

Qualifizierte Abdeckung der ehemaligen Deponie Eckerkoppel

Dr.-Ing. Günther Hirschmann, Behörde für Umwelt und Gesundheit, Hamburg,

Dr. habil. Stefan Melchior, melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft, Hamburg

Dipl.-Ing. Hans-Rainer Bielfeldt, Bielfeldt + Berg Landschaftsplanung, Hamburg

Dr. Reinhard Wienberg, Umwelttechnisches Büro und Labor, Hamburg

1 Einführung

Die ehemalige Deponie Eckerkoppel ist im Norden Hamburgs (Hamburg-Farmsen) in unmittelbarer Nachbarschaft zu Wohn- und Grünflächen gelegen (Abb. 1). Im Osten der Deponie wurde vor kurzem der Neubau einer vierspurigen Hauptverkehrsstraße (Friedrich Ebert-Damm) eröffnet, deren Trassenplanungen Mitte der 80er Jahre die Bearbeitung dieser Altlast auslöste. Der ursprüngliche Plan, die Deponie mit der Strassentrasse zu queren, wurde schnell zugunsten der umführenden Variante fallen gelassen. Damit hatte sich zunächst auch eine (Teil-)sanierung erübrigt. Die endgültige Sanierungsnotwendigkeit ergab sich dann aber 1995 nach Entdeckung einer Kontamination des darunterliegenden Grundwasserleiters mit LCKW und BTEX. Neben der Grundwasserfahne sollte auch die Deponie als Schadstoffquelle saniert werden. Nach umfangreichen Untersuchungen und Variantenvergleichen wurde eine Sanierungsstrategie gewählt, deren langfristige Wirksamkeit auf einer sog. qualifizierten Abdeckung beruht.

Im Gegensatz zu klassischen Deponieabdichtungssystemen, wie sie in der TA Abfall, TA Siedlungsabfall oder Deponieverordnung [1] vorgegeben sind, besteht eine qualifizierte Abdeckung in der Hauptsache aus einer Rekultivierungsschicht, die als Pflanzenstandort dient und im Zusammenwirken mit dem Bewuchs eine Verbesserung des Wasserhaushalts bewirkt [2]. Damit soll die Rückhaltung und Verdunstung des Niederschlages erhöht werden [3, 4].

2 Geologischer und historischer Hintergrund

Bei der früheren Deponie Eckerkoppel handelt es sich um eine ehemalige Tongrube einer Ziegelei, die noch vor dem zweiten Weltkrieg infolge Wassereinbruchs stillgelegt worden war. Der entstandene Teich wurde nach dem Zweiten Weltkrieg bis 1959 mit Trümmer- und Bauschutt sowie Haus- und Industriemüll verfüllt. Die bis zu 9 m tiefe Grube liegt in einer anstehenden quartären Abfolge von Geschiebelehm/-mergel und Beckenton (jüngere und mittlere Saale-Grundmoräne; Abb. 2). Der Beckenton wurde für die Ziegelherstellung abgebaut. Mit Ausnahme der Ostseite bilden anstehender Geschiebemergel und Beckenton bis nahezu an die Geländeoberkante (GOK) auch die Grubenbegrenzungen. Im Osten wird die Grube gegen eine anschließende Grube von einem Damm aus überwiegend bindigem Material abgegrenzt, der noch zu Betriebszeiten der Tongrube als Trasse für eine geplante Lorenbahn angelegt worden war. Auf diesem Damm verläuft nun die bereits erwähnte neue Hauptverkehrsstraße. Die Basis der Tongrube bilden Geschiebemergel und Beckenton, die allerdings lokal - vor allem in

der Südostecke - fehlen bzw. geringmächtig und stark sandig ausgebildet sind, so dass ein Kontakt zum liegenden Grundwasserleiter besteht. Ab ca. 10 m unter GOK ist der 15 - 20 m mächtige Grundwasserleiter anzutreffen. Es handelt sich überwiegend um mittel- bis feinkörnige Schmelzwassersande (k_f -Wert: $3 \cdot 10^{-4}$ m/s). Die Basis des Grundwasserleiters bilden wiederum Geschiebelehm-/mergel und Beckenton (ältere Saale-Grundmoräne).

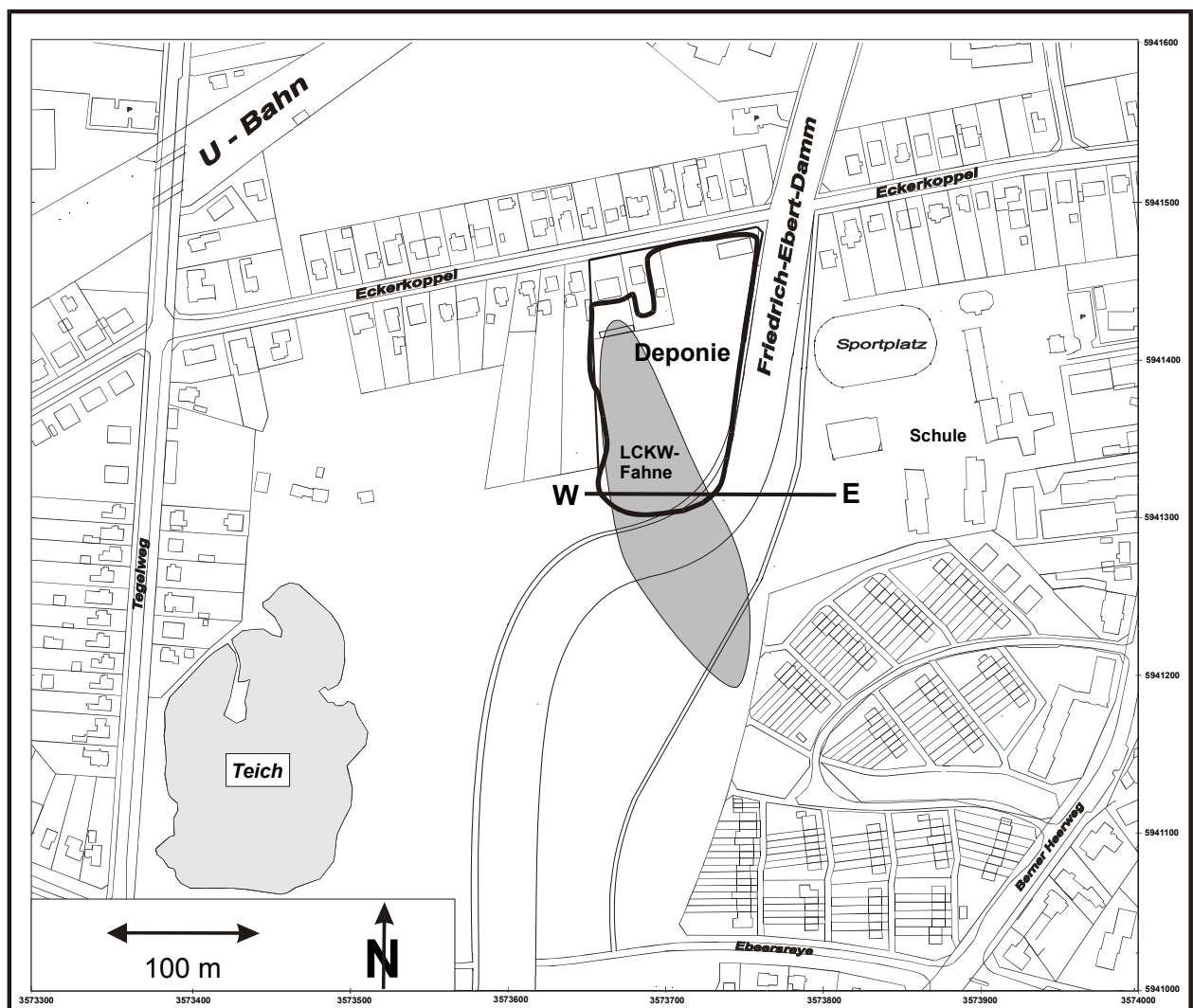


Abb.1: Lageplan der Deponie Eckerkoppel in Hamburg-Farmsen (W---E: Schnittführung des Profils in der Abb. 2)

Das Grundwasser ist in Abhängigkeit von der Jahreszeit lokal gespannt. Die Fließrichtung verläuft in Richtung SSE mit einer Abstandsgeschwindigkeit von 50 - 75 m/a. Die Grundwasseroberfläche bzw. der Grundwasserdruckspiegel befindet sich bei ca. 10 m unter GOK und damit mehrere Meter unterhalb der Wasserfläche des sog. Stauwasserkörpers, der sich im Deponiekörper bzw. in der Tongrube gebildet hat. Die Stau-

wasserneubildung erfolgt in der Hauptsache durch infiltrierende Niederschläge. Nennenswerte laterale Zuflüsse sind bislang nicht festgestellt worden. Dementsprechend handelt es sich bei der ehemaligen Deponie um eine relativ dichte Geschiebemergel-/Beckentonschüssel, die allerdings Undichtigkeiten an der Sohle aufweist.

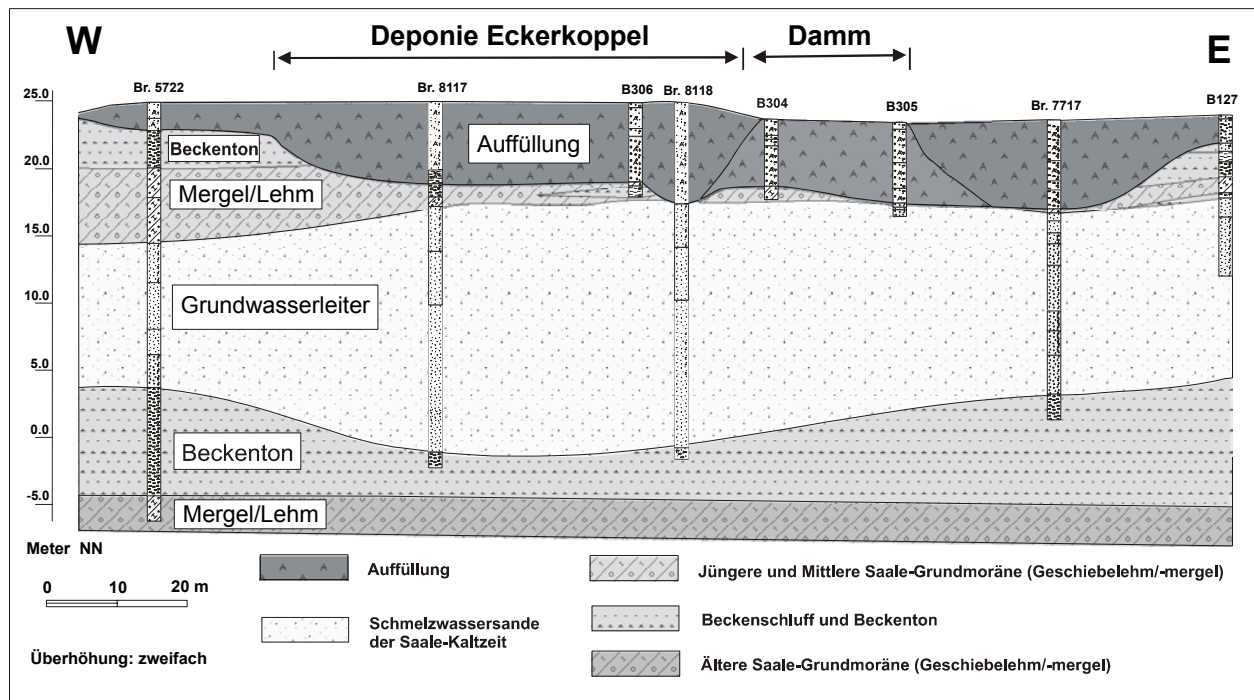


Abb. 2: Geologisches W/E-Profil im südlichen Deponiebereich (Schnittführung siehe Abb. 1)

3 Altlastsituation

Der ein Volumen von ca. 78.000 m³ umfassende Deponiekörper enthält entsprechend der heterogenen Ablagerung u.a. auch von Industriemüll sowohl organische (MKW, PAK, BTEX, LCKW, PCB, Phenole) als auch anorganische Schadstoffe (vor allem Pb, Cu, Zn) im Konzentrationsbereich von mehreren g/kg TS. Das Stauwasser ist entsprechend belastet. Es wird nach wie vor Deponiegas gebildet, das neben Methan (max. 31 Vol.-%) auch BTEX (max. 32 Vol.-%), LHKW (max. 4 Vol.-%) und Schwefelwasserstoff (max. 0,6 Vol.-%) enthält. Nach Untersuchungen in den angrenzenden Häusern und im Umfeld der Deponie gibt es aber keine Hinweise, die auf eine Gefährdung der Anwohner schließen lassen.

Im Grundwasserleiter wurde eine Schadstofffahne (LCKW und BTEX) ermittelt, deren Front sich ca. 150 m südöstlich des südlichen Deponierands befindet. Die Maximalgehalte belaufen sich auf 747 µg/l Summe LCKW und 695 µg/l Summe BTEX. Der Fahnenverlauf lässt auf eine Schadstoffquelle im nordwestlichen Deponiebereich

schließen, die allerdings auch nach zwei Erkundungskampagnen nicht eindeutig identifiziert werden konnte.

4 Sanierungsvarianten

Für die Sanierung der Grundwasserverunreinigung wurde eine Grundwasserentnahme in Kombination mit einer In situ Maßnahme geplant [5] und im Jahre 2000 in Betrieb genommen.

Für den Deponiekörper als Schadstoffquelle der Grundwasserverunreinigung wurden folgende Sanierungsvarianten untersucht und teilweise bis zur Vorplanungsreife konzipiert [6]:

- Überwachung der Deponie (Deponiegas, Stauwasser und Grundwasser);
- Stauwasserabsenkung (Förderung, Reinigung und Überwachung);
- Partielle Sohlabdichtung (z.B. Injektionsbohrungen in den Bereichen einer fehlenden bzw. sehr geringmächtigen Geschiebemergeltrennschicht zum liegenden Grundwasserleiter, Überwachung, ggf. Stauwasserabsenkung);
- In situ Maßnahmen und Teilsicherung (Stauwasserabsenkung, Belüftung des Deponiekörpers mit gleichzeitiger Gasentnahme und -reinigung, danach Abdichtung bzw. Abdeckung und Überwachung);
- Flache Kapsel (vertikale Dichtwände in den Bereichen, in denen der Geschiebemergel/Beckenton nicht bis an die GOK reicht, partielle Sohlabdichtung, Oberflächenabdichtung, Stauwasserbewirtschaftung, Deponiegasentnahme und -reinigung sowie Überwachung);
- Tiefe Kapsel (vertikale Dichtwände bis in die Geschiebemergelbasis des Grundwasserleiters (Tiefe bis ca. 30 m unter GOK), Oberflächenabdichtung, Stau-/Grundwasserbewirtschaftung, Deponiegasentnahme und -reinigung sowie Überwachung);
- Vollständige Dekontamination (Auskoffnung unter Einhausung, Entsorgung des Deponiematerials, Verfüllung);

Unter Heranziehung der Kriterien Machbarkeit, Risiko, Wirksamkeit, Angemessenheit im Verhältnis zum Gefährdungspotential, Genehmigungsfähigkeit, und Wirtschaftlichkeit wurden sämtliche Varianten geprüft. Aufgrund der hohen Kosten und teilweise auch hohen Planungsunsicherheiten der Kapsel- und Dekontaminationsvarianten wurde die Möglichkeit von In situ Maßnahmen zur Beschleunigung der langfristigen Stabilisierung des Deponiekörpers durch Förderung der biochemischen Abbau- und Immobilisierungsprozesse weiter verfolgt [7,8,9]. Die Variante der reinen Beobachtung der Deponie als Schadstoffquelle für die Grundwasserverunreinigung wurde nicht in Betracht gezogen, da die Zeitdauer der Grundwassersanierung ohne Unterbindung des weiteren Eintrags nicht abzusehen ist. Um in einem ersten Schritt schnellst möglich die Emissionen in das Grundwasser zu reduzieren, ohne bereits eine Vorentscheidung für eine endgültige Sanierungsvariante einzuleiten, wurde ab 1997 mit der Stauwasserentnahme und -reinigung begonnen.

5 Untersuchungen zur In situ Stabilisierung

Mit Deponiematerial, das 1998 im Rahmen von Großschürfen über die gesamte Auffüllungsmächtigkeit gewonnen wurde, erfolgte eine Bestandsaufnahme der geochemischen Deponiesituation und mithilfe von mehrere Monate dauernden Versuchen in Deponiesimulationsreaktoren die Beurteilung einer In situ Belüftung [7,8,9].

Zusammenfassend ergibt sich bei der Deponie Eckerkoppel folgende Situation: Im Deponiekörper finden sich verschiedene Bereiche mit unterschiedlicher Aktivität. In den überwiegend mit Bauschutt verfüllten Bereichen laufen kaum noch für das Grundwasser relevante biologische Prozesse ab. Dagegen finden in den zentralen Deponiebereichen innerhalb der organischen Industrieabfälle anhaltende biologische Abbauprozesse statt. Eine wichtige Rolle spielen solche Deponate wie z.B. Farbreste oder gebrauchte Bleicherden aus der Industrie. Die Abbaubarkeit dieser Substrate kann nicht näher quantifiziert werden. Selbst bei guter Abbaubarkeit ist die Bioverfügbarkeit dieser in Phase vorliegenden und/oder an Tonpartikel gebundenen organischen Stoffe jedoch voraussichtlich sehr gering. Daraus resultiert - wenn kein Eingriff erfolgt - ein langfristiger, evtl. über weitere Jahrzehnte andauernder biochemischer Abbau mit Bildung reduzierender Bedingungen im Deponiekörper und im sickerwasserbeeinflussten Grundwasser sowie mit Gasbildung auf niedrigem Niveau.

In den über 40 Jahren seit Abschluss der Deponierung haben in der Deponie selbst umfangreiche Elutionsvorgänge, chemische oder biologische Umsetzungsprozesse, Sorptions- und Immobilisierungsvorgänge mit Ausfällungen und Wiederauflösungen etc. stattgefunden. Das geochemische Milieu in der Deponie bestimmt als Rückkoppelungsergebnis dieser Vorgänge, insbesondere biologischer Prozesse, das weitere Emissionsverhalten. Gegenwärtig laufen in der Deponie unter sulfidischen Bedingungen weiterhin Abbau- und Immobilisierungsvorgänge unter Gasbildung ab. Wenn das biologisch abbaubare Material aufgezehrt ist, wird sich langfristig das Milieu zunehmend in Richtung oxischer Bedingungen verändern.

Eine Beschleunigung der Prozesse durch Belüftung der Deponie kann allerdings nach den Ergebnissen der Untersuchungen in den Deponiesimulationsreaktoren sowohl unter wirtschaftlichen als auch technischen Gesichtspunkten nicht empfohlen werden [8,9]. Zum einen ist die Bioverfügbarkeit der organischen Deponieinhaltsstoffe als zu gering für eine effektive beschleunigte aerobe Stabilisierung einzustufen. In den Deponiesimulationsreaktoren wurde lediglich max. 4 - 5% des gesamten TOC unter optimalen Bedingungen (25 – 35% Wassergehalt) noch abgebaut. Da zum Erreichen des optimalen Wassergehaltes (vorhandener Wassergehalt: 11 –16%) auch noch eine zusätzliche Bewässerung notwendig wäre, erscheint der mögliche Nutzen einer solchen Maßnahme im Verhältnis zum Aufwand als zu gering. Zum anderen bilden die Untergrundverhältnisse aufgrund der geringen Gaswegigkeit eine schlechte Voraussetzung für pneumatische Maßnahmen. Das wassergesättigte Material in Tiefen > 4,5 m unter GOK weist einen sehr hohen Feinkornanteil bei sehr kompakter Lagerung auf, so dass eine vollständige Belüftung technisch nicht durchführbar ist. Die großtechnische Umsetzung des In situ Stabilisierungsverfahrens ist demnach für die Deponie Eckerkoppel nicht empfehlenswert.

Maßnahmen zur Abdichtung (u.a. eine Oberflächenabdichtung) werden ebenfalls als nicht angemessen eingestuft, da das Deponiematerial nach mehr als 40 Jahren einer weitgehenden Elution ausgesetzt war und das darüber hinausgehende Elutionspotential vergleichsweise gering ist. Das zeigen relativ geringe Chloridgehalte im Grundwasser. Der Deponieeinfluss ist im Grundwasser durch die leicht erhöhten Werte der Deponieanzeiger Borat und Kalium und vor allem durch erhöhte TOC-Belastungen (max. 20 mg/l) sowie durch die infolge Abbau organischen Materials ausgelösten reduzierten Bedingungen feststellbar. Im Vergleich zur Auswirkung anderer Altdeponien ist die Beeinträchtigung des Grundwassers - mit Ausnahme der LCKW- und BTEX-Fahne – allerdings nur sehr gering. Zusätzlich zu den bereits realisierten Maßnahmen der Grundwasseranierung und Stauwasserentnahme wurde daher zur Vervollständigung des Sanierungsplanes eine qualifizierte Oberflächenabdeckung und ein umfangreiches Überwachungsprogramm vorgeschlagen [10].

6 Sanierungsplan

Der Gesamtsanierungsplan für die ehemalige Deponie Eckerkoppel, der stufenweise realisiert wurde, setzt sich aus folgenden Teilmaßnahmen zusammen:

1) LCKW/BTEX-Fahne im Grundwasser:

An der Fahnen Spitze erfolgt seit dem Jahr 2000 eine Grundwasserförderung mithilfe eines Zweibrunnensystems (Gesamtförderrate 6 – 8 m³/h). Alternierend wird aus einem Brunnen gefördert, während in den anderen Brunnen gereinigtes und mit H₂O₂ sowie ggf. Nitrat versetztes Wasser infiltriert wird. Die Infiltration bewirkt im Vorfeld des Förderbrunnens ein Schadstoffabbau und eine Enteisung im Untergrund. Mittels Lanzengalerie wird gereinigtes und mit H₂O₂ bzw. Nitrat versetztes Wasser auch im Bereich der Fahnenmitte infiltriert. Während im nördlichen Quellbereich der anaerobe Abbau von Tetrachlorethen und Trichlorethen offensichtlich über eine kurze Fließstrecke sehr effektiv erfolgt, soll in der Fahnenmitte durch den Milieuwechsel der weitere biochemische Abbau der Abbauprodukte cis-1,2-Dichlorethen und Vinylchlorid gefördert werden.

2) Deponiekörper:

- a) Stauwasserabsenkung: Seit 1997 erfolgt die Entnahme (Förderrate 1 – 2 m³/h) und Reinigung des Stauwassers. Dabei konnte der Stauwasserspiegel in Abhängigkeit der Niederschläge um mehrere Meter abgesenkt werden. Langfristiges Ziel ist die Reduzierung oder sogar Einstellung der Stauwasserentnahme, sobald die qualifizierte Abdeckung ihre volle Wirksamkeit erreicht.
- b) Qualifizierte Abdeckung: Nach einjähriger Planung erfolgt seit November 2002 die Realisierung der qualifizierten Abdeckung. Die Anforderungen und die Umsetzung werden in Kap. 7 dargestellt.

- c) Überwachung/Nachsorge: Neben der Funktionskontrolle der qualifizierten Abdeckung und der hydraulischen Maßnahmen steht die Überwachung des Grundwassers im Mittelpunkt (vergl. Kap. 8).

7 Qualifizierte Abdeckung

7.1 Anforderungen

Auf der einen Seite besteht das Ziel, die weitgehende Reduzierung der Stauwasserneubildung anzustreben, auf der anderen Seite aber soll zur langfristigen Reduzierung des Gefährdungspotentials für das Grundwasser keine Konservierung durch vollständige Abdichtung des Deponiekörpers erfolgen, sondern die Fortsetzung des biochemischen Abbaus der Organik ermöglicht werden. Dafür sind die Abfälle feucht zu halten und der Zutritt von Luft sicherzustellen. Demzufolge lassen sich die – z.T. im Konflikt stehenden – Anforderungen an die qualifizierte Abdeckung folgendermaßen definieren:

- ⇒ Weitgehende Reduzierung und Vergleichmäßigung der Stauwasserneubildung durch hohe Evapotranspiration des Bewuchses und der Oberfläche infolge Wahl einer geeigneten Bepflanzung (z.B. standortgerechte Sträucher) und eines Abdeckbodens mit hoher Speicherkapazität des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser aufgrund entsprechender Mächtigkeit und Bodenartenwahl;
- ⇒ Durchlässigkeit für einen gewissen Restwasseranteil zur Aufrechterhaltung der biochemischen Abbauprozesse der Organik;
- ⇒ Ausreichende Gasdurchlässigkeit für Sauerstoff zwecks Gewährleistung des mikrobiellen Methanabbaus im Abdeckboden bei diffusivem Methanandrang und längerfristig zu Förderung aerober Abbauprozesse im Deponiekörper;
- ⇒ Jederzeit Zugriffsmöglichkeit auf den Deponiekörper bei plötzlicher Verschlechterung der Situation oder Verfügbarkeit neuer Sanierungstechnologien;
- ⇒ Langfristig geringer Nachsorgeaufwand der Abdeckung.

Für diese Anforderungen galt es nun die optimale Lösung zu finden. Hinzu kamen die standortbezogenen Forderungen, dass die Gesamtmächtigkeit der Abdeckung 2 m nicht überschreiten darf und dass ein abrupter Geländesprung im Übergang zu den angrenzenden Nachbargrundstücken zu vermeiden ist.

7.2 Planung

Von Oktober 2001 bis Mai 2002 wurde die Entwurfs- und Genehmigungsplanung durchgeführt [11] und die Haushaltsunterlage (September 2002) erstellt. Am 18.09.2002 lag nach Abstimmung der Planung mit den zuständigen Behörden die Genehmigung (Zustimmungsbescheid nach §62 Hamburger Bauordnung) für die Abdeckung vor. Im Juli 2002 wurde die Baumaßnahme mit Ausnahme der Leistungen für die Begrünung ausgeschrieben. Die Begrünung der Abdeckung wird 2003 gesondert vergeben. Nach-

folgend werden die wesentlichen fachtechnischen Details der Maßnahme kurz vorgestellt.

7.2.1 Teilflächen und Profilierung

Die gesamte abzudeckende Fläche der Deponie beträgt 11.250 m², die sich auf folgende Teilflächen verteilen:

- Im nördlichen Zufahrtbereich befinden sich ein gewerblich genutztes Gebäude sowie Container für die Stauwasser- und Grundwasserbehandlung. Da diese Einrichtungen erhalten werden sollen, wird der Zufahrtbereich im Gebäudebereich auf 775 m² in Asphaltbauweise abgedichtet (Ausbildung als Mulde zur Fassung und Ableitung des Oberflächenwassers).
- Der Übergang zwischen Asphaltabdichtung und den westlich und nördlich anschließenden Grundstücken erhält auf ca. 700 m² eine 1,5 m mächtige qualifizierte Abdeckung.
- Auf der Hauptfläche (ca. 9.775 m²) wird eine 2,0 m mächtige qualifizierte Abdeckung aufgebracht.
- Eine kleine Fläche von ca. 400 m² erhält keine neue Abdeckung, um den dort bereits vorhandenen Baum- und Strauchbewuchs erhalten zu können.

Um der Anforderung eines ebenerdigen Anschlusses an die Nachbargrundstücke nachkommen zu können, muss die Fläche umprofilert werden. Insgesamt umfasst die Umlagerung ca. 4.000 m³ anstehenden Boden (teilweise mit geringen Mülleinlagerungen). Nach Aufbringen der neuen Abdeckung wird die Deponie in ihren Zentralbereichen das ursprüngliche Gelände um rund 3 m überragen. Die Böschungsneigungen betragen maximal 1 : 5.

7.2.2 Bodenaufbau

Als Voraussetzung für die Dimensionierung des Bodenaufbaus im Sinne der oben genannten hydrologischen Anforderungen wurde zunächst eine Wasserhaushaltsbetrachtung des Zustandes vor der Sanierung durchgeführt und deren Ergebnis mit zwei Szenarien mit unterschiedlich aufgebauten Abdeckungen verglichen (jeweils basierend auf Annahmen zum langjährigen Mittelwert). Demnach versickern im Ausgangszustand rund 55 % des Niederschlages (oder 440 mm/a) in die Deponie. Durch eine herkömmliche Rekultivierungsschicht mit Grasbewuchs könnte die Einsickerung in die Deponie auf rund 40 % des Niederschlags reduziert werden. Durch eine optimierte Rekultivierungsschicht mit Gehölzbewuchs und erhöhtem Vorrat an pflanzenverfügbarem Wasser im Wurzelraum ließe sich die Einsickerung unter den am Standort gegebenen Witterungsverhältnissen maximal auf rund 23 % des Niederschlags oder im Mittel 190 mm/a reduzieren. Vor dem Hintergrund des noch gewünschten biochemischen Abbaus im Deponiekörper wurde der Zielwert für die Zusickerung von Niederschlagswasser in den Deponiekörper nach Aufbringen der qualifizierten Abdeckung durch die fachlich Beteiligten mit rund 220 bis 250 mm/a festgelegt. Um dieses zu erreichen, sollte der im Boden pflanzenverfügbar zu speichernde Wasservorrat mindestens 220 mm betragen.

Die qualifizierte Abdeckung der Hauptfläche besteht aus zwei Schichten: einem Oberboden (0,3 m humoses Material) und einem Unterboden (1,7 m). Die Lieferböden (Ober- und Unterbodenmaterialien) dürfen die Zuordnungswerte Z1.2 der technischen Regeln der LAGA (Merkblatt 20) nicht überschreiten. Zur Gewährleistung der an die Böden der qualifizierten Abdeckung gestellten bodenhydrologischen Anforderungen, müssen die Ober- und Unterböden im eingebauten Zustand nutzbare Feldkapazitäten von mindestens 11 Vol.-% und Luftkapazitäten von mindestens 4 Vol.-% sowie ungesättigte Wasserleitfähigkeiten von mehr als $1 \cdot 10^{-6}$ m/s aufweisen. Die als Glühverlust bestimmten Gehalte an organischer Substanz sollen im Oberboden zwischen 2 Gew.-% und 8 Gew.-% betragen. Im Unterboden dürfen 2 Gew.-% nicht überschritten werden.

Zur Bewertung der angebotenen Böden sowie zur Qualitätssicherung der Lieferböden wurden weitere Parameter im Labor untersucht (wie z.B. Korngrößenverteilung, Kalkgehalt, lösliche Nährstoffe, Proctordichte, Wassergehalt, Wasserbindegrad u.a.), anhand derer die grundsätzliche Eignung abgeschätzt werden kann. In Abhängigkeit von den Eigenschaften der Lieferböden (Bodenart, Verdichtungsgrad und natürlicher Wassergehalt am Herkunftsort) und der jeweiligen Witterung obliegt der gewählten Einbautechnik ein wesentlicher Einfluss auf das Erreichen der gestellten Qualitätsanforderungen. Böden mit hohen Ton- und Schluffgehalten erreichen zwar die nutzbaren Feldkapazitäten, sind aber in Abhängigkeit der Wassergehalte verdichtungsanfällig und können dann die geforderten Luftkapazitäten nicht mehr erfüllen. In den Ausschreibungsunterlagen wurden aus diesem Grund die Anforderungen an die Lieferböden sowie die möglichen Einbaukonzepte detailliert beschrieben. Die Festlegung des zur Ausführung gelangenden Einbaukonzeptes wurde basierend auf den Vorschlägen des Auftragnehmers und den Eigenschaften der angebotenen Böden vorgenommen.

7.2.3 Gasfilter und sonstige Einrichtungen

Eine der Aufgaben der neuen Abdeckung ist die mikrobielle Oxidation des unter Umständen aus dem Deponiekörper austretenden Methans. Um dieses sicher zu stellen, muss der Boden ausreichend und gleichmäßig gaswegig sein, damit ein Gasrückstau im Deponiekörper, ein ggf. konzentriertes Entweichen an Schwachstellen oder gar ein seitliches Entweichen auf Nachbargrundstücke vermieden wird. Zugleich muss der Boden den für die Methanoxidation erforderlichen Bakterien einen geeigneten Lebensraum bieten (Nährstoffe, Sauerstoff).

Aus bodenhydrologischer Sicht wird angestrebt, möglichst viel Haftwasser im Boden pflanzenverfügbar zu speichern. In sehr feuchten Perioden (z.B. im Frühjahr) kann nicht ausgeschlossen werden, dass das im Boden gespeicherte Haftwasser den Fluss von Deponiegas behindert. Um einem Rückstau und dem seitlichen Entweichen von Gas in solchen Phasen vorzubeugen, werden in die Abdeckung insgesamt 13 Gasfilter integriert. Es handelt sich dabei um Betonringe mit einem Durchmesser von 1,5 m, die mit Kies der Körnung 2/8 und Rindenmulch (RM2, Körnung 10 – 80 mm) verfüllt werden, so dass sie deutlich weniger Haftwasser halten können und somit als „Überdruckventile“ wirken können und zugleich eine hohe Methanoxidation erlauben.

Nicht näher eingegangen werden soll auf den Umbau der vorhandenen Einrichtungen der Grundwassersanierung und Stauwasserentnahme (Container, Brunnen, Infiltrationslanzen, Messstellen), der durch den Auftrag der neuen Abdeckung erforderlich ist. Gleiches gilt für die Maßnahmen zur Oberflächenwasserableitung.

7.2.4 Bewuchs

Der Bewuchs hat die Hauptaufgabe, die Verdunstung von der Abdeckung zu maximieren. Dazu tragen primär der aktive Wasserverbrauch durch die Transpiration (Pflanzenverdunstung aufgrund biotischer Prozesse) und sekundär, vor allem im Winterhalbjahr, die passive Oberflächenverdunstung, die Evaporation, bei.

Die Evaporation, mit ihren Komponenten Bodenverdunstung und Interzeptionsverdunstung, hängt wesentlich von der oberirdischen Pflanzenoberfläche und Phytomasse ab. Je größer die durch Niederschlag benetzbare Fläche an Blättern, Nadeln, Ästen und Stämmen ist, desto größer ist die Interzeption und mithin die Evaporation. Die Transpiration steht im Verhältnis zur Photosyntheseleistung der Pflanzen. Die Photosynthese ist abhängig von der Pflanzenart, der Sonneneinstrahlung / Lichtintensität, vom pflanzenverfügbaren Wasserangebot im Boden sowie von der Temperatur, der Luftfeuchte und den Windverhältnissen.

Aus den genannten Grundlagen ergeben sich insbesondere folgende Ziele und Anforderungen an den Bewuchs:

- ⇒ Schaffung möglichst großer Blattmasse, d.h. flächendeckende Begrünung mit gut ausgebildeter Vertikale (Gras-/Krautschicht, Strauchschicht, Baumschicht) und einem gewissen Anteil an immergrünen Arten
- ⇒ Trotz großer Blattmasse Sicherung einer möglichst optimalen Belichtung und Erwärmung, d.h. kein Überstellen der Strauchschicht mit stark schattenden Bäumen
- ⇒ Sicherung des positiven Einflusses des Windes (Förderung der Verdunstung, aber keine Austrocknung), d.h. lockerer Aufbau der Baumschicht.

Zur Optimierung der Funktion erfolgt ein vertikal gestufter Vegetationsaufbau aus Kraut-, Strauch- und Baumschicht.

Zu unterst wird direkt nach der Herstellung der qualifizierten Abdeckung eine Gras- und Kleemischung aus dichtwachsenden, niedrigwachsenden leicht schattenverträglichen Arten angesät, die sich in ihren Ansprüchen z.T. ergänzen. Mit Hilfe der Gras- und Kleemischung kann frühzeitig ein flächendeckender Bewuchs entwickelt werden, der zeitnah die Evapotranspiration erhöht. Darüber hinaus wird die Gehölzentwicklung durch Verbesserung der Bodengare, des Schutzes der Bodenoberfläche vor mechanischen Beeinträchtigungen, der Unterdrückung von unerwünschten Kräutern und des entstehenden Mikroklimas gefördert.

Die obere Vegetationsschicht wird aus Gehölzen (Sträucher und Bäume) gebildet, die an eine möglichst große Standortamplitude (Artenspektrum ausdauernd in trockenen als auch feuchten Jahren) sowie an die eingebauten Bodenarten angepasst sind.

Die Gehölze sollen sich in ihren Ansprüchen ergänzen, ein dichtes Wurzelwerk ausbilden, bei Nässe z.T. pumpend und somit stark verdunstend wirken, einen mäßigen bzw. indifferenten Nährstoffbedarf aufweisen und z.T. halbschattenverträglich zur Entwicklung des angestrebten stufigen Aufbaus sein.

Zur Pflanzung werden überwiegend heimische Arten, ergänzt durch eingebürgerte Arten, verwendet. Einzelne Arten haben Winterlaub bzw. sind immergrün. Es werden überwiegend Straucharten sowie zu 1 - 2% auch Baumarten zur Strukturierung, Verbesserung des vertikalen Aufbaus für die Evapotranspiration, Verbesserung der „Durchblasbarkeit“ des Bestandes für die Verdunstung durch Windeinfluss bei noch verträglicher Beschattung der unteren Vegetationsschichten ausgewählt.

Die Pflanzung darf nicht zu dicht erfolgen, da Pflanzen im engen Verband gegenüber solchen in Einzelstellung deutlich geringere Wurzelentwicklung aufweisen. Eine nicht optimale Wurzeloberfläche bewirkt geringere Wasser- und Nährstoffaufnahme und eine insgesamt geringere Produktion.

Es wird vorgeschlagen, bei den Straucharten leichte Sträucher einzupflanzen, die in der Lieferung kostengünstiger als größere Pflanzen sind und einen höheren Anwuchserfolg aufweisen. Bei den Baumarten sollen größere Gehölze verwendet werden. Hierdurch erhöhen sich die Kosten nur geringfügig, die Baumarten werden jedoch schneller „verdunstungswirksam“ und die optische Wirkung wird verbessert.

7.3 Realisierung

Nach einer Vorankündigung der Maßnahme im Submissionsanzeiger, die im wesentlichen darauf zielte, potentielle Bieter möglichst frühzeitig auf den Bodenbedarf hinzuweisen, wurde die Maßnahme ausgeschrieben. Es wurden vier Angebote abgegeben. Der Auftrag wurde Ende September 2002 vergeben. Mit der Realisierung der Maßnahme wurde im November 2002 begonnen. Vor der witterungsbedingten Winterpause wurde die Baustelle eingerichtet, die vorhandene Oberfläche der Deponie umprofilert, mit dem Umbau der vorhandenen Betriebseinrichtungen begonnen, die Eignungsprüfung der Böden abgeschlossen und zwei Probefelder zur Eignungsprüfung der Bautechnik angelegt und untersucht.

Als Oberboden kommt ein mittelhumoser ehemaliger Ap-Horizont zum Einsatz, der östlich von Hamburg auf Halde lag. Die Bodenart des Oberbodens ist ein schwach bis mittel kiesiger, schwach schluffiger Sand (Su2, G1-2). Der Unterboden stammt ebenfalls aus einer Grube östlich Hamburgs. Es handelt sich wie beim Oberboden um einen schwach schluffigen Sand (Su2), der z.T. schwach kiesig ist (G0-1). Der Boden ist gemäß den Glühverlusten als sehr schwach humos zu bezeichnen. Beide Böden erfüllen die LAGA Zuordnungswerte Z0. Trotz der geringen Gehalte an Ton und Schluff (rund 17 bis 20 %) übertreffen beide Böden die Anforderungen an die nutzbare Feldkapazität und die Luftkapazität erheblich. Insbesondere im Unterboden ist die nutzbare

Feldkapazität aufgrund des hohen Feinsandgehalts des Materials erfreulicherweise sehr hoch, so dass der erforderliche Vorrat an pflanzenverfügbarem Bodenwasser im Wurzelraum mit Sicherheit erreicht wird. Im Probefeld wurden die nachfolgend aufgelisteten bodenhydrologischen Kennwerte bestimmt (Tab. 1).

		Oberboden	Unterboden
nutzbare Feldkapazität	Vol.-%	13,7	20,9
Luftkapazität	Vol.-%	24,3	20,3
ungesättigte Wasserdurchlässigkeit (bei Wasserspannung = 10 hPa)	m/s	1,1 bis $4,1 \cdot 10^{-6}$	2,2 bis $10,0 \cdot 10^{-5}$

Tab. 1: Bodenhydrologische Kennwerte der Böden (Mittelwerte)

Da sich der Unterboden nicht bindig verhält, ist er zudem sehr gering anfällig gegen Verdichtung, so dass die geforderten Zielgrößen auch bei Einbau mit Raupen erreicht werden. Der sandige Charakter des Materials hat den weiteren Vorteil, dass nicht mit der Bildung von Schrumpfrissen zu rechnen ist, entlang derer Deponiegas konzentriert entweichen könnte. Auch für den Methanabbau sind in dem gewählten Boden somit günstige Verhältnisse zu erwarten. Lediglich die im oberen Grenzbereich der vorgegebenen Werte liegende hohe Wasserdurchlässigkeit des Materials bergen das Risiko, dass nach sehr ergiebigen Niederschlägen in Phasen mit hoher Bodenfeuchte (z.B. im Frühjahr) eine Tiefenversickerung von Wasser einsetzt, die das Wasser aus dem Hauptwurzelraum abführt und der späteren Aufnahme durch die Vegetation zumindest zum Teil entzieht.

Die Gesamtkosten der Maßnahme betragen rund EUR 400.000,00, netto. Darin enthalten sind ca. EUR 17.000,00 für den Umbau der vorhandenen Betriebseinrichtungen und Leitungen. Die Kosten für die Herstellung der qualifizierten Abdeckung auf der profilierten Hauptfläche (Erdbau einschließlich Qualitätssicherung, ohne Bepflanzung) betragen ca. EUR 250.000,00 (= ca. 26 EUR/m²), netto.

7.4 Qualitätsmanagement und Funktionskontrolle

Die Herstellung der qualifizierten Abdeckung unterliegt einem Qualitätsmanagement durch einen Eigenprüfer im Auftrag der ausführenden Baufirma und durch einen Fremdprüfer im Auftrag des Bauherren. Das Qualitätsmanagement umfasst folgende Arbeitsschritte:

- Eignungsnachweis Lieferböden im Angebot der Bieter vor Auftragsvergabe
- Eignungsprüfung Lieferböden nach Vergabe
- Überprüfung der Bautechnik im Probefeld

- Überwachung der Bodenanlieferung
- Überwachung der Herstellung

Im Mittelpunkt der Prüfungen stehen die Zielparameter nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität. Diese Parameter wurden bereits im Zuge der Eignungsprüfung in Abhängigkeit vom Verdichtungsgrad der Böden ermittelt, um die Verdichtungsempfindlichkeit der Böden bewerten zu können. Zusätzlich wurden ermittelt:

- Zusätzliche qualitätsbestimmende Parameter für die Funktion der Böden (u.a. Humusgehalt, Nährstoffgehalte, Schadstoffgehalte)
- Parameter zur Überwachung der Identität und der Homogenität der Lieferböden (u.a. Korngrößenzusammensetzung, Kalkgehalt)
- Indirekte Parameter, die das Erreichen der zentralen Zielgrößen nFK und LK beim Einbau sichern (z.B. Konsistenz, Wasserbindegrad, Wasserspannung, Verdichtungsgrad)

Der Erfolg der Maßnahme wird mit Hilfe von drei Kleinlysimetern überwacht. In diesen Lysimetern wird die Absickerung aus der Wasserhaushaltsschicht auf einer Fläche von ca. 0,4 m² aufgefangen und gemessen, so dass in der Summe die Jahresrate der Versickerung bilanziert wird. Zusätzlich werden in der Abdeckung Gasboxen installiert, um den Methanabbau zu bestimmen.

8 Überwachung/Nachsorge

Die Funktionskontrolle der qualifizierten Abdeckung soll mithilfe verschiedener Maßnahmen erfolgen. Nach Entwicklungspflege der Vegetation über mindestens 5 Jahre und damit Etablierung eines flächendeckenden Bewuchses werden regelmäßig Begehungen durchgeführt, deren Ergebnisse die Entscheidungsgrundlage für weitere Pflege- und Erhaltungsmaßnahmen sowohl der Rekultivierungsschicht als auch der Vegetation bilden. Zusätzlich zu den bereits in Kap. 7.4 beschriebenen Gasboxen und Kleinlysimetern werden regelmäßige Gasmessungen in Bodenluftmessstellen zur Überwachung des Gashaushaltes und Wasserstandsmessungen in Stauwasser-messstellen zur Überwachung des Stauwasserhaushaltes stattfinden. Die Stauwasserentnahmeraten werden im Rahmen der Funktionskontrolle der Stauwasserbehandlung erfasst. Dazu gehört auch die ständige Kontrolle der Reinigungsleistung.

Im Rahmen der Überwachung der Grundwassersanierung werden permanent die Förder- und Infiltrationsraten erfasst und die Reinigungsleistung kontrolliert. Regelmäßig erfolgen Wasserstandsmessungen sowie die Beprobung und Analytik des Grundwassers sowohl im Bereich der Kontamination als auch des An- und Abstroms. Zusätzlich zu den Schadstoffen werden auch die wichtigsten Milieuparameter sowie Elektronendonatoren und –akzeptoren bestimmt. Damit kann eine Bilanzierung, zumindest jedoch eine halbquantitative Abschätzung der Stoffumsätze im deponiebeein-

flussten Untergrund sowie im Abstrom erfolgen. Durch eine entsprechende Messdichte und –frequenz soll nicht nur der Sanierungserfolg dokumentiert sondern auch eine unerkannte Schadensausbreitung im Untergrund verhindert werden.

9 Fazit und Ausblick

Auf der Grundlage umfangreicher Studien zum Aufbau der ehemaligen Deponie einschließlich ihrer hydrologischen und geologischen Standortbedingungen, zum Deponieverhalten und zu möglichen Sanierungsvarianten wurde durch die Kombination einer Grundwassersanierung mit einer qualifizierten Abdeckung sowie Stauwasserentnahme eine an die Standortverhältnisse und die Gefährdungssituation angepasste Variante gewählt. Die bisherigen Erfahrungen bei der Realisierung der Abdeckung zeigen, dass geeignete Böden für die qualifizierte Rekultivierungsschicht in ausreichender Masse regional verfügbar und mit konventionellen Methoden qualitätsgerecht einbaubar sind. Befürchtungen, dass der geforderte bodenschonende Einbau in der Praxis nicht ausführbar sein könnte, haben sich nicht bestätigt. Die Wirksamkeit der neuen Abdeckung wird im Rahmen der Nachsorge durch Einrichtungen zur Funktionskontrolle (Lysimeter) sowie regelmäßige Messungen zur Überwachung des Gas- und Stauwasserhaushaltes überprüft werden. Zusätzlich erfolgt die Überwachung des Grundwasserpfad. Es wird erwartet, dass es einige Jahre dauern wird, bis der Bewuchs seine erhöhte Verdunstungsleistung erbringen wird.

10 Literatur

- [1] BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: TA Abfall, 1991; TA Siedlungsabfall, 1993 und Deponieverordnung, 2002; www.bmu.de, Downloads, Abfallwirtschaft
- [2] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik: GDA-Empfehlung E2-31-Rekultivierungsschichten, 22 S. und E2-32 Gestaltung des Bewuchses auf Abfalldeponien, 7 S.; Entwürfe vom September 2000
- [3] Berger, K. & Sokollek, V.: Sind qualifizierte Abdeckungen von Altdeponien unter den gegebenen klimatischen Voraussetzungen der BRD sinnvoll bzw. möglich? in: Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten. Planung – Bau – Kosten, Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 103, E. Schmidt Verlag, Berlin, 1997
- [4] Melchior, S.: Materialwahl, Schichtaufbau und Dimensionierung der Rekultivierungsschicht. In: Ramke, H.-G. et al.: Wasserhaushalt der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien und Altlasten. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten 47, S. 191-216, 2000
- [5] CAH Consulaqua Beratungsgesellschaft mbH, Hamburg: Deponie Eckerkoppel; Sanierungskonzept – Grundwasser. 18 S. und Anlagen, 1999
- [6] iwB Ingenieurgesellschaft mbH, Braunschweig/Hamburg: Vorplanung zur Sanierung der Deponie Eckerkoppel. 143 S. und Anlagen, 1996

- [7] Dr. Reinhard Wienberg, Umwelttechnisches Büro und Labor, Hamburg: Ehemalige Deponie Eckerkoppel. In situ Stabilisierung und Maßnahmen nach dem Prinzip der „Monitored Natural Attenuation“. Altlasten-Geochemische Bewertung und Konzeptentwicklung. 88 S. und Anlagen, 1999
- [8] Technische Universität Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Abfallwirtschaft, Prof. Dr.-Ing. R. Stegmann: Untersuchungen zur Sanierbarkeit der Deponie Eckerkoppel in Hamburg mittels aerober in situ Stabilisierung. Abschlußbericht. 78 S. und Anlagen, 2000
- [9] Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. Dr.-Ing. R. Stegmann und Partner: Stellungnahme zur Möglichkeit der beschleunigten aeroben in situ Sanierung der Deponie Eckerkoppel. 2 S., 2000
- [10] Dr. Reinhard Wienberg, Umwelttechnisches Büro und Labor, Hamburg: Sanierungskonzept Deponie Eckerkoppel. 10 S., 2000
- [11] melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft, Hamburg: Ehemalige Deponie Eckerkoppel. Teilmaßnahme Qualifizierte Abdeckung (Grünabdeckung), Erläuterungsbericht zur Vor- und Entwurfsplanung. 53 S. und Anlagen, 2002