mög-

Abb.3.6 Vort-Ort-Schnellanalytik mit mobilem GC/MS-Analysegerät (MM-1)

lich ist.

Bei mehreren umfangreichen Sondierprogrammen zeigte sich, daß die MM1-Schnellanalytik mit dem Bohrablauf Schritt halten und zum Beispiel Bohrtiefe und die Auswahl weiterer Sondierpunkte steuern kann. Damit macht sie es möglich, gleich im ersten Anlauf das Bohrraster bis zum endgültig erforderlichen Grad zu verdichten. Die Anzahl von Sondierpunkten und Bohrmetern kann dadurch auf ein Minimum reduziert und ein hohes Maß an Arbeitssicherheit jederzeit gewährleistet werden. Die Ergebnisse liefern unmittelbar nach Abschluß der Sondierungen einen guten Überblick über die Belastungssituation und ermöglichen eine zügige Fortführung der Sanierungsplanung. Durch die Schnellanalytik können außerdem Auskofferungsarbeiten so gesteuert werden, daß die Auskofferungsgrenzen kleinräumig richtig festgelegt, die Aushubmengen auf ein Mindestmaß reduziert und der Aushub auf der Baustelle bereits in Chargen unterschiedlicher Belastung klassifiziert werden kann.

Wegen des hohen Probendurchsatzes und der umfangreichen Daten pro Analyse liegen die Kosten pro Analyseergebnis trotz des erforderlichen hohen Personalaufwandes (2 - 3 hochqualifizierte Personen) erheblich niedriger als bei Laboranalysen. Rechnet man den vielfältigen Nutzen durch die sofortige Verfügbarkeit der Daten hinzu, so ergibt sich ein günstiges Kosten/Nutzen-Verhältnis für diese auf neuartigen Analysestrategien aufbauende Vor-Ort-Schnellanalytik.

Teilvorhaben 10b:

EDV-Auswertungskonzept für die Daten der Deponie Georgswerder
Projektleiter: Dr.-Ing. H. Sacher,
HYDROTEC Aachen

Für die Sanierung der Deponie Georgswerder wurde eine große Anzahl von Analysedaten von den verschiedensten Institutionen erstellt und in unterschiedlichen Formaten und Zusammenstellungen dezentral gehalten. Dadurch war eine systematische, zusammenschauende Auswertung sehr erschwert und eine systematische Ergänzung des bisherigen, inhomogenen Datenmaterials nur schwer möglich. Im Teilvorhaben 10b wurde deshalb ein Konzept zur Datenhaltung und Auswertung am Beispiel der Deponie Georgswerder entwickelt, das die neuartigen EDV-Hilfsmittel mit einbezog. Aus dem Konzept wurden Strategien für eine effektivere Gestaltung und Auswertung zukünftiger Analyseprogramme entwickelt.

Das Konzept sieht eine relationale (tabellenorientierte) Datenbank vor, in der Analyseort, Probenahmezeitpunkt, Parameter und Maßeinheit in einem Primärdatensatz zusammengefaßt und einheitlich gespeichert sind. Für jede Altlast soll eine eigene Datenbank angelegt werden, die entsprechend den verschiedenen Datentypen und nicht entsprechend möglicher Auswertungstrukturen untergliedert ist. Als Datenbank wird eine auf dem Markt erhältliche Software dringend empfohlen, da diese erhebliche Vorteile gegenüber einer Eigenprogrammierung aufweist. Zur Auswertung sollten gängige statistische und graphische Auswerteprogramme baukastenartig zur Verfügung gestellt werden.

Um verbesserte Untersuchungstrategien zu erzielen, schlägt das Konzept vor, zunächst eine theoretische Untergliederung der Altlast vorzunehmen; und zwar auf der ersten Hierarchieebene in Kompartimente, auf der zweiten in Phasen und auf der dritten in die physikalischen Transportprozesse. Dieser Vorschlag berücksichtigt, daß die Vorgänge der Schadstoffausbreitung eng in die räumlichen Strukturen eingebunden sind.

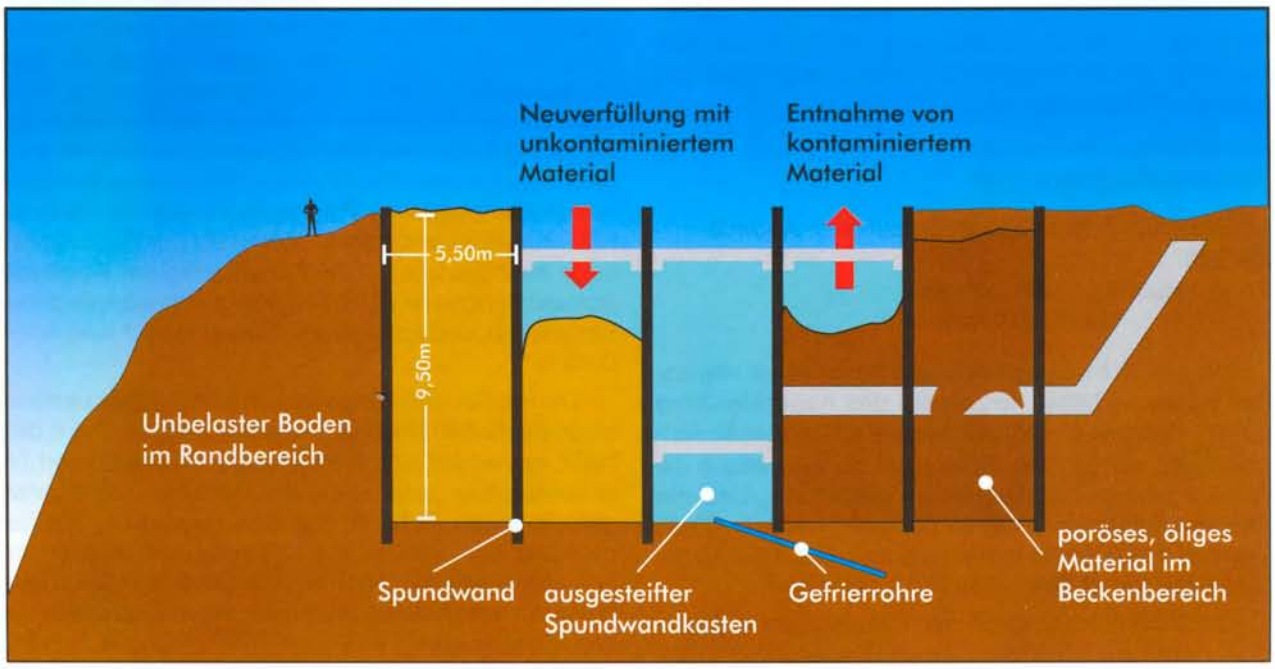


Abb.3.7 Verfahrensschema zur Auskofferung der Becken 5 und 6

Teilvorhaben 11:

Lösungskonzepte für die Entnahme von kontaminierten Böden und Abfallstoffen aus den Flüssigmüllbecken 5 und 6

Projektleiter: Dr. J. Bartels-Langweige,
IWB Braunschweig/Hamburg

Das Teilvorhaben 11 entwickelte ein praktikables Verfahren zur Auskofferung der Flüssigabfallbecken 5 und 6 (vergleiche Abb. 3.7), bei dem - entsprechend einer angenommenen Aufnahmekapazität einer Hochtemperatur-Verbrennungsanlage - 50 Tonnen pro Tag gefördert werden. Die Kosten für die Auskofferung wurden auf 500 DM/m³ geschätzt.

Das Verfahren sieht vor, daß nacheinander 12 rechteckige, jeweils 20 x 30 m große Teilflächen mit gerammten Spundwandkästen eingerahmt werden. Diese 4,5 x 5,5 m großen und 11 m tiefen Kästen werden nacheinander entleert und ausgesteift. Die Teilflächen werden mit schwimmfähigen und befahrbaren Pontons abgedeckt, von denen aus die Entnahme mit Greiferbaggern und Pumpen durch kleine Öffnungen erfolgt. Zunächst wird das Material bis auf NN +1 m entnommen. Um Grundbrüche zu verhindern, wird dann die Sohle solange vereist, bis auf NN -2,5 m ausgekoffert und wiederverfüllt worden ist.

Das Material wird unmittelbar nach der Entnahme in geschlossene Container gefüllt und mit einem Kran zu einer gekapselten Klassieranlage gebracht. Hier wird es schwerkraftentwässert, in drei Fraktionen getrennt und in Einwegbehältern für den Transport in eine Hochtemperatur-Verbrennungsanlage bereitgestellt. Das Verfahren kann flexibel eingesetzt und angepaßt werden, wenn sich die Bedingungen während der Arbeiten vor Ort ändern. Die Entwicklung des Verfahrens wurde stark von Arbeits- und Emissionsschutz-Belangen beeinflußt. Während der Arbeiten sind zusätzlich umfangreiche Messungen zur Gewährleistung der Sicherheit vorgesehen. Die Realisierung des Konzeptes wurde bisher aus Kostengründen nicht in Angriff genommen (siehe auch Kapitel 2).

Teilvorhaben 12:

Untersuchung der Vegetation auf dem Abdecksystem

Projektleiter: Dr. L. Neugebohrn,
Universität Hamburg

Die aus Gräsern und Kräutern bestehende Vegetation ist ein wichtiger Bestandteil des Abdecksystems auf der Deponie Georgswerder. Sie schützt die Bodenoberfläche vor Erosion. Tiefwurzler können jedoch die tieferliegenden Dichtschichten gefährden, und die Pflegemaßnahmen müssen optimiert werden. Diese Themen sowie die langfristige Entwicklung der Vegetation wurden im Teilvorhaben 12 bearbeitet.

Die Funktionsfähigkeit der Pflanzendecke wurde durch Vegetationskartierungen und Begehungen regelmäßig überwacht. Durch Nährstoff- und Schwermetall-

Abb.3.8 Ampfer-Wurzel in der Oberen Abdeckung, bis in 140cm Tiefe freigelegt

analytik von Pflanzen und Boden wurden die streß- und bestandsregulierenden Faktoren erfaßt und an Wurzelbeobachtungskästen (Rhizotronen) das Tiefenwachstum der Wurzeln verfolgt.

Es stellte sich heraus, daß die Vegetation auf der Oberen Abdeckung, die 1987/88 begrünt worden war, eine Reihe von Entwicklungen durchlaufen hat. Sie führten zu einer weitgehenden Anpassung der Grünlandgesellschaft an die Standortgegebenheiten, die zum Teil kleinräumig stark variieren. Demzufolge ist die Wirksamkeit der Vegetation in Bezug auf die Hauptanforderungen gut und ihre Regenerationsfähigkeit ausreichend. An den Rhizotronen und bei Aufgrabungen wurde allerdings eine Durchwurzelung auch der tieferen Decksubstratschichten sowie teils der Flächendrainage nachgewiesen. Eine Schädigung der Kombinationsdichtung kann somit langfristig nicht ausgeschlossen werden, und es ist eine weitere Beobachtung erforderlich.

Die Kupfer- und Bleigehalte in den Pflanzen weisen einen deutlichen Nordost-Südwest-Gradienten auf, das heißt, es handelt sich um Immissionen der Kupferhütte unmittelbar nordöstlich der Deponie. Die Kupfergehalte liegen so hoch, daß eine Beweidung der Abdeckung zum Beispiel mit Schafen nicht möglich ist. Aus den Untersuchungen ergaben sich schließlich Hinweise zur langfristigen Pflege der Vegetation sowie zur Zusammenstellung von Saatgutmischungen für eine effektivere Erstbegrünung.

Teilprojekt 0:

Projektübergreifende graphische Aufbereitung und Darstellung der Ergebnisse des Verbundvorhabens

Projektleiter: Dr. J.-H. Fischer,
GDS Hamburg

Im FuE-Verbundvorhaben „Georgswerder" wurden erstmals Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die in den verschiedensten Fachdisziplinen angesiedelt sind, direkt in ein laufendes, behördlich gesteuertes Sanierungsprojekt integriert. Ziel war es, die in den Fachdisziplinen produzierten Ergebnisse sowohl in den benachbarten Teilvorhaben wie auch bei der Planung der Sanierungsmaßnahmen umgehend und effektiv zu nutzen. Dabei stellte sich die Frage nach effektiven Kommunikationsmethoden, mit denen die zunächst fachspezifisch dargestellten Ergebnisse zu den sehr unterschiedlichen Zielgruppen in einer für ihre Entscheidungen verwertbaren Form transportiert werden können. Diese Problemstellung wurde im Rahmen des Teilvorhabens 0 aufgegriffen.

Das Thema wurde zunächst aus kommunikationstheoretischer Sicht aufgearbeitet. Ein weiterer Schwerpunkt wurde auf die Gestaltung von Graphiken gelegt. Durch eine einheitliche, fachunabhängige Gestaltung, durch ausreichende Verdichtung der Informationsgehalte und durch Herausarbeiten der entscheidungsrelevanten Zusammenhänge können Graphiken zu einem wichtigen Mittel der Ergebniskommunikation ausgebaut werden.

Für das Berichtswesen insgesamt wurde ein Konzept entwickelt, das die Ergebnisdarstellung auf mehreren Ebenen vorsieht. Auf der Ebene der Primärdokumentation werden in den Teilvorhaben die Langfassungen der Berichte geschrieben. Zusätzlich fertigen die Teilvorhaben Kurzfassungen, die einen eigenständig lesbaren, erheblich allgemeinverständlicheren Text darstellen. Die Teilvorhaben-Kurzfassungen werden zu einem Verbundvorhaben-Bericht verdichtet, der selbst wieder in einer Verbundvorhaben-Kurzfassung und einem einseitigen Abstract zusammengefaßt wird. Entscheidend ist dabei, daß der Text auf den verschiedenen Ebenen bezüglich Verständlichkeit, Verdichtungsgrad, Fachausdrücke usw. auf die unterschiedlichen Zielgruppen wie Fachexperten, Projektkollegen, Fachleute in den Verwaltungen und Bürgern abgestimmt ist.

4. Abdeckung

Die abgedeckte Deponiefläche umfaßt insgesamt rund 45 ha. Die Sickerflüssigkeitsaustrittsstellen befanden sich in Höhen bis 13 m über NN. Daraus ergab sich, daß oberhalb von circa 14 m über NN die Kontaminationsgefahr geringer war als im unteren Bereich. Die 14m Höhenlinie bildet daher in etwa die Teilung zwischen der Oberen und Unteren Abdeckung. Die obere Fläche ist rund 16 ha groß; also etwa ein Drittel der gesamten Deponieoberfläche, während der untere Bereich etwa 29 ha mißt

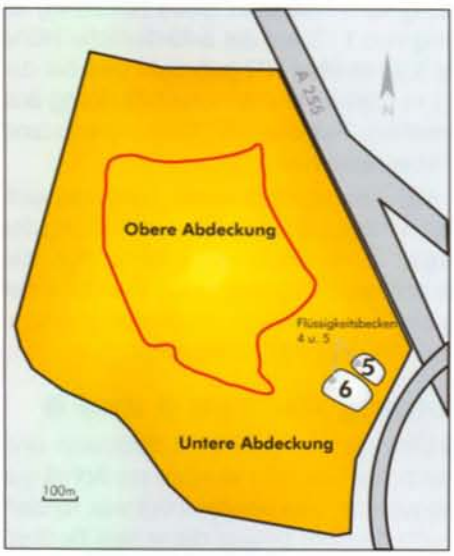


Abb.4.1 Abgrenzung von Oberer und Unterer Abdeckung

4.1 Funktion und Anforderungen

Die Abdeckung soll Niederschlagswasser von den deponierten Stoffen fernhalten und somit eine allmähliche Austrocknung und Festlegung der eingelagerten Schadstoffe bewirken.

Sie muß insbesondere folgende Funktion erfüllen:

- Weitestgehende Verminderung der in den Deponiekörper eindringenden Wassermengen;
- getrennte Fassung und Ableitung des oberhalb der Dichtung anfallenden, nichtkontaminierten Wassers und des aus dem Deponiekörper austretenden kontaminierten Stauwassers;
- weitgehende Unterbindung unkontrollierter Austritte der in der Deponie entstehenden Gase in die Atmosphäre;
- Wiedereingliederung der Deponie in ihr natürliches Umfeld und Erhöhung der Verdunstung durch Begrünung der Deponie in Kombination mit Büschen und Bäumen.

Die Abdeckung muß neben ihrer Dichtungsfunktion noch folgenden Anforderungen Rechnung tragen:

- Erosionssicherheit;
- Sicherheit gegen Beschädigung durch tiefreichende Pflanzenwurzeln und tiefgrabende Tiere;
- Rutschsicherheit der einzelnen Schichten;
- Anpassungsfähigkeit an die Setzungen der Deponie.

4.2 Aufbau

Obere Abdeckung

Um die vorgenannten Zielvorgaben zu erfüllen, wurde im oberen Bereich der Deponie ein Schichtaufbau gewählt, wie er in Abb.4.2 von unten nach oben angegeben ist:

- mindestens 0,35 m Ausgleichsschicht aus ton- und schlufffreiem Sand/Kies mit der Körnung 0,1 - 3,0 mm als Gasdränage zur kontrollierten Ableitung von Deponiegas;
- 0,60 m mineralische Dichtung mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f \leq 10^{-9}$ m/s zur Begrenzung des Sickerwasserzuflusses in die Deponie und der unkontrollierten Gasaustritte;
- 1,5 mm PEHD-Kunststoffbahn (Polyethylen hoher Dichte) als Wurzel- und Nagetiersperre, in der Horizontalen überlappend verlegt, in Fallrichtung verschweißt, mit sandrauher Oberfläche, 1 - 2 mm hohen Stegen an der Oberseite und 6 mm hohen Spikes an der Unterseite (gegen Abgleiten). Die Kunststoffbahn soll eine Beschädigung der mineralischen Dichtung durch biotische Einflüsse verhindern. Zugleich ist sie eine zusätzliche Abdichtung;
- 0,25 m Flächendränage zur Abführung des schadstofffreien Sickerwassers aus grobsandigem Feinkies mit einem Durchlässigkeitswert von $k_f \leq 5 \times 10^{-4}$ m/s und einer Körnung von 0,5 - 8 mm;
- Geotextilvlies (450 g/m²), um den Eintrag von Fein-

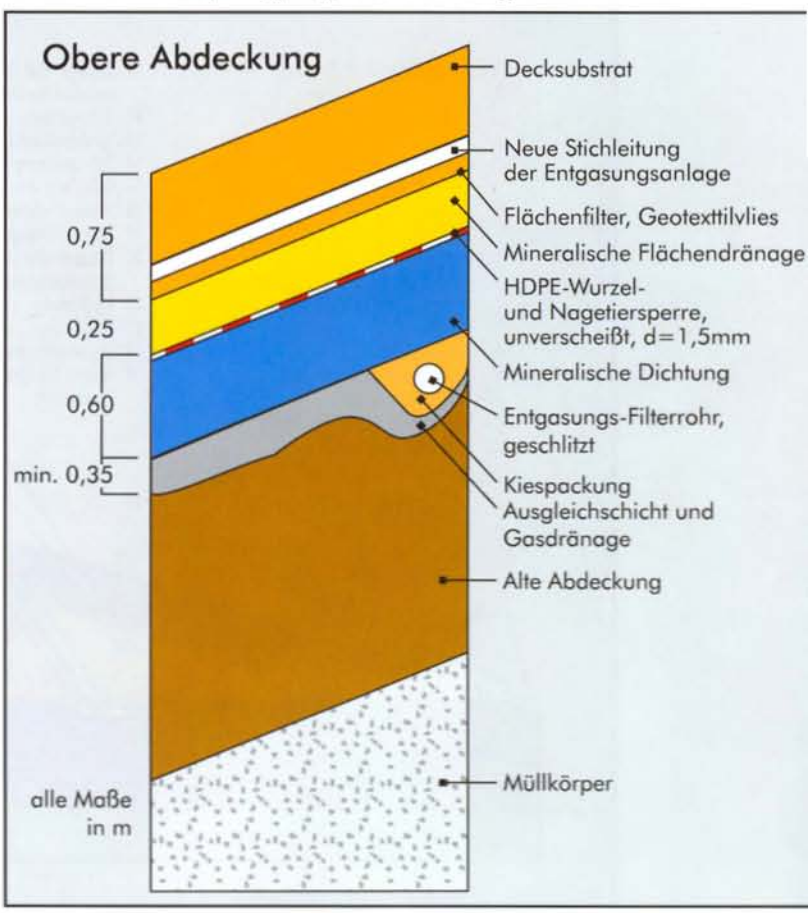


Abb.4.2 Schichtaufbau der Oberen Abdeckung

teilen aus dem Decksubstrat in die Dränschicht zu verhindern;

- mindestens 0,75 m kulturfähiger Boden (Decksubstrat) als Wurzelraum sowie Wasser- und Nährstoffspeicher für die Vegetation, obere 0,25 m mit 4 - 8 % Humusgehalt.

Das gesamte Schichtenpaket hat eine Stärke von etwa 2 m und eine Mindestneigung von 4 %.

Untere Abdeckung

Die Abdeckung im unteren Bereich ist im wesentlichen wie im oberen Bereich aufgebaut, mit folgenden Abweichungen von unten nach oben:

- ≥ 0,50 m Ausgleichs- und Flächendränageschicht zur Ableitung von Deponiegas und Sickerflüssigkeiten; ≥ 0,20 m Sand- und Kiesgemisch (ton- und schlufffrei), darüber 0,30 m Kies (4 - 32 mm);
- Trennvlies, Geotextil 450 g/m², aus PEHD;
- 0,60 m mineralische Dichtung;
- 2 mm starke, allseits verschweißte PEHD-Kunststoffdichtung, die auch als Wurzel- und Nagetiersperre dient;
- 0,30 m mineralische Flächendränage;
- Flächenfilter aus Geotextilvlies;
- 0,75 - 2,0 m Decksubstrat je nach Bepflanzung.

Für die Oberflächengestaltung wurde ein Mindestgefälle von 6 % gewählt, um auch bei Setzungen den Niederschlagsabfluß zu gewährleisten.

4.3 Fußpunktausbildung

Die äußere Grenze für die Untere Abdeckung bildet der ehemalige Innere Randgraben. Dort wurde die Untere Abdeckung an die vorhandenen natürlichen Weichschichten (Marschensedimente) der Deponiesohle angeschlossen. Die deponierten Abfälle konnten dadurch vollständig eingeschlossen werden.

Aus Gründen des Hochwasserschutzes wurde die Untere Abdeckung vom Fußpunkt (etwa NN±0 m) an mit einer Neigung von 1 : 3 auf die erforderliche Höhe von mindestens 5,50 m über NN gebracht und bis dahin mit einer 1,3 m starken Kolkschutzabdeckung aus Glimmerton versehen. Auf diesem „Damm" entstand die untere Betriebsringstraße.

Im Inneren des Abschlußbauwerks befinden sich parallel zur unteren Ringstraße eine Sammelleitung der Flächendränage, eine Dränageleitung für die Sickerflüssigkeit und eine Gasringleitung. Die Höhe der Dränageleitung am Deponiefuß ist durch die Oberkante der natürlichen Weichschicht festgelegt.

4.4 Abdeckung Becken 5 und 6

Die Flüssigkeitsbecken 5 und 6 im Südosten und im unteren Bereich der Deponie wurden zunächst nur behelfsmäßig abgedeckt, weil beabsichtigt war, forciert Stauflüssigkeit und darüber hinaus die in den Becken gelagerten Feststoffe zu entnehmen. Die Abdeckung mußte sehr leicht sein, um bei den Baumaßnahmen

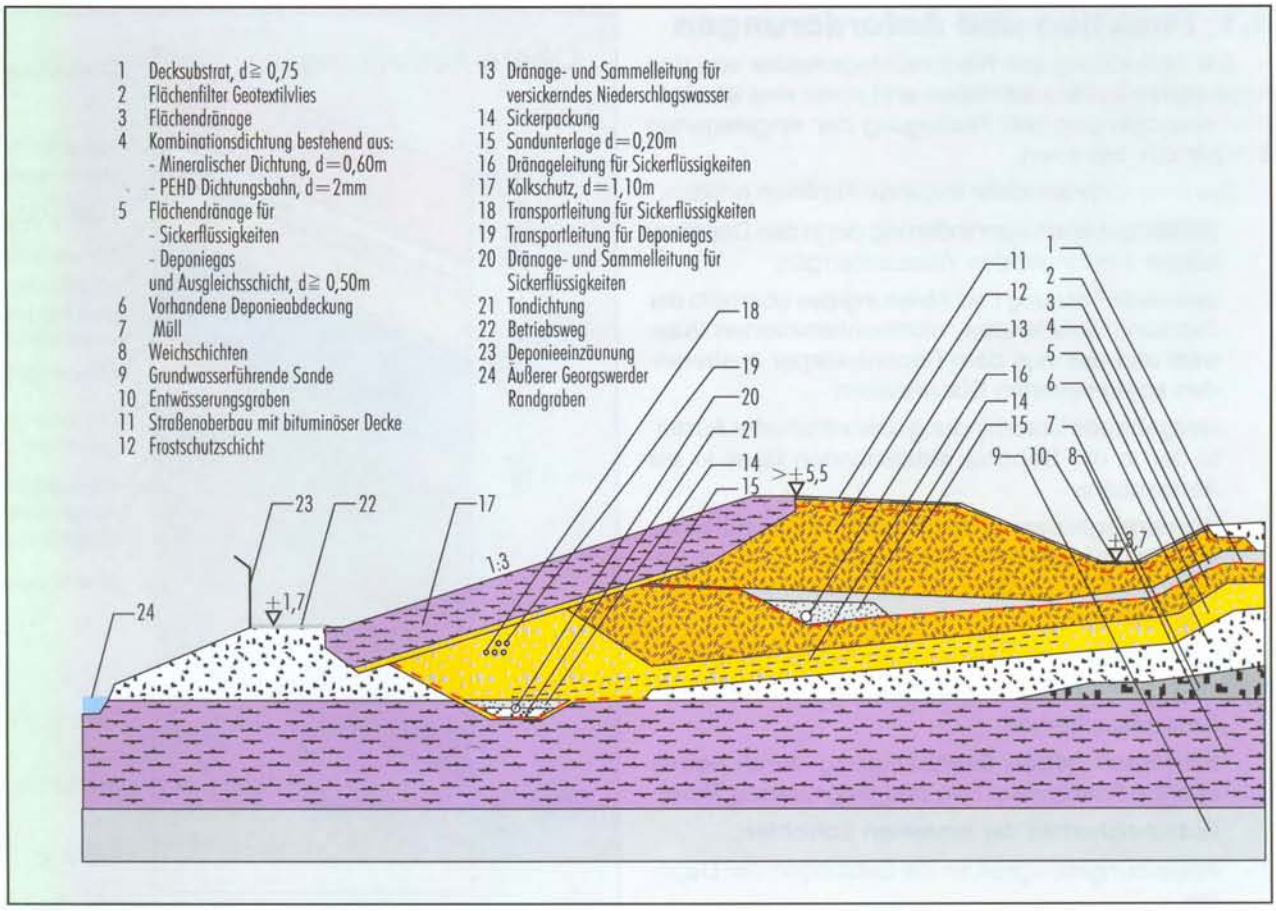


Abb.4.3 Fußpunktausbildung mit Schichtaufbau der Unteren Abdeckung

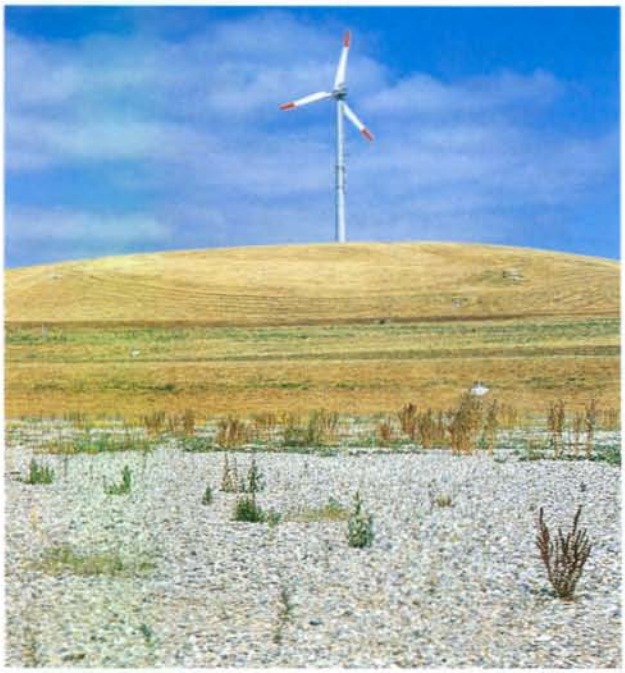


Abb.4.4 Bekieste Doppeldichtung auf Becken 5 und 6

ein Auspressen der Flüssigkeit aus den Becken zu verhindern.

Die Bestandteile dieser Beckenabdichtung, von unten nach oben, sind:

- Zugfeste Geomembran aus Textilgewebe;
- mineralische Ausgleichsschicht aus Blähton bzw. Füllsand, d ≥10 cm;
- kontrollierbare und reparierbare Doppeldichtung aus einer zweilagigen PEHD-Dichtung mit innenliegendem Dränagegitter, d = 1 cm;
- mineralische Schutzschicht aus Sand und Kies, d = 20 cm.

Die Doppeldichtung ist in neun je ca. 15 m breite und 90 m lange Kontrollfelder untergliedert. Jedes Kontrollfeld wurde ringsum dicht verschweißt.

Am unteren Ende eines jeden Feldes sind Kontrollschächte mit Flüssigkeitssammelbehältern eingebaut, die im Falle einer Leckage der unteren Dichtungsbahn die über die innenliegende Kontrolldränage abfließenden hochtoxischen Beckenflüssigkeiten aufnehmen. Treten dabei größere Mengen aus, werden die Sickerflüssigkeiten über eine Transportleitung einem in der Deponierandabschlußkonstruktion gelegenen Pumpschacht zugeführt. Wird dagegen in den Sammelschächten Niederschlagswasser festgestellt, so ist dies ein Indiz für eine Leckage der oben liegenden Dichtungsbahn.

Diese relativ einfache Leckanzeige ermöglicht es, im Falle einer Undichtigkeit diese zu lokalisieren und zu reparieren.

4.5 Entwässerungssystem

Ein kleinerer Teil des Niederschlagswassers fließt auf der mit einer Mindestneigung versehenen Deponieoberfläche ab. Der Hauptanteil sickert ins Decksubstrat und fließt, soweit er nicht von den Pflanzenwurzeln aufgenommen wird, in die Flächendränage oberhalb der Dichtung.

Unterhalb der Dichtung treten aufgrund des hydraulischen Gefälles im Stauflüssigkeitskörper Sickerflüssigkeiten aus den Flanken des Deponiekörpers aus. Diese werden in der unteren Flächendränage unmittelbar unter der mineralischen Dichtung gesammelt.

Die Entwässerung gliedert sich somit in einen Oberflächenabfluß, einen Dränageabfluß für versickerndes Niederschlagswasser und einen Sickerflüssigkeitsabfluß.

Der saubere, unkontaminierte Oberflächen- und Dränageabfluß wird über Entwässerungsgräben bzw. Sammelleitungen parallel zur oberen und unteren Ringstraße in das Georgswerder Gewässersystem mit Vorflut in die Elbe eingeleitet. Die kontaminierten Sickerflüssigkeiten werden in einer mehrstufigen Behandlungsanlage gereinigt und danach dem städtischen Kanalisationsnetz zugeführt.

Starke Verschlammung des Gewässersystems mit Sedimenten, kontaminiert mit Schwermetallen und Kohlenwasserstoffen, schränkte die Vorflut zur Dove-Elbe allerdings erheblich ein. Um Oberflächen- und Dränagewasser mit einer Gesamtmenge von max. 90 l/s zusätzlich einleiten zu können, war eine Grundräumung des Äußeren Georgswerder Randgrabens, der Westlichen Georgswerder Wettern sowie der Brack- und Hövelwettern notwendig. Von April 1991 bis Juli 1992 wurden 9.800 t Sediment entnommen und in einer Abfallbehandlungsanlage differenziert entsorgt.

4.6 Genehmigungen

Durch die Herstellung einer neuen Abdeckung und die damit verbundenen Umbauten ergaben sich Genehmigungspflichten bzw. Zustimmungserfordernisse aus folgenden Rechtsgrundlagen:

- Die neue Abdeckung und die dadurch notwendigen Umbauten fallen rechtlich in die Kategorie „Wesentliche Änderungen" und bedurften daher einer Zulassung nach § 7 (2) des Abfallgesetzes (AbfG). Genehmigungsbehörde war die Umweltbehörde.
- Bei der Herstellung der neuen Abdeckung der Deponie handelt es sich um einen zustimmungsbedürftigen Vorgang nach § 62 der Hamburgischen Bauordnung (HBauO). Für die Zustimmung nach § 62 HBauO war die Baubehörde zuständig.
- Da die neue Abdeckung und die für ihre Herstellung erforderliche Abschlußkonstruktion innerhalb des 100 m- bzw. 40 m-Abstandes von der Bundesautobahn liegen, mußten bei der Landesstraßenbaubehörde (Baubehörde) eine Zustimmung nach § 9 des Bundesfernstraßengesetzes (FStrG) bzw. eine Ausnahme vom Verbot der Errichtung baulicher Anlagen nach § 9, Absätze 1 und 8, beantragt werden. Die Einholung der Genehmigung nach dem Bundesfernstraßengesetz erfolgte im Rahmen des Zustimmungsverfahrens nach § 62 HBauO.
- Zur Gestaltung der begrünten Abdeckung ist ein

Landschaftspflegerischer Begleitplan aufgestellt worden, der Bestandteil der Genehmigung nach § 62 HBauO geworden ist.

- Im Zuge der Herstellung der Unteren Abdeckung wurde der Innere Randgraben überbaut und somit in seiner früheren Funktion als Entwässerung der Deponie aufgehoben. Die Aufhebung des Gewässers II. Ordnung wurde nach § 31 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) in Verbindung mit § 47 (1) und § 49 des Hamburgischen Wassergesetzes eingeholt. Die Zuständigkeit oblag der Baubehörde.
- Das Oberflächen- und das oberhalb der Dichtung abfließende Dränagewasser werden zukünftig in die Westliche Georgswerder Wettern eingeleitet. Für die Einleitung wurde eine Erlaubnis nach § 15 des Hamburgischen Wassergesetzes erteilt. Für die Erlaubnis war das Bezirksamt Harburg zuständig.
- Die häuslichen Abwässer der Betriebsgebäude und die in der Sickerflüssigkeitsbehandlungsanlage gereinigten Flüssigkeiten werden ins öffentliche Schmutzwassersiel geleitet. Für den Sielanschluß und die Herstellung der Grundstücksentwässerungsanlage wurde eine Genehmigung nach § 7 und § 13 des Hamburgischen Abwassergesetzes (HmbAbwG) in Verbindung mit § 69 der Hamburgischen Bauordnung (HBauO) erteilt. Für die Erteilung war die Umweltbehörde zuständig.

4.7 Bauausführung

Vorbereitende Maßnahmen

Aus Arbeitsschutzgründen wurden zu Beginn eine Schüttgutumschlaganlage, eine Fahrzeugreinigungshalle und eine Schwarz-Weiß-Umkleideanlage errichtet.

Aufgabe der Schüttgutumschlaganlage war der Umschlag von rd. 1.300.000 m³ Bodenmassen von Straßenfahrzeugen auf Spezial-Dumperfahrzeuge im „schwarzen Bereich" der Deponie, um so einen möglichen Schadstoffaustrag durch den Baustellenverkehr auszuschließen.

In der Fahrzeugreinigungshalle werden Baugeräte und -fahrzeuge dekontaminiert und Baufahrzeuge, die den schwarzen Bereich der Deponie verlassen, gewaschen.

Die Schwarz-Weiß-Anlage ist eine Personenschleuse zwischen dem „schwarzen" Baustellenbereich und dem „weißen" nicht schadstoffgefährdeten Bereich. Die Benutzung aller Arbeitsschutz-Einrichtungen und Schutzmaßnahmen ist für alle Beteiligten verbindlich durch ein Arbeitsschutz-Handbuch und Merkblätter vorgeschrieben.

Um der Wohnbevölkerung Belästigungen durch den Baustellenbetrieb und die umfangreichen Materialtransporte zu ersparen, wurde 1985 eine neue Zufahrtsstraße (Baustraße) zur Deponie vom Georgswerder Bogen entlang der Rampe der Autobahnanschlußstelle Georgswerder hergestellt.

Durch den Umbau des Autobahndreiecks Hamburg-Süd mußte die Zufahrt mit zwei Brückenbauwerken kreuzungsfrei das neue Autobahndreieck überwinden.

Im Sommer 1989, rechtzeitig vor Baubeginn der Unteren Abdeckung, war die endgültige Deponiezufahrt fertiggestellt und betriebsbereit.

Oberflächenabdichtung

Die 15 ha große Obere Abdeckung wurde 1986 bis 88 hergestellt. 1989 folgte eine 1,5 ha große, südliche Erweiterung. Ab 1990 wurde an der 29 ha großen Unteren Abdeckung gearbeitet. Die Untere Abdeckung und damit die gesamte Oberflächenabdichtung ist seit Oktober 1995 fertig.

Für die Herstellung der Abdeckung wurden Baufelder mit einer Größe zwischen 5.000 und 9.000 m²

Abb.4.5 Profilierte alte Deponieoberfläche am Deponiefuß

angelegt, in denen die einzelnen Schichten aufgebracht wurden.

Zunächst wurde der vorhandene Bewuchs geräumt, gehäckselt und eingefräst. Die Deponieoberfläche wurde umgebrochen, profiliert und verdichtet. An einigen Stellen war es erforderlich, Füllboden bzw. Müllverbrennungsschlacke einzubauen, um Vertiefungen auszugleichen. Als erste Schicht wurden im Mittel 30 cm kiesiger Sand als Ausgleichsschicht mit Planierraupen aufgetragen. Bei der Unteren Abdeckung folgte darauf eine 30 cm mächtige Kiesschicht als untere Flächendränage zur Ableitung des Sickerwassers aus dem Deponieberg. Zur Trennung zwischen der groben Kiesschicht und der darüberliegenden mineralischen Dichtung dient ein Trennvlies Depotex D 355 R.

Als Material für die mineralische Dichtung wurde der im Hamburger Raum anstehende pleistozäne Geschiebemergel gewählt. Mit seinem flachen Körnungsband, einem Wassergehalt von im Mittel 12 % und einem Tonanteil von 10 bis 20 % hat er sich als gut geeignet herausgestellt.

Der Einbau des Geschiebemergels erfolgte in drei Lagen à 20 cm. Die erste Lage wurde mit dem Bagger eingebaut, die weiteren Lagen mit Planierraupen. Jede

Abb.4.6 Verdichtung der mineralischen Dichtung mit einer Vibrations-Glattradwalze

Lage wurde mit vier Übergängen einer 11-t-Vibrations-Glattradwalze und zwei Übergängen einer 11 t-Vibrations-Schaffußwalze verdichtet. Zur Verlegung der PEHD-Kunststoffbahnen mußte die Oberfläche der mineralischen Dichtung eben sein. Unebenheiten und Absätze der schweren Walze wurden ggf. mit einer kleinen handgeführten Glattradwalze ausgeglichen. Scharfkantige Steine wurden abgesammelt. Als ein besonderes Problem erwies sich die große Witterungsempfindlichkeit der mineralischen Dichtung. Bei Niederschlägen oder hoher Luftfeuchtigkeit weichte die Oberfläche schnell auf. Bei Sonneneinstrahlung entstanden Schwindrisse. Bei unbeständiger Witterung erwies sich ein geringfügiger Mehreinbau des Geschiebemergels als vorteilhaft, der bei Austrocknung oder Aufweichung der Oberfläche kurzfristig vor Verlegung der Kunststoffbahnen wieder ausgebaut wurde. In den Wintermonaten (November bis März) war wegen Frostgefahr und der geringen Feuchtigkeitsaufnahme durch die Luft ein qualitätsgerechter Einbau der mineralischen Dichtung in aller Regel nicht möglich und deshalb bauvertraglich auch nicht vorgesehen.

Auf die mineralische Dichtung kamen die 5 m breiten und 50 m langen profilierten PEHD-Bahnen. Der Einbau bei der Oberen Abdeckung erfolgte wegen größerer Setzungen in horizontalen, dachziegelartig überlappenden Bahnen. Die in den Fallinien verlaufenden Fugen wurden verschweißt. Im Bereich der Unteren Abdeckung wurden die 2 mm starken PEHD-Bahnen überwiegend in vertikalen Bahnen verlegt und allseitig verschweißt, und zwar im Heizkeilverfahren mit einer Doppelnaht und einem dazwischenliegenden Prüfkanal. Zur Windsicherung und um Wellenbildung infolge Sonneneinstrahlung zu vermeiden, wurden die Kunststoffbahnen nach dem Verlegen schnellstmöglich mit Kies bedeckt.

Die obere Flächendränage bildet eine 30 cm starke sandige Kiesschicht (0,8 - 8 mm). Um Wellenbildung bei der darunterliegenden Kunststoffbahn zu vermeiden, wurde die Kiesschicht mit dem Bagger aufgelegt und anschließend mit der Raupe planiert.

Es folgte das PEHD-Filtervlies Depotex D 455 R, von Hand ausgerollt, und darauf das untere Decksubstrat in Lagen von 50 cm, mittels Bagger und Planierraupe aufgebracht.

Abb.4.8 Einbau obere Flächendränage und Decksubstrat

Entsprechend der vorgesehenen unterschiedlichen Bepflanzung wurde das Decksubstrat nach Bodenart und -mächtigkeit differenziert. Eingebaut wurden die Bodengruppen Sand, lehmiger Sand und sandiger Lehm in mitteldichter Lagerung, abgedeckt durch eine 10 - 25 cm dicke, humusreiche Oberbodenschicht.

Die geringste Mächtigkeit des Decksubstrats beträgt bei Rasenansaat 75 cm, die größte bei Baumpflanzungen 2,00 m.

Abb.4.7 Verlegung der HDPE-Bahnen auf der mineralischen Dichtung

Randabschlußkonstruktion

Am Rand der Deponie bindet die Oberflächenabdichtung an die natürlichen Weichschichten an. Dort sind wasserableitende Sammeldrän- und Rohrleitungen verlegt, Gräben zur Ableitung des Oberflächenwassers gezogen, Schächte und Straßen angeordnet und ein Hochwasserschutzdamm errichtet.

Besonders schwierig waren die Bauarbeiten zur Anbindung der Kombinationsdichtung an die natürlichen Weichschichten. Die Oberkante der Weichschichten wechselte ständig, teilweise stand drückendes Grundwasser unter den Weichschichten. Der Arbeitsbereich stellte

Abb.4.9 Einbau der Schächte für Sickerflüssigkeiten am Deponierand

zwangsläufig immer den Tiefpunkt dar, in dem sich das Sickerwasser aus dem Deponieberg und auch Niederschlagswasser sammelten.

Das Wasser in der Baugrube konnte überwiegend in offener Wasserhaltung gefaßt werden, nur in Teilbereichen war eine Vakuumwasserhaltung notwendig. Kontaminiertes Wasser wurde über den Abscheider zur Flotationsanlage gepumpt, das übrige über Rohrleitungen und Gräben ins Siel geleitet. Eine Dichtungsplombe aus mineralischem Material glich die unterschiedlichen Höhen der anstehenden Weichschicht aus.

Qualitätssicherung

Die Qualitätsprüfung der eingebauten Erdbau- und Kunststoffe erfolgte als vertraglich vereinbarte Eigenüberwachung durch die ausführende Firma bzw. durch von ihr beauftragte Fachleute und auch als Fremdüberwachung durch ein vom Auftraggeber (Umweltbehörde - Altlastensanierung) beauftragtes Fachbüro. Sowohl Auftragnehmer als auch Auftraggeber richteten für die Eigen- und Fremdüberwachung ein Erdbaulabor auf der Baustelle ein.

Vor Baubeginn wurde die Eignung der Erdbaustoffe in den Entnahmestellen (Kies- und Mergelgruben) und die der Kunststoffe in den Herstellerwerken von den Firmen nachgewiesen und vom Auftraggeber und den Fachbüros überprüft.

Vor dem ersten Einbau der Erdbaustoffe fanden auf Baufeldern Schüttversuche statt (d. h. ein probeweiser Einbau der einzelnen Schichten), um die Eignung der Materialien im Großversuch nachzuweisen, die geeigneten Einbau- und Verdichtungsgeräte auszuwählen und die Einbaukriterien, wie Wassergehalt und Verdichtungsgrad, festzulegen. Die Schüttversuche erfolgten sowohl auf flachen als auch auf steilen Baufeldern. Erst als die vertraglich vereinbarten Einbaukriterien erreicht waren, begann der Bau der Oberflächenabdichtung.

Die Materialeigenschaften der PEHD-Dichtungsbahnen und des PEHD-Geotextilvlieses wurden bei der Herstellung im Werk und anhand von Probeentnahmen auf der Baustelle geprüft. Bei den Schweißnähten der Kunststoffbahnen wurde die Dichtigkeit durch das Beaufschlagen des Prüfkanals der Doppelnaht mit Druckluft und die Festigkeit anhand von vor Ort entnommenen Proben im Zug- und Schälversuch im Kunststoffprüflabor überprüft. Die Schweißparameter der eingesetzten Schweißgeräte wurden arbeitstäglich mit Hilfe von Schweißproben im Zug- und Schälversuch kontrolliert. Ein Fachinstitut prüfte die Langzeitfestigkeit der Schweißnähte anhand von künstlich gealterten Schweißproben im Zeitstandsversuch.

Zur Güteüberwachung der Erdbaustoffe kontrollierten Eigen- und Fremdüberwacher je Baufeld und Schicht die vertraglich vereinbarten bodenmechanischen Kennwerte wie Wassergehalt, Trocken- und Feuchtwichte, Kornaufbau, Durchlässigkeit usw. sowie die Schichtdicke, und zwar ständig parallel zum Bauablauf. Die Schichtstärke der mineralischen Dichtung ließ sich mit einer Schlitzsonde feststellen. Die Vielzahl der Meßpunkte und das fachgerechte Schließen der Probelöcher machte diese Meßmethode allerdings aufwendig. Deshalb wurde die Schichtstärke des Geschiebemergels vom Eigenüberwacher durch eine optisch-elektronische Messung bestimmt. Der Fremdüberwacher überprüfte diese Messung durch wenige Schlitzsondierungen.

Die Durchlässigkeit der mineralischen Dichtung ließ sich anhand von am Einbauort entnommenen Proben im Labor bestimmen. Um an Ort und Stelle schneller Meßergebnisse vorliegen zu haben, wurden Feuchtwichte und Wassergehalt mit einer Isotopensonde bestimmt. Vorversuche ergaben, daß bei Einhaltung der Wassergehaltsgrenzen und bei Erreichung einer bestimmten Feuchtwichte die geforderte Durchlässigkeit von $k_f \leq 10^{-9}$ m/s gewährleistet ist. So konnten der Einbau der mineralischen Dichtung schnell überwacht und das Baufeld für den Weiterbau freigegeben werden.

Soll- und Ist-Werte für die Durchlässigkeit und die Schichtdicke der Haupterdbaustoffe sind in der Abb. 4.10 dargestellt.

	Schichtdicke (cm)		Durchlässigkeit (m/s)	
	Ist i.M.	Soll i.M.	Ist i.M.	Soll i.M.
Untere Flächendränage	32	≥ 30	$1{,}9\times10^{-2}$	$\geq 1{,}0\times10^{-2}$
Mineralische Dichtung	68	≥ 60	$1{,}0\times10^{-10}$	$\leq 1{,}0\times10^{-9}$
Obere Flächendränage	33	≥ 30	$1{,}6\times10^{-3}$	$\geq 7{,}5\times10^{-4}$

Abb. 4.10 Durchlässigkeit und Schichtdichten von Erdbaustoffen

5. Sickerflüssigkeiten

Über die gesamte Grundfläche der Deponie hat sich ein Stauflüssigkeitskörper ausgebildet. Dessen Flüssigkeiten sickern teilweise seitlich aus der Deponie aus und bestehen aus einer wäßrigen und einer öligen Phase, die mit hochtoxischen Schadstoffen wie dem 2,3,7,8-TCDD kontaminiert ist. Damit diese Sickerflüssigkeiten sich nicht unkontrolliert ausbreiten können, werden sie gefaßt und behandelt.

5.1 Sickerflüssigkeitsfassung

Im Zuge der Einkapselung der Deponie wurde in die Abdeckung ein Fassungssystem für die seitlich austretenden Flüssigkeiten integriert. Als Flächendränage befindet sich dieses unmittelbar unter der Mergelschicht der Kombinationsdichtung. Am Fuß der Deponie wurde ein umlaufendes System aus Rohrleitungen und Schächten mit Einrichtungen zum Absaugen und Abpumpen eingebaut. Zur Zeit fallen 3-5 m^3/h Flüssigkeiten mit abnehmender Tendenz an.

Die 44 Schächte teilen sich entsprechend ihrer Funktion in Pump-, Kontroll- und Umlenkschächte auf. Der größte Schachtabstand beträgt 75 m. Eine größere Entfernung kann bei der Wartung mit Spüleinrichtungen und Kamerabefahrungsanlagen nicht mehr durchfahren werden. Die Pumpschächte sind an den Tiefpunkten des Leitungssystems angeordnet, die Kontrollschächte an den Hochpunkten. Die Umlenkschächte dienen Revisionszwecken und befinden sich dort, wo die Leitungstrasse ihre Richtung ändert. Die Sickerflüssigkeiten werden im freien Gefälle in die Sammelbehälter der Pumpschächte geführt. Zwischen den einzelnen Schächten verlaufen neben der Ringdränage fünf weitere Rohrleitungen. Davon sind zwei Leitungen für den Transport der Sickerflüssigkeiten vorgesehen, zwei Leitungen gehören zur Deponiegasfassungsanlage, eine Leitung dient als Reserve.

Die Reinigung der Dränageleitungen erfolgt im Hochdruckspülverfahren von den Pumpschächten aus. Zur Beurteilung des Reinigungserfolges werden Kanalkameras von den Kontrollschächten aus eingebracht. Dazu führen Rohre aus den Schächten nach oben in wannenartige Behälter. Diese Behälter dienen der Aufnahme der Wartungseinrichtungen und verhindern eine Verschleppung von Schadstoffen.

Die Schächte sind aus Arbeitsschutzgründen so ausgerüstet, daß sie im Zuge der normalen betrieblichen Handhabung nicht bestiegen werden müssen. Dazu befinden sich entsprechende Steuer- und Regeleinrichtungen an den Schächten. Eine Leitwarte ermöglicht den Überblick und die Steuerung von einem zentralen Punkt aus. Aus Sicherheitsgründen ist die Sickerwasserfassung als geschlossenes System ausgeführt. Die Rohrleitungen und Schächte bestehen weitgehend aus Kunststoff (PEHD).

Abb.5.1 Exzenterschneckenpumpe im Schacht

Um die Bildung von schwer trennbaren Emulsionen zu vermeiden, wurden in die Pumpschächte langsam-

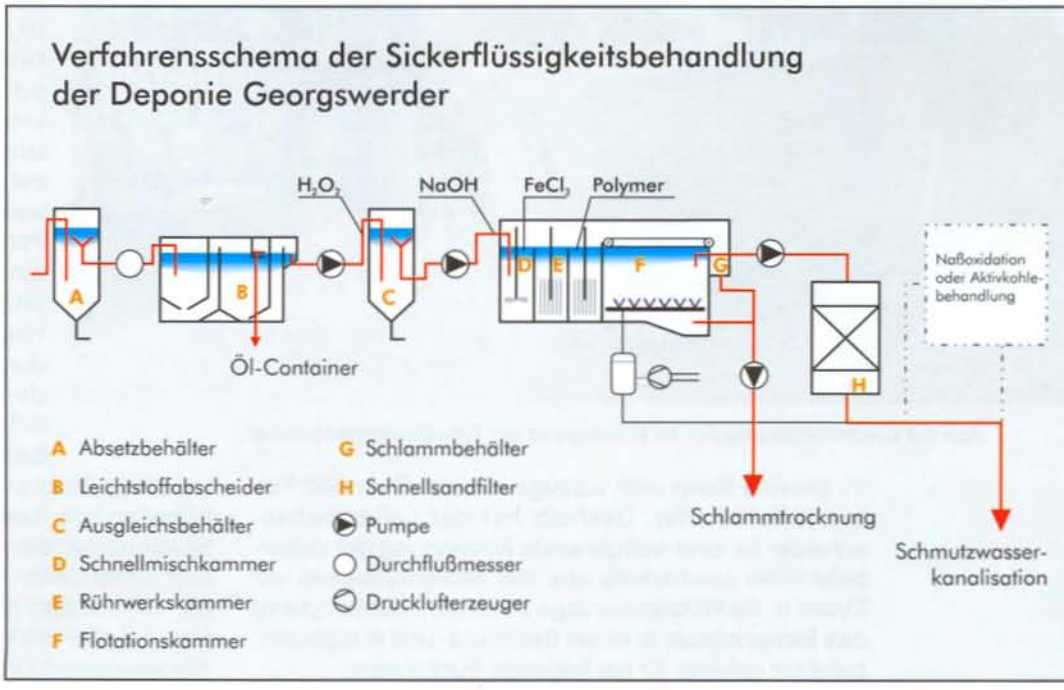


Abb.5.2 Verfahrensschema der Sickerflüssigkeitsbehandlung der Deponie Georgswerder

laufende, explosionsgeschützte und sickerflüssigkeitsresistente Exzenterschneckenpumpen eingebaut. Sie fördern die Sickerflüssigkeit über die Druckrohrringleitung zur Behandlungsanlage.

5.2 Sickerflüssigkeitsbehandlung

Schon frühzeitig wurde mit der Ausarbeitung eines Sanierungskonzeptes der Deponie Georgswerder eine dreistufige Sickerwasserbehandlungsanlage in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) entwickelt. Die Anlage gliedert sich in:

1. Stufe: Leichtstoffabscheidung
2. Stufe: Flotation
3. Stufe: Weitergehende Behandlung

5.2.1 Leichtstoffabscheidung

Der Leichtstoffabscheider wurde 1993 errichtet und hat die bis dahin arbeitenden provisorischen Ölabscheider ersetzt. In den Jahren '89 bis '94 fielen jährlich rund 11.000 m³ Sickerflüssigkeit mit einem durchschnittlichen Gehalt an Kohlenwasserstoffen von 500 mg/l und 2,3,7,8-TCDD von 36 µg/kg an. Das Öl ist ungewöhnlich schwer und weist im Mittel eine Dichte von 0,95 g/ml auf.

Abb.5.3 Leichtstoffabscheider, im Vordergrund der Entwässerungscontainer

Dioxine lösen sich vorzugsweise in Ölen und Fetten (Leichtstoffe). Deshalb hat der Leichtstoffabscheider für eine weitgehende Abtrennung der dioxinbelasteten Leichtstoffe aus der Sickerflüssigkeit vor Eintritt in die Flotationsanlage zu sorgen. Zunächst wird das Sickerwasser in einen Sediment- und Ausgleichsbehälter geleitet. Er hat folgende Funktionen:

- Rückhaltung von absetzbaren Stoffen
- Entspannung der Flüssigkeiten aus dem Druckleitungssystem der Dränage
- Pufferung von Flüssigkeitsströmen aus den Pumpvorgängen

Der Leichtstoffabscheider ist zweistraßig ausgeführt und arbeitet nach dem Schwerkraftprinzip. Er ist für eine Öldichte von max. 0,98 g/ml ausgelegt. Die Zulaufmenge wird über eine kontinuierliche Durchflußmessung geregelt und auf beide Straßen gleichmäßig verteilt. Die maximale Durchflußmenge beträgt 20 m³/h. Hinter dem Abscheider läuft das „entölte" Sikkerwasser über eine Wehrkante ab. Hier sind nur noch Leichtstoffkonzentrationen von weniger als 50 mg/l vorhanden.

Die abgeschiedenen Leichtstoffe werden in spezielle Tankcontainer gefördert, wo sie zur Entsorgung gesammelt werden. Sowohl der Abscheider als auch die Tankcontainer stehen auf einem flüssigkeitsdichten Wannensystem.

Die Abscheideranlage ist, um die Emission flüchtiger organischer Verbindungen zu verhindern, als geschlossenes System ausgeführt und wird über einen Aktivkohle- und Biofilter zwangsentlüftet.

5.2.2 Flotation

Die Flotationsanlage wurde zweistraßig als chemisch-physikalische Behandlungsanlage zur Entfernung von Schwermetallen und dioxinhaltigen Kohlenwasserstoffen aus der Sickerflüssigkeit errichtet und für einen Durchsatz von 10 m³/h ausgelegt.

Das vorgereinigte Sickerwasser aus dem Ablauf des Abscheiders wird zunächst in zwei Ausgleichsbehälter der Flotationsanlage gefördert, in denen durch Zugabe von Wasserstoffperoxid (H_2O_2) die enthaltenen Schwermetalle oxidiert und abgetrennt werden. Anschließend erfolgt eine pH-Wert-Einstellung des Sickerwassers durch Natronlauge und eine Flockungsmittelzugabe mit Eisen-III-Chlorid. Nach Zugabe eines weiteren Flockungshilfsmittels, eines Polymers, durchläuft das Sickerwasser eine nach dem Druckentspannungsprinzip arbeitende Flotationskammer. Hier werden die ausgeflockten Anteile durch Luftblasen abgetrennt und als Boden- oder Schwimmschlamm dem Schlammbehälter zugeführt. Der so gebildete Rohschlamm ist sehr wäßrig und hat einen Trockensubstanz-Gehalt von 5 %. Zur Abtrennung von Restpartikeln aus dem so behandelten Sickerwasser dienen zwei rückspülbare Schnellsandfilter, hinter denen das gereinigte Sickerwasser zur Zeit der öffentlichen Kanalisation zugeleitet wird. Das so behandelte Sickerwasser weist nur noch einen Kohlenwasserstoffgehalt von maximal 0,5 mg/l auf.

Abb.5.4 Rührwerkkammer der Flotationsanlage

Die Flotationsanlage ist in gekapselter Bauweise ausgeführt; die Abluft wird über regenerierbare Aktivkohlefilter gereinigt. Die Anlage wird von einer gasdicht abgetrennten Schaltwarte gesteuert und ist seit Mai

Abb.5.5 links Aktivkohlefilter, im Hintergrund die Flotationsanlage

1988 in Betrieb. Sie wird ergänzt durch ein Deponielabor, das als Betriebslabor für die Eigenüberwachung der Sickerflüssigkeitsbehandlung genutzt wird. Darüber hinaus werden hier auch mit Sickerflüssigkeiten aus anderen Sanierungsfällen Analysen und Versuche durchgeführt. Allerdings müssen Untersuchungen auf Schwermetalle sowie auf Dioxine und Furane an andere Labore vergeben werden.

5.2.3 Weitergehende Reinigung

Als dritte Reinigungsstufe zur Behandlung des Sikkerwassers der Deponie Georgswerder hat die TUHH ein zweistufiges biologisches Verfahren entwickelt. Es handelte sich um ein Sequencing-Batch-Reactor (SBR) - Verfahren mit einer Sauerstoffbegasung über Silikonmembranen. In einer Pilotanlage wurde in der ersten biologischen Stufe eine vollständige Umwandlung des Ammoniums in Nitrat und ein ca. 50 %iger Abbau des CSB (chemisch-biologischer Sauerstoffbedarf) erreicht. Der CSB-Abbaugrad der zweiten Stufe ging nicht nennenswert über 5 % hinaus. Da diese Ergebnisse die Erwartungen nicht erreichten, wurden alternative Verfahren geprüft. Neben biologischen Verfahren, chemischer Oxidation, chemisch-physikalischen Behandlungsverfahren und thermischen Verfahren wurden auch Verfahrenskombinationen betrachtet.

Im Ergebnis wurde festgestellt, daß die zweistufige Biologie durch eine zwischengeschaltete Naßoxidation ergänzt werden sollte, um schwer abbaubare Inhaltsstoffe zu oxidieren und damit einem biologischen Abbau zugänglich zu machen. Es hat sich aber gezeigt, daß eine Umsetzung der Pilotanlage der TUHH in den großtechnischen Maßstab aufgrund technischer Probleme sehr aufwendig ist. Es wurde daher eine weitere Verfahrenskombination aus Tauchtropfkörpern mit zwischengeschalteter Naßoxidation erprobt. Folgende Verfahrenskombinationen wurden in einer halbtechnischen Versuchsphase verglichen:

1. SBR - Biologie mit zwischengeschalteter Naßoxidation mit einer Ozon/UV-Technologie
2. Zweistufige Biologie aus Tauchtropfkörpern mit zwischengeschalteter Naßoxidation mit Ozon/UV-Technologie

Die Versuche wurden durch eine Naßoxidation mit einer Ozon/Katalysator-Technologie und durch eine weitere Biologie ergänzt. Die Ergebnisse stellen sich wie folgt dar:

- Die Verfahrenskombination aus Ölabscheidung, Flotation und biologischer Behandlung mit zwischengeschalteter Naßoxidation genügt den Anforderungen an den Stand der Technik.
- Das von der TUHH entwickelte zweistufige Verfahren weist systembedingte Mängel auf und läßt sich nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand realisieren.
- Die in der ersten biologischen Stufe vorgesehene Nitrifizierung wird durch Sickerwasserinhaltsstoffe gehemmt und verursacht eine vierfache Überdimensionierung dieser Stufe.
- Mit einer kommerziellen Tauchtropfkörperbiologie lassen sich ebenso gute bis bessere Abbaugrade als mit der aufwendigeren SBR-Technologie erreichen.
- Die derzeit großtechnisch angebotenen Naßoxidationsanlagen sind in der Lage, die Sickerwasserinhaltsstoffe zu oxidieren.
- Im Vergleich der drei Naßoxidationsanlagen bezüglich der Betriebsmittelverbräuche schneidet das Ozon/Katalysator-Verfahren am günstigsten ab.

Unter Berücksichtigung der Versuchsergebnisse und Kosten kann vor Ort auf eine Biologie verzichtet und direkt eine Oxidation durchgeführt werden, da eine Nitrifikation im Klärwerk problemlos erfolgen kann.

Der Bau der dritten Reinigungsstufe ist 1996 vorgesehen.

5.3 Entsorgung von Reststoffen

Seit dem Beginn der Sanierungsarbeiten auf der Deponie Georgswerder fallen in schadstoffkontaminierten Bereichen und durch den Betrieb der

Sickerflüssigkeiten

Sanierungseinrichtungen verschiedene 2,3,7,8-TCDD-belastete Materialien und Reststoffe an, die fachgerecht in externen Einrichtungen entsorgt werden müssen. Da die ordnungsgemäße Beseitigung derart schadstoffbelasteter Reststoffe problematisch und teuer ist, muß unbedingt auf eine Minimierung des Sonderabfallaufkommens geachtet werden.

5.3.1 Sickeröl

Bis zum September 1983 wurden die angefallenen Sickeröle, ca. 10 m^3 pro Jahr, in einer Sonderabfallverbrennungsanlage in Hamburg beseitigt. Als ein erster Verdacht entstanden war, daß diese Flüssigkeiten Dioxine enthielten, konnte dieser Entsorgungsweg nicht mehr genutzt werden, und die Sickeröle wurden zunächst in 200 l-Spundlochfässern mit Überfässern zwischengelagert.

Nachdem die Analysenergebnisse im Herbst 1983 vorlagen, bemühte sich die FHH um Möglichkeiten einer Entsorgung. Sie nahm Kontakte zu Entsorgungsanlagen im In- und Ausland auf, die zur Beseitigung von 2,3,7,8-TCDD technisch in der Lage waren.

Folgende generelle Beseitigungsalternativen sind geprüft worden:

- Beseitigung durch Hochtemperaturverbrennung
- Verfestigung und Ablagerung in einer Untertagedeponie
- Behandlung durch chemisch-physikalische Technologien

Es wurden letztlich die nachstehend beschriebenen Verfahren durchgeführt:

Verfestigung und Ablagerung in einer Untertagedeponie

Voraussetzung für die Einlagerung war eine monolithische Verfestigung der Sickeröle. Hierzu sind verschiedene Verfestigungsverfahren auf ihre Eignung und Wirtschaftlichkeit in einem FuE-Vorhaben geprüft worden (siehe Kapitel3, Teilvorhaben 4: Verfestigungsverfahren für Sonderabfälle).

Es wurde 1985 bereits mit Entwurfsarbeiten für den Bau einer Anlage zur Verfestigung der Sickeröle begonnen. Es zeigte sich allerdings, daß auch dieses Verfahren in der Druchführung nicht den zu stellenden Sicherheitsansprüchen und Forderungen an die Wirtschaftlichtkeit genügen konnte, so daß die Entwurfsarbeiten Anfang 1987 eingestellt wurden.

Verbrennung bei der Bayer AG

1987 erklärte sich die Bayer AG in Leverkusen bereit, die in gesicherten Garagen auf der Deponie lagernden 30 m^3 Sickeröle einmalig in einer firmeninternen Hochtemperaturverbrennungsanlage zu beseitigen. Die dortige Entsorgung wurde in Abstimmung mit dem nordrhein-westfälischen Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft vorgenommen.

Dazu waren entsprechende Genehmigungen für den Transport und für die Beseitigung ebenso notwendig wie folgende umfangreiche technische Vorbereitungen:

- Feststoffe und Feststoffpartikel aus den Sickerölen, die zu einer Verstopfung der Verbrennungsdüsen hätten führen können, mußten abgefiltert werden.
- Eine Einrichtung zur Erwärmung der Sickeröle mußte geschaffen werden, da diese sehr dickflüssig und ohne Erwärmung nur schwer pump- und filterfähig gewesen waren.
- Der für den Transport vorgesehene Spezialtankwagen mußte mit zusätzlichen Sicherheitseinrichtungen ausgestattet werden.

Der Transport der Sickeröle zur Verbrennungsanlage in Leverkusen erfolgte über die Straße unter erheblichen Sicherheitsauflagen und Begleitschutz der Polizei. Bei den Transporten mußten die Vorschriften des Abfallgesetzes (AbfG) und der Gefahrgutverordnung Straße (GGVS) eingehalten werden. Es war zusätzlich eine Ausnahmetransportgenehmigung erforderlich, da der Transport von dioxinhaltigen Stoffen mit einem 2,3,7,8-TCDD-Gehalt über 10 ppb ohne Anmeldung bei den zuständigen Behörden und ohne zusätzliche Genehmigungen verboten war.

Die Hochtemperaturverbrennung wurde durch ein analytisches Begleitprogramm kontrolliert. Danach haben die relativ hohen Schadstoffgehalte nicht zu signifikanten Erhöhungen der Abgaskonzentrationen an Gesamt-PCDD/PCDF und an 2,3,7,8-TCDD geführt; sie waren vergleichbar mit denen, die bei der Verbrennung von Heizöl vorliegen.

Dechlorierung durch das Degussa-Verfahren

Hamburg suchte weiter nach alternativen Verfahren. Mit ihnen sollte das hohe Gefährdungspotential abgebaut werden, das durch die chlorierten Kohlenwasserstoffe (CKW) - insbesondere durch Dioxine - hervorgerufen wird, so daß anschließend eine problemlose Entsorgung des dann CKW-freien Öls möglich wird.

Nachdem die Umweltbehörde sich intensiv mit einer Reihe von Verfahren auseinandergesetzt hatte, wurde 1988 das Natrium-Verfahren der Firma Degussa (Hanau) in einem Pilotversuch erprobt. Das Verfahren basiert auf einer chemischen Reaktion von metallischem Natrium mit dem im Sickeröl organisch gebundenen Chlor. Das Natrium wird in einer Dispersion mit Weißöl zugegeben. Das bei der Reaktion entstehende Natriumchlorid (Kochsalz) ist anschließend in der Schlammphase des dechlorierten Materials wiederzufinden. Der Anteil der dechlorierten Kohlenwasserstoffe ist überwiegend in der flüssigen Phase enthalten. Insgesamt behandelte die Degussa AG im August und September 1988 in einer von der Firma entwickelten Pilotanlage 1,2 m^3 Sickeröl. Umgesetzt wurden jeweils 200 l-Chargen. In einer anschließenden Analyse ließen sich keine CKW einschließlich der Dioxine mehr nachweisen; lediglich einzelne Chlorphenole in Konzentrationen um die Nachweisgrenze wurden in einer Probe gefunden.

Nach dem erfolgreich verlaufenen Pilotversuch kam das Degussa-Natrium-Verfahren zur Entgiftung des, beim Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „Stau-

flüssigkeitsentzug", angefallenen Sickeröls 1990/91 erneut auf der Deponie Georgswerder zum Einsatz. Diese Durchführung des Verfahrens wurde nach § 7 (2) Abfallgesetz genehmigt. Besondere Beachtung mußte dem teils hohen Wassergehalt der Sickeröle gewidmet werden, der emulgiert bis zu 50 % betragen kann. Da Wasser mit Natrium exotherm reagiert, mußten an die Versuchsdurchführung und die Anlagentechnik besondere Sicherheitsanforderungen gestellt werden.

Dabei führten Anfangsschwierigkeiten, die hauptsächlich in der spezifischen Zusammensetzung der Sickerflüssigkeiten zu suchen sind, zu erheblichen Verzögerungen. Ferner bewirkten Betriebsstörungen, wie eine Verpuffung, eine Verfestigung im Reaktor und ein Brand vorübergehende Stillstände der Anlage. Die entgifteten Öle wurden von einer Hamburger Altölfirma aufgearbeitet, der Schlamm wurde in einer Sonderabfallverbrennungsanlage entsorgt. Versuche der Universität Hamburg mit den dechlorierten Ölen zeigten, daß diese auch pyrolisierbar sind.

Verbrennung bei Edelhoff Entsorgung Nord

1992 konnte ein weiterer Entsorgungsweg mit der Verbrennung des Sickeröls bei der Fa. Edelhoff gefunden werden. Deren Hochtemperaturverbrennungsanlage in Bramsche bei Osnabrück ist technisch für die Verarbeitung konditionierter Sickeröle ausgerüstet und zugelassen. Für die relativ geringen Ölmengen, bis maximal 10 m^3/a, reichen die dortigen Kapazitäten aus. Eine aufwendige Vorbehandlung des Sickeröls wie Aufwärmen und Filtrieren ist bei dieser Anlage nicht erforderlich. Das Öl kann direkt aus dem Sammelbehälter in die Brennkammern eingedüst werden. Diese Entsorgung findet in Abstimmung mit der Niedersächsischen Gesellschaft zur Endablagerung von Sonderabfall mbH, einer Gesellschaft des niedersächsischen Umweltministeriums, statt. Die erforderliche Genehmigung wurde unbefristet erteilt.

Eine wesentliche Erleichterung für den Transport des Öls bedeutet die Verwendung besonderer Tankcontainer, die auch mit der Bahn transportiert werden können (siehe unten). Der für den Transport erforderliche Aufwand an Formalitäten ist durch die Verwendung der Container im Vergleich zum früheren Transport zur Bayer AG wesentlich geringer geworden. Auch kann ein Teil der bisherigen Sicherheitsauflagen (zum Beispiel Polizeischutz) entfallen.

Spezialtankcontainer für Sickeröl

Das Sickeröl der Deponie Georgswerder ist stark schadstoffbelastet; aus diesem Grund besteht mit jedem Arbeitsvorgang die Gefahr der Kontamination von Mitarbeitern. Daher wurde es notwendig, die Infrastruktur so einzurichten, daß das Öl in einem Behälter gesammelt und dieser Behälter ohne ein weiteres Umpumpen des Öls zum Entsorger transportiert werden kann.

Dabei sind verschiedenen Auflagen zu beachten:

- Es muß jeder Behälter, mit dem Gefahrgut wie das dioxinhaltige Sickeröl transportiert wird, bauartgeprüft sein.
- Das Lager muß den Anforderungen des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImschG) entsprechen.

Abb.5.6 Lagerfläche mit Spezialtankcontainern

- Für den Transport sind zwingend die Auflagen der Gefahrgutverordnung Straße und/oder Eisenbahn (GGVS/E) einzuhalten.

Dabei widersprechen sich die Bestimmungen für Lagerbehälter und für Transportbehälter in einigen Punkten, zum Beispiel ist bei Lägern eine ausreichende Entlüftung vorgeschrieben, während die Transportvorschriften ein druckdichtes Verschließen des Transportraumes fordern. Die Schwierigkeit bestand darin, einen Behälter zu finden, der diese grundverschiedenen Anforderungen erfüllte.

Ein zum Lagern und für Transporte zugelassener Behälter für Stoffe der Schadstoffklasse des 2,3,7,8-TCDD war serienmäßig nicht zu bekommen; er mußte als Spezialanfertigung hergestellt werden. Im September 1990 wurden drei Tankcontainer in Auftrag gegeben, die als Lagerbehälter dienen können und für den Transport nur auf ein Transportfahrzeug geladen werden müssen. Die Container wurden unter Einhaltung aller notwendigen Zulassungen gefertigt und nach aufwendigen Prüfungen zur Verwendung als Lager- und Transportbehälter zugelassen. Dazu waren die Baumusterzulassung nach Verkehrsrecht durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung aus Berlin, ein bauaufsichtliches Prüfzeichen vom Institut für Bautechnik aus Berlin und ein Typ-Zertifikat vom Germanischen Lloyd aus Hamburg notwendig. Die Tankcontainer mit je 12 m³ Inhalt sind doppelwandig und mit Leckanzeige, Überfüllsicherung, Füllstandsanzeige, Heizvorrichtung und einer Einrichtung zur Be- und Entlüftung ausgerüstet. Die Behälter sind auf der Deponie Georgswerder seit Februar 1992 im Einsatz.

Durch die Verwendung der Tankcontainer ist der bürokratische Aufwand, für einen Sickeröltransport entsprechende Ausnahmegenehmigungen zu erhalten, wesentlich geringer geworden. Gefahrgüter müssen mit der Bahn transportiert werden, so auch das Georgswerder-Sickeröl. Da weder auf der Deponie Georgswerder noch bei Edelhoff Gleisanschlüsse vorhanden sind, ist sowohl in Hamburg als auch in Bramsche ein Straßentransport vom und zum Bahnhof erforderlich. Aus diesem Grund sind neben den Transportgenehmigungen für die Bahn nach GGVE (Gefahrgutverordnung Eisenbahn) auch die für die Straße nach GGVS (Gefahrgutverordnung Straße) unter Beachtung und Einhaltung der umfangreichen Sicherheitsauflagen erforderlich.

Nach der Inbetriebnahme des neuen Leichtstoffabscheiders im Juli 1993 wurden alle drei Container auf einer flüssigkeitsdichten Fläche im Bereich der Flotationsanlage aufgestellt. Durch die Bereitstellung von drei Tankcontainern ist jederzeit eine ausreichende Kapazität zur gleichzeitigen Aufnahme und zum Abtransport des Sickeröls gewährleistet.

5.3.2 Flotatschlamm

Der als Reststoff aus der Sickerflüssigkeitsbehandlung anfallende dioxinbelastete Flotatschlamm ist nicht weiterverwendbar. Zur Entsorgung muß er entwässert und getrocknet werden. Dazu wird der Flotatschlamm zunächst homogenisiert und in einem Dekanter unter Zugabe von Flockungshilfsmitteln auf einen Trockensubstanz-Gehalt zwischen 18 und 25 % entwässert. Das ablaufende „Klarwasser" wird in die Flotation zurückgeleitet. Der entwässerte Schlamm wird zur Vortrocknung an der Innenfläche eines Dünnschichtverdampfers entlang geführt, bei 100 bis 120°C auf einen Trockensubstanz-Gehalt von 55 bis 70 % vorgetrocknet und anschließend pelletiert. Auf einem nachfolgenden Bandtrockner wird das in den Pellets befindliche Restwasser erwärmt und dabei verdampft, und die Pellets werden auf einen Trockensubstanz-Gehalt von 95 % getrocknet. Das so entstandene Granulat wird weitgehend automatisiert in Fässer abgefüllt und im Feststoffzwischenlager zur Entsorgung bereitgestellt. Die Abwärme der wasserdampfhaltigen Abluft aus den Trocknern wird über einen Kühlwasserkreislauf wieder zur Beheizung im Trockner genutzt.

Abb.5.7 Schlammtrocknungsanlage

Bis 1991 erfolgte eine Entsorgung des Flotatschlammes in die Untertage-Deponie Herfa-Neurode. Die dortigen Annahmebedingungen forderten eine sehr aufwendige doppelwandige Verpackung der Schläm-

me, wobei die Zwischenräume vergipst werden mußten, um einen Austritt von Stoffen zu vermeiden. Der Schlamm selbst war in einer Weise zu konditionieren, daß keine freien Flüssigkeiten austreten können. Es hatte sich aber gezeigt, daß die damalige Schlammverfestigung, eine Entwässerung über eine Kammerfilterpresse unter Zugabe von Stabilisierungsmitteln, nicht ausreichend war. Erst seit Inbetriebnahme der beschriebenen Schlammtrocknungsanlage im Jahre 1994 ist eine den Anforderungen genügende Entwässerung des Schlammes möglich.

Neben der Einlagerung in die Untertagedeponie werden zur Zeit auch noch andere Entsorgungsmöglichkeiten geprüft, wie eine Ablagerung in einer oberirdischen Deponie, eine Verbrennung oder eine Verwendung des Schlammes als Zuschlagstoff in der Ziegelherstellung.

5.3.3 Sonstige Reststoffe

Auf der Deponie Georgswerder fallen weitere 2,3,7,8-TCDD-belastete Materialien und Reststoffe an, die keinesfalls im normalen Hausmüll und auch nicht in jeder Sonderabfallverbrennungsanlage entsorgt werden können. Dies sind zum Beispiel gebrauchte Schutzkleidung, Putzlappen, Laborabfälle, entleerte Behälter, Werkzeuge und Geräteteile, die im Vergleich zum Sickeröl gering belastet sind.

Bei handlichen Teilen wie Werkzeugen besteht die Möglichkeit der Dekontamination, zum Beispiel Waschen unter Hochdruck oder Behandlung mit Aceton, um so eine Wiederverwendung oder eine Entsorgung mit dem normalen Müll zu ermöglichen. Der überwiegende Teil der kontaminierten Reststoffe läßt sich aber nicht auf diese Weise behandeln.

Eine Entsorgungsmöglichkeit ist die Einlagerung in einer Untertagedeponie. Diese Möglichkeit mußte bisher mangels Alternativen wahrgenommen werden. Bis Oktober 1992 bestand eine Einlagerungsgenehmigung für die Untertage-Deponie Herfa-Neurode, die einen extrem hohen Verpackungsaufwand erforderte, der die zu entsorgende Menge mehr als verdoppelte. Diese Einlagerungsgenehmigung wurde nach dem Inkrafttreten der TA Abfall im Oktober 1992 widerrufen. Seitdem dürfen verbrennungsfähige Materialien nicht mehr eingelagert werden. Bis 1995 hat sich allerdings noch kein Betreiber einer für 2,3,7,8-TCDD-haltige Stoffe zugelassenen Hochtemperaturverbrennungsanlage zu einer Annahme der Deponie-Reststoffe bereiterklärt. Bis zur Klärung eines genehmigten Entsorgungsweges werden die Materialien in einem Bereitstellungslager auf der Deponie gesammelt.

6. Grundwassersanierung

6.1 Sanierungsziel

Die schon heute großflächige Verunreinigung des ersten Grundwasserleiters und der weitere zu erwartende Schadstoffeintrag in das Grundwasser unterhalb der Deponie sowie dessen weitere Ausbreitung aus dem Deponiegelände heraus machen Sanierungsmaßnahmen unumgänglich. Für die Sanierungsmaßnahmen sind Sanierungsziele formuliert:

- die derzeitige Untergrundverunreinigung vollständig zu erfassen;
- die außerhalb der Deponie befindliche Schadstoffahne möglichst schnell zu sanieren;
- die hohen Schadstoffmengen im Belastungsschwerpunkt schnell zu reduzieren:
- ein Austragen aus diesem Schwerpunkt heraus zu verhindern;
- einen weiteren Schadstoffaustrag aus dem Deponiebereich heraus zu unterbinden.

Ausgehend von einem Sanierungsleitwert für LCKW von 10 µg/l erstreckt sich die Verunreinigung des Grundwassers 1995 etwa 350 m außerhalb der Deponie in südwestlicher Richtung. Die Grundwasserbelastungen mit weiteren organischen Schadstoffen wie Benzol, Chlorbenzole, Chlorpenole und HCH haben sich bisher nicht in diesem Maße wie bei LCKW ausgebreitet. So reicht die Benzol-Fahne lediglich 125 m über die Deponiegrenze hinaus. Chlorbenzole, Chlorphenole und HCH befinden sich noch innerhalb der Deponiegrenzen im Grundwasser. Mit der Sanierung der LCKW als der mobilsten Schadstoffe mit der größten Ausdehnung und der Benzole als weitere, langsamerer Schadstoffgruppe werden alle anderen Kontaminationen mit erfaßt.

6.2 Grundwassermodelle

Das Geologische Landesamt (GLA) hat theoretische Betrachtungen über die Verwirklichung dieser Ziele und der dazu notwendigen Maßnahmen angestellt. Es ist zunächst untersucht worden, welche Transportmechanismen in welchem Umfang in der Vergangenheit gewirkt haben, um zu der heute beobachteten Grundwasserverunreinigung zu gelangen. Durch das BMFT/FHH-Forschungsprojekt „Prognose des Schadstofftransports im Deponieuntergrund" wurde der Eintrag von LCKW und Benzol durch die Weichschichten in das Grundwasser modelliert.

Auf dieser Basis und einer durch die RWTH Aachen erstellten Modellrechnung wurde ein zweidimensionales horizontales Strömungs- und Stofftransportmodell aufgebaut, um die zukünftigen Bewegungen der Schadstoffe im Grundwasser zu prognostizieren und geeignete Sicherungsmaßnahmen zu ergreifen. Das Modell des Grundwasserleiters im Bereich der Deponie Georgswerder beinhaltet Informationen über die Grenzen des Systems, die Norderelbe im Nordosten, den Müggenburger Kanal und den Zollhafen im Norden, die Wilhelmsburger Dove-Elbe im Westen und Südwesten und den Georgswerder Schleusengraben im Süden und Osten. Der Untergrund im Modellgebiet wird durch die Wasserdurchlässigkeit und die Mächtigkeit des Grundwasserleiters charakterisiert. Weiterhin fließen noch Daten der Grundwasserneubildung mit in das Modell ein.

Für die Betrachtung des Stofftransportes werden zusätzlich Daten über die Anfangskonzentrationen der Schadstoffe in der Deponie, der effektiven Porositäten und der Dispersions- und Sorptionskoeffizienten berücksichtigt. Das so erstellte hydraulische Modell zeigte in der Prognose der Stoffbewegungen sehr gute Übereinstimmung mit den tatsächlich gemessenen Werten im Grundwasser und wies somit seine Vorhersagefähigkeit nach. Die Auslegung der Maßnahmen erfolgte zunächst im trail and error - Verfahren anhand von Trennstromlinien im Grundwasser. Bei dieser hydraulischen Vordimensionierung wurden die notwendigen Förderraten der Sanierungsbrunnen so ausgelegt, daß ihre jeweiligen Einzugsbereiche die Schadstoffe stets um mindestens 20 m einschließen. In der zweiten Modellierungsstufe werden die Resultate der ersten in das Stofftransportmodell übernommen, und mit den Stofftransportparametern überprüft und gegebenenfalls korrigiert. Als Standorte für Förderbrunnen sind insgesamt bis zu elf Punkte berechnet worden, davon befinden sich zwei unterhalb der Deponie, drei an deren Rand und sechs außerhalb im Grundwasserabstrom.

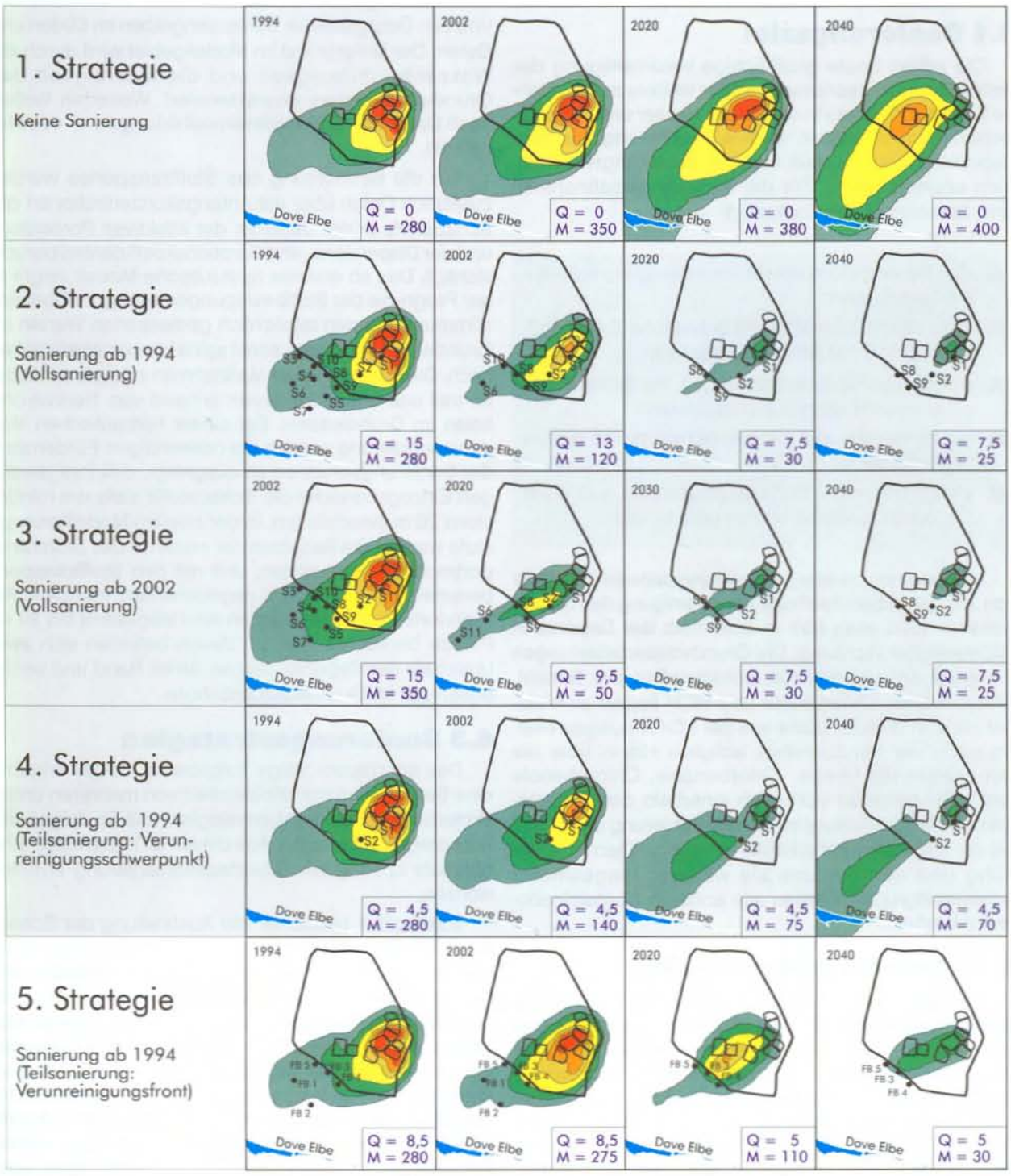
6.3 Sanierungsstrategien

Das auf diesem Wege aufgebaute Modell erlaubte eine Betrachtung der Wirksamkeit von mehreren unterschiedlichen Sanierungsstrategien, die im folgenden kurz dargestellt werden. Aus diesen ist letztendlich eine optimale Lösung zur Grundwassersanierung ermittelt worden.

Strategie 1 betrachtet die Ausbreitung der Schadstoffe im Grundwasser ohne weitere hydraulische Maßnahmen. Durch den Bau der Deponieoberflächenabdichtung sinkt der Wasserstand innerhalb der Deponie laut Modellrechnungen in etwa 20 Jahren von maximal 14 m ü.NN auf 0,6 m ü.NN. Der Einfluß des Stauwasserüberdruckes auf das Grundwasser nimmt dementsprechend ab, wodurch sich die Strömungsverhältnisse im Grundwasser ändern. Die Ausbreitung der Schadstoffe erfolgt dann nicht mehr so wie heute noch radialsymmetrisch von der Deponie in alle Richtungen, sondern verläuft dann mit der Grundwasserströmung von Nordost nach Südwest. Die ersten Schadstoffe erreichen etwa im Jahr 2010 die Dove Elbe, die anschließend unterströmt wird und daher keine hydraulische Barriere für die Schadstoffe darstellt. Ziel dieser Berechnung war es, zu zeigen, welche Folgen die Grundwasserkontamination unterhalb der Deponie für das Umland haben wird, wenn keine weiteren Maßnahmen ergriffen werden. Diese Strategie wird daher als Null-

Grundwassersanierung

Auswirkung verschiedener Sanierungsstrategien auf die LCKW - Verunreinigungen



Berechnete Konzentrationsbereiche (µg/ l)

10- 50	50- 200	200- 500	500- 750	750-1000	>1000

Q = Förderrate [m^3/ h]
M = Schadstoffmasse (LCKW) im GW- Leiter [kg]
S1....S11: Bezeichnung der berechneten Brunnenpunkte
FB1 ... FB5: Bezeichnung der Sanierungsbrunnen

Abb.6.1 Vergleich der Strategien 1-5 anhand der LCKW - Verunreinigung.

variante bezeichnet.

Strategie 2 tritt mit dem Ziel an, die heutige Ausdehnung der Grundwasserverunreinigung vollständig zu erfassen, eine möglichst schnelle Fahnensanierung durchzuführen, möglichst schnell die hohen Belastungsschwerpunkte abzubauen sowie zu verhindern, daß Schadstoffe aus den Belastungsschwerpunkten bzw. über den Deponierand transportiert werden. Dies entspricht einer Vollsanierung des belasteten Grundwassers. Zur Durchführung dieser Strategie sind zehn Sanierungsbrunnen erforderlich, die sich unterhalb der Deponie, an deren Rand und in der Fahne befinden. Mit Beginn dieser Maßnahme sind zunächst 15 m^3 belastetes Grundwasser pro Stunde zu fördern, wobei die Förderrate nach 15 Jahren auf 7,5 m^3/h reduziert werden kann und schließlich langfristig in diesem Umfang beibehalten werden muß.

Strategie 3 zeigt, wie die Grundwassersanierung durchgeführt werden kann, wenn diese erst im Jahr 2002 begonnen wird. Dabei werden als Randbedingungen die in Strategie 2 genannten Ziele verfolgt. Es soll hierbei der Mehraufwand im Vergleich zur sofortigen Sanierung abgeschätzt werden. Der hydraulischen Optimierung ist daher zunächst die berechnete Ausbreitung der Schadstoffe bis 2002 zugrundegelegt, um eine realistische Ausgangslage zu erhalten. Es zeigt sich, daß sich bis 2002 die Fahne um 170 m verlängert haben wird. Dies macht im Bereich der Fahnenspitze einen elften Sanierungsbrunnen erforderlich. Weiterhin sind zum Ende des Betrachtungszeitraumes die Schadstoffkonzentrationen unterhalb der Deponie höher als zum selben Zeitpunkt mit Ausführung der Strategie 2.

Strategie 4 bewirkt abweichend von Strategie 2 nur die möglichst schnelle Reduzierung der hohen Schadstoffgehalte unterhalb der Deponie und die Sicherung der Hauptschadstoffbereiche. Es treten hier allerdings weiterhin Schadstoffe aus dem Deponiegelände aus, und die Fahne wird nicht saniert. Es sind hierfür nur zwei Sanierungsbrunnen erforderlich, die dauerhaft mit 4,5 m^3/h betrieben werden müssen. Da die außerhalb des Deponiegeländes befindlichen Schadstoffe nicht zurückgeholt werden können, erreichen die ersten Schadstoffe etwa im Jahr 2020 die Dove Elbe. Bis zum Jahr 2040 hat sich dann eine Teilfahne von der Deponie gelöst und sich langsam von ihr weg verlagert. Die Schadstoffe verbleiben langfristig außerhalb der Deponie im Grundwasser.

Strategie 5 setzt das Sanierungsziel in der Art um, daß die Grundwasserverunreinigungen außerhalb der Deponie bis zu deren Grenze zurückgezogen werden und der Grenzbereich zwischen Deponiegelände und Umland hydraulisch gesichert wird. Die Ausbreitung von Schadstoffen außerhalb der Deponie wird so langfristig verhindert. Im Grundwasser unterhalb der Deponie werden zunächst keine Maßnahmen ergriffen, um die dort befindlichen Schadstoffe zu entnehmen, da auch trotz einer solchen quellennahen Sanierung das Grundwasser unterhalb der Deponie dauerhaft verunreinigt bleibt. Für diese Sanierungsstrategie werden fünf Förderbrunnen benötigt, drei Brunnen am Rand der Deponie mit einer Förderleistung von 5 m^3/h und zwei im südwestlichen Deponievorland mit 3,5 m^3/h.

6.4 Ausgewählte Sanierungsmaßnahme

6.4.1 Grundwasserentnahme

Die Strategie 5 wird als die nach ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten geeignetste angesehen, einen wirksamen Grundwasserschutz im Deponiebereich zu garantieren. Das belastete Grundwasser wird aus fünf Förderbrunnen am Rand der Deponie und in deren Unterstrom entnommen.

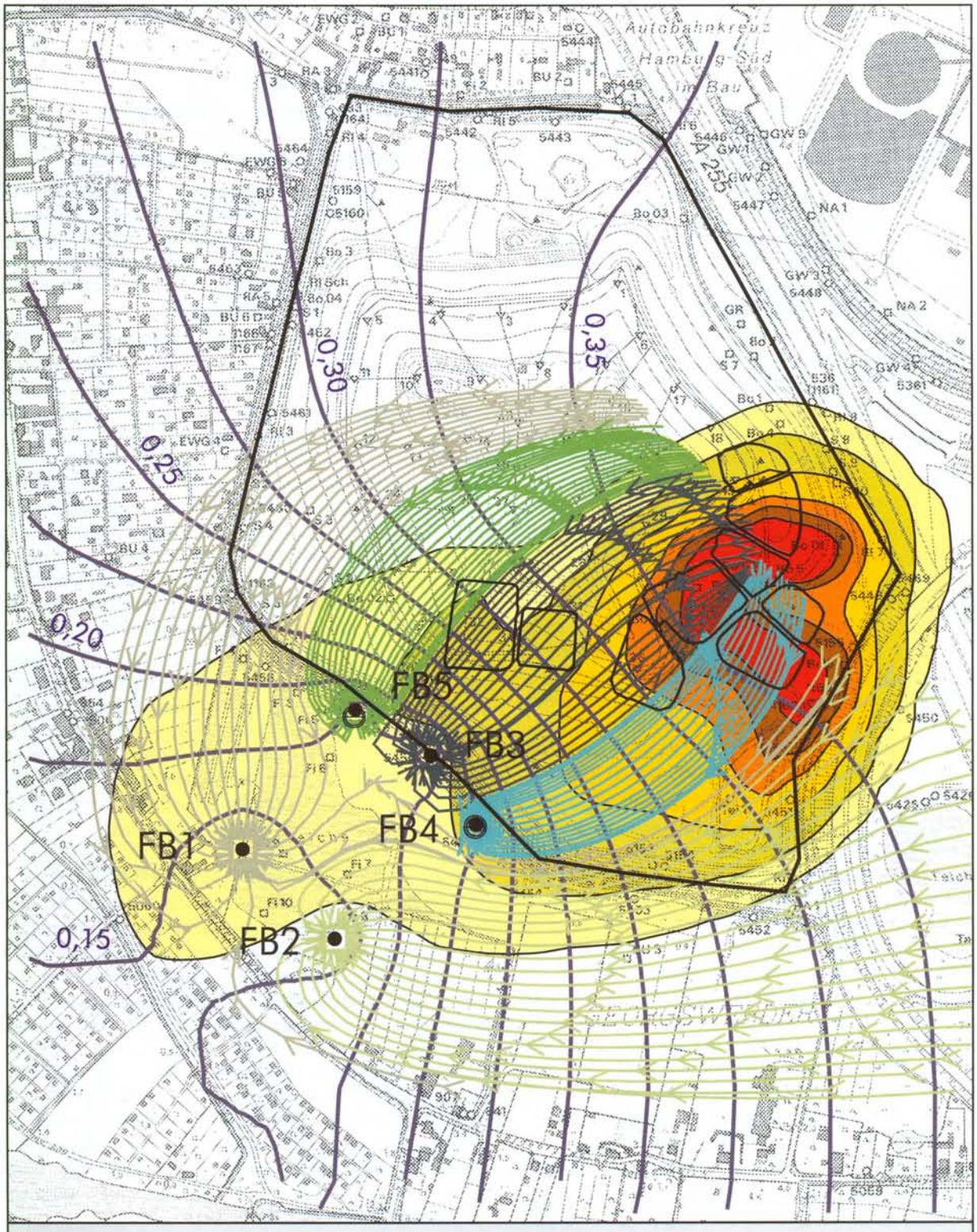
Die Förderbrunnen 1 und 2 fassen die Verunreinigungen außerhalb der Deponie und verhindern ein Verdriften von Schadstoffen in Richtung Dove Elbe. Aus den Förderbrunnen 1 und 2 müssen für zwölf Jahre 3,5 m^3/h gefördert werden, danach kann die Förderung für drei Jahre auf 2 m^3/h reduziert werden. Nach etwa 15 Jahren Betriebszeit dieser Brunnen sind die Verunreinigungen außerhalb der Deponiegrenze saniert, und die beiden Förderbrunnen 1 und 2 können abgeschaltet werden. Die Förderbrunnen 3, 4 und 5 verhindern vom Beginn der Maßnahme an ein Ausbreiten von Schadstoffen über den Deponierand, sie müssen auf Dauer mit 5 m^3/h betrieben werden.

Das belastete Grundwasser wird mit Zulaufleitungen von allen Brunnen zum Deponierand transportiert und in einer Sammelleitung zur Aufbereitungsanlage geleitet. Als Gesamtmaßnahme ergibt sich also eine Förderrate von 8,5 m^3/h für die ersten zwölf Jahre Betriebszeit, danach ein Verringerung auf 7 m^3/h für drei Jahre und schließlich ein Dauerbetrieb mit 5 m^3/h zur hydraulischen Sicherung der Deponie.

6.4.2 Grundwasserbehandlung

Gemäß den hydraulischen Berechnungen ist eine Aufbereitungsanlage für das geförderte Grundwasser vorgesehen, die Schadstoffe aus dem Wasser entfernt und sie so einer Behandlung zugänglich macht. Da neben den Schadstoffen im Grundwasser auch Eisen in gelöster Form vorliegt und dieses den Reinigungsprozeß für die Schadstoffe behindert, muß dem Grundwasser zunächst das Eisen entzogen werden. Die Entfernung erfolgt durch Zugabe des Oxidationsmittels H_2O_2, Überführung in unlösliches Eisenhydrat sowie Abscheidung in einem Paralellplattenabscheider und in rückspülbaren Sandschnellfiltern. Zur Entfernung der organischen Schadstoffe aus dem Grundwasser wird die Absorption an Aktivkohle angewandt.

Im Interesse der Minimierung von Betriebskosten wird eine zweistufige Aktivkohlefilteranlage eingesetzt, die das Erreichen höherer Beladungen des Adsorbens in der ersten Filterstufe zuläßt. Durch die Bioabbaubarkeit der Kontaminationsstoffe unter den aeroben Bedingungen des Anlagenbetriebes ist zu erwarten, daß Abbauprozesse in den Schnell- sowie den Aktivkohlefiltern die Beladung der Kohle vermindern und so wirtschaftlich lange Standzeiten ermöglichen. Ist die Aktivkohle beladen, wird sie gegen frische ausgetauscht.



Einzugsbereiche der Sicherungsbrunnen zu Beginn der Maßnahme:

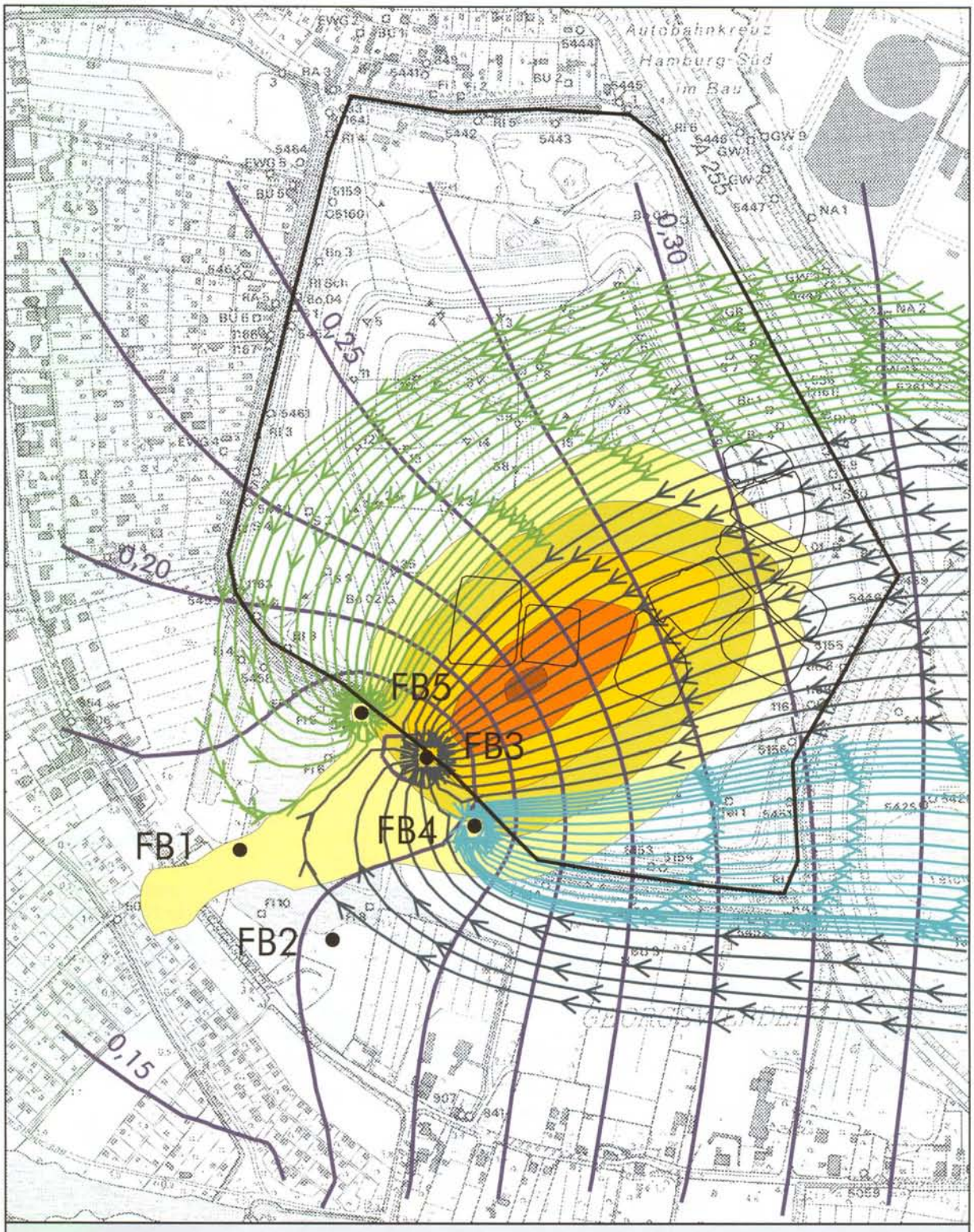
Stromlinien (Pfeilabstand 10 Jahre)

Potentiallinien [m ü. NN] 0,15

Berechnete Konzentrationsbereiche Σ LCKW (µg/ l)

10- 50	50- 200	200- 500	500- 750	750-1000	>1000

Abb.6.2. und 6.3 Sanierungsbereiche zu Beginn der Maßnahme (oben) und nach Abschalten von Brunnen 1 und 2 (rechts).



Einzugsbereiche der Sicherungsbrunnen nach Abschaltung von FB1 + FB2:

Stromlinien (Pfeilabstand 10 Jahre)

Potentiallinien [m ü. NN] 0,15

Berechnete Konzentrationsbereiche Σ LCKW (µg/ l)

10- 50	50- 200	200- 500	500- 750	750-1000	>1000

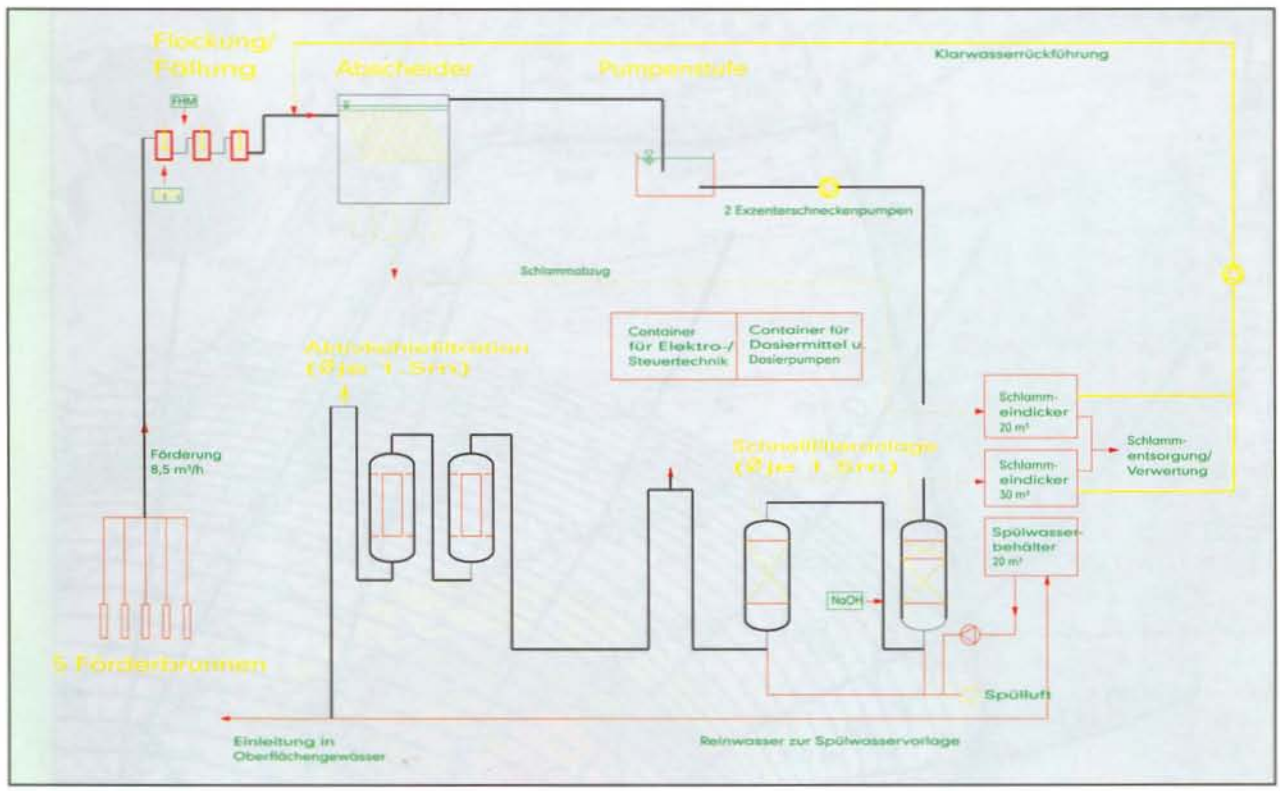


Abb6-3

Abb.6.4 Fließbild der Grundwasseraufbereitung

Das aufbereitete gereinigte Grundwasser wird in die Norderelbe abgeleitet. Die Leitung quert im Nordbereich den Deponierand und verläuft dann im Betriebsweg bis zur Bundesautobahn A 255. In Leerrohren wird die Entsorgungsleitung unter der Bundesautobahn hindurchgeführt und mündet in den offenen Graben der Östlichen Georgswerder Wettern. Über ein Einleitbauwerk wird sichergestellt, daß eine gleichmäßige Verteilung der Wassers garantiert wird und daß dies die Aufwirbelung von Sedimenten vermeidet.

Die für den Routinebetrieb notwendige Infrastruktur (Zuwegung, Elektrizität, Trinkwasser etc.) wird im Nordbereich der Deponie bereitgestellt. Es werden zwei Container für die Aufbereitungsmodule benötigt, ein dritter für die Schaltschränke, die Meßwertaufzeichnung sowie für Chemikalien. Der zukünftige Betrieb der Grundwasseraufbereitungsanlage der Deponie Georgswerder ist grundsätzlich im Zusammenhang mit den weiteren vorhandenen und geplanten Aufbereitungsanlagen auf dem Gelände der Deponie zu sehen. Ein Gesamtbetriebsprogramm schließt die Grundwasseraufbereitung mit ein.

7. Deponiegas

7.1 Entgasungsanlage

Erster Anlaß zum Bau und Betrieb einer Entgasungsanlage war schon 1980 der Umstand, daß die Oberfläche der Deponie gasfrei gehalten werden mußte, um Schäden an der Vegetation und die Gefahr von Verpuffungen und Bränden zu vermeiden. Inzwischen wurde deutlich, daß die Entgasung auch aus ökologischen Gründen (Treibhauseffekt) erforderlich ist.

1982 wurde eine erste Versuchsanlage mit drei Gassonden, Saugeinrichtung und Gasfackel errichtet und betrieben. Ab 1983 wurde darauf basierend eine umfassende Entgasungsanlage gebaut. Das Gasfassungssystem hat 39 Sonden, die sich ausschließlich im Kerndrittel der Deponie (Bereich der Oberen Abdekkung) befinden. Von diesen Gassonden führen Stichleitungen zu einer im Bereich der oberen Betriebsstraße verlegten Ringleitung, durch die das Gas weiter zur Verdichterstation geführt wird. Von dort gelangt das Gas über eine 800 m lange Transportleitung zu einer benachbarten Kupferhütte.

Zur Erstellung der vertikalen Gassonden wurden Rammen eingesetzt, anschließend Filter- und Aufsatzrohre und mineralische Dichtungssperren eingebaut. Das Rammverfahren hat sich bewährt, weil kein problematisches Bohrgut anfiel und nur wenig Deponiegas austrat. Die Sondenköpfe befinden sich in rechteckigen GFK-Schächten. Die Verbindung der Sonden mit den Leitungen führt über einen biegsamen Folienschlauch und eine Absperrklappe. Ein Stutzen ermöglicht das Einbringen von Geräten zur Ermittlung der Durchflußmenge. Ein Probenentnahmehahn am Sondenkopf gestattet auch das Einbringen zum Beispiel eines Lotes zur Feststellung der Durchgängigkeit der Sonde.

Die Stichleitungen verbinden die Sonden mit einer Ringleitung. Sie bestehen aus PEHD mit einer Nennweite von 80 und 110 mm und liegen oberhalb der mineralischen Dichtung im Decksubstrat. Durch das dadurch vorgegebene starke Gefälle fließt das Kondensat mit dem Gas zur Ringleitung.

Die Ringleitung besteht aus 28 Rohrhaltungen zwischen 29 und 118 m Länge mit häufig nur 2 % Gefälle in Gasfließrichtung. Richtungsänderungen und Höhensprünge der sägezahnartig verlegten Ringleitung erfolgen in Umlenkschächten. Diese Schächte bestehen ebenfalls aus GFK und haben einen Durchmesser von 2 m bei einer Tiefe bis zu 7,5 m. In Schachtmitte befindet sich ein vertikales Sammelrohr, an das im unteren Teil die ankommende Leitung und im oberen die abgehende Leitung jeweils über einen Folienschlauch angeschlossen ist. Vom unteren Ende des Sammelrohres wird das Kondensat über einen Syphon abgeführt. Von der Ringleitung führt eine Verbindungsleitung zur Verdichterstation.

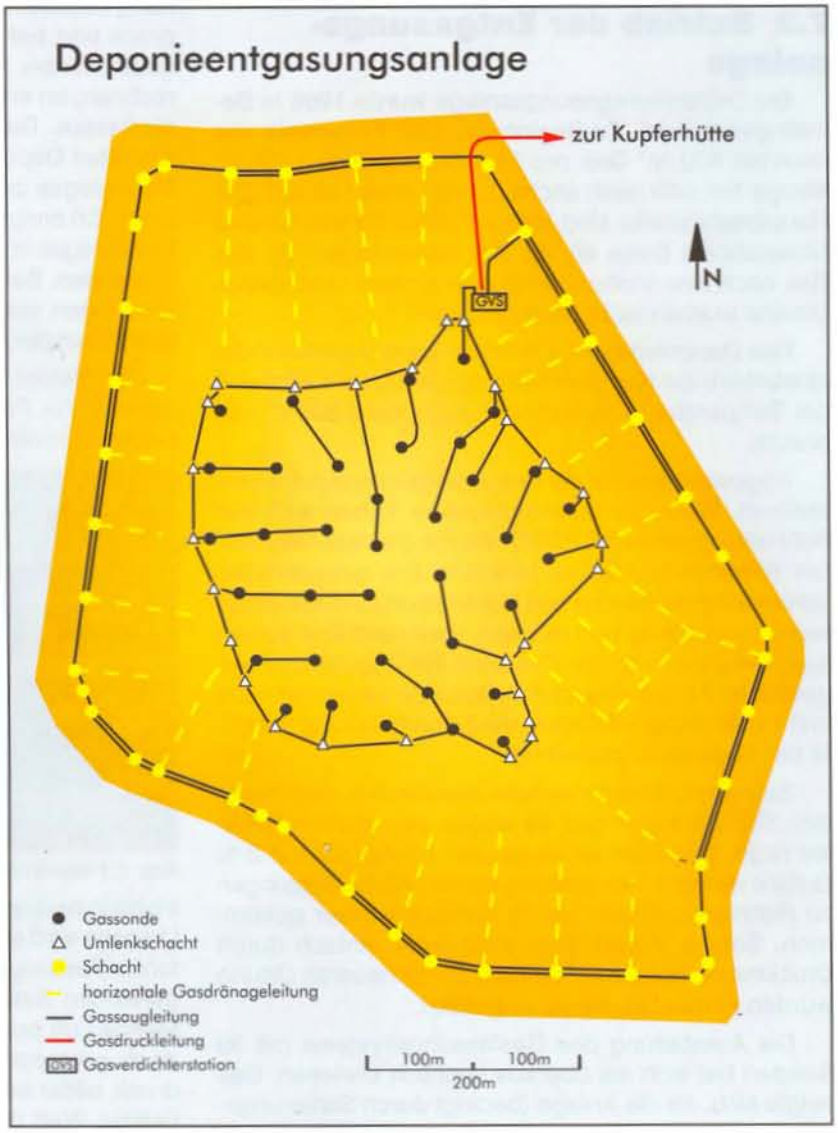


Abb. 7.1: Lageplan der Deponieentgasungsanlage

Mit der Abdeckung des unteren Deponiebereiches wurde eine Gasflächendränage unter dem Abdecksystem mit eingebaut. Diese Dränage besteht aus einer 30 cm starken Kiesschicht, in die zur Gasaufnahme in Hangrichtung verlaufende Dränagerohre verlegt sind. Die Gasdränagerohre führen zu den Schächten am Deponiefuß. Dort befindet sich ein Gassammelsystem, das zwischen den Schächten am Deponierand verläuft.

In der Verdichterstation wird mit einem Drehkolbengebläse sowohl der Saugdruck für die Entgasung der

Deponie als auch der Überdruck von 230 hPa zur Weiterleitung an die Kupferhütte erzeugt. Neben der Druckregelung befinden sich hier Einrichtungen zum Explosionsschutz und zur Trocknung des Gases. Sauerstoff- und Methangehalt werden kontinuierlich gemessen. Der zur Sauerstoffuntersuchung benötigte Teilstrom zweigt bereits am Eintritt der Verdichterstation ab, damit sich beim Auftreten von Sauerstoff die Anlage rechtzeitig abschaltet, bevor ein explosionsfähiges Gemisch den Verdichter als mögliche Zündquelle erreicht. Bei einem Sauerstoffgehalt von 3 Vol.-% erfolgt eine Störmeldung, und bei 5 Vol.-% schaltet sich die Anlage automatisch ab.

7.2 Betrieb der Entgasungsanlage

Die Deponieentgasungsanlage wurde 1986 in Betrieb genommen. Zu Beginn war eine Förderrate von maximal 600 m³ Gas pro Stunde zu erzielen. Diese Menge hat sich nach sechs Jahren etwa halbiert. Die Hauptbestandteile sind Methan (zirka 60 Vol.-%) und Kohlendioxid (zirka 40 Vol.-%). Daneben enthält das Gas noch eine Vielzahl an Spurenstoffen. Hochgiftige Dioxine wurden nicht nachgewiesen.

Das Deponiegas wird in einem benachbarten Industriebetrieb zur Kupferverhüttung genutzt. Es wird dort bei Temperaturen zwischen 1.200 und 1.800°C verbrannt.

Insgesamt arbeitet die Entgasungsanlage zufriedenstellend. Beim Gasfassungssystem haben sich der Rohrleitungswerkstoff PEHD und die glasfaserverstärkten Kunststoffschächte bewährt. Die eingesetzten Verbindungsschläuche aus Polyurethan sind allerdings korrosionsanfällig und müssen nach rund fünf Jahren ausgewechselt werden. Die auch zur Regulierung eingesetzten Absperrklappen ließen sich vereinzelt nicht mehr vollständig schließen, die Feinregulierung mit Hilfe der Klappen ist schwierig.

Setzungsbedingte Verschlüsse durch Kondensat in den Stichleitungen gab es wegen des starken Gefälles nicht. Dagegen ist es bei der häufig nur mit 2 % Gefälle verlegten Ringleitung durch örtliche Setzungen zu Rohrverschlüssen durch Kondenswasser gekommen. Solche Verschlüsse sind recht einfach durch Druckmessungen zu erkennen. Zur genaueren Ortung wurden Fernsehkameras eingesetzt.

Die Ausstattung des Gasfassungssystems mit 39 Sonden hat sich als überaus reichlich erwiesen. Das zeigte sich, als die Anlage (bedingt durch Sanierungsarbeiten) über einige Wochen mit nur fünf Sonden arbeitete. Trotzdem ließen sich annähernd die gleichen Gasmengen wie mit dem Gesamtsystem fördern. Offensichtlich ist der Deponiekörper zumindest in horizontalen Schichten sehr gut gasdurchlässig.

Es wird angestrebt, möglichst viel Gas mit einem Methangehalt von über 50 Vol.-% zu fördern. Die Gasbeschaffenheit aus den einzelnen Sonden wird regelmäßig geprüft. Sinkt der Methangehalt in einer Sonde ab, wird diese entsprechend gedrosselt. Die zentralen Sonden geben praktisch ständig viel Gas mit hohen Methanwerten ab, die Randsonden dagegen nur geringe Mengen. Die jeweiligen Sonden sind entsprechend zu regulieren. Wird über einen längeren Zeitraum, beispielsweise über eine Woche, zuviel Gas gefördert, bringt das Einstellen keinen Erfolg mehr. In solchen Fällen nimmt der Methangehalt zuerst in den Randsonden und danach immer weiter zum Zentrum hin ab. Auf Grund der mit den Jahren abnehmenden Gasbildungsrate muß in gewissen Abständen eine Anpassung der Förderleistung an die Produktionsrate erfolgen.

Es hat sich gezeigt, daß zwischen dem Gasdruck im Deponiekörper und den Luftdruckschwankungen der umgebenden Außenluft ein direkter Zusammenhang besteht. So ist bei fallendem Luftdruck mit Überdruck und bei steigendem Luftdruck mit geringerem Gasdruck bis hin zum Unterdruck in der Deponie zu rechnen. Im ersten Fall drückt das Gas aus der Deponie heraus. Dabei steigen die Methangehalte des geförderten Deponiegases an, es ist aber auch eher mit Deponiegas zum Beispiel in Schächten zu rechnen. Diese Erkenntnis kann man auch bei der Suche nach Deponiegas im Zusammenhang mit anderen Altlasten anwenden. Bei steigendem Luftdruck ist eher mit dem Eindringen von Sauerstoff in die Deponie und in das Gasfassungssystem zu rechnen.

Der Betrieb der Gasverdichterstation verlief bisher einwandfrei. Probleme gab es nur durch gelegentliche Sauerstoffeinbrüche. Diese Störungen traten nach betrieblich bedingten Abnahmeunterbrechungen auf. Die Ursache wird auf geringe unvermeidbare Undichtigkeiten im Fassungsystem zurückgeführt. Bei einem durchgehenden Betrieb fällt der Zutritt von einer geringen Menge Luft praktisch nicht auf. Wird die Förderung jedoch gestoppt und im System herrscht noch Unterdruck, bildet sich im Bereich einer Zutrittsstelle ein Luftpolster. Wird die Anlage wieder angefahren, wandert dieses Polster zur Verdichterstation, wird von der Gasanalyse als Sauerstoffeinbruch erkannt, und die Anlage geht in Störung.

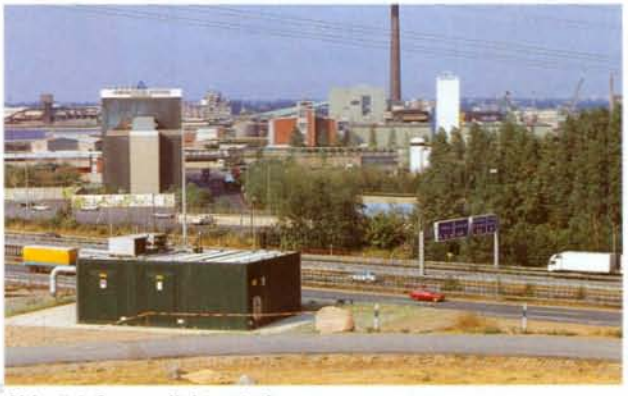


Abb. 7.1 Gasverdichterstation

Zwischen den erzielbaren Förderraten und den Setzungen der Deponie scheint ein direkter Zusammenhang zu bestehen, auch bei den Setzungen wurde eine Halbierung in zirka sechs Jahren festgestellt. In diesem Zusammenhang ist auch zu bemerken, daß bei einer geförderten Gasmenge von zum Beispiel 200 m³/h auf diesem Weg täglich zirka 6000 kg Materie die Deponie verlassen.

8. Arbeitsschutz

Zu Beginn der Sanierung der Deponie Georgswerder bestand große Unsicherheit darüber, welche Arbeitsschutzmaßnahmen erforderlich sind. Gesetzliche Grundlage hierfür war das Chemikaliengesetz und darauf aufbauend die Arbeitsstoff-Verordnung, die am 01.10.1986 von der Gefahrstoff-Verordnung (GefStoffV) abgelöst wurde. Über die Anwendung dieser Verordnungen im Bereich der Altlastensanierung lagen kaum Erfahrungen vor. Viel Unsicherheit verursachte zudem das Vorhandensein von Dioxin, wodurch es zum Teil sogar zu Arbeitsverweigerungen kam.

Abb. 8.1 Arbeitsschutz bei der Altlastensanierung

Inzwischen ist dieses Problem weitestgehend gelöst. Es gibt eine große Zahl von Veröffentlichungen zum Thema Arbeitssicherheit bei der Altlastensanierung und insbesondere Hilfestellungen der Tiefbauberufsgenossenschaft für die Erstellung von Ausschreibungen sowie die „Richtlinien für Arbeiten in kontaminierten Bereichen" - ZH 1/183.

8.1 Gefährdungsanalyse

Das als Sevesogift bekannte 2,3,7,8-TCDD liegt auf der Deponie Georgswerder in niedrigeren Konzentrationen vor, als dies bei den spektakulären Schadensfällen in Seveso und den USA der Fall war. Das Dioxin tritt vor allem im Sickeröl auf. In dieser Form ist es erheblich weniger mobil als zum Beispiel das an Staub gebundene Dioxin in Seveso. In Versuchen konnte zudem nachgewiesen werden, daß aus dem Sickeröl bei Umgebungstemperatur nur sehr geringe Mengen Dioxin ausgasen. Bei Temperaturen, die um einige zehn Grad höher liegen, insbesondere bei möglichen Bränden oder ähnlichen Ereignissen, sind unter bestimmten Umständen gefährliche Kontaminationen über den Luftpfad jedoch nicht auszuschließen.

Ein Gefährdungspotential ist darüber hinaus durch die Vielzahl anderer Gefahrstoffe aufgrund ihrer viel höheren Konzentration und ihrer größeren Mobilität gegeben. Im wesentlichen befinden sich auf der Deponie Georgswerder organische Gefahrstoffe, insbesondere chlorierte und aromatische Verbindungen, wie Benzol, Toluol, Xylol, Chlorbenzole, Chlorphenole usw., die in den weitaus höchsten Konzentrationen (wie das Dioxin) im Sickeröl vorkommen. Das Sickerwasser ist erheblich geringer mit Schadstoffen belastet. Einige dieser Stoffe können aus dem Sickeröl ausgasen und könnten über den Atemluftpfad ungeschützte Personen in unmittelbarer Umgebung gefährden.

Wenn bei Erdarbeiten hochkontaminierte Oberflächen freigelegt werden und diese austrocknen, können über den Staubpfad ebenfalls gefährliche Kontaminationen auftreten. Außerdem muß beachtet werden, daß viele Stoffe einschließlich der Dioxine über die Haut resorbiert werden, wobei allerdings über das Ausmaß wenig bekannt ist.

Das unverdünnte Deponiegas wirkt wegen des niedrigen Sauerstoff- und hohen Kohlendioxidgehalts akut toxisch. Außerdem enthält es toxische Spurenschadstoffe, wie Schwefelwasserstoff und das krebserzeugende Vinylchlorid. Gemische mit Luft sind wegen des recht hohen Anteils an Methangas von etwa 40-60 Vol.-% zudem explosiv. In der Atmosphäre verdünnt sich das Deponiegas allerdings sehr schnell. So sind explosive Gemische von Deponiegas und Umgebungsluft auf der Baustelle im freien Gelände nie, in Schächten, Leitungen, Brunnenrohren usw. jedoch häufiger festgestellt worden.

Viele Gefahrstoffe aus der Deponie Georgswerder können sich im Körper anreichern und langfristig Gesundheitsschäden verursachen. Einige Stoffe sind krebserzeugend. Die in der Gefahrstoffverordnung genannten Grenzwerte (zum Beispiel MAK- und TRK-Werte) für einzelne Stoffe sind wichtige Hilfsmittel zur Quantifizierung des Gefährdungspotentials. Bei den meist vorliegenden Stoffgemischen muß berücksichtigt werden, daß sich die einzelnen Stoffe in ihrer toxischen Wirkung gegenseitig verstärken können (synergetische Effekte). Hierüber ist jedoch nach wie vor sehr wenig bekannt, so daß bei der Festlegung von Grenzwerten sowie Arbeitsschutz- und insbesondere Atemschutzmaßnahmen hohe Sicherheitsfaktoren berücksichtigt werden müssen.

8.2 Pflichten des Arbeitgebers

Nach § 16 der Gefahrstoffverordnung hat grundsätzlich der Arbeitgeber (hier der Betreiber der Sanierung, also die Hamburger Umweltbehörde) das Auftreten etwaiger Gefahrstoffe zu ermitteln; er hat mögliche Gefahren festzustellen und Arbeitsschutzmaßnahmen zu treffen. Für die Ermittlung des Gefährdungspotentials und die Aufstellung von Arbeitsschutzregeln wurde im Jahre 1984 eine überbehördliche Arbeitsgruppe gebildet, die - mit Fachleuten aus allen betroffenen Sachgebieten besetzt - ein sogenanntes Arbeitsschutz-Handbuch erarbeitete. Auf der Grundlage des Arbeitsschutz-Handbuches wurden für die einzelnen Sanierungsmaßnahmen Merkblätter (entsprechend Betriebsanweisungen gemäß § 20 der Gefahrstoffverordnung) mit detaillierten Arbeitsschutzregeln erstellt, fortgeschrieben und dem Handbuch beigefügt. Die Merkblätter befassen sich mit allgemeinen und organisatorischen Schutzmaßnahmen, mit Sicherheitsmaßnahmen bei Unfällen sowie besonderen Schutzmaßnahmen beim Bau der Deponieabdichtung und bei Arbeiten in der Sickerwasserbehandlungsanlage sowie bei Laborarbeiten und sind im Literaturverzeichnis genannt.

Da in der Deponie auch krebserzeugende Gefahrstoffe, unter anderem Dioxine und Furane, vorliegen, mußte die Umweltbehörde gemäß den Forderungen aus Anhang III zur Gefahrstoffverordnung eine für den Arbeitsschutz verantwortliche sachkundige Person bestellen. Diese „Sicherheitsfachkraft für Gefahrstoffe" hat unter anderem die Arbeitsschutzregeln fortzuschreiben, ihre Einhaltung durchzusetzen sowie die meßtechnische Überwachung zu leiten.

Nach § 18 der Gefahrstoffverordnung hat die Umweltbehörde, wenn sie das Auftreten gefährlicher Stoffe in der Atemluft nicht verhindern kann, die Einhaltung von Grenzwerten zu überwachen. Hierzu wurde ein umfangreiches meßtechnisches Überwachungskonzept erarbeitet, auf dessen Grundlage Gefahrstoffmessungen erfolgen.

8.3 Meßgeräte für den Arbeitsschutz

Methanmeßgeräte überwachen den Austritt von Deponiegas. Mit Hilfe dieser Geräte läßt sich Explosionsgefahr feststellen und auch der Verdünnungsgrad ausgetretener Deponiegase bestimmen. Letzteres ist bedeutsam für die Beurteilung der Gefährdung durch meßtechnisch meist viel schwerer zu erfassende Spurenschadstoffe im Deponiegas. Methangas wird also auch als Leitparameter verwendet; so werden bei einer Verdünnung des Deponiegases mit Umgebungsluft im Verhältnis 1:100 für keinen gasförmigen Spurenschadstoff mehr die MAK- und TRK-Werte überschritten. Bei Methangaskonzentration über 0,5 Vol.-% werden besondere Arbeitsschutzmaßnahmen angewendet.

Spurenschadstoffe werden allerdings nicht nur indirekt mittels Methangasmessung als Leitparameter erfaßt, sondern es wird für die Ermittlung chlorierter und aromatischer Kohlenwasserstoffe und hochtoxischer anorganischer Gase auch ein hochempfindlicher Photoionisationsdetektor (PID) eingesetzt. Dieses Gerät erfaßt das gesamte Spektrum dieser Schadstoffe summarisch, ohne gleichzeitig von dem auf der Deponie oft in weitaus höheren Konzentrationen auftretenden Methangas beeinflußt zu werden. Der Grenzwert für den Einsatz besonderer Arbeitsschutzmaßnahmen liegt bei 20 ppm PID-Anzeige.

Bei nicht zu komplexen Schadstoffgemischen können halbquantitative Einzelstoffanalysen von Luft-, Flüssigkeits- und Feststoffproben mit einem neu entwickelten Mobilen Massenspektrometer (MM1) vor Ort in wenigen Minuten vorgenommen werden. Dieses quasi-sofortanzeigende Meßgerät hat sich für Arbeitsschutzzwecke als sehr gut geeignet erwiesen - aus Kostengründen konnte es jedoch nicht ständig bereitgestellt beziehungsweise eingesetzt werden.

Für die Altlastensanierung geeignete mobile und direktanzeigende Staubmeßgeräte waren im Fachhandel trotz intensiver Suche nicht zu finden. Auf der Deponie waren deshalb während der Bauzeit umfangreiche Maßnahmen zur Staubbekämpfung nötig, meistens in Form von Wasserwagen mit Berieselungseinrichtung oder ortsfest eingebauten Regnern. Außerdem wurden potentiell staubbildende Flächen vor Beginn bestimmter Arbeiten, insbesondere bei Abtrag von belasteten Ablagerungen, mittels Bodenanalysen im Labor untersucht. Die Intensität der Staubbekämpfungsmaßnahmen richtete sich nach den Ergebnissen der Bodenanalysen. Vorsichtshalber wurden Ab- oder Auftragungsbereiche mit belasteten Materialien mindestens arbeitstäglich mit Sand abgedeckt, so daß gefährliche Stäube nicht abgeweht werden konnten.

Ein besonders hoher Meßgeräteaufwand war und ist bei Arbeiten in Schächten notwendig. In diesen bis zu 7 m tiefen Schächten mit Durchmessern bis zu 2,5 m ist nach den Unfallverhütungsvorschriften die Atmosphäre mit sogenannten 4 - Gas - Meßgeräten vor dem Besteigen und danach kontinuierlich zu überwachen. Die Meßkomponenten und Grenzwerte sind dabei

- Explosive Atmosphäre (praktisch: Methangasgehalt) maximal 0,5 Vol.-%
- Sauerstoffgehalt mindestens 19 Vol.-%

- Kohlendioxid maximal 0,5 Vol.-%
- Schwefelwasserstoff maximal 10 ppm.

Die Messungen haben sich bewährt und waren auch dringend notwendig - explosive Gemische und erhebliche Abweichungen von den Normalwerten bei Sauerstoff und Kohlendioxid traten häufig auf. Mit technischen Maßnahmen, wie Belüften und notfalls Atemschutz, wurde dem erfolgreich begegnet.

8.4 Schutzmaßnahmen

Da der Umgang mit Gefahrstoffen bei der Sanierung von Altlasten unvermeidbar ist, müssen Arbeitsschutzmaßnahmen jegliche Kontamination von Personen verhindern. Eine sehr effektive Schutzmaßnahme ist bereits die Wahl geeigneter Sanierungstechniken. So sind Verfahren zur Abdeckung von Altlasten immer unbedenklicher als Maßnahmen, bei denen diese behandelt oder umgelagert werden. Bei der Sanierung der Deponie Georgswerder wurden belastete Ablagerungen nur in absoluten Ausnahmefällen aufgenommen und ansonsten nur unbelastete Materialien aufgebracht. Unvermeidbar war jedoch die Aufnahme von belastetem Material bei der Herstellung von Schächten, Leitungen, Gerinnen usw. sowie bei der Profilierung des Geländes vor Aufbringen der Deckschichten, um zum Beispiel das für den Oberflächenwasserabfluß notwendige Gefälle zu erreichen. Das Abtragen von Geländeerhöhungen, wie zum Beispiel von Bermen, wurde auf das unvermeidbare Maß beschränkt und überstieg niemals Abtragungshöhen von 2 m.

Bei allen Sanierungen sind in erster Linie organisatorische Schutzmaßnahmen zu beachten:

- Die Einhaltung von Arbeitsschutzregeln ist vertraglich sicherzustellen;
- gefahrstoffexponierte Mitarbeiter müssen sich arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen unterziehen;
- Beschäftigte sind regelmäßig über mögliche Gefahren und Schutzmaßnahmen zu unterweisen.

Abb. 8.2 Stiefelreinigung beim Verlassen des Schwarzen Bereichs

Wegen des hohen Gefährdungspotentials ist auf der Deponie der Sanierungsbereich als Schwarz-Bereich (das heißt potentiell oder tatsächlich kontaminierter Bereich) durch Personen- und Materialschleusen vom Weiß-Bereich abgetrennt. Die Personenschleuse (Schwarz-Weiß-Anlage) entspricht den Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung. Zusätzlich gibt es eine Stiefelwaschanlage.

Die Beseitigung kontaminierter Schutzkleidung und anderer Materialien ist geregelt. Einrichtungen der Ersten Hilfe stehen zur Verfügung. Essen, Trinken und Rauchen sind im Schwarzen Bereich verboten.

In der Rangfolge greifen nach den organisatorischen die technischen Schutzmaßnahmen. So waren staubbildende Geländeoberflächen zu befeuchten oder abzudecken und Gase in zu hohen Konzentrationen abzusaugen oder zu verdünnen. Eine sehr aufwendige (und kosten-trächtige) technische Schutzmaßnahme war die Gestaltung der unter 5.1.1 genannten Pumpschächte der Sickerflüssigkeitsfassung. So wurden alle 14 Pumpschächte durch über Gelände angeordnete, aufwendige Regelungs- und Kontrollanlagen so gestaltet, daß sie zum Zwecke der normalen Bedienung nicht bestiegen werden müssen. Ferner wurden diese Schächte mit Doppelböden versehen, so daß beim Besteigen der Schächte, zum Beispiel für Wartungs- oder Reparaturzwecke, keine Kontaktmöglichkeit zu hochgiftigen Flüssigkeiten und zu gefährlichen Ausgasungen besteht. Diese Maßnahme ergab sich aus den Forderungen des Anhanges III zur Gefahrstoffverordnung, wonach krebserzeugende Gefahrstoffe in geschlossenen Anlagen zu führen sind.

Für die Reinigung und vor allem die Dekontamination von Fahrzeugen und Baugeräten ist eine Fahrzeugreinigungshalle in Betrieb. Das Reinigen oder Dekontaminieren erfolgt je nach Bedarf mit ortsfesten Düsen oder mit beweglichen Hochdruckstrahlern. Es bestehen jedoch erhebliche Unterschiede bei der Entsorgung der Abwässer (belastete Abwässer werden der deponieeigenen Sickerflüssigkeitsbehandlungsanlage zugeführt). Für den notwendigen Körperschutz erhalten die Beschäftigten im Extremfall einen Vollschutzanzug.

Um Kleinteile zu dekontaminieren, die zum Beispiel mit hochgiftigen Stoffen Kontakt hatten, wurde über mehrere Jahre eine entsprechende handelsübliche Anlage betrieben. Da diese sich jedoch als sehr empfindlich und mit relativ vielen Störungen behaftet erwies, außerdem mit FCKWs betrieben wurde, die sich unvermeidbar teilweise freisetzten, wurde eine Kleinteile - Dekontaminationsanlage neu konstruiert. Diese Anlage ermöglicht eine Dekontamination von Gegenständen von außen mit Hochdruckstrahlern, ohne daß die Beschäftigten mit Gefahrstoffen in Berührung kommen.

Wenn Gefährdungen durch organisatorische oder technische Schutzmaßnahmen, wie Befeuchten oder Abdecken staubbildender Oberflächen oder Absaugen bzw. Verdünnen zu hoher Gas-

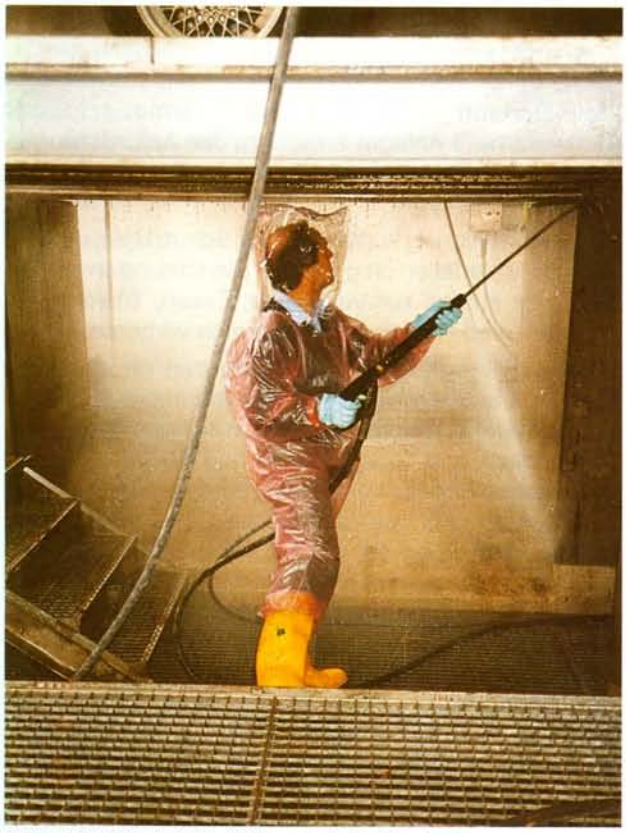


Abb. 8.3 Vollschutz bei Fahrzeugdekontamination

konzentrationen, nicht ausreichend abgebaut werden konnten, waren persönliche Schutzausrüstungen einzusetzen. Bei Arbeiten mit den höchsten Gefährdungen waren das beispielsweise:

- Sicherheitsgummistiefel,
- Einweg-Chemikalienschutzanzug mit Beschichtung,
- kunststoffbeschichtete Schutzhandschuhe mit Stulpen, bedarfsweise mit
- unterzuziehenden Vinylhandschuhen,
- Atemschutzfiltergerät mit Kombinationsfilter oder Druckluftschlauchgerät mit Vollmaske und Atemluftdruckflasche und
- Sauerstoff-Selbstretter.

Abb. 8.4 Arbeiten im Schutzanzug und mit Atemschutz

Beim Einsatz von Atemschutz ist zu beachten, daß dieser wegen der unvermeidlichen Belastung für die Beschäftigten und die Tragzeitbegrenzungen nur dann eingesetzt werden darf (siehe auch § 19 Gefahrstoffverordnung - Rangfolge der Schutzmaßnahmen), wenn alle anderen Maßnahmen zur Abwendung von Gefährdungen nicht ausreichen.

8.5 Bisherige Erfahrungen

Das vorgestellte Arbeitsschutzkonzept und alle konkreten Schutzmaßnahmen haben sich bei der Sanierung der Deponie Georgswerder in der bisherigen neunjährigen Praxis als gut durchführbar und wirksam erwiesen. Bis auf einen Vorfall (allerdings ohne Nachwirkungen oder Gesundheitsschäden), als ein Mitarbeiter einer Bohrfirma beim Erstellen einer etwa 4 m tiefen Rammkernsondierung eine sogenannte Gasblase anbohrte und einige Atemzüge hochbelasteter Luft ausgesetzt war, sind deponie- bzw. sanierungstypische Verletzungen oder Erkrankungen bisher nicht aufgetreten. Ein nicht sanierungstypischer, aber leider sehr schwerer (tödlicher) Unfall ereignete sich im letzten Baubetriebsjahr. Ein Bauarbeiter wurde von einem rückwärtsfahrenden Muldenkipper überrollt, ein Unfall, wie er bedauerlicherweise trotz diverser Schutzvorkehrungen immer wieder auf Erdbaustellen vorkommt.

Als besonders wichtig und wirksam hat sich neben der ständigen Präsenz einer Sicherheitsfachkraft für Gefahrstoffe gezeigt, daß Meßgeräte für die Atemluftüberwachung, Atemschutzeinrichtungen und andere technische Hilfsmittel, wie Dreiböcke und Sicherheitsgurte, durch den Auftraggeber zentral bereitgestellt, gewartet und gepflegt wurden, so daß sie im Bedarfsfall stets in ausreichender Zahl und vor allem in betriebsfähigem Zustand verfügbar waren.

9. Unterhaltung der Bauwerke

Zu den Bauwerken gehören im wesentlichen die Oberflächenabdichtung der Deponie sowie die Infrastruktur- und Betriebsanlagen.

Schon während, spätestens aber nach der Neubauphase des „Ingenieurbauwerks Deponie Georgswerder" fallen Unterhaltungsmaßnahmen an der Bausubstanz an, damit die Lebens- und die betriebliche Nutzungsdauer möglichst lange erhalten bleiben.

Als Unterhaltungsarbeiten an der **Oberflächenabdichtung** sind zu nennen:

- Pflege der Vegetation (Mähen, Düngen, Nachsäen, Schneiden, Auslichten),
- Beseitigung von Erosionsschäden,
- Instandhaltung der Wurzelbeobachtungskästen (Rhizotrone),
- Kontrolle (Spiegelung, Kamerabefahrung) und Reinigung (mit Hochdruckspülgerät) der Dränleitungen für Stauflüssigkeiten und Deponiegas,
- Freihaltung der Zuläufe, der Durchlässe und der Auslaufbauwerke einschl. Beseitigung kleiner Schäden zur Sicherstellung der Abflußwege des Niederschlags- und des Dränwassers in den Vorfluter sowie
- Reinigung des Vorfluters, insbesondere in den Einleitbereichen (Äußerer Randgraben).

Auf Dauer sind folgende **Infrastrukturanlagen** zu unterhalten:

- die Umzäunung des Geländes (2,5 km Maschendrahtzaun von etwa 2 m Höhe mit 2 Haupt- und 3 Nebentoren),
- die neu errichtete Hauptzu- und -abfahrt neben der Autobahn A 255 (mit Ausnahme je einer Straßenüber- und -unterführung sowie zweier Oberflächenwasserreinigungsanlagen, deren bauliche Unterhaltung gegen Zahlung einer Ablösesumme von der Bundesfernstraßenverwaltung übernommen wurde),
- die vorhandene Zu- und Abfahrt Fiskalische Straße, die auf einer Länge von etwa 300 m vor der Deponie als Bestandteil des Deponiegrundstücks Unternehmerstraße im Sinne des Hamburgischen Wegegesetzes ist (praktisch eine Privatstraße), sowie die Erschließungsstraßen und Verkehrsflächen auf der Deponie,
- die auf der Deponie neben den Betriebsanlagen vorhandenen Gebäude, das sind im wesentlichen die Personal- und Betriebsgebäude, die überwiegend als Baracken und Container errichtet sind, sowie das Deponielabor, eine Dekontaminationsanlage sowie eine Waschhalle für Fahrzeuge und
- die meßtechnischen Einrichtungen außerhalb der Betriebsanlagen, z. B. Niederschlagsmesser, Meßschächte, Stauflüssigkeits- und Grundwasserpegel (z. T. registrierend), Setzungspegel und Abflußmeßanlagen.

Die Unterhaltung der Betriebsanlagen ist so vereinbart, daß die Umweltbehörde in aller Regel als Betreiberin der Anlagen fungiert, aber aus Zweckmäßigkeitserwägungen die Betriebsdurchführung an qualifizierte Fachfirmen vergibt. Die sind dann auch wegen ihrer profunden Detailkenntnisse für die Unterhaltung verantwortlich. Die Kosten trägt die Umweltbehörde.

Auf der Deponie Georgswerder sind zur Zeit Firmen damit beauftragt, folgende **Betriebsanlagen** zu unterhalten:

- Sickerflüssigkeitsfassung,
- Sickerflüssigkeitsableitung,
- Kontroll- und Pumpschächte,
- Leichtstoffabscheider,
- Flotation und
- Schlammbehandlung.

Das gilt auch für die Windkraftanlage AN BONUS 150, die aber deshalb eine Sonderrolle spielt, weil sie nicht unmittelbar als Sanierungsanlage anzusehen ist. Eine weitere Windkraftanlage (Tacke TW 500) wird vom Energieversorgungsunternehmen HEW unterhalten. Unterhaltung im Vergabewege wird auch erforderlich für die geplante Naßoxidation oder Filterung über Aktivkohle des Flotationsablaufs sowie für die anstehende Grundwasserentnahme und -behandlung zur Beseitigung der LCKW-Fahne im Südwesten der Deponie.

Die Unterhaltung der drei Öltanks mit einem jeweiligen Fassungsvermögen von etwa 10 m^3, in denen dioxinkontaminierte Sickeröle gesammelt werden (etwa 5 m^3/a), sowie der Vorrichtungen zur Abwasserableitung nimmt die Umweltbehörde vor.

Bei der Deponieentgasung teilen sich Umweltbehörde und eine Fachfirma die Unterhaltung. Für das Gassammelnetz (39 Sonden, Stich- und Ringleitungen) ist die Umweltbehörde unterhaltungspflichtig (z. B. Prüfung und Reparatur bzw. Ersatz von Schlauchverbindungen), für die Verdichterstation die Firma (Sichtkontrollen an zugänglichen Teilen, Funktionskontrollen an Absperreinrichtungen, Reinigen und Schmieren, Störungsbeseitigung, Instandhaltung und Instandsetzung).

Insgesamt sind auch in Zukunft jährlich aufzuwenden für allgemeine Unterhaltungsarbeiten (z. B. Leiten örtlicher Einsätze, Kontrollen), für Unterhaltungsaufgaben am Bauwerk Deponie und seiner Infrastrukturanlagen (z. B. Umzäunung, Personalgebäude) sowie für die Unterhaltung der Betriebsanlagen (z. B. Stauflüssigkeitsfassung, Flotation) etwa **660.000 DM** für einschlägige Vergaben und ca. **150.000 DM** für Personal der Umweltbehörde.

10. Überwachung

10.1 Anlaß und Ziele

Bei der Sicherung von Altlasten folgt der Bauphase die Nachsorgephase, in der neben Betrieb und Wartung vor allem Überwachungsmaßnahmen durchzuführen sind. Wenn ein neuartiges, teures Sicherungsbauwerk installiert wird, das eine lange Lebensdauer haben soll, ist ein Nachweis der Wirksamkeit und Langzeitbeständigkeit durch ein umfassendes Überwachungsprogramm unabdingbar. Zugleich besteht hier die Notwendigkeit, das „Deponieverhalten" (Systemverhalten und Entwicklung des Deponiekörpers im Zusammenhang mit Untergrund und Umfeld) ständig zu verfolgen.

Ab Fertigstellung der Oberen Abdeckung im Jahr 1988 war eine Eigenüberwachung des Bauwerkes erforderlich. Bereits in den Jahren zuvor wurden in einer „Vorlaufphase" Überwachungsmessungen, zum Beispiel am Stauflüssigkeitskörper, durchgeführt, da nur durch den Vergleich vorher - nachher die Auswirkungen der Sicherungsmaßnahmen quantifiziert werden können.

Formalrechtlich gesehen ist das Fachamt Altlastensanierung aufgrund der vorliegenden Zulassungsbescheide nach § 7(2) Abfall-Gesetz des Fachamtes Überwachung der Umweltbehörde verpflichtet, ein Eigenüberwachungskonzept für die gesicherte Deponie Georgswerder aufzustellen und umzusetzen. Es hat folgende Ziele:

- Funktionskontrolle des Sicherungssystems (verbunden mit der Ermittlung von Mängeln und Schäden);
- Erfolgskontrolle (Nachweis der angestrebten Auswirkungen der Sicherungsmaßnahme auf das Gesamtsystem Deponie Georgswerder einschließlich Untergrund und Umfeld);
- Optimierung der Wartung und Pflege des Systems;
- Gewinnung von Praxiserfahrungen für den Bau weiterer Sicherungsanlagen.

10.2 Gesamtkonzeption der Überwachung

Das Überwachungskonzept gliedert sich in drei Hauptblöcke mit einer Vielzahl von speziellen Unterprogrammen.

Eigenüberwachung der Deponie Georgswerder

Rahmenbedingungen: Genehmigungen | Örtliche Gegebenheiten | Betriebl. Erfordernisse | Planerischer Bedarf | Finanzmittel

Gesamtkonzept:	**Gesamt- Überwachungskonzept Deponie Georgswerder**		
Teilprogramme:	**A. Überwachung des Altlastenkörpers**	**B. Überwachung der Abdeckung**	**C. Überwachung von Schutzgütern**
Unterprogramme:	**A 1 Deponiegas**	**B 1 Vegetation / Erosion**	**C 1 Grundwasserhydraulik**
	A 2 Stauflüssigkeitshaushalt	**B 2 Wasserhaushalt**	**C 2 Grundwasserbeschaffenheit**
	A 21 Stauflüssigkeitsspiegel	***B 21 Niederschlag***	**C 3 Oberflächengewässerhydraulik**
	A 22 Sickerflüssigkeitsfassung	***B 22 Abfluß***	**C 4 Oberfl.gewässerbeschaffenheit**
	A 23 Absickerung / Bilanz	***B 23 Dichtschichtdurchsickerung***	
	A 3 Stauflüssigkeitsqualität	***B 24 Verdunstung / Bilanz***	
	A 4 Setzungen	**B 3 Abflußqualität**	
		B 4 Dichtsystem-Langzeitbeständigkeit	
		B 5 Dichtung Becken 5/6	

Abb. 10.1 Eigenüberwachung der Deponie Georgswerder - Strukturplan des Überwachungskonzeptes

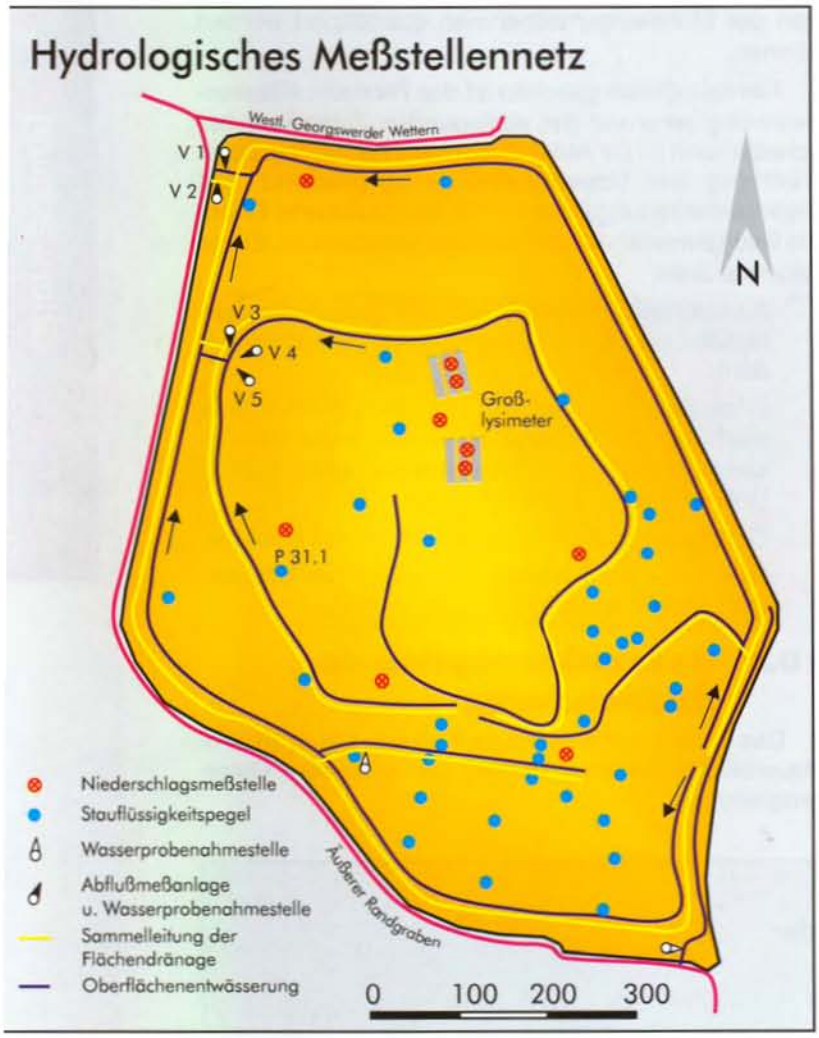


Abb. 10.2 Hydrologisches-Meßstellennetz auf der Deponie Georgswerder

Im folgenden werden ausgewählte Unterprogramme näher erläutert und einige bereits vorliegende Ergebnisse der Überwachung vorgestellt.

10.3 Überwachung des Altlastkörpers

Mit „Altlastkörper" ist die Deponie bis zur Unterkante des neuen Abdecksystems gemeint. In diesem Programm werden Veränderungen im Deponieinnern, Umweltwirkungen und Wechselwirkungen mit der Oberflächenabdichtung beobachtet. Von besonderer Bedeutung ist die Überwachung des Stauflüssigkeitskörpers.

10.3.1 Stauflüssigkeitshaushalt

Die Überwachung des Stauflüssigkeitskörpers hat folgende Ziele:

- Überwachung der Hauptgefahrenquelle der Deponie hinsichtlich einer Veränderung des Gefahrenpotentials (zum Beispiel durch Spiegelabsenkung, Ölverlagerung) und ihrer Langzeitentwicklung;
- Nachweis der Wirkung der Abdeckung auf das hydrologische System der Altdeponie;
- Ermittlung der Notwendigkeit eventueller forcierter Flüssigkeitsentnahmen in Teilbereichen;
- Überprüfung der im Rahmen der Modellrechungen zum Grundwasserschutz vorhergesagten Stauspiegel-Rückgangskurve.

Zur Ermittlung des Stauflüssigkeitshaushalts gehören Spiegelbeobachtungen, Mengenregistrierungen in der randlichen Flüssigkeitsfassung und Abschätzungen der Zusickerung aus dem Stauflüssigkeitskörper in den Grundwasserleiter.

Die Stauspiegel werden seit 1987 vierteljährlich in 76 über die Deponie verteilten, 3 m bis 35 m tiefen Pegeln gemessen. Durch deponietypische Einflüsse, wie Setzungen und Beschädigungen bei der Herstellung der Abdeckung, sind inzwischen etwa 15 Pegel unbrauchbar geworden. Die Meßpunkthöhen der Pegel (Pegeloberkante) werden bisher jährlich NN-bezogen eingemessen.

Abb. 10.3: Stauwasserspiegelgang am Pegel 31.1 von 1987 bis 1995

Das flächige Absinken des Flüssigkeitspotentials (gemessen in nahe der Deponiebasis verfilterten Pegeln) ist in Abb. 10.4 zu erkennen. Während der nachgewiesene Rückgang unter der Oberen Abdeckung teilweise über 2 m beträgt, werden im Südosten lokale Anstiege beobachtet, offenbar eine Folge der Auflast der in diesem Bereich 1992 aufgebrachten Unteren Abdeckung. Wie weitere Beobachtungen bis 1995 zeigen, baut sich die vorübergehende Druckerhöhung im Stauflüssigkeitskörper hier wieder ab, mit Ausnahme einer Ölzone im Becken 6. Der höchste 1995 beobachtete Stauwasserspiegel im Deponiezentrum liegt bei 11 m über NN.

Nach vollständiger Abdeckung der Deponie und dem Erreichen eines Gleichgewichtszustandes in der randlichen Sickerflüssigkeitsfassung besteht schließlich die Möglickeit, aufgrund des Stauspiegelabsinkbetrages sowie Messungen des lateralen Flüssigkeitsabflusses die Zusickerung aus dem Stauflüssigkeitskörper in den Grundwasserleiter als Bilanzrest näherungsweise zu ermitteln. Damit wird wiederum eine Überprüfung der auf Modellbasis erarbeiteten Prognosen des Schadstofftransports im Deponieuntergrund (siehe Kapitel 3) möglich.

10.3.2 Setzungen

Das Setzungs-Meßprogramm überwacht:

- Die Standsicherheit der neuen Abdeckung;
- die Einhaltung des Mindestgefälles der Flächen-

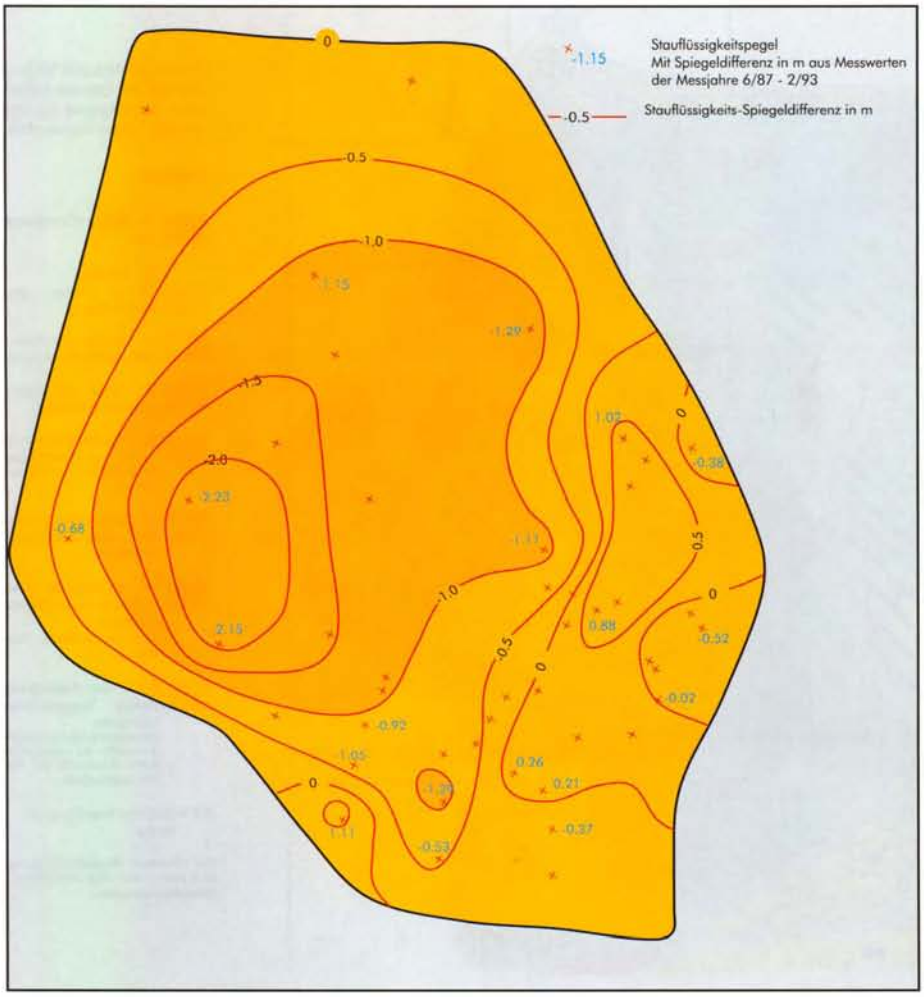


Abb. 10.4 Veränderungen des Stauspiegels in Metern von Juni 1987 bis Februar 1993.

dränage und der Dränage-Sammelleitungen;

- setzungsbedingte Gefährdungen von Bauwerken, Schächten und Meßanlagen;
- die langfristige Standsicherheit des Deponiekörpers.

Überwiegend einmal pro Jahr werden folgende Bereiche und Objekte nach der Höhe und - teilweise - nach der Lage eingemessen:

- Plateaubereich und flache Unterhangbereiche der Abdeckung zur Überwachung des Mindestgefälles (4 % bzw. 6 %);
- Randbauwerk mit 44 Sickerflüssigkeitsschächten, Sammelleitungen der Flächendränage;
- Fußplatten der Windkraftanlagen;
- Gebäude.

Ein erster Überblick zeigt, daß bisher - abgesehen vom Randbauwerk - keine größeren lokalen Setzungsunterschiede zu verzeichnen sind. Die Deponie mitsamt ihrer Abdeckung setzt sich vielmehr relativ gleichmäßig mit Beträgen bis zu 20 cm pro Jahr. Stellenweise hat sich der Müllkörper seit 1979 um insgesamt 5 m gesetzt.

10.4 Überwachung der Abdeckung

Dieser Bereich der Überwachung umfaßt die gesamte Abdeckung mit all ihren Schichten einschließlich der kontrollierbaren Dichtung auf den Becken 5 und 6, sowie die Wasserfassungen und -ableitungen.

Die Überwachung wird wesentlich ergänzt durch Erkenntnisse aus den FuE-Projekten über die Vegetation und den Wasserhaushalt mehrschichtiger Abdecksysteme (vergleiche Kapitel 3).

10.4.1 Vegetation /Erosion

Das Programm hat folgende Ziele:

- Nachweis der bodenstabilisierenden und -schützenden Funktion der Vegetation;
- Ermittlung von Vegetations-Fehlentwicklungen (z.B. Tiefwurzler-Ausbreitung);
- frühzeitiges Erkennen einer möglichen Gefährdung der Flächendränge und der Kombidichtung durch tiefe Wurzeln;
- Überwachung der Schwermetallbelastung bzw. -anreicherung in/auf Pflanzen und Oberboden im Hinblick auf mögliche Schadwirkungen;
- Ermittlung einer zweckmäßigen, kostengünstigen Pflege der Vegetationsdecke.

Eine Überwachung der Vegetation der Abdeckung erfolgt seit 1989. Die Vegetationsentwicklung wird durch regelmäßige, flächendeckende Kartierungen unter besonderer Berücksichtigung von Tiefwurzlern (z.B. Diesteln, Ampfer) sowie Vegetationsschäden ermittelt. Die Bodenoberfläche wird zugleich auch auf Erosions- und Wühltierschäden kontrolliert.

Systematische Beobachtungen der Wurzel-Tiefenentwicklung typischer Pflanzenarten, einschließlich ausgewählter Gehölzarten, werden an 1,0 m bis 1,5 m tiefen, in die Obere Abdeckung eingebauten Wurzelkästen durchgeführt. Außerdem werden Aufgrabungen zur Wurzelbeobachtung genutzt.

Aufgrund der nunmehr sechsjährigen Überwachung sind folgende Ergebnisse hervorzuheben:

Die Vegetation der Oberen Abdeckung enthält über 100 Pflanzenarten, die teils der Erstansaat, überwiegend aber dem aufgebrachten Oberboden sowie Anflug entstammen. Die Begrünung hat sich inzwischen

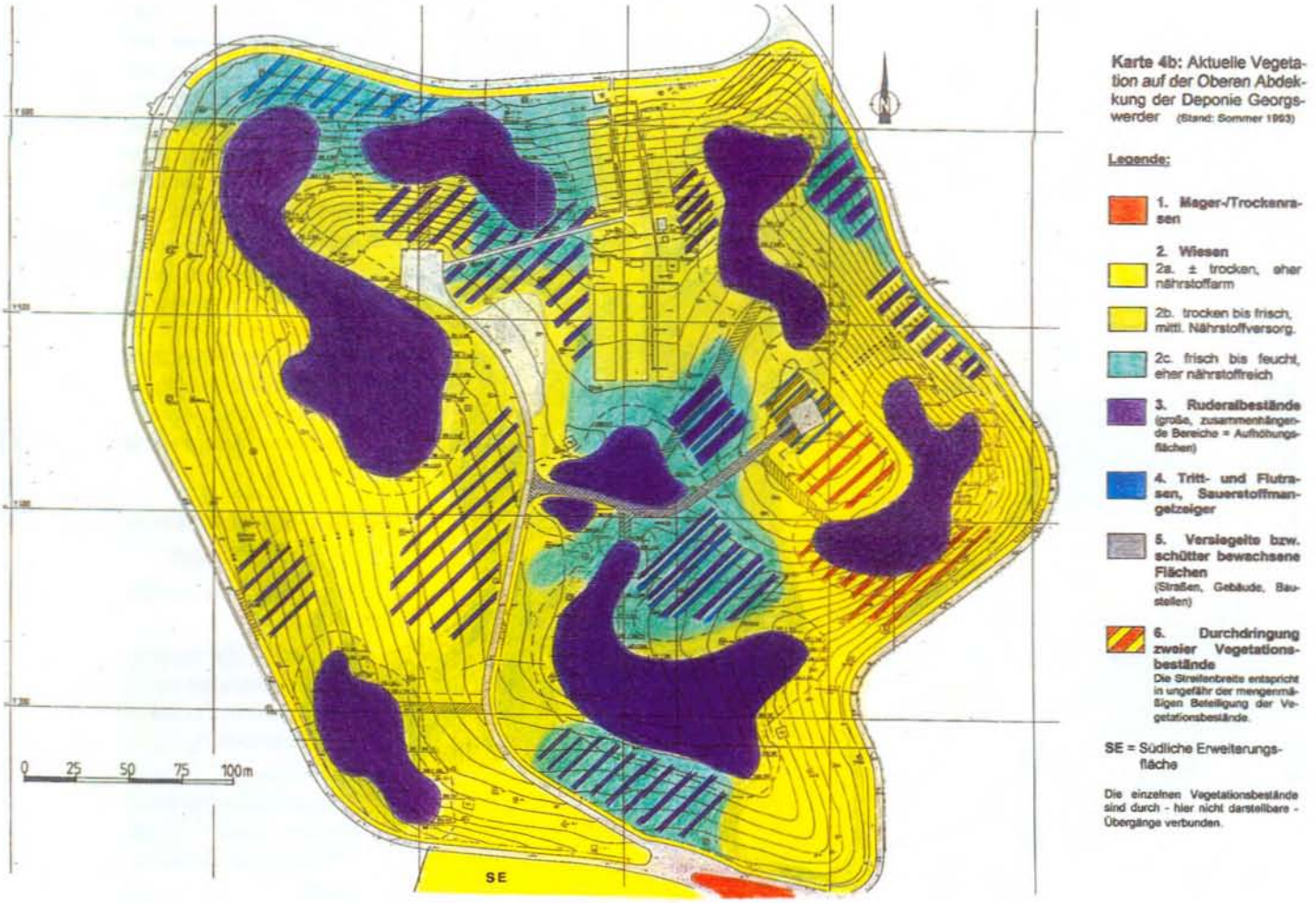


Abb. 10.5 Vegetationstypen auf der Oberen Abdeckung, Stand 1993

in Richtung stabiler, hochdeckender Grünlandgesellschaften entwickelt. Diese Entwicklung wurde auch durch die bisherigen Pflegemaßnahmen, nämlich zweimaliger Schnitt pro Jahr mit teilweisem Mulchen des Mähgutes, gefördert. Tiefwurzler sind auf Teilflächen erheblich verbreitet. Durch häufigeres Mähen sollen sie in Zukunft geschwächt und reduziert werden.

Erosionsschäden treten nur im ersten Jahr nach der Fertigstellung einer „grünen" Abdeckung auf und spielen später keine Rolle mehr.

Die bisherigen Wurzelbeobachtungen zeigen, daß verschiedene Pflanzenarten, unter anderem auch Sträucher, bis in über 1 m Tiefe wurzeln, so daß Decksubstrat und Flächendränage durchwurzelt werden und einzelne Wurzeln in die Überlappungszonen der PEHD-Dichtungsbahnen eindringen. Daher werden vorerst großflächige Gehölzanpflanzungen auf der Oberen Abdeckung nicht durchgeführt.

10.4.2 Wasserhaushalt des Abdecksystems

Diese komplexe Überwachungsaufgabe mit den Unterprogrammen Niederschlag, Abfluß, Dichtschichtdurchsickerung und Verdunstung/Bilanz wird hier im Zusammenhang dargestellt.

Als Randbedingung ist die wasserrechtliche Einleitmengenbegrenzung (maximal 90 l/s) für den Gesamtabfluß von der Abdeckung in die Westliche Georgswerder Wettern zu beachten. Deshalb wurde oberhalb der Einleitstelle im Nordwesten der Deponie ein Hochwasser-Rückhalteraum für den Oberflächenabfluß geschaffen. Der Ablauf aus der Flächendränage der Unteren Abdeckung kann dagegen nicht zurückgehalten werden, weshalb der Abfluß aus dem Rückhalteraum in Abhängigkeit vom Flächendränabfluß zu steuern ist, um nie die zulässige Gesamtabflußsumme zu überschreiten.

Die Wasserhaushaltsermittlung hat folgende Ziele:

- Genaue Erfassung des Niederschlags als größter Komponente unter meßtechnisch schwierigen Bedingungen (Deponiehügel);
- Funktionskontrolle für Flächendränagen, Sammelleitungen und Wasserfassungen;
- Überwachung der Einleitmengen in die Westliche Georgswerder Wettern;
- Ermittlung des Hochwasserabflußverhalten unter anderem zwecks Überprüfung der Dimensionierung der Fassungen und Speicheranlagen;

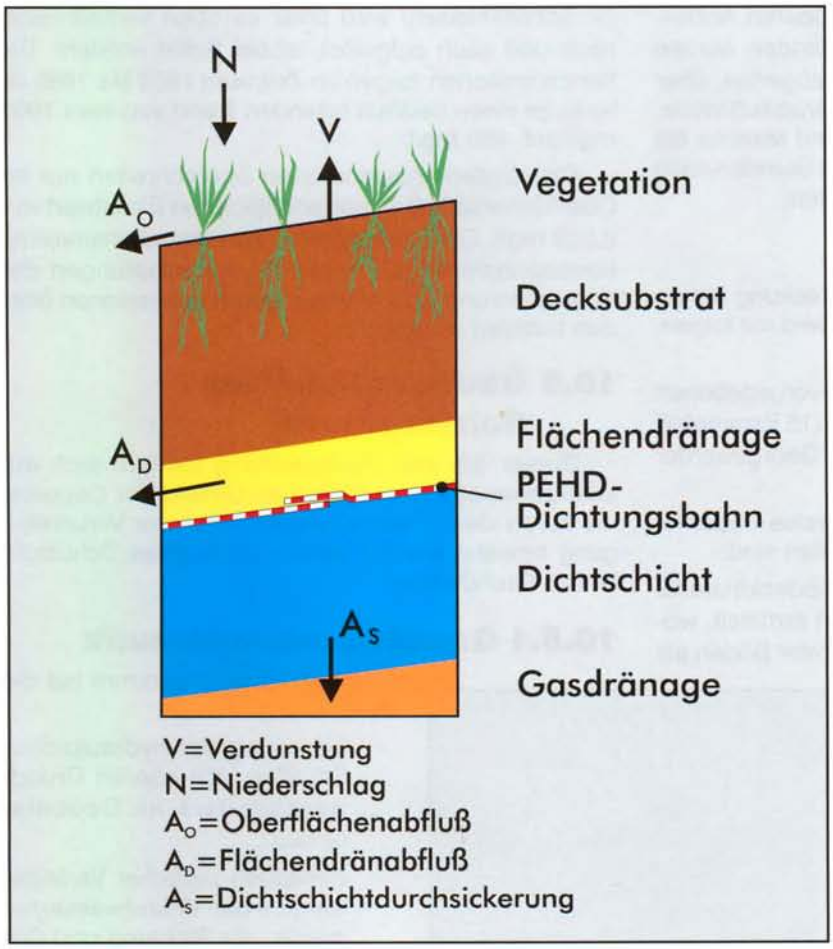


Abb. 10.6: Die wichtigsten hydrologischen Fließgrößen in der Oberen Abdeckung

- Ermittlung der Dichtschichtdurchsickerung einschließlich längerfristiger zeitlicher Trends;
- Überprüfung des Wasserverbrauchs der Vegetation durch Verdunstung;
- Nachweis des Funktionierens der Oberen und Unteren Abdeckung als komplexe Systeme über die Wasserhaushaltsbilanzierung;
- Gewinnung zuverlässiger Basisdaten für die Planung neuer, optimierter Abdecksysteme.

Der Gebietsniederschlag der Abdeckung wird mit 10 Hellmann-Niederschlagsmessern (in bodengleicher und hangparalleler Aufstellung) sowie zwei Niederschlagsschreibern ermittelt.

Kontinuierliche Abflußmessungen erfolgen an fünf Meßstellen, wobei die Anlagen V 1, V4 und V 5 Oberflächenabfluß und V 2 sowie V 3 Flächendränabfluß messen, siehe Abb. 10.2. Als Meßprinzipien werden Venturi-Gerinne, induktive Durchflußmesser und Dreiecksüberfallwehre verwendet. Die Wasserstandsregistrierung erfolgt über Utraschall- bzw. Schwimmermessung. Die Daten der Meßstellen V 1 - V 3 werden ab 1995 digital in einer zentralen PC-Station erfaßt. Vor Ort finden regelmäßig Abfluß-Gefäß- und -Kammermessungen statt.

Die Dichtschichtdurchsickerung wird seit 1988 an den Großlysimetern (Testfeldern) direkt gemessen. Feld F 3 entspricht dabei dem Standardaufbau der Oberen Abdeckung, F 2 und S 2 dem der Unteren Abdeckung.

Zur Ermittlung der Verdunstung der Abdeckung werden drei Ansätze verwendet:

- Berechnung nach dem Verfahren HAUDE/Bodenwasserhaushalt (vergl. Bortz und Sokollek 1990);
- Verwendung von Bilanzierungsergebnissen der Großlysimeter;
- näherungsweise Ermittlung aus der Unterschiedshöhe U = N - A (Niederschlag minus Abfluß).

Bisher liegen Wasserhaushaltbilanzen der Oberen Abdeckung für den sechsjährigen Zeitraum April 1989 bis März 1995 vor, siehe Abb. 10.7. Bei Jahresniederschlägen zwischen 750 und 1100 mm (im Durchschnitt 890 mm) erreicht der Gesamtabfluß 300 bis 500 mm/Jahr. Damit wird belegt, daß Decksubstrat und Flächendränage insgesamt ihre hydrologische Funktion erfüllen. Der Oberflächenabflußanteil an der Gesamtbilanz beträgt nur 1 bis 2 %. Die jährliche Unterschiedshöhe U liegt bei 500 bis 600 mm und entspricht damit der Größenordnung der abgeschätzten bzw. in den Testfeldern ermittelten Verdunstungshöhe der Vegetationsdecke. Eine erhebliche Dichtschichtdurchsickerung läßt sich somit ausschließen.

Aufgrund der direkten Messung dieser Komponente in den Großlysimetern ergeben sich pro Jahr nur etwa 3 mm Durchsickerung der Kombi-Dichtung mit überlappend verlegten PEHD-Bahnen und unter 1 mm bei dem System mit verschweißten PEHD-Bahnen; nach Melchior 1993.

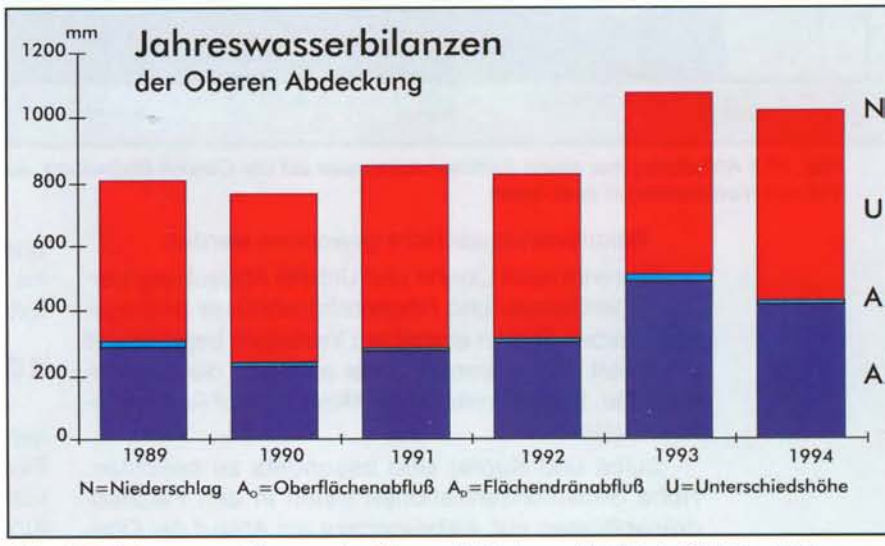


Abb. 10.7 Jahreswasserbilanzen der Oberen Abdeckung (14,3 ha) 1989 bis 1994 (jeweils 01. April bis 31. März)

Die Hochwasserabflüsse von der Oberen Abdekkung bestehen aus einer rasch auflaufenden, kurzen Oberflächenabfluß-Welle und einer verzögerten, über mehrere Tage anhaltenden Flächendränabfluß-Welle, die das Hauptabflußvolumen enthält und Maxima bis etwa 30 l/s erreicht, wobei diese etwa 24 Stunden nach dem auslösenden Niederschlag auflaufen.

10.4.3 Abflußqualität

Die Wasserqualität der von der Abdeckung ablaufenden Oberflächen- und Dränabflüsse wird mit folgender Zielsetzung überwacht:

- Die Einhaltung der wasserrechtlich vorgegebenen zulässigen Höchstkonzentrationen (15 Parameter) für die Einleitung in die Westliche Georgswerder Wettern ist nachzuweisen;
- es ist festzustellen, ob möglicherweise Deponieschadstoffe in den Wässern enthalten sind;
- die Stoffauswaschung aus dem Abdeckmaterial und deren zeitliche Trends werden ermittelt, woraus Hinweise zur Eignung bestimmter Böden als Rekultivierungsschicht gewonnen werden.

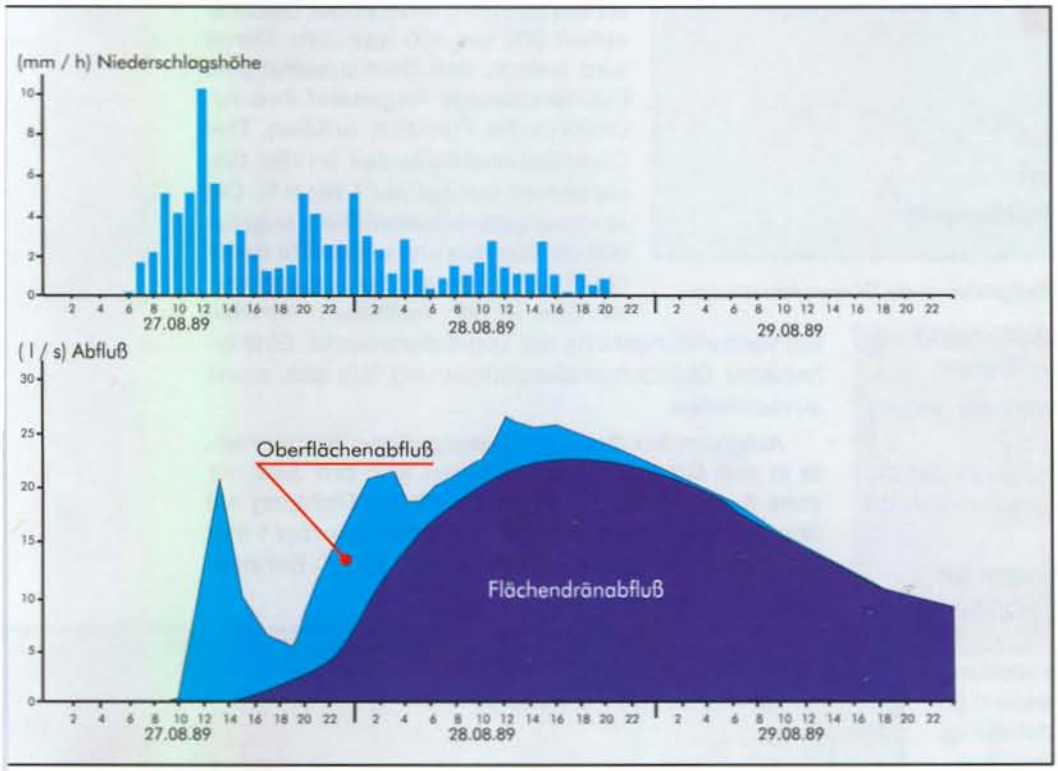


Abb. 10.8 Abflußgang bei einem Sommerhochwasser auf der Oberen Abdeckung, ausgelöst durch 102 mm Niederschlag in zwei Tagen

Getrennt nach Oberer und Unterer Abdeckung werden Oberflächen- und Flächendränabflüsse an insgesamt sieben Stellen einmal pro Vierteljahr beprobt und analysiert. Dabei werden unter anderem die Parameter Sulfat, Schwermetalle und Mineralöl-Kohlenwasserstoffe untersucht.

Sulfat und Kupfer sind besonders zu beachten. Hohe Sulfatkonzentrationen treten in den Flächendränabflüssen auf, insbesondere am Ablauf der Oberen Abdeckung. Ursache ist hier die Verwendung von pyrithaltigem Mergel als Decksubstrat. Das Pyrit (= Schwefeleisen) wird unter aeroben Verhältnissen nach und nach aufgelöst, wobei Sulfat entsteht. Die Konzentrationen zeigen im Zeitraum 1988 bis 1995 allerdings einen deutlich fallenden Trend von etwa 1000 mg/l auf 250 mg/l.

Die Kupferkonzentrationen überschreiten nur im Oberflächenabfluß verschiedentlich den Einleitwert von 0,050 mg/l. Die beobachteten Konzentrationsmaxima korrespondieren mit Kupfer-Höchstbelastungen der Vegetation und sind offenbar durch Immissionen über den Luftpfad verursacht.

10.5 Überwachung von Schutzgütern

Dieser Teil der Überwachung bezieht sich auf schützenswerte Ressourcen im Umfeld der Deponie, die durch die Sanierungsmaßnahmen vor Verunreinigung bewahrt werden sollen. Wichtigstes Schutzgut ist das Grundwasser.

10.5.1 Grundwasserhydraulik

Dieses Unterprogramm hat die Ziele:

- Erfassung der hydraulischen Situation des oberen Grundwasserleiters im Deponiebereich;
- Ermittlung zeitlicher Veränderungen der Grundwasserhydraulik, die Richtung und Geschwindigkeit der Schadstoffausbreitung beeinflussen können;
- Ermittlung von Einflüssen der Deponieabdeckung auf die Grundwasserhydraulik;
- Überprüfung der Grundwassermodellierungs-Ergebnisse;
- Nachweis und Überwachung der Auswirkungen des vorgesehenen Schutzbrunnenbetriebes.

Der Grundwasserspiegel des oberen Grundwasserleiters wird im Deponiebereich einschließlich Umfeld an 10-13 Pegeln seit etwa zehn Jahren kontinuierlich gemessen.

Gegenwärtig werden pro Pegel und Monat vier Kennwerte auf NN bezogen ausgewertet. Hieraus werden Spiegelgleichenpläne konstruiert, Extrema und Trends ermittelt.

10.5.2 Grundwasserbeschaffenheit

Dieses Programm wird vom Fachamt für Gewässer- und Bodenschutz in Zusammenarbeit mit dem Fachamt Altlastensanierung und dem Fachamt für Umweltuntersuchungen der Umweltbehörde durchgeführt. Die Ziele sind:

- Ermittlung der Schadstoffgehalte und des Schadstoffverteilungsmusters im oberen Grundwasserleiter;
- Beobachtung der zeitlichen Entwicklung der Schadstoffahnen;
- Kontrolle der Wirkung der Deponieabdeckung auf Schadstoffeinträge und Grundwassersituation;
- Überprüfung der Prognosen des Grundwasser-Stofftransportmodells;
- Datenbereitstellung zur Vorbereitung und begleitenden Überwachung des Grundwasser-Schutzbrunnensystems.

Das Grundwasser wird im Deponiebereich seit den sechziger Jahren überwacht. Im Jahr 1984 und nochmals 1991 wurde das Meßnetz wesentlich verdichtet. Gegenwärtig stehen 54 im oberen Grundwasserleiter verfilterte Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen zur Verfügung. Zusätzlich ist in das Überwachungsprogramm eine im tiefen Grundwasserleiter (Obere Baunkohlensande) verfilterte Meßstelle einbezogen

Seit 1984 wird die Grundwasserbeschaffenheit mindestens jährlich untersucht. Hinsichtlich der Anzahl der beprobten Meßstellen und der untersuchten Analysenparamter wird ein „kleines" Ein-Jahres-Programm und ein „großes" Drei-Jahres-Programm durchgeführt. Im kleinen Programm werden nur 21 Meßstellen untersucht. Hierbei werden neben anorganischen Inhaltsstoffen speziell in den südlichen Meßstellen die „Georgswerder-typischen" Organika analysiert. Dazu gehören leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe (LCKW) und Benzol sowie Chlorbenzole und Chlorphenole. Alle drei Jahre werden sämtliche Meßstellen beprobt und auf anorganische und organische Inhaltsstoffe analysiert.

In Tabelle 10.1 wird für ausgewählte deponiebeeinflußte Meßstellen im Süden, die in etwa in der Achse der LCKW-Schadstoffahne liegen, die Belastung mit typischen Inhaltsstoffen während der letzten Jahre verdeutlicht.

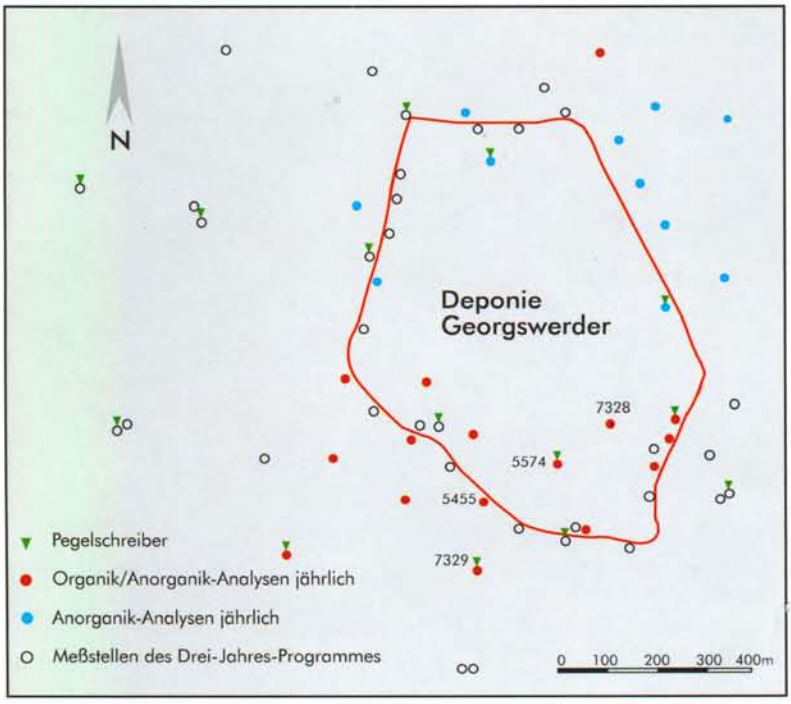


Abb. 10.9 Meßstellen zur Grundwasserüberwachung im Bereich der Deponie Georgswerder

Die Tabelle macht die relativ hohen organischen Belastungen des Grundwassers mit räumlich abnehmender Tendenz vom Untergrund der südlichen Deponie zum südwestlichen Vorfeld deutlich. Zeitlich gesehen steigen die Konzentrationen in der Periode 1991 bis 1994 im ganzen an.

Tabelle 10.1 Organische Grundwasserbelastung ausgewählter Meßstellen im südlichen Deponiebereich im Oktober 1991 und Oktober 1994.

Meßstelle		**7328**	**5574**	**5455**	**7329**
Parameter		(Deponie-Untergrund)		(Deponierand)	(SW-Vorfeld)
Summe LCKW	1991:	1378	227	288	107
(ug/l)	1994:	4197	1480	846	420
Benzol	1991:	256	28	7	n.n.
(ug/l)	1994:	101	59	29	9
Summe Chlor-	1991:	793	6	n.n.	n.n.
benzole (ug/l)	1994:	1558	17	-	-

Sanierungsleitwerte: Summe LCKW: 10 ug/l; Benzol: 1 ug/l
(n.n. = nicht nachweisbar; - = nicht bestimmt)

11. Fauna und Flora

Noch zu Beginn dieses Jahrhunderts war das Gebiet in dem sich heute der gewaltige Berg aus giftigen Abfällen erhebt, ein Vogelparadies in einer romantischen Marschlandschaft.

Die stürmische Entwicklung der Hansestadt hat auch die Elbinseln nicht verschont. In Wilhelmsburg gibt es nur wenige kleine Gebiete, deren Veränderungen gering geblieben sind. Dazu gehört das heutige Naturschutzgebiet Heuckenlock und die ehemaligen Ziegeleiteiche südwestlich der Deponie. Erstaunlich ist, daß sich in diesem kleinen Feuchtgebiet noch viele seltene Vogelarten bis heute gehalten haben. Noch immer brüten hier Beutelmeise, Nachtigall, Rohrammer, Teichrohrsänger, Feldschwirl und in manchen Jahren sogar der Eisvogel. Als Nahrungsgäste kann man auch regelmäßig Graureiher, Bekassinen, Flußuferläufer, Rohrweihen und verschiedene Entenarten beobachten. Auch als Laichplatz für Amphibien, wie z.B. Grasfrosch, Seefrosch, Erdkröte und Teichmolch, hat das Gewässer noch eine große Bedeutung. Das Vorkommen der europäischen Sumpfschildkröte deutet auf einen noch recht intakten Lebensraum hin.

Mehr durch Zufall entstehen manchmal auch neue wertvolle Lebensräume, wie z.B. die vom Verkehr umtosten Inseln im Autobahnkreuz Hamburg-Süd, die ebenfalls direkt am Fuße der Deponie liegen. In den hier entstandenen Kleingewässern haben sich drei Paare Zwergtaucher (1/3 der gesamten Hamburger Population) angesiedelt. Der Wert solcher unzugänglichen Gebiete, in denen keinerlei Nutzung stattfindet, wird noch deutlicher, wenn man hört, daß sich auch Löffel- Reiher-, und Schnatterenten, Rohrweihe und Mäusebussard, Pirol, Schwanz- und Beutelmeisen sowie Rohrsänger als Brutvögel eingefunden haben.

Angeregt durch solche Ruhezonen entstand die Idee, auch hinter dem hohen Zaun der Deponie neue Lebensräume für bedrohte Arten zu schaffen. Die obere Abdeckung der Deponie ist recht monoton und damit wenig attraktiv für die Vogelwelt. In den unteren Bereichen bot sich aber durchaus die Möglichkeit, neben den Sicherheitsbelangen auch der Natur wieder eine Chance zu bieten. Die Natur kommt ohnehin zurück, denn der giftige Untergrund ist versiegelt und mit sauberem Erdreich abgedeckt.

Die Vegetation auf der Abdeckung entwickelt sich und widersetzt sich sogar dem Willen des Menschen, denn es gedeihen nicht nur die Einsaat, sondern auch die Samen, die mit dem Mutterboden eingebracht wurden. Die Art und Herkunft des Bodens sind für die Entwicklung der Pflanzen ausschlaggebender als die Idee des Landschaftsplaners, und so haben sich recht unterschiedliche Vegetationstypen entwickelt. Neben Ruderalbeständen und kleinen Trockenrasenzonen sind auch unterschiedliche Wiesentypen entstanden, in denen man sogar Rote-Liste-Arten wie das kleine Filzkraut oder die Ackerröte entdekken kann. Als Pionierarten haben in der Anfangsphase Hornklee und Schafgarbe für ein farbenprächtiges Bild gesorgt. In Kürze soll das recht einheitliche Bild des Hügels durch Anpflanzungen von Gehölzen aufgelokkert werden. Auf etwa der Hälfte der Fläche sollen überwiegend Sträucher angepflanzt werden. Damit wird sich die Artenvielfalt des Geländes erweitern. Da die Insektenfauna meistens an spezielle Futterpflanzen angepaßt ist, ist deren Besiedlung wiederum stark von den unterschiedlichen Pflanzenarten abhängig. Die recht hohe und dichte Pflanzendecke im oberen Bereich ist als Bruthabitat für Vögel wenig geeignet, allerdings als Jagdgebiet für Mäusebussard und Turmfalke offenbar sehr ergiebig, was auf eine dichte Mäusepopulation schließen läßt. Zahlreiche Hasen haben sich ebenfalls eingefunden, während man Kaninchen vergebens sucht.

Um die Flächen im unteren Bereich für Vögel interessanter zu machen, kam der Naturschutzbund Hamburg (NABU) auf die Idee, hier anstatt der fetten Wiese einmal mageren Sand anzubieten, denn offene oder spärlich bewachsene Sandflächen als Brutplätze für Bodenbrüter sind rar geworden, seit man in den letzten Jahren die meisten Hafenbrachen bebaut hat. Für die vertriebenen Zwergseeschwalben, Austernfischer, Regenpfeifer, Kiebitze und Rebhühner, die auf solche Standorte angewiesen sind, galt es Ersatzlebensräume zu schaffen, zumal durch die nahegelegenen Gewässer Nahrungsgebiete zur Verfügung standen. Da die Idee des NABU vom Naturschutzamt, vom Naturschutz-

Abb.11.1 Hornklee und Schafgarbe auf der Abdeckung

referat des Bezirks Harburg sowie vom Ortsausschuß unterstützt wurde, war man sich bald einig, den landschaftspflegerischen Begleitplan von 1989 im südlichen Bereich der Deponie abzuändern. Anstatt Mutterboden sollte nackter, nährstoffarmer Sand aufgebracht werden, und anstatt Gebüschgruppen sollte sich möglichst nur ganz spärliche, niedrige Vegetation einstellen. So entstand ein wertvoller Lebensraum (Biotop), der im Rahmen des gesetzlich vorgeschriebenen naturschutzrechtlichen Ausgleiches für die Sanierung der Deponie besonders Berücksichtigung erfuhr.

Die erste Brutvogelkartierung nach Umsetzung der Idee im Jahre 1994 war denn auch sehr verheißungsvoll. Schon im ersten Jahr konnte man auf dieser etwa

Abb.11.2 Flußregenpfeifer

3 ha großen Sandfläche und den benachbarten Grobkiesflächen über den Flüssigabfallbecken 5 und 6 zahlreiche Bodenbrüter feststellen. Es brüteten:

1 Paar Rebhühner
3 Paar Kiebitze
2 Paar Sandregenpfeifer
1 Paar Flußregenpfeifer
1 Paar Austernfischer
1 Paar Bachstelzen
und am Grabenrand 1 Paar Stockenten.

Außerdem bestand starker Brutverdacht für: Hausrotschwanz, zwei Paar Steinschmätzer, zwei Paar Braunkehlchen und einer Feldlerche. Sieben dieser Neubürger auf der Deponie waren Rote-Liste-Arten, also ein guter Erfolg und eine Bestätigung für den richtigen Weg.

Die Brutperiode 1995 brachte ein ähnliches Ergebnis, nur die Kiebitzbrüter gingen von 3 auf 1 Paar zu-

Abb.11.3 Kiebitz

rück. Das liegt vielleicht daran, daß sich die Vegetation auf den Sandflächen stark entwickelt hat. Dafür hat sich eine Schafstelze eingestellt, und im Autobahnkreuz Süd hat sich eine Rohrweihe angesiedelt, die die Deponie ebenfalls als Jagdrevier nutzt. Außerdem besteht Brutverdacht für den Steinschmätzer, da sich im Bereich der Steininseln ständig 2 Paare aufhielten.

Um auch künftig den Ersatzlebensraum für seltene Bodenbrüter zu erhalten, wird es erforderlich werden, durch Pflegemaßnahmen die Vegetation kurz zu halten und aufzulockern. Zwei Mitglieder der Naturschutzverbände sind bereit, diese Aufgabe zu übernehmen und auch die weitere Entwicklung zu verfolgen.

12. Windkraftanlagen

Aufgrund der Höhe des Müllberges von 40 m in der ansonsten flachen Elbmarsch bot es sich an, auf der Deponie Georgswerder eine Windkraftanlage (WKA) zu errichten. Ein Gründungsgutachten und eine Durchführbarkeitsstudie ergaben, daß die Deponie als Standort für mehrere Windkraftanlagen besonders geeignet ist.

Für die erste Anlage wurden kompetente Anbieter für den seinerzeit gängigen Leistungsbereich um 200 KW angefragt. Schon frühzeitig fiel die Wahl auf eine 150 KW-Anlage der Firma AN Bonus mit einer Turmhöhe von 30 m und einem Rotordurchmesser von 23 m.

Abb.12.1 Erste Windkraftanlage auf der sanierten Deponie Georgswerder

Ein besonderes Problem war die Gründung der WKA, da nur eine Flachgründung möglich war, jedoch Müll einen schlechten Baugrund darstellt und der Deponieberg sich ständig um 5-15 cm pro Jahr setzt. Es wurde eine achteckige Gründungsplatte gewählt, die einen Durchmesser von 11 m und eine mittlere Stärke von 1 m hat und oberhalb der Kombinationsdichtung der Abdeckung angeordnet ist.

Zu befürchten war, daß ungleichmäßige Setzungen eine Schiefstellung der WKA verursachen könnten. Um dem entgegenzuwirken, wurde am Turmfuß die Möglichkeit einer Nachstellung konstruktiv berücksichtigt. Eine seitliche Neigung der WKA bis 3 % kann durch ein keilförmiges Futterstück ausgeglichen werden.

Die erste Windkraftanlage wurde im Juli 1992 errichtet. Die Baukosten betrugen 610.000 Mark. Die Finanzierung erfolgte aus einem gesonderten Titel zur Förderung von regenerativen Energien bei öffentlichen Einrichtungen. Die Anlage wird vom BMFT im Rahmen des Förderprogramms für die Windenergienutzung mit einem Betriebskostenzuschuß von 8 Pfg./kWh in den ersten 10 Jahren gefördert.

Die WKA hat bisher sehr gute Betriebsergebnisse erbracht. In den ersten drei Jahren wurden etwa 270.000 kWh Strom pro Jahr erzeugt. Zwei Drittel des erzeugten Stroms werden durch die Betriebseinrichtungen auf der Deponie wie die Sickerwasserbehandlungsanlage und die Gasverdichterstation direkt verbraucht, der überschüssige Strom wird in das Leitungsnetz der HEW eingespeist.

Die Anlage hat sich um rund 6 cm pro Jahr gleichmäßig gesetzt. Eine meßbare Schiefstellung ist bisher nicht eingetreten.

Aufgrund der positiven Betriebserfahrungen mit der ersten WKA wurde beschlossen, in Zusammenarbeit mit den HEW noch zwei weitere Windkraftanlagen auf dem Deponieberg zu errichten. Ausgewählt wurde dafür die Anlage TW 500 der Firma Tacke mit einer Turmhöhe von 40 m und einem Rotordurchmesser von 37 m. Die Nennleistung der neuen Anlage ist mit 500 KW etwa dreimal so groß wie die der ersten WKA.

Im März 1995 wurde die erste TW 500 errichtet, eine weitere baugleiche Anlage ist für 1996 geplant.

Die exponierte Lage der WKA hat die Telekom dazu bewogen, nach Abstimmung mit der Umweltbehörde eine Antennenanlage für das D1-Netz am Turm der 150 KW - Anlage zu installieren.

13. Zukünftige Nutzung

Nach Beendigung der Abfallanlieferungen im Jahre 1979 sollte die Deponie nach den Plänen eines Landschaftsarchitekten rekultiviert werden. Ziel war die Nutzung des gesamten Geländes als öffentliche Grünanlage mit einem vielfältigen Angebot an Freizeiteinrichtungen. Mit der Entdeckung, daß die Deponiegase den Pflanzenwuchs erheblich beeinträchtigten, zeichnete sich bereits im Jahre 1982 ab, daß die schon grob umgestaltete Grünfläche wohl nicht zur Nutzung für die Öffentlichkeit freigegeben werden konnte. Die nachfolgende Sanierung, ausgelöst durch die Dioxinfunde, bestätigte diese Einschätzung. Das entstandene Sicherungsbauwerk ist mit einer Vielzahl von technischen Einrichtungen, wie zum Beispiel Entnahmebrunnen für Deponiegase, Beobachtungsbrunnen und Pegel für das Stauwasser, Überwachungseinrichtungen, wie die ehemaligen Testfelder sowie meteorologische Datenerfassungsgeräte, ausgestattet, die nur mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand gegen mutwillige Beschädigungen geschützt werden können. Die ständigen Wartungs- und Unterhaltungsarbeiten erzeugen Verkehrsbewegungen, die die Nutzung durch die Öffentlichkeit stark einschränken. Die Deponie wird daher auf Dauer nicht als öffentliche Grünanlage zur Verfügung stehen können.

Gleichwohl kann sie weiterhin - wenn auch in beschränktem Umfang - anderweitig genutzt werden. Aufgrund der exponierten Lage der Deponie bietet es sich an, hier einen Windpark zur Nutzung der Windenergie zu errichten. Neben den zwei bereits bestehenden Windkraftanlagen und der für 1996 geplanten dritten Anlage wird daher untersucht, ob weitere möglich sind.

Abb.13-1 Windkraftanlagen

Darüber hinaus ist es sinnvoll, die vorhandenen und noch geplanten Sanierungsbetriebsanlagen, wie Leichtstoffabscheider, Flotation, dritte Reinigungsstufe, Schlammtrocknungsanlage, Zwischenlager und Tankcontainer auch für andere Sanierungsfälle der Stadt in Form eines Betriebshofes zu nutzen. Die Kapazitäten und das erforderliche Betriebspersonal sind vorhanden. Sie müssen ohnehin dauerhaft vorgehalten werden. Diese Konzentration an einer Stelle ist wirtschaftlich, da so hohe Entsorgungskosten erheblich reduziert werden können. Neben der bereits erfolgenden Behandlung von Flüssigkeiten aus kleineren Sanierungsfällen sollen als nächster größerer Sanierungsschritt die Stauflüssigkeiten der Deponie Müggenburger Straße auf Georgswerder mitgereinigt werden. Diese Maßnahme soll auch von der zukünftigen Betriebszentrale aus gesteuert werden, so daß auf eine eigenständige Anlage an der Müggenburger Straße mit entsprechendem Personal verzichtet werden kann.

Neben den beschriebenen verfahrenstechnischen Anlagen soll auf der Deponie Georgswerder auch ein Teil der stadteigenen Büro- und Betriebscontainer, die nicht im Sanierungseinsatz sind, vorgehalten werden.

Bei der Sanierung von stadteigenen Flächen fallen gereinigte Böden an, die einer Wiederverwertung zugeführt werden können. Diese Böden sollen auf einer gesonderten Fläche im Bereich des Betriebshofes zwischengelagert werden.

Neben dem technischen und ökonomischen Nutzen bietet die Deponie auch die Chance zur Erhaltung schützenswerter Pflanzen und Tiere. Mit einer Sonderfläche im Süden der Deponie ist für Bodenbrüter (z. B. Zwergseeschwalbe) ein Refugium geschaffen worden. Konfliktfrei ist diese Art der Nutzung jedoch nicht, da Störungen der Tierwelt durch Pflege und Erhaltungsarbeiten an dem Abdecksystem nicht auszuschließen sind.

14. Kosten und Finanzierung

Die Sanierung der Deponie Georgswerder stand mit der Entdeckung des Seveso-Dioxins unter einem erheblichen politischen Druck. Das Sanierungskonzept mußte daher in sehr kurzer Zeit erstellt werden. Da seinerzeit die Sanierung derart großer Altlasten technisches Neuland war, konnte eine belastbare Aussage über die zu erwartenden Gesamtkosten nicht gemacht werden. Die Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg hatte deshalb zunächst nur 146,2 Mio. DM zur Verfügung gestellt. Damit wurden Maßnahmen finanziell abgedeckt, die konkret erkennbar waren. In der Folgezeit wurde die Mittelbereitstellung schrittweise dem jeweiligen Planungs- und Entwicklungsstand angepaßt. Nach Abschluß der Abdeckarbeiten ist es nunmehr möglich, eine verläßliche Gesamtbilanz aufzustellen.

Danach werden für die Herstellung aller baulichen Anlagen voraussichtlich rund 183,6 Mio. DM benötigt werden.

Zur Aufstellung des Sanierungskonzeptes und zur Erarbeitung der Entwurfs-, Genehmigungs- und Ausschreibungsunterlagen wurden umfangreiche Untersuchungen, Gutachten, Studien, Labor- und Pilotversuche sowie diverse Ingenieuraufträge erforderlich. Daneben wurde eine intensive Öffentlichkeitsarbeit betrieben. Die Aufwendungen hierfür betrugen rund 21,3 Mio. DM.

Die Durchführung der FuE-Projekte kostete rund 26,9 Mio. DM, woran sich der Bund mit rund 10,7 Mio. DM beteiligte.

Für den Betrieb von Sanierungsanlagen, die bauliche Unterhaltung sowie Überwachung wurden von 1984 bis 1994 rund 14,3 Mio. DM aufgewendet.

Nach Inbetriebnahme der noch ausstehenden Behandlungsanlagen und nach Umsetzung des Überwachungskonzeptes werden jährlich etwa 3 Mio. DM mit steigender Tendenz benötigt werden.

Die Sanierung der Deponie wurde aus dem hamburgischen Haushalt finanziert. Bereits zu Beginn der Diskussion über das Sanierungskonzept wurde geprüft, ob und inwieweit Produzenten und Anlieferer zu den Kosten herangezogen werden könnten. Von den ca. 600 registrierten Anlieferern wurden zunächst 10 Hauptanlieferern Kostenheranziehungsbescheide zugestellt. Im Vergleichswege zahlten davon 7 Firmen insgesamt 23,4 Mio. DM. In den übrigen Fällen unterlag die Freie und Hansestadt in verwaltungsrechtlichen Verfahren, so daß von weiteren formalen Bescheiden abgesehen werden mußte.

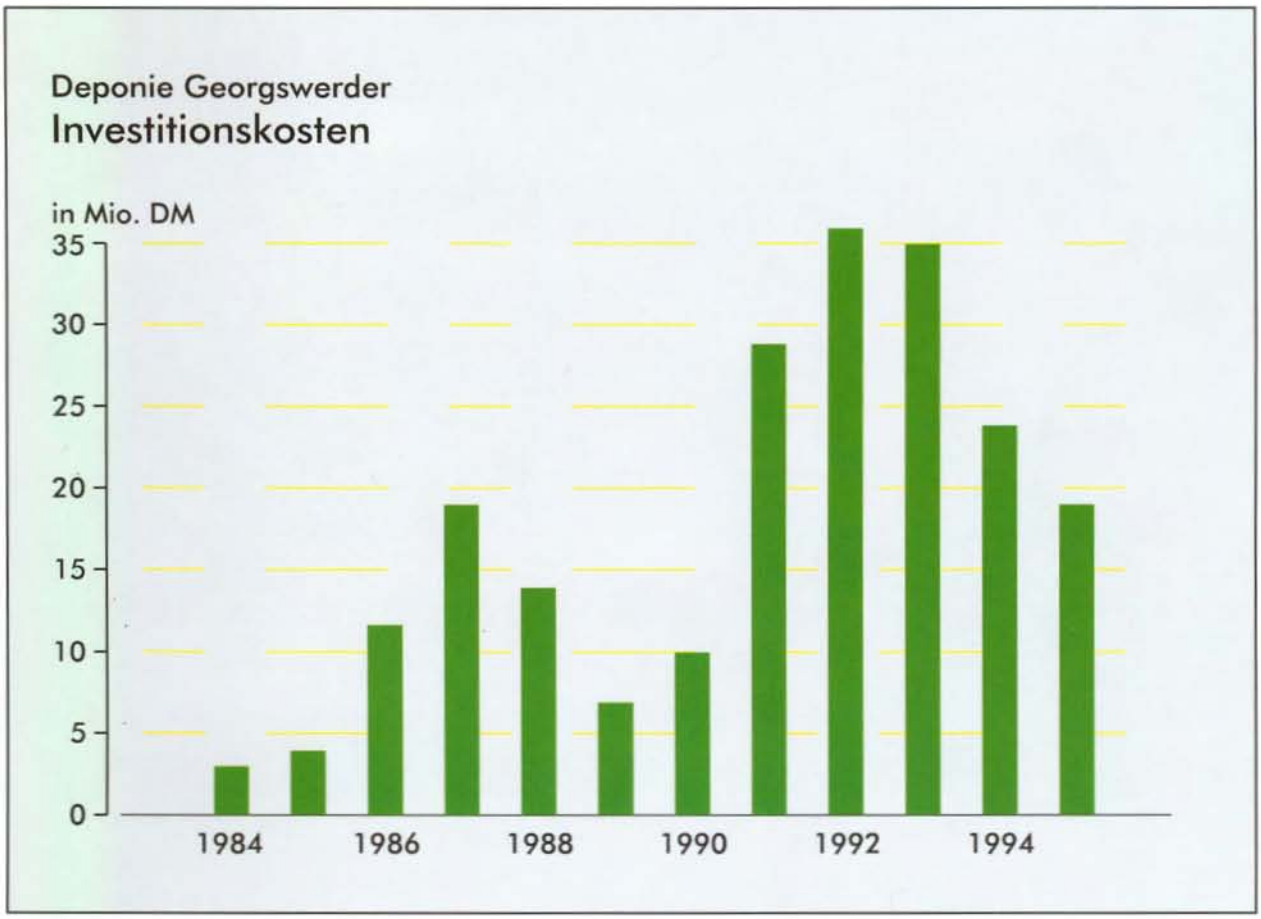


Abb. 14-1 Investitionskosten für die Sanierung der Deponie Georgswerder (Obere und Untere Abdeckung)

15. Erfahrungen und Ausblick

15 Erfahrungen und Ausblick

Nach Abschluß der wesentlichen Sanierungsarbeiten stellt sich die Frage, wie der Sanierungserfolg zu beurteilen ist und welche Lehren für die Bearbeitung ähnlicher Altlastflächen zu ziehen sind.

Planung und Durchführung der Sicherungsmaßnahmen sind auf einem hohen technischen und wissenschaftlichen Niveau nach dem Stand der Wissenschaft und der Technik erfolgt. Sie lassen erwarten, daß durch die ausgeführten Sicherungselemente Schadstoffemissionen auf Dauer unterbunden werden. Eine Gefahr für die Umwelt kann mit hoher Sicherheit ausgeschlossen werden. Die geschaffenen baulichen Anlagen erfordern allerdings einen erheblichen technischen und finanziellen Aufwand, um sie auf lange Sicht wirksam zu halten. Es ist ein Ingenieurbauwerk mit einer endlichen Lebensdauer entstanden, das ständig kontrolliert, überwacht und notfalls repariert werden muß. Der Fall Georgswerder hat gezeigt, daß Sanierungskonzepte für derartige Altdeponien flexibel gestaltet werden müssen. Bei Georgswerder war dies notgedrungen so, da Erfahrungen mit solchen Ablagerungen noch nicht vorlagen. Zukünftig müssen Konzepte sich schrittweise entwickeln, ansetzend am Hauptgefährdungspfad. In sich geschlossene umfassende Konzepte, die „in einem Stück" umgesetzt werden, wird es zukünftig selten geben. Dazu gehört auch, daß zum Beispiel Behandlungstechnologien erst nach sorgfältigen Testen mit Originalflüssigkeiten realisiert werden sollten. Nur so kann auf Kostenexplosionen wirksam reagiert werden.

Der Einsatz von mathematischen Modellen, mit denen die Wirksamkeit geplanter Maßnahmen simuliert werden kann, wird zunehmend Anwendung finden. Dies gilt insbesondere für Maßnahmen im Grundwasser und ist bei Georgswerder beispielhaft gelöst.

In der Planungsphase sind Ingenieurbüros erforderlich, die für die Altlastensanierung besonders qualifiziert sein müssen. Gerade die Planung braucht eine hohe Kreativität, da oft noch nicht genormte Bautechniken zum Einsatz kommen müssen. Dasselbe gilt für die Baustelle selbst. Die Herstellung von Dichtelementen erfordert eine besondere Sorgfalt. Der notwendige Arbeitsschutz muß hier kritischer als bei Baustellen des normalen Tiefbaus wahrgenommen werden. Die Überwachung der Bauarbeiten ist notgedrungen intensiver als auf normalen Baustellen des Ingenieurbaus.

Hohe Investitionskosten erfordern auch ein Nachdenken über Qualitätsstandards; dies gilt insbesondere für das neue Abdecksystem, das Eingang gefunden hat in die TA Abfall. Eine wichtige Erkenntnis ist, daß die Verwendung der vorgeschriebenen bindigen mineralischen Deckschicht wegen der starken Witterungsabhängigkeit die Bauzeiten unerträglich verlängert. Da sie zudem auch in ihrer Langzeitbeständigkeit negativ zu beurteilen ist, wird in Hamburg auf derartige Systeme zukünftig verzichtet werden. Die Umweltbehörde sucht deshalb durch ein neues FuE-Projekt nach alternativen Formen, die sich an dem Schutzauftrag im Rahmen eines Sanierungskonzeptes für den jeweiligen Einzelfall orientieren.

Sicherungen von Altablagerungen schränken die spätere Nutzung stark ein. Zukünftig sollten Sicherungsmaßnahmen auch unter Nutzungsgesichtspunkten konzipiert werden, um durch Zulassung gewisser Nutzungen so einen ökonomischen Effekt zu erzielen.

Die Unterhaltung von baulichen Sicherungselementen und ihre Überwachung müssen bereits in der Planungsphase mit bedacht werden. Gerade im Bereich der Überwachung fehlt es noch an Erfahrungen. Hier wird ein Schwerpunkt zukünftiger Entwicklungsarbeiten liegen.

Sicherungsmaßnahmen lassen sich nur realisieren, wenn die Betroffenen mit in die Planungen intensiv einbezogen werden. Bei der Sanierung der Deponie Georgswerder ist dies beispielhaft gelungen. Die Beteiligung muß schon bei der Erkundung des Gefährdungspotentials einsetzen und bei den weiteren Bearbeitungsschritten planmäßig fortgesetzt werden.

16. Chronologie

Deponie Georgswerder

Entstehung und Entwicklung einer Deponie

bis 1930	Landwirtschaftliche Nutzung der Gegend.
ca. 1935	Entstehung einer Hausmüllkippe der Stadt Harburg-Wilhelmsburg.
1940	Bau der Autobahn Hamburg - Hannover, die später die östliche Begrenzung der Deponie bildet.
1939 - 1945	Flakstellung zur Verteidigung Hamburgs im südlichen Bereich der heutigen Deponiefläche. Etwa 100 Bombenkrater in der Geländeoberfläche des heutigen Deponieareals sind auf Luftangriffe zurückzuführen.
ab 1945	Nach Kriegsende Ablagerung von Trümmerschutt auf dem Gelände.
ab 1948	Systematische Ablagerung von Hausmüll, zunächst im Nordteil, von dort nach Süden voranschreitend.
bis 1962	Kleiabbau für Ziegelherstellung.
1967	Schließung der Sondermülldeponie Müggenburger Straße, mit der Folge, daß die Stadt einer privaten Gesellschaft die Deponie Georgswerder zur Weiterverwendung für das Ablagern von Sonderabfall aus Gewerbe und Industrie anbietet, um eine unerwünschte, ungeordnete und unkontrollierte Ablagerung zu vermeiden.
1967	Niederbringen erster Meßstellen für Grund- und Stauwasser.
1967 - 1974	Einrichtung und Befüllung von 10 Flüssigabfallbecken auf der Deponie mit bis zu 150.000 m^3 flüssigen Sonderabfällen. Einrichtung von vier Faßlagern mit über 100.000 Fässern. Deponierung von Industrieabfall.
1968	Inbetriebnahme einer neuen Spezialanlage der Stadtreinigung an der Borsigstraße für die Verbrennung von Industrieabfall.
1969	Übernahme der Regie für die Ablagerung auf der Deponie durch die Baubehörde.
1971	Inbetriebnahme der ersten privaten thermischen Beseitigungsanlage mit zwei Drehöfen von der Abfallverbrennungsgesellschaft mbH & Co. (AVG).
1971	Erlaß des Hamburgischen Abfallbeseitigungsgesetzes.
1972	Erlaß des Abfallbeseitigungsgesetzes des Bundes.
bis 1979	Anlieferung von Hausmüll und hausmüllartigen Abfällen.

Chronologie

1979	Beendigung der Ablagerungen.
1979 - 1983	Maßnahmen zur Rekultivierung der Deponie mit dem Ziel, ein Freizeitgelände zu schaffen (Naherholungsgebiet).
1983	Baubeginn einer Entgasungsanlage.
Dez. 1983	Bestätigung des Verdachts auf 2,3,7,8-TCDD bei Analysen der Sickeröle aus dem östlichen Deponiefuß. Durchführung von Schutzmaßnahmen.
Jan. 1984	Einrichtung des Arbeitsstabes „Beauftragter für die Sanierung der Deponie Georgswerder" bei der Baubehörde Hamburg.
1984	Zwei nationale Expertengespräch zur Vorbereitung eines Sanierungskonzeptes für die Deponie. Umfangreiches Erkundungsprogramm.
April 1985	Senatsbeschluß zur Sanierung der Deponie Georgswerder.
April 1986	Beginn der Sanierungsarbeiten.
Mai 1986	Inbetriebnahme der Entgasungsanlage.
1986 - 1988	Bau der Flotationsanlage.
1986 - 1989	Herstellung der Oberen Abdeckung (etwa 15 ha) und der südlichen Erweiterung (ca. 1,5 ha).
1990	Baubeginn der Unteren Abdeckung (etwa 29 ha).
1992/93	Bau des Betriebsgebäudes mit einem zentralen Abscheider und einer Schlammtrocknungsanlage.
1992 - 1995	Technische Ausrüstung der Sickerwasserschächte.
Herbst 1995	Fertigstellung der Abdeckung.

Abbildungsnachweis:

Kapitel 1:

Abb. 1.3: Die Deponie zur Zeit des Betriebes: Baubehörde - Lichtbildnerei, Archivnumer:

Kapitel 3:

Abb. 3.3: Pilotanlage zur Flüssigkeitsentnahme aus Becken 6: T. Meschede (1992): Bemessungsgrundlagen für die Entnahme flüssiger Schadstoffe aus Altlasten. Dissertation an der Universtät Wuppertal.

Abb. 3.4: Schichtenaufbau der Testfelder: S. Melchior, K. Berger, B. Vielhaber & G. Miehlich (1992): Vergleichende Bewertung unterschiedlicher Abdecksysteme für Deponie und Altlasten. In:Thome´-Kozmiensky, K.J. (Hrsg.): Abdichtung von Deponien und Altlasten. Fachtagung an der TU Berlin von 24.-27.03.1992. EF-Verlag, Berlin, 453-475

Abb. 3.5: Nachlassende Wirksamkeit beim Testfeld 1 (ohne Kunststoffdichtungsbahn): S. Melchior (1993): Wasserhaushalt und Wirksamkeit mehrschichtiger Abdecksysteme für Deponien und Altlasten. Dissertation im Fachbereich Geowissenschaften, Universität Hamburg. Hamburger Bodenkundl. Arb., 22, 330S. und Anhang

Abb. 3.6: Probenvorbereitung für die Vor-Ort-Schnellanalytik: J. Kübler, Mobilab Hamburg MM1 Umweltanalytik GmbH, Hamburg

Abb. 3.7: Verfahrensschema zur Auskofferung der Becken 5 und 6: J.-H. Fischer (1991): Abschlußbericht des Teilvorhabens 0: Präsentation von ergebnissen im Verbundvorhaben, Graphik Design Studio, Hamburg.

Abb. 3.8: Ampfer-Wurzel in der oberen Abdeckung: A. Seelig-Braker (1994): Abschlußbericht des Teilvorhaben 12: Untersuchungen der Vegetation auf dem Abdecksystem der Deponie Georgswerder, Universität Hamburg.

Kapitel 6:

Abb. 6.4: Fließbild der Grundwasseraufbereitung, Consulaqua (1995)

Kapitel 10:

Abb. 10.5: Vegetationstypen auf der oberen Abdeckung: L. Neugebohrn und A. Seelig-Braker (1994): Untersuchungen der Vegetation auf dem Abdecksystem. = Neue Verfahren und Methoden zur Sanierung von Altlasten - am Beispiel der Deponie Georgswerder, Hamburg, Teilvorhaben 12. - Universität Hamburg, Institut für Angewandte Botanik, 67.S.

Kapitel 11:

Abb.:11.1 Hornklee und Schafgarbe auf der Abdeckung, A. Seelig-Braker (1991)

Lediglich die Abbildungen und Grafiken werden genannt, die nicht in der Umweltbehörde erstellt wurden.