

STADT KAISERSLAUTERN

**Untersuchungen
im Bereich der
Deponie Siegelbach**

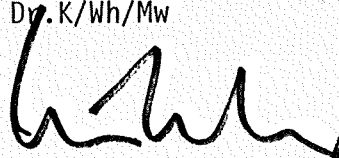
**Abschlußbericht
zu Phase II**

BAUHERR: Stadt Kaiserslautern

PROJEKT: Untersuchungen im Bereich der Deponie Siegelbach
Abschlußbericht zu Phase II

BEILAGE: ERLÄUTERUNGSBERICHT

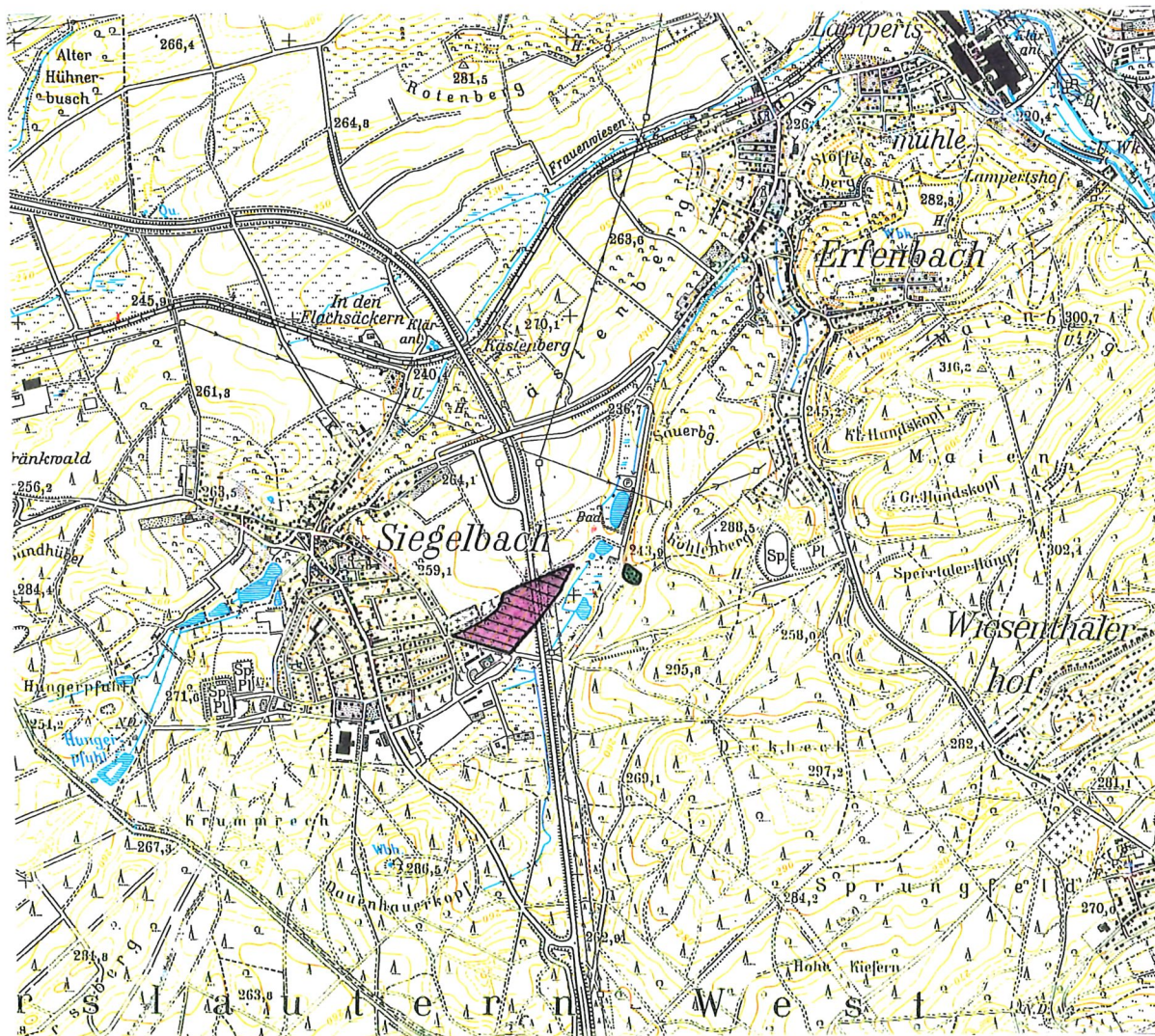
Kaiserslautern, im Dezember 1991
Dr. K/Wh/Mw



i. A. Dr. Kiefhaber

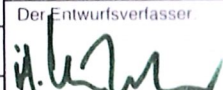
BAUHERR

ENTWURFSVERFASSER



-  Deponie Siegelbach
-  Umlagerungsdeponie

AUSSCHNITT AUS DER TOP.-KARTE NR. 6512

Bauherr	STADT KAISERSLAUTERN	Maßstab: 1:25 000		Der Bauherr
		Proj.-Nr. 133/90		
Projekt	UNTERSUCHUNGEN DEPONIE SIEGELBACH ABSCHLUSSBERICHT PHASE II	Beilage:	Blatt-Nr.	Der Entwurfsverfasser 
		bearbeitet		
Teil	ÜBERSICHTSLAGEPLAN	gezeichnet		

Ingenieurbüro Asal
Beratende Ingenieure VBI · Kaiserslautern · Tel. 0631/64097

INGENIEURBÜRO
ASAL
+ PARTNER

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung
2. Untersuchungsumfang
3. Allgemeine Gegebenheiten
 - 3.1 Lage
 - 3.2 Nutzung
 - 3.3 Regionale Geologie
 - 3.4 Regionale Hydrogeologie
 - 3.5 Hydrologie
4. Historische Informationen
 - 4.1 Umfang und Volumen der Ablagerungen
 - 4.2 Bekannter und möglicher Inhalt der Ablagerungen
5. Beschreibung der durchgeführten Untersuchungen
 - 5.1 Geländearbeiten
 - 5.1.1 Bohrungen und Grundwassermeßstellen
 - 5.1.1.2 Sickerwasserschürfe
 - 5.1.1.3 Deponiegasmessungen
 - 5.1.1.4 Setzungsmessungen
 - 5.1.1.5 Probenahme Wasserproben
 - 5.1.1.5.1 Vorgehensweise bei der Probenahme aus den Grundwassermeßstellen
 - 5.1.1.5.2 Vorgehensweise bei der Probenahme aus den Sickerwasserschürfen
 - 5.1.1.5.3 Vorgehensweise bei der Probenahme aus dem Oberflächenwasser
 - 5.1.1.6 Hydrogeologische Messungen
 - 5.1.1.6.1 Bohrlochvermessung
 - 5.1.1.6.2 WD-Tests
 - 5.2 Laborarbeiten

6. Darstellung der Untersuchungsergebnisse
 - 6.1 Geologische Verhältnisse des Untersuchungsfeldes
 - 6.1.1 Schichtglieder
 - 6.1.2 Beschreibung der angetroffenen geologischen Verhältnisse im Untersuchungsfeld
 - 6.2. Hydrogeologische Verhältnisse
 - 6.2.1 Allgemeines zur Hydrogeologie des Untersuchungsfeldes
 - 6.2.2 Ergebnisse der Grundwasserstandsmessungen
 - 6.2.3 Ergebnisse der WD-Tests
 - 6.2.4 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen zur Hydrogeologie
 - 6.3 Hydrochemische Verhältnisse
 - 6.3.1 Allgemeines zur Hydrochemie
 - 6.3.2 Ergebnisse der Leitfähigkeitsmessungen
 - 6.3.3 Ergebnisse der Bohrlochvermessungen
 - 6.3.4 Ergebnisse der Grundwasserproben
 - 6.3.5 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen zur Hydrochemie
 - 6.3.6 Ergebnisse der Wasserproben aus den Oberflächengewässern
 - 6.4 Deponiegas
7. Zusammenfassung der Ergebnisse
8. Vorschläge für die weitere Vorgehensweise
9. Erste Vorschläge für mögliche Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen

Vorbemerkung

Aufgrund der vorliegenden Informationen und Meßergebnisse konnte für die ehemalige Deponie Siegelbach eine Erfassungsbewertung nach § 26 Abs. 2 LAbfWAG durchgeführt werden, deren Ergebnisse eine eingehende Untersuchung sowie die Durchführung des Gefahrerforschungseingriffs (§ 26 Abs. 3 LAbfWAG) erforderlich machte.

Da in vorliegendem Fall ein breit gefächertes Untersuchungsprogramm erforderlich war, wurden die Maßnahmen aus diesem Grund in zwei Phasen aufgeteilt, die nacheinander abgearbeitet wurden. Hierbei baut logischerweise die zweite Phase auf den Ergebnissen und Erkenntnissen der vorherigen Phase auf.

Aus den Ergebnissen der 1. Untersuchungsphase (im weiteren als Voruntersuchung bzw. Orientierungsphase bezeichnet) ergab sich ein weiterer Handlungsbedarf (die Ergebnisse dieser Phase sind im Untersuchungsbericht vom Mai 1990 eingearbeitet).

Unter Einbeziehung der zuständigen Fachbehörden wurde die 2. Untersuchungsphase geplant und durchgeführt. Im weiteren wird diese 2. Phase als Hauptuntersuchung bzw. Detailuntersuchung bezeichnet. Ziel dieser Phase ist es, das in Phase 1 in seinem qualitativen Umfang festgestellte Gefährdungspotential der Deponie und der Umlagerungsdeponie genauer räumlich einzugrenzen. Zusätzlich werden, soweit möglich, die im Abschlußbericht von Phase 1 aufgezeigten Informationslücken geschlossen.

Im einzelnen beinhaltete das Untersuchungsprogramm Bohrungen, Gasmessungen sowie Grundwassermessungen und Analytik.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden in diesem Bericht wesentliche Informationen, soweit sie für das Verständnis der Gegebenheiten nötig sind, aus dem Bericht zu Phase 1 übernommen und falls nötig ergänzt.

1. Einleitung

Im Bereich der beiden Stadtteile Siegelbach und Erfenbach in der Nähe des Schwimmbades Pfaffenwoog finden sich mehrere Deponiekörper. Aufgrund der vorliegenden Informationen kann als gesichert angenommen werden, daß bei mindestens zwei Ablagerungen ein negativer Einfluß auf die Umwelt vorhanden ist. Allgemein muß mit Immissionen durch Sickerwässer sowie Deponiegas gerechnet werden.

Wegen der potentiellen Gefährdung des Schwimmbadbetriebes durch Schadstoffmigrationen bzw. Schadstoffaustritte wurde das Schwimmbad Pfaffenwoog 1990 sicherheitshalber geschlossen. Gleiches trifft auch auf Teile der Friedhofserweiterung Siegelbach zu, wo Deponiegasaustritte festgestellt wurden. Zusätzlich wurde das direkt zugängliche Gelände der Deponie Siegelbach gegen unbefugtes Betreten gesichert.

2. Untersuchungsumfang

Für die 2. Untersuchungsphase (Hauptuntersuchung) wurde folgendes Untersuchungsprogramm festgelegt:

- *Niederbringung von 10 Aufschlußbohrungen und Einbau von 10 Doppelmeßstellen.* (Da wegen der größeren Bohrtiefen der geplante Umfang des Bohrprogrammes überschritten wurde, wurde unter Inkaufnahme eines geringen Informationsverlustes eine Bohrung (Br10) vorerst nicht ausgeführt. Bei zwei Meßstellen reichten die vorhandenen Endteufen nicht aus, um eine Doppelmeßstelle einzurichten.)
- *Einbau von 9 Gasmeßpegeln* (7 Deponie Siegelbach, 2 Umlagerungsdeponie), an denen periodisch Deponiegas für Meßzwecke entnommen werden kann.
- *Einbau von 6 Setzungspegeln* (4 Deponie Siegelbach, 2 Umlagerungsdeponie). Geplant war ursprünglich eine größere Anzahl von Setzungspegeln, da aber die Gasmeßpegel konstruktiv nur geringe Abweichungen vom Aufbau der Setzungspegel aufweisen, konnte ein Teil der geplanten Setzungspegel entfallen. Statt dessen werden die Gaspegel zusätzlich als Setzungspegel genutzt.

- *Meßprogramm zur Überwachung der Gaspegel.*

Dieses Meßprogramm wurde in der Zwischenzeit begonnen. Da aber eine Auswertung der Messungen erst sinnvoll erscheint, wenn eine größere Anzahl von Messungen über die Zeit vorliegen, sind die bisher durchgeführten Messungen nur zu Dokumentationszwecken beigelegt. Eine eingehende Beurteilung kann frühestens etwa in einem Jahr durchgeführt werden.

- *Meßprogramm zur Überwachung der Setzungspegel (Dokumentation noch anhalten-der Setzungserscheinungen an den Deponien).*

In diesem Fall gelten die Ausführungen wie sie oben für das Meßprogramm Gaspegel gemacht wurden. Eine sinnvolle Auswertung der Ergebnisse kann erst bei einer entsprechenden Anzahl von Messungen, also frühestens in ein bis zwei Jahren vorgenommen werden. Die zum jetzigen Zeitpunkt vorliegenden Informationen sind deshalb nur zu Dokumentationszwecken beigelegt.

- *Durchführung von 4 Baggerschürfen (3 Deponie Siegelbach, 1 Umlagerungsdeponie) im jeweiligen Deponiefußbereich um die Entnahme von Sickerwässern zu ermöglichen. Hierzu wurden die Baggerschürfe mittels PEHD-Rohren zu Grundwasserentnahmestellen ausgebaut.*

- *Entnahme von Grundwasserproben und Analyse der Proben*

Hierzu sollen die Sickerwasserschürfe zweimal beprobt und auf eine größere Zahl von Parametern analysiert werden. Die neu eingerichteten Doppelmeßstellen wurden beprobt und auf eine begrenzte Anzahl von Leitparametern analysiert. Zusätzlich wurden aus den Oberflächengewässern Wasserproben entnommen und auf ihre Wasserqualität nach der gleichen Parameterliste wie die Proben der Doppelmeßstellen analysiert.

- *Überwachungsmeßprogramm der bestehenden und neuen Grundwassermeßstellen auf Leitfähigkeit und Grundwasserstände.*

Die bis zum jetzigen Zeitpunkt vorhandenen Messungen werden im entsprechenden Abschnitt dargestellt und interpretiert.

Die Meßprogramme "Deponiegas", "Leitfähigkeit" und "Grundwasserstand" werden als Langzeituntersuchungen durchgeführt, um das zeitliche Verhalten der Deponie bezüglich Sickerwasser und Deponiegas dokumentieren zu können.

Die neu eingerichteten Grundwassermeßstellen dienen zusätzlich dazu, die vertikale und horizontale Ausdehnung der Kontamination einzugrenzen. Hierzu wurden neben Leitfähigkeitsmessungen auch Grundwasserproben entnommen und analysiert.

Als Abschluß dieses Berichtes erfolgen eine Bewertung sowie Vorschläge für die weitere Vorgehensweise (Sanierungsuntersuchung bzw. erste Sanierungsvorschläge/-empfehlungen).

3. Allgemeine Gegebenheiten

3.1 Lage

Das Untersuchungsfeld liegt im nordwestlichen Bereich des Stadtgebietes von Kaiserslautern (siehe Übersichtslageplan). Es umfaßt ein Gebiet zwischen den Stadtteilen Siegelbach und Erfenbach. Der Hauptteil des Untersuchungsfeldes wird von dem Süd-Südwest - Nord-Nordost verlaufenden Tal des Siegelbachs eingenommen. Das Gelände beginnt am Nordrand des Gewerbegebietes Siegelbach, verläuft entlang des Tales und endet unterhalb des Freibades Pfaffenwoog im Bereich der beginnenden Bebauung von Erfenbach.

3.2 Nutzung

Die östliche Begrenzung des Untersuchungsfeldes wird durch die steil ansteigenden Hänge des Sauer- und Kohlen-Berges eingenommen. Die Bereiche sind durchgehend mit Kiefern bestanden. Im südwestlichen Teil des Untersuchungsfeldes grenzen die Bebauung von Siegelbach sowie das Siegelbacher Gewerbegebiet an, im westlichen bis nordwestlichen Teil ist das Gebiet weitestgehend landwirtschaftlich genutzt.

Der gesamte im Untersuchungsfeld liegende Talauenbereich ist z. Zt. nicht mehr landwirtschaftlich genutzt. Der südliche Talauenbereich ist weitgehend mit feuchten Hochstaudenfluren bewachsen, der mittlere Teil mit einem kleinen Auenwald bestanden. Der gesamte nördliche Auenbereich wird durch das Schwimmbad und die im Tal folgenden Ablagerungen eingenommen.

Im Untersuchungsgebiet wurden bis zum heutigen Zeitpunkt mehrere Altablagerungen festgestellt:

1. Alte Hausmülldeponie von Siegelbach, unterhalb Friedhof Siegelbach (im weiteren als "Deponie Siegelbach" bezeichnet).
2. Bauschuttdeponie an der westlichen Talseite des Erfenbaches mit dem Gelände des Hundesportplatzes (im weiteren als "Bauschuttdeponie" bezeichnet).
3. Deponie der beim Bau der sog. Ersatzstraße L 367 abgetragenen Massen am Nordrand der Bauschuttdeponie (im weiteren als "Umlagerungsdeponie" bezeichnet).
4. Bauschutt- und Erdaushubablagerung nördlich des Schwimmbades Pfaffenwoog (Parkplatz und Grillplatz am Schwimmbad) (im weiteren als "Ablagerung Grillplatz" bezeichnet).
5. Hausmüll- und Bauschutt-/Erdaushubablagerung an der nördlichen Grenze des Untersuchungsfeldes am Ortseingang von Erfenbach (im weiteren als "Ablagerung Ortseingang" bezeichnet).
6. Bauschutt- und Erdaushubablagerung zwischen Ablagerung Grillplatz und Ablagerung Ortseingang (im weiteren als "Ablagerung an der alten L 389" bezeichnet).

Die genaue lagemäßige Einordnung der oben aufgeführten Ablagerungen ist im Lageplan, Planbeilage 1, dargestellt.

Die Deponie Siegelbach und die Umlagerungsdeponie sind weitgehend rekultiviert und mit Bäumen bepflanzt. Gleiches gilt auch für die südlichen Teile der Bauschuttdeponie. Die Ablagerungen Grillplatz, Ortseingang und Ablagerung an der alten L 389 sind nicht rekultiviert, teilweise sind sie bebaut bzw. als Parkplatz genutzt.

Auf der Bauschuttdeponie wurde ein Hundeübungsplatz mit Vereinsheim errichtet. Zusätzlich werden kleinere Flächen am Westrand dieser Ablagerung privat als Wochenendgrundstücke genutzt. Das gesamte Gelände dient sowohl Siegelbacher als auch Erfenbacher Bürgern als Naherholungsgebiet. Auf der Ablagerung nördlich des Parkplatzes Schwimmbad befindet sich ein Grillplatz mit Grillhütte.

Erschlossen wird das Gebiet durch die in Nord-Süd-Richtung verlaufende L 367 sowie die im Norden verlaufende L 389 als Verbindungsstraße zwischen Siegelbach und Erfenbach. Das Schwimmbad Pfaffenwoog ist über eine Straße mit der L 389 verbunden. Diese Straße setzt sich nach Süden fort und mündet bei Siegelbach in die Sandstraße ein.

3.3 Regionale Geologie

Der Bereich um Siegelbach und Erfenbach liegt im Übergangsbereich zwischen den Standenbühler Schichten des Rotliegenden (Perm) und den Staufer Schichten des Buntsandsteines (Trias). Hier enden die Sandsteine der Staufer Schichten entlang einer Nordost-Südwest orientierten Ausbisslinie (Siegelbach - Käsberg - Erfenbach).

Das Rotliegende wird diskordant vom Buntsandstein überlagert. Hierbei handelt es sich um eine tektonisch und erosiv bedingte Winkeldiskordanz. Dies bedeutet, der Verlauf der Kontaktfläche Buntsandstein-Rotliegendes läßt sich nur durch Bohrungen und andere Aufschlußverfahren bestimmen. Als genereller Trend kann jedoch ein Einfallen der Diskordanzfläche mit nur wenigen Graden in Richtung Süden - Südosten angenommen werden.

Im Untersuchungsgebiet können somit folgende Hauptgesteinseinheiten ausgehalten werden:

- Rotliegendes:

Die Standenbühler Schichten werden durch eine Wechselfolge aus Ton- und Schluffsteinen mit intensiver roter Farbe gebildet. Nur vereinzelt finden sich Feinsandsteinbänke. Das Material neigt an der Oberfläche zu einer raschen Verwitterung unter Bildung von grusigen Lehmen. Vereinzelt kleine Sedimentpartien sind karbonatisch gebunden (blaßrote und grau-grüngraue Lagen). Die Schichten fallen mit ca. 10° bis 12° nach Süden ein.

- *Buntsandstein:*

Die Staufer Schichten des Buntsandsteines bestehen aus Wechsellagen von mittelgrobkörnigen roten Sandsteinen - geröllführenden Sandsteinen. Die Sandsteine sind überwiegend locker gebunden und enthalten einen gewissen Ton-/Schluffanteil, der in den verwitterten Partien ein schwach bindiges Verhalten hervorruft. So wurden diese verwitterten Sandsteine häufig als Formsande abgebaut und genutzt. Häufig kommt es zur lagenweisen Anreicherung von Eisenoxidkonkretionen in Schwarten und Knollen.

In Hangbereichen kommt es zur Ausbildung von tonigen Sanden mit unterschiedlichen Stein- und Kiesgehalten. Sie werden als Hanglehme bezeichnet und erreichen im Bereich von Erfenbach eine Mächtigkeit von ca. 3 m. In früheren Zeiten wurden diese Lehme zur Ziegelherstellung abgebaut.

- *Quartäre Talfüllungen:*

Die Talfüllungen bestehen aus holozänen Sedimenten, die je nach den spezifischen im Einzugsgebiet vorhandenen Gesteinen gewissen Schwankungen unterworfen sind. Es handelt sich meist um stark gebleichte Sande bis tonige Sande ("Silbersand") mit Einschaltungen aus Schluff- und Torflinsen. Die Mächtigkeit beträgt weitgehend nur einige wenige Meter. Bei entsprechend fehlendem Feinkornanteil neigen die Sande bei Erschütterungen zum Ausfließen. Es handelt sich dabei also um gänzlich wassergesättigte Sande mit lockerer Lagerung die als "Fließsande" bezeichnet werden können. Als abschließende Bedeckung findet sich meist eine unterschiedlich mächtige Lage aus schluffigen Deckschichten.

3.4 Regionale Hydrogeologie

Entsprechend den verschiedenen Hauptgesteinseinheiten lassen sich unterschiedlich hydraulisch leitfähige Gesteinseinheiten unterscheiden.

Das Oberrotliegende ist wegen seiner überwiegend schluffig-tonigen Ausbildung als Grundwasserstauer zu bezeichnen. Die vereinzelt eingelagerten dünnplattigen Sandsteinen ergeben nur sehr unbedeutende Grundwasserleiter.

Die weitgehend schwach schluffig-tonigen Sandsteine der Staufer Schichten beinhalten Einschaltungen aus Felsbänken mit deutlicher Klüftung. Diese Einschaltungen können als relativ gute Grundwasserleiter bezeichnet werden. Bedingt durch den Ton-Schluffgehalt stellen die Schichten hydrologisch gesehen einen Grundwasserleiter geringer Bedeutung dar. Dies bedeutet nicht, daß die Sandsteine grundwasserfrei sind, sie eignen sich lediglich nicht als ergiebige Trinkwasservorkommen.

Die in den Talauenbereichen anstehenden sandigen Sedimente stellen im allgemeinen aufgrund der guten Durchlässigkeit einen ergiebigen Grundwasserleiter dar, der aber aufgrund der geringen Mächtigkeiten der Sedimente keine große Speicherkapazität besitzt.

3.5 Hydrologie

Das gesamte Gelände entwässert oberflächlich in Richtung der Talachse. An offenen Gewässern findet sich der Erfenbach, der aus Richtung Siegelbach kommend in einem flachen Graben in der Talaue verläuft und oberhalb des Schwimmbades in einen Weiher mündet. Von dort gelangt das Wasser über eine Fassung in die Regenwasser-Kanalisation und wird über Kanäle und offene Gräben zur Lauter hin abgeleitet. Westlich des Schwimmbades mündet ein kleines Tal, aus dem ein Rinnsal in einen offenen Graben unterhalb des Schwimmbades mündet, der in Richtung Erfenbach entwässert. An offenen Wasserflächen finden sich das Schwimmbad Pfaffenwoog, der Weiher oberhalb des Schwimmbades (Rohr'scher Weiher) mit zwei kleinen, stark verlandeten Fischweihern sowie ein weiterer Fischweiher unterhalb des Hundesportplatzes.

Die im Schwimmbad anfallenden Wässer werden über die Kanalisation abgeleitet.

4. Historische Informationen

Am südöstlichen Ortsrand von Siegelbach entstand durch Baustoffgewinnung eine Sandgrube, die nach Einstellung des Abbaus um 1960 aufgelassen wurde. Seit den frühen 60er Jahren wurde diese Grube als unkontrollierter Müllablageplatz der umgebenden Gemeinden genutzt. Um die ungeordnete Müllablagerung zu beenden, wurde die Grube schließlich 1963 offiziell als gemeindlicher Müllablageplatz

ausgewiesen. 1964 wurde die Müllentsorgung an einen privaten Unternehmer vergeben. Zu Beginn wurde nur der anfallende Hausmüll aus Siegelbach abgelagert. Später folgten dann die Abfälle aus dem heutigen Stadtteil Erfenbach sowie weiterer Gemeinden in der Umgebung Kaiserslauterns (z. B. Hochspeyer, Frankenstein etc.).

Zusätzlich zum kommunalen Hausmüll wurden Abfälle aus gewerblichen und industriellen Betrieben aus einem deutlich weiteren Umkreis (laut mündlichen Auskünften auch aus der Südpfalz und Vorderpfalz) angeliefert. Als weitere Lieferanten sind die US-Streitkräfte zu nennen, die seit Ende der 60er Jahre den Müll verschiedener US-Einrichtungen (Flugplatz Sembach, Flugplatz Ramstein, Generaldepot, Medical Depot etc.) auf die Deponie entsorgten.

Während der Betriebszeit kam es auf dem Gelände immer wieder zu kleineren und größeren Bränden, was auf eine unsachgemäße Lagerung bzw. Einbau oder bewußtes Anzünden zurückzuführen ist. Hierdurch ist mit chemischen Umsetzungen von Stoffen, verbunden mit der Möglichkeit der Erhöhung des Gefährdungspotentials (Entstehung toxischer Reaktionsprodukte) zu rechnen. Die Deponie wurde weitgehend ohne Berücksichtigung der gesetzlichen Bestimmungen und behördlichen Auflagen betrieben. So fehlt eine zum Grundwasser hin dichtende Abdeckung der Grubensohle sowie eine ausreichende künstliche Drainage der anfallenden Sickerwässer. Nach vorliegenden Informationen sammelte sich das Oberflächenwasser und Sickerwasser aus der Deponie in großen Mengen an den tiefsten Stellen der Grube und bildete im östlichen und nordöstlichen Geländeteil regelrechte Teiche mit hochbelasteten Wässern. Nur ein Teil des anfallenden Sickerwassers wurde mit Hilfe einer zeitweilig installierten Drainage über die Kanalisation abgeführt. Der verbleibende Rest konnte im angrenzenden Auenbereich ungehindert versickern bzw. wurde über die Oberflächengewässer abgeführt.

Auf der südlich anschließenden Bauschuttdeponie wurden während der Ablagerung zu verschiedenen Zeitpunkten im geringen Maße unkontrollierte Ablagerungen von Haus- und Sperrmüll vorgenommen. Auch wurden mündlichen Informationen zufolge auf dem Gelände Starterbatterien zur Gewinnung des darin enthaltenen Bleis zertrümmert, wobei die vorhandene Batteriesäure in das Erdreich eindrang.

Zum jetzigen Zeitpunkt ist auch die Bauschuttdeponie verfüllt und teilweise rekultiviert. Wie aus Sondierungen zu erkennen ist, zeigt die Oberfläche der Bauschuttdeponie keine adäquate Abdeckung. Im oberen Bereich der Deponie muß die vorgenommene Rekultivierung als sehr mangelhaft angesehen werden.

Im nördlich an das Schwimmbad Pfaffenwoog anschließenden Gelände finden sich weitere Ablagerungen von Bauschutt, Erdaushub und möglicherweise Hausmüll. So ist der gesamte Auenbereich des Tals, beginnend vom Schwimmbad bis zur Bebauung von Erfenbach, mit einer Mächtigkeit von ca. 2 m - 3 m aufgefüllt. Über den zeitlichen Verlauf sowie die Zusammensetzung dieser Ablagerungen, insbesondere inwieweit Hausmüll abgelagert wurde, konnten bislang noch keine weiteren Informationen gewonnen werden.

Aus der Betriebszeit ist dokumentiert, daß die Sickerwässer aus der Deponie in Richtung Rohr'scher Weiher ablaufen konnten und dort zu Fischsterben führten. Da die behördlichen Auflagen während der Betriebszeit vom Betreiber fortwährend in eklatanter Weise mißachtet wurden, wurde die Deponie im März 1973 durch die Stadtverwaltung Kaiserslautern als Untere Wasserbehörde geschlossen. Das bis zu diesem Zeitpunkt verfüllte Gelände wurde mit Erdaushub abgedeckt. Über die Mächtigkeit der Abdeckung liegen keine Informationen vor.

Im weiteren zeitlichen Verlauf wurde im Jahr 1974/75 die Planung der Ersatzstraße L 367 in Angriff genommen. Die Trasse der Straße durchquerte zwischen Bau-km 17,700 und 17,860 den östlichen Teil des Deponiegeländes. Zur Durchführung dieser Baumaßnahme wurde 1975 durch die Deponie ein Einschnitt angelegt. Bei den Baggerarbeiten wurde der Müll bis 2 m unter heutiges Straßenniveau ausgebaggert. Hierbei wurde die Deponiesohle nicht erreicht. Demnach besteht also noch heute eine durchgehende Verbindung zwischen den beiden Deponieteilen. Teile des bei weiteren Baumaßnahmen der L 367 anfallenden Erdaushubs wurden als zusätzliche Abdeckung auf der Deponie aufgebracht. Sehr wahrscheinlich handelte es sich hierbei um stark bindige Erdstoffe aus den Rotliegendebereichen. Aus dieser Abdeckung mit bindigem Material erklärt sich die teilweise gasdichte Abdeckung der Deponie.

Der bei den Baggerarbeiten anfallende Müll wurde mittels Lastwagen auf den nördlichen Teil der auf der östlichen Talseite des Erfenbachtals liegenden Bauschuttdeponie verbracht und dort eingebaut. Bei diesem Gelände handelt es sich ebenfalls um eine ehemalige Sandgrube, deren Sohle durch vorherige Pla-

nierung mit einem leichten Gefälle zum Hang hin versehen wurde. Der angelieferte Müll wurde direkt, ohne Abdichtung der Deponiesohle, aufgebracht. Über die Verteilung sowie Müllmächtigkeit und Abdeckung liegen keine genauen Informationen vor.

4.1 Umfang und Volumen der Ablagerungen

Der z. Zt. bekannte Umfang der verschiedenen Ablagerungen im Bereich des Untersuchungsfeldes kann dem in den Planbeilagen enthaltenen Übersichtslageplan (Planbeilage 1) entnommen werden. Der Umfang der für die Untersuchungen relevanten Ablagerungen "Deponie Siegelbach" und "Umlagerungsdeponie" konnte weitgehend aus Luftbildern und alten Plänen rekonstruiert werden. So existiert für die Deponie Siegelbach ein Höhenplan der alten Sandgrube um 1972, der auf den Lageplan übertragen wurde. Aus diesem Lageplan und der Vermessung der heutigen Geländeoberfläche wurde mittels eines digitalen Geländemodells das Verfüllvolumen berechnet.

Das Gesamtvolumen beträgt demnach ca. 270.000 m³, wobei dieses Volumen auch den Straßeneinschnitt der L 367 berücksichtigt und incl. der Abdeckung zu verstehen ist. Bei einer Fläche der Deponie von ca. 57.000 m² und einer geschätzten mittleren Mächtigkeit der Abdeckung von 2 m ergibt sich ein Volumen der Abdeckung von 115.000 m³. Das Volumen des abgelagerten Mülls beläuft sich demnach ohne Abdeckung auf rd. 155.000 m³.

Bezüglich des Volumens der Umlagerungsdeponie lagen keine alten Pläne vor. Hier wurde der Umfang aus der Morphologie, den vorhandenen Luftbildern und dem ungefähr umgelagerten Volumen rekonstruiert. Nach den Abrechnungsunterlagen der Straßenbauverwaltung wurden bei der Baumaßnahme ca. 20.000 m³ umgelagert. Dieses Volumen stimmt recht gut mit dem berechneten Volumen aus der Abgrenzung nach Morphologie und Luftbildern überein.

4.2 Bekannter und möglicher Inhalt der Ablagerungen

Über die genaue Zusammensetzung der auf der Deponie Siegelbach abgelagerten Stoffe, d. h. chemische Beschaffenheit, Mengen und genauer Ablagerungsort, sind nur wenige Informationen verfügbar. Eine bei heutigen Deponien übliche Buchführung über Art und Menge sowie Herkunft der abgelagerten Stoffe bestand für den gesamten Zeitraum der Müllablagerung nicht.

Generell können nach dem Aktenstudium aber folgende Stoffgruppen innerhalb der Deponie als gesichert angenommen werden:

A) Kommunalen Müll

- Hausmüll
- Sperrmüll
- Klärschlämme

B) Gewerbe- und Industriemüll

- Bauschutt
- Erdaushub
- Reste metallverarbeitender Betriebe
- Schrott, Autos, Reifen, Reste der Fahrzeugherstellung etc.
- Gießereisande, Schlacken
- Kunststoffe, Chemikalienfässer, Haushaltsschrott
- Reste aus der Schuhproduktion

Zusätzlich wurden auch regelmäßig über einen langen Zeitraum Abfälle aus dem Bereich der US-Liegenschaften abgelagert. Im einzelnen handelt es sich um die folgenden Abfallgruppen:

C) Aus US-Liegenschaften angelieferter Müll

- Hausmüll
- Sperrmüll
- Schrott
- verschiedene Stoffe die beim US-Militär benutzt und gelagert werden, teilweise mit Sondermüllcharakter

Letzteres umfaßt hierbei nicht nur Reststoffe verschiedener Stoffgruppen bzw. Substanzklassen (z. B. Lacke, Farben, Öle, Entfetter etc.) die auf den Liegenschaften angewendet und verbraucht wurden, sondern zusätzlich auch Stoffe, die aus den Lagerbeständen entsorgt wurden. Diese überlagerten und zur Vernichtung bestimmten Stoffe reichen von Lebensmitteln über Chemikalien bis hin zu Medikamenten und Pestiziden. Die angelieferten Mengen dürften sich nach den vorhandenen Unterlagen im Tonnenbereich bewegt haben.

Bezüglich dieser aus den US-Liegenschaften angelieferten Abfälle liegen nur einige Quellen vor. So konnte in den noch bei der Stadtverwaltung vorhandenen Restbeständen an Akten ein Schriftverkehr aus dem Jahre 1972 aufgefunden werden, in dem der damalige Betreiber der Deponie, die Firma Friedrich Becker, Hochspeyer, bei der Stadtverwaltung Kaiserslautern um die Genehmigung zur Ablagerung verschiedener Stoffe aus US-Armeebeständen nachfragt. Dem Schriftverkehr sind zwei Stofflisten beigelegt, in denen die abzulagernden Stoffe weitgehend nach Verbindungen aufgeschlüsselt wurden. Beide Listen sind zur Dokumentation dem Gutachten als Anlage H und I beigelegt. Aufgrund der Zusammensetzung der Stoffe wurde die Ablagerung auf der Deponie von seiten der Stadtverwaltung nicht genehmigt.

Jedoch kann angenommen werden, daß die Stoffe bzw. Teile davon trotzdem unerlaubter Weise auf die Deponie verbracht wurden, da ebenfalls aus den Akten aus dieser Zeit die Ablagerung von Medikamenten dokumentiert wurde. Vermutlich handelt es sich bei diesen "Medikamenten" zumindest um Teile der beigelegten Stofflisten. Diese Stoffe wurden damals direkt am Deponiefuß schon innerhalb der Aue abgelagert und teilweise verbrannt. Dieser Vorfall wurde damals auch fotografisch festgehalten. Die Aufnahmen sind zur weiteren Dokumentation beigelegt (Anlage K).

Auffallend bei der Problematik der Ablagerung zur Vernichtung bestimmter Stoffe aus den US-Beständen ist, daß erst 1972 (1 Jahr vor der zwangsweisen Schließung der Deponie), ca. 10 Jahre nach dem Beginn der Entsorgung, aus dem Bereich der US-Liegenschaften, um eine Genehmigung zur Ablagerung bestimmter Stoffe nachgefragt wurde. Es ist demnach nicht auszuschließen, daß schon in der Vorzeit vergleichbare Lieferungen auf der Deponie abgelagert wurden, insbesondere da die Ablagerungen bzw. der Betrieb der Deponie ohne größere Kontrollen ablief.

Daß schon in früherer Zeit vergleichbare Stoffe abgelagert wurden, kann insofern nur indirekt bestätigt werden, als es sich bei den durch die Firma Friedrich Becker, Hochspeyer, entsorgten US-Einrichtungen nicht nur um quasi "normale Kasernen", sondern auch um große Versorgungsdepots der US-Streitkräfte handelte, die alle über den Versorgungsweg zu beschaffenden Stoffe und Dinge vorhalten. Hierbei mußten turnusgemäß immer wieder bestimmte Chargen der gela-

gerten Stoffe, die schadhaft oder überlagert waren, ausgesondert und vernichtet werden. Da zu dieser Zeit kaum Sondermülldeponien bzw. Sondermüllverbrennungsanlagen vorhanden waren, kam nur die Ablagerung auf den damals in Betrieb befindlichen Deponien in Frage.

Zur Verdeutlichung der Problematik, die sich aus der Ablagerung solcher Stoffe auf einer "normalen Hausmülldeponie" ergeben, wurden die in den beiden Stofflisten aufgeführten Verbindungen bzw. Produkte soweit wie möglich ins Deutsche übersetzt und nach einer groben Sortierung nach verschiedenen Gruppen aufgelistet (siehe Anlage J). Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Auch werden die Verbindungen, soweit möglich, nur grob in Klassen unterteilt. Bei einem großen Teil liegen nur Informationen über den Verwendungszweck vor. Die Zusammensetzung läßt sich hierbei nur aus der Zusammensetzung vergleichbarer Produkte feststellen.

Allgemein ist bei den aufgelisteten Stoffen festzustellen, daß eine umfangreiche Palette von Verbindungen aufgeführt ist, die von absolut ungiftigen bzw. harmlosen bis hin zu hochgiftigen und teilweise kanzerogenen bzw. mutagenen Stoffen reicht. Hierbei ist anzumerken, daß die Stoffe teilweise schon auf der Originalliste von der US-Seite als toxisch eingestuft werden. Demnach kann angenommen werden, daß ein nicht unerheblicher Teil der angelieferten Müllmengen heute als "besonders überwachungsbedürftige Abfälle" (Sondermüll) einzustufen ist, der nur auf einer geregelten Sondermülldeponie o. ä. abgelagert werden darf. Erschwerend für die Gesamtsituation kommt hinzu, daß es sich bei einem großen Teil der aufgeführten Stoffe um flüssige und teilweise gut bis sehr gut wasserlösliche Stoffe handelt, die teilweise noch in sehr geringen Konzentrationen ihre toxische Wirkung entfalten können.

Über die stofflichen Umsetzungen und Reaktionen dieser Verbindungen zu anderen Substanzen innerhalb einer Deponie und über die Zeit gesehen kann nur spekuliert werden. Dies gilt ebenfalls für den zeitlichen Verlauf der Freisetzung dieser Stoffe oder deren Abbauprodukte, da ein großer Anteil wahrscheinlich in verschlossenen Behältern (Dosen, Kanister, Gläser, Flaschen, Fässer etc.) angeliefert wurden, die beim Einbau nicht zerstört wurden und noch über lange Zeit intakt bleiben können. Hinzu kommt, daß der Müll nur relativ lose aufgeschichtet und nicht bzw. wenig verdichtet wurde.

Durch Alterungsprozesse, wie z. B. Durchrosten, können immer wieder Gebinde in unterschiedlichen nicht abzuschätzenden Zeiträumen, sozusagen schubweise, freigesetzt werden. Durch bei der Ablagerung leckgeschlagene Behälter wurde vermutlich ein Teil der damaligen Brände ausgelöst, da es sich bei einer großen Anzahl von Verbindungen um leicht entzündbare Stoffe handelt. Auf jeden Fall ist die bestehende Gefährdung durch noch nicht geöffnete Gebinde über lange Zeit gegeben.

Über die Zusammensetzung der Umlagerungsdeponie liegen nur mündliche Informationen des Bauleiters vor. Demnach sollen bei den Baggerarbeiten beim Straßeneinschnitt der L 367 hauptsächlich nur Erdaushub, Bauschutt und große Anteile von Spinnvlies angetroffen worden sein. Da jedoch bei den Baggerarbeiten mit Großgeräten gearbeitet wurde, kann angenommen werden, daß ein nicht abzuschätzender Anteil auch aus unbekannten Stoffen bzw. Materialien bestand. Bei diesen Maßnahmen kommt erschwerend hinzu, daß möglicherweise durch das Gerät Gebinde zerstört wurden. Das umgelagerte Material muß entsprechend große organische Bestandteile enthalten haben, da bei den jetzt durchgeführten Gasmessungen noch ausreichende Methankonzentrationen festgestellt wurden.

5. Beschreibung der durchgeführten Untersuchungen

5.1 Geländearbeiten

5.1.1 Bohrungen und Grundwassermeßstellen

Insgesamt wurden an 9 Punkten Grundwassermeßstellen eingerichtet. Hierbei wurden an 7 Punkten Doppelmeßstellen mit einer tiefen und einer flachen Meßstelle und an 2 Punkten (8 und 9) nur flache Meßstellen eingebaut. Die Meßstellen sind entsprechend den Bohrpunkten ab Br1 - Br9 nummeriert. Bei Doppelmeßstellen ist zusätzlich die tiefe Meßstelle mit A, die flache mit B gekennzeichnet. Zur genauen Lage der Meßstellen siehe Planbeilage 1. Eine geplante zehnte Meßstelle mußte, da die Bohrtiefen größer als erwartet waren, vorläufig zurückgestellt werden. Sie kann im Rahmen der Sanierung nachgeholt bzw. nach Bedarf auch verlegt werden. Allgemein wurde die tiefe Meßstelle bis zum Rot-

liegenden abgeteuft, wobei durchgehend gekernt wurde. Der Filter dieser Meßstelle beginnt jeweils direkt im Übergangsbereich zwischen Buntsandstein/Rotliegendes.

Die flachere Meßstelle wurde direkt im Rotaryverfahren in den mittleren Bereich des angetroffenen Grundwasserkörpers abgeteuft. Nur in den Meßstellen Br8 und Br9 konnte wegen der geringen Teufenlage des Rotliegenden keine zweite flache Meßstelle eingebaut werden. Alle Meßstellen wurden mit 5"-Durchmesser ausgebaut und sind am Abschlußkopf durch Schlösser gesichert. Untereinander besitzen die Doppelmeßstellen jeweils einen Mindestabstand von 2 m von tiefer zu flacher Meßstelle.

Beim Bohren wurden die Lockergesteine mittels Hilfsverrohrung abgesperrt. Innerhalb der Felszone wurde mittels eines 131 mm Doppelkernrohres gekernt und später auf dem Enddurchmesser von 267 mm aufgebohrt. Die Bohrung wurde jeweils bei ca. 1 m erbohrter Rotliegendmächtigkeit abgebrochen. Bei 3 Meßstellen wurden WD-Tests im Rotliegenden durchgeführt. Hierzu wurden diese Bohrlöcher ca. 2,5 m zusätzlich ins Rotliegende abgeteuft.

Während der Bohrungen wurde reines Wasser als Spülmittel eingesetzt. Es wurden keine Spülzusätze verwendet. Das Spülwasser wurde in einem Sedimentationsbecken aufgefangen und mittels Schläuchen oder Tankwagen in die Kanalisation geleitet. Nach der Beendigung der Kernstrecke wurde das im Bohrloch verbliebene Spülwasser herausgepumpt und eine Bohrlochvermessung mit pH-, Temperatur- und Leitfähigkeitssonde durchgeführt. Daraufhin wurde die Bohrung auf dem Enddurchmesser aufgebohrt und als 5"-Grundwassermeßstelle ausgebaut. Als Ausbaumaterial wurden Filter und Vollrohre aus PVC verwendet. Oberhalb der mit Kies aufgefüllten Filterstrecke wurde eine 1 m mächtige Bentonitsperre eingebaut. Der verbleibende restliche Raum wurde ausbetoniert (siehe Anlage E).

Als Meßstellenkopf wurde ein 6"-Metallrohr 50 cm unter Geländeoberkante einbetoniert und nach oben durch eine mit einem Schloß versehene Abschlußkappe verschlossen (Anlage E und F).

Nur bei Meßstelle Br2A und Br2B, die im Straßenbereich angelegt werden, mußten die Meßstellenköpfe unter Gelände eingebaut werden. Hierzu wurde eine Hydrantenkappe eingebaut und die Meßstelle zusätzlich mit einem Hochwassereinsatz gegen evtl. eindringendes Niederschlagswasser abgedichtet. Um Rückschlüsse auf

die Durchlässigkeiten der Gesteinseinheiten zu erhalten, wurde an 3 Meßstellen (2A, 3A und 7A) jeweils im Buntsandstein und im Rotliegenden WD-Tests mit 3 Druckstufen durchgeführt (siehe hierzu Erläuterung Punkt 6.2).

Die geologischen Profile, Ausbauzeichnungen und Schichtenverzeichnisse zu den Bohrungen sind als Anlagen A - E dem Gutachten beigelegt.

Zum Abschluß der jeweiligen Bohrungen wurde das Bohrgerät mittels eines Heißdampfstrahlers gereinigt.

5.1.2 Sickerwasserschürfe

Um Sickerwasser aus den Deponiekörpern für entsprechende Analysen gewinnen zu können, wurden an insgesamt vier Stellen am Fuß der beiden Deponien Baggerschürfe bis ins Grundwasser niedergebracht (3 Baggerschürfe Deponie Siegelbach, 1 Baggerschurf Umlagerungsdeponie).

Die genaue Lage der Schürfe S1 - S4 ist im Übersichtslageplan (Planbeilage 1) gekennzeichnet.

Nach Abschluß der Arbeiten wurden die Schürfe als provisorische Grundwassermeßstellen ausgebaut. Hierzu wurde ein geschlitztes PEHD-Rohr (DN 250) eingebaut und seitlich mit Schottermaterial aufgefüllt. Nach oben sind die PEHD-Rohre mit einer verschließbaren Kappe versehen.

Da mit dem Austritt von Deponiegas und weiteren Gefährdungen, die mit dem Öffnen einer Deponie im Zusammenhang stehen, gerechnet werden mußte, wurden die Schürfe am äußersten Rand der Deponie angelegt. Hierbei muß jedoch in Kauf genommen werden, daß bereits verdünntes Sickerwasser angetroffen wird.

Die bei den Schürfen angetroffenen geologischen Verhältnisse sind in den beigefügten Profil-/Ausbauzeichnungen festgehalten (Anlage G). Zu erkennen ist, daß unter einer unterschiedlich mächtigen Bedeckung aus Auffüllmaterial und Schutt zwischen 1 und 3 m die ehemalige Geländeoberkante angetroffen wird. Bezüglich der angetroffenen Grundwasserverhältnisse gleichen sich Schurf 1 und 2. Hier wurde jeweils in ca. 3,5 m Tiefe Grundwasser angetroffen, welches aus dem anstehenden Gestein bzw. Lockergestein relativ langsam zulief.

Bei Schurf 3 wurde Grundwasser bereits direkt unterhalb der Geländeoberkante in einigen Dezimetern Tiefe innerhalb der Müllage angetroffen. Die Schürfgrube lief dabei innerhalb kürzester Zeit voll. Der Zulauf war sehr stark direkt oberhalb der ehemaligen Geländeoberfläche. Bei dem ausgebaggerten Müll handelte es sich um ein schwarzes mit Steinen durchsetztes Substrat, in dem ein sehr großer Anteil von Flaschen unterschiedlicher Größe und Form enthalten war. Hierbei konnte auch festgestellt werden, daß ein großer Teil aus noch unversehrten Flaschen (teilweise Medikamentenflaschen) bestand. Nach dem Ausbau stand das Wasser geringfügig oberhalb GOK.

In Schurf 4 im Bereich der Umlagerungsdeponie wurde Grundwasser erst in 4 m Tiefe in einer Sandlage angetroffen. Bei dem anstehenden Material handelte es sich um einen typischen Auensand, der von einem stark humosen, lehmigen Sand überlagert war. Demnach muß die Talaue ehemals noch bis in diesen Bereich gereicht haben. Das Material wurde später durch Erdaushub und Bauschutt ca. 3 m auf das heutige Niveau aufgefüllt.

Bis zum jetzigen Zeitpunkt wurden aus den Schürfen 2 Wasserproben entnommen und chemisch analysiert (außer aus Schurf S4 der trockengefallen war). Die Meßergebnisse sind in Kapitel 6 erläutert. Allgemein kann ausgesagt werden, daß an allen Stellen eine deutlich erhöhte Leitfähigkeit festgestellt wurde.

5.1.3 Deponiegasmessungen

An insgesamt 9 Stellen wurden Gaspegel eingerichtet. Hierbei handelt es sich um ausgebaute 2"-Bohrlöcher, aus denen, je nach Bedarf, Deponiegas entnommen werden kann. Sieben der Meßstellen liegen auf der Deponie Siegelbach und 2 Meßstellen auf der Umlagerungsdeponie.

Beim Einbau der Meßstellen wurde die Oberflächenabdichtung bis ca. 2 m Tiefe unter GOK durchbohrt und ein 2"-Rammpegel mit einem 1 m langen Filterrohr eingebaut. Zur Oberfläche wurde der Pegel mittels eines Schutzrohres und Beton abgedichtet und gesichert, der Abschlußkopf ist mit einer verschließbaren Kappe versehen. Die Meßstellen werden in 1/2-jährlichem Turnus auf Methan- und Sauerstoffgehalt beprobt. Zum Stand September 1991 liegen 2 Gasmessungen vor, deren Ergebnisse in tabellarischer Form als Anlage L beigefügt sind.

5.1.4 Setzungsmessungen

Insgesamt wurden 6 Setzungspegel auf den Deponien installiert (vier auf Deponie Siegelbach, zwei auf Umlagerungsdeponie). Aufgrund der konstruktiven Ausbildung der Gaspegel können diese zusätzlich als Setzungspegel mitverwendet werden. Demnach stehen, wie ursprünglich geplant, 15 Setzungspegel zur Verfügung.

Konstruktiv gleichen die Setzungspegel dem Aufbau der Gaspegel. Abweichend wurde statt des Filterrohrs ein Vollrohr eingerammt und ausbetoniert. Bis heute liegt die Grundvermessung der Deponie mit Aufnahme der Pegel vor (Tabelle in Anlage 0).

Da die Setzungen langsam ablaufen, ist eine Vermessung der Setzungspegel in 1/2- bis 3/4jährigem Turnus ausreichend. Um eine Auswertung der Daten durchführen zu können, werden mehrere Messungen, d. h. ein längerer Beobachtungszeitraum benötigt. Aus diesem Grund kann zum jetzigen Zeitpunkt diesbezüglich noch keine Aussage gemacht werden.

5.1.5 Probenahme Wasserproben

Für die Untersuchungen wurden sowohl Grundwasser als auch Oberflächenwasser beprobt. Die Verfahrensweise der Beprobung ist unter den Punkten 5.1.5.1 - 5.1.5.3 beschrieben.

Insgesamt wurden die 4 Sickerwasserschürfe, die 16 neu eingerichteten Meßstellen sowie an 4 Stellen Oberflächengewässer beprobt. Die Entnahmestellen können aus beigefügtem Lageplan (Planbeilage 1) ersehen werden.

Die Sickerwasserschürfe wurden im Abstand eines Jahres zweimal beprobt. Sickerwasserschurf S4 im Bereich der Umlagerungsdeponie konnte jedoch, da in der Zwischenzeit der Wasserstand unter die Ausbautiefe gefallen war, nicht beprobt werden. Als Ersatz wurde die Meßstelle P5 in nächster Nähe beprobt.

5.1.5.1 Vorgehensweise bei der Probenahme aus den Grundwassermeßstellen

Für die Entnahme von Wasserproben aus Grundwassermeßstellen wurde allgemein folgende Vorgehensweise gewählt:

Vor der eigentlichen Probenahme wurde die Meßstelle abgepumpt. Beim Pumpen wurde die Leitfähigkeit kontinuierlich gemessen und Wasser bis zur Leitfähigkeitskonstanz aus der Meßstelle entnommen. Mindestens jedoch die 2fach in der Meßstelle enthaltene Wassermenge. Um möglichst vollständig alles in der Meßstelle stehende Wasser zu entfernen, wurde die Pumpe relativ nahe unter der Wasseroberfläche eingebaut und mit dem sinkenden Wasserspiegel sukzessive nachgeführt. Vor und während des Pumpvorganges wurden die Wasserspiegelhöhen registriert. Für die eigentliche Probenahme wurde die Pumpe wieder ausgebaut und die Wasserprobe mittels eines Teflonprobenhebers entnommen.

Zur Bestimmung der organischen Parameter wurde jeweils eine 500 ml Glasflasche mit Schliffstopfen und -sicherung befüllt. Für die Bestimmung der Anorganik und Schwermetalle wurde eine 1.000 ml Flasche aus PEHD befüllt. Die Proben wurden kühl und dunkel direkt zum analysierenden Labor transportiert.

Um die Verschleppung von Kontaminationen zu verhindern, wurden die zur Probenahme benutzten Geräte mit Trinkwasser und entionisiertem Wasser gereinigt. Zusätzlich wurde vor Ort die Leitfähigkeit, Temperatur, Sauerstoff und pH-Wert im Gelände registriert.

5.1.5.2 Vorgehensweise bei der Probenahme aus den Sickerwasserschürfen

Die Vorgehensweise bei der Probenahme aus den Sickerwasserschürfen gleicht der Vorgehensweise bei den Grundwassermeßstellen. Jedoch konnte aufgrund konstruktiv bedingter Eigenheiten (Sandgehalt in der Meßstelle, geringe Mächtigkeit der Wassersäule) die Meßstelle nicht abgepumpt werden. Aus diesem Grund wurde das mindestens zu entnehmende Volumen mittels eines Schöpfhebers aus Edelstahl entnommen.

5.1.5.3 Vorgehensweise bei der Probenahme aus dem Oberflächenwasser

Die Proben aus dem Oberflächengewässer wurden jeweils aus der fließenden Welle entnommen. Stehende Gewässer wurden nicht beprobt. Die weitere Vorgehensweise (Probenflaschen, Transport, Lagerung, Messungen etc.) stimmt mit dem unter 5.1.5.1 beschriebenen Verfahren überein.

5.1.6 Hydrogeologische Messungen

5.1.6.1 Bohrlochvermessung

Während der Bohrmaßnahmen wurden in allen tiefen Bohrlöchern (gekennzeichnet mit A) nach dem Abschluß der Bohrungen verschiedene Parameter im Bohrloch teufenabhängig gemessen und registriert. Hierzu wurden druckresistente Sonden in das Bohrloch eingelassen, mit denen pH-Wert, Temperatur und Leitfähigkeit jeweils im 1 m-Abstand gemessen wurden. Die Meßergebnisse sowie die teufenabhängige Darstellung der Meßwerte ist in den Anlagen X - Z dargestellt.

Um etwaige Auswirkungen des Spülwassers auf die Messungen abschätzen zu können, wurden Leitfähigkeit, pH-Wert und Temperatur nochmals nach einem Monat sowohl in den tiefen als auch den flachen Meßstellen mit dem gleichen Verfahren gemessen. Hierbei wurden vor allem die Messungen im Bereich der Filterstrecken, in denen das Grundwasser frei ein- und austreten kann, registriert. Diese Meßergebnisse sind ebenfalls in den Anlagen Y und Z tabellarisch und grafisch dargestellt. Die Auswertung dieser Messungen sowie die Aussagen die sich aus den Ergebnissen machen lassen, folgen in Abschnitt 6.

In den Bohrungen Br7 und Br8 konnten wegen der geringen Tiefenlage des Rotliegenden keine Messungen im unausgebauten Bohrloch vorgenommen werden, da hier die Verrohrung im Lockergestein bis auf die dichtenden Rotliegendeschichten niedergebracht werden mußte.

5.1.6.2 WD-Tests

In den Bohrungen Br2, 3 und 7 wurden zusätzlich im unausgebauten Bohrloch sog. WD-Tests durchgeführt. Hierbei handelt es sich um Wasser-Druck-Versuche, bei denen entlang eines durch Packer abgesperrten Bereiches des Bohrlochs Wasser mit Überdruck in das anstehende Gestein verpreßt wird. Während des Versuchs wird die bei konstantem Druck verbrauchte Wassermenge gemessen, wobei verschiedene Druckstufen auf- und absteigend gefahren werden. Hierbei ist zu bemerken, daß zunächst aus den Messungen kein Durchlässigkeitsbeiwert (kf-Wert) gewonnen wird, sondern sich eine Vergleichszahl ergibt. Über Umrechnungen, die auf verschiedenen Annahmen beruhen, lassen sich daraus die überschlägigen kf-Werte bestimmen (siehe hierzu Erläuterungen unter Punkt 6).

Insgesamt wurden 6 WD-Tests, in jedem Bohrloch zwei, durchgeführt. Jeweils ein Test im Bereich der Buntsandsteinschichten und ein Test im Bereich der Rotliegendeschichten. Die Protokolle sind in Kopie als Anlage I beigelegt. Die Auswertung der Ergebnisse findet sich, wie erwähnt, unter Punkt 6.

5.2 Laborarbeiten

Die Wasserproben wurden gekühlt und in verschlossenen Transportbehältern an das Labor geliefert. Dort wurden sie auf die in den Anlagen I und U aufgeführten Parameter hin analysiert.

Hierbei ist anzumerken, daß die Wasserproben aus den Sickerwasserschürfen zuerst entnommen und auf die vollständige, sehr umfangreiche Parameterliste hin analysiert wurden (geringfügige Abweichungen zwischen der 1. und 2. Analyse der Sickerwasserschürfe erklären sich aus dem Kostenrahmen; bei der 2. Analyse wurden einige Parameter mit geringer Aussagekraft nicht nochmals untersucht).

Nach dem Ergebnis der umfangreichen Analysen wurde zur Reduzierung der Analytikkosten der Umfang der weiteren Analysen eingeschränkt.

6. Darstellung der Untersuchungsergebnisse

6.1 Geologische Verhältnisse des Untersuchungsfeldes

6.1.1 Schichtglieder

Entsprechend den Ausführungen unter Punkt 3.3 "Regionale Geologie" lassen sich insgesamt 4 Hauptgesteinseinheiten unterscheiden. Im einzelnen sind dies die Gesteinseinheiten:

1. Auffüllungen bzw. Aufschüttungen
2. Talaueablagerungen
3. Buntsandstein
4. Rotliegendes

Entsprechend den Ergebnissen der bereits vorhandenen Sondierbohrungen und den neu durchgeführten Kernbohrungen lassen sich die einzelnen Gesteinseinheiten zusätzlich in verschiedene Schichtglieder aufteilen. Diese Aufteilung beruht hierbei hauptsächlich auf den Bohrerergebnissen. Aus diesem Grund wird auf die als Anlage beigefügte Dokumentation zu diesen Bohrungen verwiesen. Dort sind sowohl Schichtenverzeichnisse (Anlage A), geologische Profilaufnahmen (Anlage B) wie auch die Bohrkerne fotografisch festgehalten.

Die Gesteinseinheiten sowie die einzelnen Schichtglieder lassen sich wie folgt beschreiben (über die räumliche Verteilung der einzelnen Gesteinseinheiten informieren die geologische Übersichtskarte (Planbeilage 2) sowie die geologischen Schnitte 1 - 4 (Planbeilage 3 - 4)):

A. Einheit 1: Auffüllungen/Aufschüttungen = Y

Es handelt sich hierbei um anthropogene Ablagerungen aus Auf- bzw. Verfüllungen bestehender morphologischer Einheiten, d. h. um Verfüllungen von Gruben bzw. Steinbrüchen und Auffüllungen des bestehenden Geländes. Entsprechend der unterschiedlichen Zusammensetzung und der unterschiedlichen zeitlichen Genese läßt sich im Arbeitsgebiet eine Unterteilung in mindestens 3 Schichtglieder aufstellen.

- *Schichtglied Y1 = Erdaushub*

Es handelt sich um Geländeauftrag aus reinem Erdaushub unterschiedlicher Herkunft und Zusammensetzung sowie Alter. Es sind dies der Straßendamm der L 367 sowie die Dammschüttungen am Rohr'schen Weiher und am Schwimmbad Pfaffenwoog.

- *Schichtglied Y2 = Erdaushub/Bauschutt*

Unter diesem Schichtglied werden die Ablagerungen der Bauschuttdeponie sowie der Deponie in der Talaue zwischen Schwimmbad Pfaffenwoog und Ortsanfang Erfenbach zusammengefaßt. Aufgrund der unterschiedlichen Herkunftsorte und Ablagerungszeiträume ist die Zusammensetzung des Materials extrem inhomogen. Weitgehend werden schluffige, steinige Sande mit Anteilen von Bauschutt vorgefunden. Bei den Bauschuttanteilen werden Beton-, Ziegel- und Schwarzdeckenbruchstücke gefunden. Teilweise sind auch geringe organische Anteile (Holz etc.) eingelagert.

- *Schichtglied Y3 = Erdaushub/Bauschutt/Müll*

Charakterisierend für dieses Schichtglied sind die im abgelagerten Material enthaltenen Müllanteile. Hierbei kann es sich um eine Vielzahl möglicher Stoffe (siehe Erläuterungen Punkt 4.2) handeln mit hausmüll-, industriemüll- sowie sondermüllartigem Charakter. Unter diesem Schichtglied werden die Ablagerungen der Deponie Siegelbach sowie der Umlagerungsdeponie zusammengefaßt.

B. Einheit 2: Talauenablagerungen = qh

In den Niederungsbereichen werden die in der Region typischen holozänen Auensedimente angetroffen. Aus den vorhandenen Bohr- und Sondierprofilen zeigt sich, daß weitgehend unter einer unterschiedlichen Bedeckung aus Auenlehen (sandige Lehme - lehmige Sande) meist eine Wechselfolge aus hellgrau - silbergrau gebleichten Fein-Mittelsanden, die im Übergangsbereich zum Buntsandstein in rötliche, leicht schluffige Sande der Verwitterungszone übergehen, folgt.

Eingelagert finden sich, vorwiegend in den oberen Bodenhorizonten, immer wieder Torf bzw. stark humose Einlagerungen unterschiedlicher Mächtigkeit. So wurde bei Bohrung Br8 eine ca. 2 m mächtige Torflage angetroffen.

Eine weitere Aufgliederung der Gesteinseinheit in einzelne Schichtglieder wurde, obwohl wie oben erläutert, sich einzelne Substratvarianten antreffen lassen nicht vorgenommen. Dies erklärt sich aus der Problematik, daß die einzelnen Horizonte keine durchgehende Beständigkeit aufweisen und starken lateralen sowie vertikalen Schwankungen unterworfen sind, die aus dem vorhandenen Datenmaterial keinen eindeutigen Schluß auf die räumliche Verteilung des Materials zulassen. Die Maximalmächtigkeit der Gesteinseinheit dürfte bei ca. 6 - 7 m liegen und ist stark von der Lage zum randlichen Verschneidungsbereich mit den Hangsedimenten abhängig. In einigen größeren und kleineren Bereichen sind die Talaueablagerungen von den Schichtgliedern Y1 - Y3 überlagert.

C. Einheit 3: Buntsandstein, Staufer Schichten = sSt

Das anstehende Gestein wird im Bereich des Untersuchungsfeldes von den Gesteinen der Staufer Schichten (Unterer Buntsandstein) gebildet. Das Schichtglied besteht überwiegend aus roten - rotbraunen Sandsteinen mit einem geringen Schluffanteil. Darin eingeschaltet sind immer wieder grobklastische Lagen aus Grobsandsteinen bis Konglomeraten. Die Gesteine zeigen weitgehend eine schlechte bis mäßig gute Kornbindung, die sowohl vertikal als auch horizontal unterschiedlich schnell wechselt. In den Hangendbereichen findet sich eine unterschiedlich mächtige Übergangszone, in der das Gestein eingehend verwittert ist. Hierbei läßt sich der Übergang zwischen schlecht gebundenen und lokal verwitterten Partien nur sehr schwer ziehen. Im Hangbereich bildet sich aus dem anfallenden Verwitterungsschutt meist ein schwach lehmiger Sand aus. Das bindige Verhalten ist hierbei auf den vorhandenen Schluff-/Tonanteil der Sandsteine zurückzuführen, der dazu führte, daß das Material verbreitet zur Formsandgewinnung bzw. Backsteinfabrikation genutzt wurde.

Charakteristisch für das Schichtglied sind die immer wieder im Gestein auftretenden Anreicherungen von Eisenschwarten und Konkretionen, die in früherer Zeit zur Eisengewinnung abgebaut wurden. Als weitere Charakteristiken finden sich einzelne Gesteinshorizonte karbonatisch gebunden, wobei Dolomit hierbei wahrscheinlich überwog. Das Bindemittel ist jedoch weitgehend nur noch reliktiert erhalten und hat teilweise ein zelliges Gefüge geschaffen. Die durch die Lösungserscheinung entstandenen Hohlräume sind weitgehend mit einer Fe-Mn-Mulm ausgekleidet.

Aus dem durch die Bohrungen dokumentierten geologischen Aufbau läßt sich das Schichtpaket der Staufer Schichten im Bereich des Untersuchungsfeldes grob in 6 Schichtglieder unterteilen. Die Ausbildung dieser Schichtglieder läßt sich wie folgt vom Hangenden zum Liegenden beschreiben (bezüglich der Ausbildung der Gesteine wird auf die geologische Profilaufnahme (Anlage B), die Fotografien der Bohrkerne (Anlage C) sowie die geologischen Profile (Planbeilage 3 und 4) verwiesen):

- Schichtglied sSt1: Rotbraune Sandsteine

Das Schichtglied weist sich hauptsächlich durch seine typisch rotbraune Färbung des Buntsandsteins aus. Vereinzelt finden sich grusige und grobsandige Einschaltungen sowie zellige Strukturen mit Auskleidungen aus Fe-Mn-Mulm sowie Resten von dolomitischen Bindungsmitteln. Auch werden vereinzelte Eisenoxidausfällungen im Gestein angetroffen. Die Kornbindung ist weitgehend sehr schlecht bis schlecht. Die Bohrkerne sind teilweise vollständig zerbohrt.

Die Mächtigkeit des Schichtgliedes reicht von 0 bis maximal 22 m, wobei die größten Mächtigkeiten im Bereich der Bohrungen 1,2,3 und 5 auftreten. Nach Norden nimmt die Mächtigkeit des Schichtgliedes stark ab. Im Bereich des Schwimmbades Pfaffenwoog streicht das Schichtglied vermutlich aus.

- Schichtglied sSt2: Oberer rotvioletter Sandsteinhorizont

Dieses Schichtglied ähnelt allein von der Struktur sehr stark Schichtglied sSt1, jedoch weist es einen geringeren Anteil zelliger Strukturen auf. Deutlich abtrennen läßt sich das Schichtglied durch seine rote - rotviolette Färbung, die stark an das Rotviolett der Rotliegendtonsteine erinnert und nur im feuchten Zustand deutlich zu erkennen ist.

Die Mächtigkeit ist stark wechselnd und reicht von 0 m bei Bohrung 3 und maximal 6 m bei Bohrung 7.

- *Schichtglied sSt3: Oberer Konglomerathorizont*

Darunter folgt ein meist nur wenige Meter mächtiger Konglomerathorizont. Das Schichtglied ist weitgehend durch seinen hohen Anteil grobklastischer Komponenten sowie seine rot - rotviolette Färbung gekennzeichnet. Der Kiesanteil der Konglomerate bzw. konglomeratischen Grobsandsteine ist stark wechselhaft, hebt sich jedoch stark von den über- und unterlagernden Schichtgliedern ab. Teilweise zeigen die Bohrkerne eine schlechte Kornbindung auf bzw. sind vollständig zerbohrt.

Die maximale Mächtigkeit liegt bei ca. 7 m. Vermutlich keilt das Schichtglied in Richtung Norden vollständig aus.

- *Schichtglied sSt4: Unterer rotvioletter Sandsteinhorizont*

Es folgt ein weiteres Schichtglied aus rot - rotvioletten Sandsteinen (ähnlich Schichtglied sSt2). Vereinzelt finden sich Einschaltungen aus konglomeratischen Lagen. Die Kornbindung ist weitgehend schlecht bis mäßig, so daß größere Teile der Bohrkerne zerbohrt sind. Die Mächtigkeit des Schichtgliedes liegt im südlichen bis südwestlichen Teil des Untersuchungsfeldes relativ gleichmäßig bei 12 - 18 m. Nach Norden keilt das Schichtglied jedoch vollständig aus.

- *Schichtglied sSt5: Unterer Konglomerathorizont*

Zum Liegenden folgt ein weiteres Schichtglied, das wiederum hauptsächlich aus Wechsellagen von Konglomeraten und konglomeratischen Sand - Grobsandsteinen besteht.

Die Mächtigkeit reicht bis maximal 8 m im Bereich von Bohrung 2. Nach Norden bis Nordosten keilt sie jedoch vollständig aus.

- *Schichtglied sSt6: Bleichhorizont*

Als letztes Schichtglied findet sich eine geringmächtige Lage aus Sandsteinen bis Konglomeraten, die sich durch ihre weiße bis lauchgrüne Färbung von dem üblichen Rotbraun - Rotviolett der Sandsteine und Konglomerate abhebt.

Die Mächtigkeit schwankt von wenigen Zentimetern bis zu maximal 1 m. Worauf dieser Bleichhorizont zurückgeführt werden kann, ist im Moment noch unklar. Eindeutig ist jedoch, daß er den Übergang zum Rotliegenden dokumentiert, da an allen Stellen direkt unterhalb die Rotliegendoberfläche erbohrt wurde. Teilweise reicht die weißliche bis lauchgrüne Färbung bis in die Rotliegendtonsteine hinein.

D. Einheit 4: Standenbühler Schichten = roSt

Unter den Buntsandsteinschichten folgen durch eine deutliche Erosionsdiskordanz getrennt Gesteine des Rotliegenden. Sie werden zeitlich ins Oberrotliegende gestellt und als Standenbühler Schichten (roSt) bezeichnet. Aufgebaut wurden die Schichten aus sehr mächtigen Ablagerungen aus Tonsteinen mit vereinzelten geringen Einlagerungen aus Sandsteinbänken. Die Standenbühler Schichten werden auch aufgrund ihrer intensiv roten bis rotvioletten Farbe und der dünnsschichtigen Ausbildung als Rötelschiefer bezeichnet. Der Gesteinsverband zeigt eine schlechte Kornbindung, so daß die Gesteine unter Einfluß der Verwitterung sehr schnell zerfallen und in stark bindige Tone umgewandelt werden.

In den Schichten werden häufig karbonatisch gebundene Partien gefunden, die dann meist eine graue - grüngraue lagige bis fleckige Färbung aufweisen.

Bei den Bohrungen wurden vergleichbare Schichten im Grenzbereich zwischen Rotliegendem und Buntsandstein angetroffen. Der im vorhergehenden Schichtglied sSt6 beschriebene graue - lauchgrüne Bleichhorizont zieht sich bis in die Rotliegendschichten.

Die zeitliche Einordnung der Schichtglieder bzw. Gesteinshorizonte stellt sich wie folgt dar:

Quartär

Holozän

- | | |
|----|------------------------------|
| Y1 | Erdaushub |
| Y2 | Erdaushub/Bauschutt |
| Y3 | Erdaushub/Bauschutt/Hausmüll |
| qh | Talaue |

Trias

Unterer Buntsandstein

Staufer Schichten

- sSt1 rotbraune Sandsteine
- sSt2 oberer rotvioletter Sandsteinhorizont
- sSt3 oberer Konglomerathorizont
- sSt4 unterer rotvioletter Sandsteinhorizont
- sSt5 unterer Konglomerathorizont
- sSt6 Bleichhorizont

Perm

Oberrotliegendes

Standenbühler Schichten

- roSt Standenbühler Schichten

6.1.2 Beschreibung der angetroffenen geologischen Verhältnisse im Untersuchungsfeld

Aus dem vorhandenen Datenmaterial sowie den Ergebnissen der durchgeführten Bohrungen wurden zum besseren Verständnis mehrere geologische Profile sowie ein Isolinenplan der Teufenlage der Rotliegendoberfläche erstellt (siehe hierzu die Planbeilagen 3, 4 und 8).

Da die große Anzahl anthropogener Ablagerungen die ehemalige natürliche Morphologie des Untersuchungsfeldes stark verändert haben, wurden die geologischen Informationen zusätzlich in einer geologischen Übersichtskarte des Untersuchungsfeldes zusammengefaßt (siehe Planbeilage 2). In dieser Karte sind die an der Oberfläche auftretenden Hauptgesteinseinheiten sowie zusätzlich alle Auffüllungen bzw. Verfüllungen in ihrer Verteilung dargestellt.

Um die Geologie im Bereich der bearbeiteten Deponien genauer zu verdeutlichen, wurden hierzu in diesen Bereichen schematisierte Profile konstruiert, die sowohl die geologischen als auch die hydrogeologischen Verhältnisse vereinfacht darstellen sollen (Anlage 5).

Eine zentrale Rolle für die Geologie und Hydrogeologie des Untersuchungsfeldes stellt der Verlauf der Rotliegendoberfläche dar. Wie aus dem Isolinenplan und den verschiedenen Profilen zu erkennen ist, zeigt der Verlauf dieser Grenzfläche eine deutliche großräumige Morphologie, die von einer kleinräumigen Morphologie überlagert wird. Deutlich ist aus den Plänen zu erkennen, daß südlich des Schwimmbades Pfaffenwoog eine teilweise recht steile Abdachung der Rotliegendoberfläche nach Süden bis Süd-Südost angetroffen wird. So liegt die Rotliegengrenze bei Bohrung Br8 noch bei ca. 6 m u. GOK, jedoch bei Bohrung Br2 und Br3 bereits bei ca. 50 m u. GOK. Zusätzlich zeigt die Fläche im Bereich der Abdachung eine muldenförmige Ausbildung deren Muldenachse in Richtung Süd - Süd-Südost abtaucht. Ob diese muldenförmige Ausbildung auf eine primäre erosionsbedingte Ausformung oder auf eine tektonische Verstellung zurückzuführen ist, läßt sich zur Zeit nicht feststellen. Um diese endgültig ergründen zu können, müßte das Bohrraster verkleinert bzw. geophysikalische Vermessungen vorgenommen werden.

Auffallend beim Verlauf der Muldenachse ist jedoch, daß sie fast genau mit dem Verlauf der Talachse übereinstimmt. Dies könnte, da Täler sehr häufig Störungen nachziehen, auf die Anwesenheit einer Nord-Nordwest - Süd-Südost streichenden Störung hinweisen. Die Richtung der Störung verläuft hierbei grob parallel zur Hauptachse des Pfälzer Sattels.

Nördlich und nordwestlich des Parkplatzes Siegelbach scheint die Rotliegendoberfläche in eine Verebnung auszulaufen. Im weiteren Verlauf des Tales in Richtung Erfenbach fällt die Oberfläche in Richtung Norden, entsprechend dem Talverlauf. Dies ist auf ein erosionsbedingtes Einschneiden des Siegelbaches im Quartär zurückzuführen. Im weiteren Verlauf streicht die Rotliegendoberfläche vollständig an der Oberfläche (Nordwest - Nord Untersuchungsfeld, siehe geologische Übersichtskarte M 1 : 25 000, Planbeilage 15) aus.

Wie aus den Profilschnitten zu erkennen ist (Planbeilagen 3 und 4), zeichnen die das Rotliegende überlagernde Buntsandsteinschichten weitgehend die Morphologie der Rotliegendoberfläche nach. Hierbei keilen die Schichten vermutlich erosionsbedingt in Richtung Norden bis Nordwesten entsprechend dem Auftauchen der Rotliegendoberfläche vollständig aus.

Zur Geländeoberfläche leiten die Buntsandsteine über eine Verwitterungs- und Übergangszone in die quartären Ablagerungen über, die im Hangbereich aus schwach schluffigen Sanden bzw. Hanglehmen bestehen. Im Bereich der Talaue verzahnen sich dann diese Sedimente mit den quartären Talauensedimenten.

6.2 Hydrogeologische Verhältnisse

6.2.1 Allgemeines zur Hydrogeologie des Untersuchungsfeldes

Die unter Punkt 3.4 dargestellte Beschreibung zur regionalen Hydrogeologie läßt sich weitgehend auf das Untersuchungsfeld übertragen.

Aufgrund der geologischen Abfolge der Hauptgesteinseinheiten

1. Talaue
2. Buntsandstein
3. Rotliegendes

bewegt sich das Grundwasser sowohl in einem Poren- als auch Kluftgrundwasserleiter. Hierbei bilden die Talaueablagerungen und dort insbesondere die sandigen Partien den Porenleiter, die Sandsteine der Staufer Schichten den Kluftwasserleiter. Die Tonsteine des Rotliegenden können als Grundwasserstauer angesehen werden, obwohl auch in diesen Gesteinen damit gerechnet werden muß, daß im geringen Umfang Wasser über Klüfte zirkulieren.

Prinzipiell müßte demnach mit zwei getrennten Grundwasserhorizonten gerechnet werden. Da jedoch zwischen Talaue und Buntsandstein keine dichtende Trennschicht vorhanden ist, ist ein direkter Kontakt beider Leiter gegeben. Somit ist ein ungehinderter Wasseraustausch zwischen beiden Leitern möglich. Hierbei wird der Wasseraustausch zwischen den Grundwasserleitern nur durch die Druckunterschiede und die unterschiedlichen Gesteinsdurchlässigkeiten beeinflusst.

Bedingt durch die unterschiedlich mächtig ausgebildete Verwitterungszone des Buntsandsteins besteht nicht die Möglichkeit einer scharfen Grenzziehung zwischen beiden Leitern. Vielmehr besteht ein unterschiedlich mächtiger Übergangsbereich.

Die untere Begrenzung des Grundwasserkörpers wird durch die Tonsteine des Oberrotliegenden gebildet, deren Durchlässigkeit als sehr gering eingestuft werden kann. Dies gilt jedoch nicht für Bereiche, in denen größere Klüfte bzw. Störungen vorhanden sind, die entsprechende Wasserzirkulationen erleichtern und die Fließrichtung sowie Fließgeschwindigkeit stark beeinflussen können.

Aufgrund der oben angeführten Bedingungen wurde der gesamte Grundwasserkörper zur besseren Interpretation in 3 Tiefenbereiche unterteilt. Diese Tiefenbereiche wurden wie folgt festgelegt:

A: Oberer Tiefenbereich (Talaue)

alle flachen Meßstellen P1 - P10, S1 - S4, Br8 und Br9 sowie bedingt Meßstelle Br1B

B: Mittlerer Tiefenbereich (Buntsandstein)

alle Meßstellen Br2B - Br7B

C: Unterer Tiefenbereich (Buntsandstein)

alle Meßstellen Br1A - Br7A

Die Einteilung der Meßstellen in die 3 Tiefenniveaus erfolgt nach den Tiefenlagen der Filterstrecken. Die Lage der Filterstrecken der einzelnen Meßstellen kann im einzelnen aus den Abbildungen in Anlage II entommen werden, in denen Tiefe und Länge der Filterstrecken, bezogen auf NN dargestellt sind.

Bezüglich Meßstelle Br1B ist anzumerken, daß sie geologisch gesehen nicht mehr zum Talauenbereich gezählt werden kann. Da diese Meßstelle jedoch im Grundwasser-Schwankungsbereich verfiltert ist, wird sie aus diesem Grund mit in den oberen Aquifer einbezogen.

Die Mächtigkeit des Grundwasserkörpers schwankt entsprechend der Tiefenlage des Grundwasserstauers (Rotliegendes).

Aus Planbeilage 8 ist aus der Isoliniendarstellung der Rotliegendoberfläche zu erkennen, daß die Gesamtmächtigkeit des Grundwasserkörpers im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes nur einige Meter ausmacht. Südlich des Rohr'schen

Weihers sinkt jedoch die Rotliegendoberfläche sehr schnell in größere Tiefen ab, so daß im Bereich der Deponie bereits Mächtigkeiten von ca. 50 m vorliegen.

Die Mächtigkeit des Grundwasserleiters im Bereich der Auensedimente beschränkt sich im direkten Verlauf der Talachse auf mehrere Meter (ca. 6 - 7 m). Zum Talrand nimmt die Mächtigkeit der Talaue entsprechend den natürlichen geologischen Bedingungen sehr schnell ab. Im Bereich des Schwimmbades Pfaffenwoog und des nördlich anschließenden Talverlaufes ist durch das Ansteigen der Rotliegendoberfläche nur der Porenwasserleiter der Aue ausgebildet. Erst zu den Talrändern geht er in den Kluftwasserleiter des Buntsandsteins über.

Im weiteren Verlauf werden die Ergebnisse der Grundwasserstandsmessungen dargestellt und interpretiert (Punkt 6.2.2). Ergebnisse der WD-Versuche sind in Kapitel 6.2.3 aufgeführt. Als abschließende Zusammenfassung und Deutung der Ergebnisse folgen unter Punkt 6.2.4 entsprechende Erläuterungen.

6.2.2 Ergebnisse der Grundwasserstandsmessungen

Im gesamten Untersuchungsgebiet wurden in den vorhandenen Grundwassermeßstellen in monatlichen Abständen die Grundwasserstände gemessen. Für die bereits seit längerem installierten flachen Meßstellen (P1 - P10, S1 - S4) liegen Messungen seit Januar 1991 vor. Für die neu eingerichteten Meßstellen (Br1 - Br9) liegen Messungen erst seit August 1991 vor. Alle Meßergebnisse sind in Anlage R, bezogen auf NN-Höhen, tabellarisch dargestellt. Zur besseren Übersicht werden die einzelnen Werte in verschiedenen Plandarstellungen grafisch dargestellt. Im einzelnen liegen hierzu folgende Plandarstellungen vor:

- Übersichtslageplan mit Darstellung der Grundwasserstände in den Meßstellen P1 - P10 und S1 - S4 im zeitlichen Verlauf (Planbeilage 7).
- Isoliniendarstellungen der Grundwasserstände in den Meßstellen für verschiedene Jahreszeiten (Januar = Grundwasserhochstand, September = Grundwassertiefstand) und auf die verschiedenen Tiefenniveaus (Planbeilage 8).
- Plandarstellung der Druckunterschiede zwischen den verschiedenen Grundwassertiefenniveaus (Planbeilage 10).

- Plandarstellung der monatlichen Änderungen der Grundwasserstände bezogen auf verschiedene Tiefenniveaus (Planbeilage 11).
- Plandarstellung der Grundwasserstände bzw. Mächtigkeiten im Deponiekörper (Planbeilage 12).

Aus Planbeilage 7 und den Anlagen R und S ist zu erkennen, daß die jahreszeitlichen Grundwasserspiegelschwankungen in der Talaue im Verlauf des Jahres 1991 Schwankungsbreiten von maximal 1 m aufweisen. Dies ist insbesondere, bezogen auf die trockene Witterung im Frühjahr und Sommer 1991, bemerkenswert, da hierdurch bestätigt wird, daß, der Grundwasserkörper eine ausreichende Speicherkapazität aufweist bzw. eine sehr geringe Fließgeschwindigkeit und somit hohe Rückhaltefähigkeit besitzt, die ein Leerlaufen während der Trockenzeiten weitgehend verhindert. Der Verlauf der Grundwasserstände ist in allen flachen Meßstellen weitgehend gleichmäßig ausgebildet, wie deutlich der vergleichenden Darstellung in Anlage S entnommen werden kann.

Die Wasserstandsänderungen, bezogen auf den jeweiligen Vormonat (Anlage S), bestätigen diese Beobachtung, wobei die Absolutbeträge der Änderungen von Meßstelle zu Meßstelle um mehrere Zentimeter abweichen können. Dies kann auf primäre geologische Inhomogenitäten des Aquifers zurückgeführt werden. Die größte Abweichung ergibt sich für Meßstelle P8, deren Wasserspiegelschwankungen teilweise nicht mit dem allgemeinen Trend korreliert werden können. Hierbei ist jedoch zu bemerken, daß diese Meßstelle im direkten Fußbereich der Deponie liegt und vermutlich stark von Sickerwasserströmen beeinflusst wird, die nicht unbedingt mit dem Verhalten des Hauptgrundwasserleiters übereinstimmen müssen.

Bezüglich der Wasserstände in tieferen Bereichen des Grundwasserkörpers liegen erst seit August 1991 entsprechende Messungen vor. Um die Veränderungen in den 3 Tiefenbereichen abschätzen zu können und den Verlauf der Grundwasserdruckflächen darzustellen, werden für Januar 1991 (Grundwasserhochstand) sowie die Monate August und September 1991 sämtliche Grundwassermessungen als Isolinienpläne, bezogen auf NN, in Planbeilage 8 zusammengefaßt.

Aus den einzelnen Teilplänen ist für das obere Tiefenniveau eine recht homogene Verteilung der Isolinien zu erkennen. Der Verlauf der Linien entspricht der erwarteten Verteilung und den typischen Verhältnissen in einer durch ein

Tal gebildeten Vorflut. Die Fließrichtungen sind allgemein im Hangbereich im ca. 45°-Winkel zur Talachse geneigt und biegen mit abnehmender Entfernung zur Talachse in diese ein. Im Vergleich zwischen den Januar- und August-/September-Meßwerten ist auch deutlich die bereits angesprochene Schwankung des Grundwasserspiegels über die Jahreszeiten zu erkennen. Die Isolinienverteilung im Sommer liegt relativ gleichmäßig ca. 1 m unterhalb der Wasserstände im Januar.

Im weiteren Talverlauf in Richtung Süden bzw. Südwesten (Gewerbegebiet Naßwiesen) biegt die Fließrichtung scheinbar weitgehend in Richtung der ehemaligen Talachse um, dies entspricht dem früheren Verlauf des Baches bzw. der Vernässungszonen.

In allen 3 Teilplänen sind im Fußbereich der Deponie Siegelbach und der Umlagerungsdeponie geringfügige Verzerrungen der Isolinien zu erkennen. Diese Verzerrungen sind sehr wahrscheinlich auf Inhomogenitäten des Grundwasserleiters zurückzuführen, die in diesen Bereichen vermutlich auf anthropogenen Einflüssen beruhen.

Bei der Umlagerungsdeponie handelt es sich wahrscheinlich um aufgeschüttetes Erdreich zwischen Umlagerungsdeponie und Rohr'scher Weiher, welches vermutlich als bevorzugter Abzugskanal des Grundwassers dient. Bei der Deponie Siegelbach findet im Bereich des ehemaligen Deponiefußes durch Aufschüttmaterial oder Hausmüll wahrscheinlich ebenfalls eine Kanalisierung des Sickerwassers statt. In diesem Randbereich wurde auch während der Betriebes der Deponie das anfallende Sickerwasser in die Aue abgeleitet. Es kann demnach angenommen werden, daß die damals geschaffenen Wegsamkeiten noch vorhanden sind und Sickerwasser entsprechend dem primären Gefälle der Deponiebasis bevorzugt hier abgeleitet wird.

Im mittleren und unteren Tiefenbereich ist zu erkennen, daß die Hauptfließrichtung ebenfalls entsprechend der Talachse nach Norden gerichtet ist. Die Grundwasseroberfläche sinkt im Untersuchungsfeld von ca. 248 auf 235 mÜNN ab. Dies bedeutet ein Gefälle von $1 : 85 = 1,2 \%$. Für die tieferen Bereiche ergibt sich ein etwas geringeres Gefälle von ca. $1 : 100 = 1 \%$. Bei dem Verlauf der Grundwasserfließrichtungen ist besonders beim mittleren und unteren Tiefenniveau anzumerken, daß die Fließrichtung spitzwinklig auf die Rotliegendoberfläche gerichtet ist. Somit kann vermutet werden, daß die Strömung an

der als Stauhorizont wirkenden Rotliegendoberfläche abgeleitet wird. Ob hierbei eine vertikale oder horizontale Ablenkung auftritt, kann im Moment noch nicht eindeutig geklärt werden. Es ist jedoch aus den verschiedenen Meßwerten zu erkennen, daß zwischen den oberen und den unteren Horizonten des Grundwasserkörpers Druckunterschiede von wenigen Zentimetern bis einigen Dezimetern auftreten, die gewisse Rückschlüsse zulassen. Hierzu wurden die Druckunterschiede, d. h. die Unterschiede zwischen den gemessenen Grundwasserständen der einzelnen Tiefenniveaus in Planbeilage 10 dargestellt und zwar die Druckunterschiede zwischen oberem und mittlerem, oberem und unterem und mittlerem und unterem Niveau für August und September. Hierbei geben die Vorzeichen an, ob der Grundwasserstand des tieferen Niveaus über oder unter dem Grundwasserstand des oberen Niveaus steht.

Es lassen sich einige deutliche Tendenzen ablesen. Wie aus den Abbildungen zu erkennen ist, werden bei den Höhenunterschieden des mittleren und unteren Tiefenbereiches, bezogen auf den oberen Tiefenbereich, westlich der Talachse fast ausschließlich positive Werte gefunden, im östlichen Teil hingegen negative Werte. Dies bedeutet, daß ein Druckgefälle von tieferen Horizonten in den oberen Aquiferbereich existiert. Beim Vergleich des mittleren mit dem unteren Tiefenbereich zeigt sich, daß hier weitgehend ein geringes Druckgefälle von oben nach unten existiert.

Im Überblick bedeutet dies, daß westlich der Talachse Grundwasser aus dem mittleren Tiefenbereich dem Druckgefälle folgend nach oben strömen müßte, hingegen im östlichen Teil Wasser eher in die Tiefe abwandert. Bezüglich der Unterschiede von oberem und unterem Tiefenbereich findet sich die gleiche Tendenz, nur ist hier der Effekt etwas in westlicher Richtung verschoben. Für den unteren und mittleren Bereich bedeutet dies, daß Grundwasser aus dem mittleren in den tieferen Bereich abwandert. Eventuell kann die geringe Grundwasseraufhöhung im mittleren Bereich auf den Rückstau des Grundwassers durch den Stauer Rotliegende zurückgeführt werden.

In Planbeilage 11 sind die Unterschiede der Grundwasserstände zum jeweiligen Vormonat dargestellt. Hierbei wurden auch die Grundwasserstandsänderungen im mittleren und unteren Tiefenbereich berücksichtigt. Aus den Abbildungen ist zu erkennen, daß im oberen Tiefenbereich zwischen August und September ein Absinken des Grundwasserspiegels zu beobachten ist. Dies ist eindeutig auf die sommerliche Trockenphase zurückzuführen. Die im Folgemonat auftretende Zunahme

der Grundwasserstände kann auf die in diesem Zeitraum einsetzenden Herbstniederschläge zurückgeführt werden. Hierbei ist zu erkennen, daß die Grundwasserstände besonders im Randbereich und nördlich des Rohr'schen Weihers angestiegen sind. Die Randbereiche liegen in nächster Nähe zu den verschiedenen Ablagerungen (Bauschuttdeponie, Deponie Siegelbach). Der schnelle Anstieg der Grundwasserstände im Talrandbereich kann somit auch auf die höheren Durchlässigkeiten der Ablagerungen zurückgeführt werden, so daß die Deponiekörper eine schnelle Reaktionszeit verursachen. Die Zunahme nördlich des Rohr'schen Weihers kann durch die Infiltration aus dem Weiher in den Aquifer verursacht sein.

Die Grundwasserspiegeländerungen in den anderen Tiefenniveaus zeigen keine eindeutigen Tendenzen. Hier wechseln sich Zu- und Abnahmen der Grundwasserstände in einem kleinräumigen Muster ab. Worauf diese unterschiedlichen Schwankungen zurückgeführt werden können ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht bekannt.

Aus dem Vergleich der Grundwasserstände im oberen Tiefenniveau mit dem Verlauf der Deponiebasis ergibt sich, daß zumindest die Hälfte der Deponiebasis, d. h. hauptsächlich der östliche Teil der Deponie, ganzjährig im Einflußbereich des Grundwassers liegt. In der Planbeilage 12 sind diese Ergebnisse in Isolinenplänen aufgearbeitet. In diesen Plänen ist zu erkennen, daß die größten Müllmächtigkeiten, welche im Einflußbereich des Grundwassers liegen, ca. 2,5 m betragen und an der östlichen Begrenzung der Deponie Siegelbach zu finden sind.

6.2.3 Ergebnisse der WD-Tests

Aus den Ergebnissen der WD-Versuche lassen sich die gesteinspezifischen k_f -Werte nur bedingt berechnen. Hierzu werden in der Literatur verschiedene Lösungsansätze angegeben. Grundvoraussetzung für die Verwendung der WD-Werte ist die Annahme einer homogenen und isotropen Durchlässigkeit des Gebirges im direkten Umgebungsbereich der Bohrlöcher. Hierbei ist anzumerken, daß diese Bedingungen nur im Idealfall zutreffen. Unter natürlichen Bedingungen wird sich eine anisotrope Durchlässigkeit (Kluftgrundwasser) im Gestein ausbilden. Die bei dieser Voraussetzung festgestellten Gesteinsdurchlässigkeiten können demnach nur einen Größenbereich festlegen.

Nach HEITFELD & KOPPELBERGER, 1991 (Durchlässigkeitsbestimmungen mittels WD-Versuche, Bericht Angewandte Geologie, Zbl. Geol. Pal., Teil I, 1981, S. 654, Gleichung 7 + 8) bestehen folgende Gleichungen zur Umrechnung auf kf-Werte zur Verfügung:

$$(1) \quad k_f = \frac{Q_{WD}}{2 \cdot L \cdot h_o} * \ln \left(\frac{10 \text{ m}}{r_o} \right)$$

$$(2) \quad k_f = 0,3665 * \frac{Q_{WD}}{L \cdot H_o} * \log \left(\frac{2}{r_o} \right)$$

Q_{WD} = Wassermenge pro Zeiteinheit

L = Länge der Verpreßstrecke

H_o = Energiehöhe (näherungsweise Druckhöhe) im Bohrloch

r_o = Bohrlochradius

Die einzelnen Werte können den Anlagen aus den Schichtenverzeichnissen (Anlage 1) und den Versuchsprotokollen der WD-Versuche (Anlage I) entnommen werden. Für die einzelnen Versuche ergeben sich dabei die folgenden Zahlenwerte:

Bohrung: Br2A, Messung: 10.06.91

Packertiefe: 43,0 - 44,0 m innerhalb Buntsandstein

Endtiefe: 52,0 m

Druck (bar)	kf-Wert Berechnung nach	
	Gleichung 1 (m/s)	Gleichung 2 (m/s)
6	$1,93 \times 10^{-8}$	$2,10 \times 10^{-8}$
7	$2,58 \times 10^{-8}$	$2,70 \times 10^{-8}$
9	$3,62 \times 10^{-8}$	$3,70 \times 10^{-8}$
7	$2,69 \times 10^{-8}$	$2,9 \times 10^{-8}$
6	$1,93 \times 10^{-8}$	$2,9 \times 10^{-8}$
kf-Bereich		$2 - 3 \times 10^{-8} \text{ m/s}$
=====		

Bohrung: Br2A, Messung: 10.06.91

Packertiefe: 53,0 - 54,0 m innerhalb Rotliegendes

Endtiefe: 56,0 m

kf-Wert Berechnung nach		
	Gleichung 1	Gleichung 2
Druck (bar)	(m/s)	(m/s)
7		
8		
10	3×10^{-9}	6×10^{-9}
8		
7		
kf-Bereich	$3 - 6 \times 10^{-9} \text{ m/s}$	
	=====	

Bohrung: Br3A, Messung: 16.05.91

Packertiefe: 32,5 - 33,5 m innerhalb Buntsandstein

Endtiefe: 42,5 m

kf-Wert Berechnung nach		
	Gleichung 1	Gleichung 2
Druck (bar)	(m/s)	(m/s)
6	$8,24 \times 10^{-8}$	$8,5 \times 10^{-8}$
8	$10,05 \times 10^{-8}$	$10,2 \times 10^{-8}$
9	$10,26 \times 10^{-8}$	$10,4 \times 10^{-8}$
8	$9,07 \times 10^{-8}$	$9,2 \times 10^{-8}$
6	$6,16 \times 10^{-8}$	$6,2 \times 10^{-8}$
kf-Bereich	$6 - 10 \times 10^{-8} \text{ m/s}$	
	=====	

Bohrung: Br3A, Messung 17.05.91

Packertiefe: 42,5 - 43,5 m innerhalb Rotliegendes

Endtiefe: 46,0 m

kf-Wert Berechnung nach		
Druck (bar)	Gleichung 1	Gleichung 2
	(m/s)	(m/s)
6	$5,87 \times 10^{-9}$	$8,00 \times 10^{-9}$
8	$6,59 \times 10^{-9}$	$9,00 \times 10^{-9}$
10	$14,12 \times 10^{-9}$	$19,00 \times 10^{-9}$
8	$6,59 \times 10^{-9}$	$9,00 \times 10^{-9}$
6	$5,87 \times 10^{-9}$	$8,00 \times 10^{-9}$
kf-Bereich		
5 - 20 x 10 ⁻⁹ m/s		
=====		

Bohrung: Br7A, Messung: 03.06.91

Packertiefe: 24,0 - 85,0 m innerhalb Buntsandstein

Endteufe: 31,0 m

kf-Wert Berechnung nach		
Druck (bar)	Gleichung 1	Gleichung 2
	(m/s)	(m/s)
5	$1,02 \times 10^{-7}$	$1,13 \times 10^{-7}$
7	$1,43 \times 10^{-7}$	$2,22 \times 10^{-7}$
9	$2,12 \times 10^{-7}$	$2,35 \times 10^{-7}$
7	$1,29 \times 10^{-7}$	$1,44 \times 10^{-7}$
5	$0,91 \times 10^{-7}$	$1,01 \times 10^{-7}$
kf-Bereich		
1 - 2,5 x 10 ⁻⁷ m/s		
=====		

Bohrung: Br7A, Messung: 04.06.91

Packertiefe: 31,0 - 32,0 m

Endteufe: 34,5 m

kf-Wert Berechnung nach		
	Gleichung 1	Gleichung 2
Druck (bar)	(m/s)	(m/s)
5		
7		
10	$5,03 \times 10^{-9}$	$6,0 \times 10^{-9}$
7		
5		
kf-Bereich	$5 - 6 \times 10^{-9} \text{ m/s}$	
	=====	

Somit ergeben sich für Buntsandstein und Rotliegendes folgende Gesteinsdurchlässigkeiten:

Buntsandstein (Staufer Schichten):

Bohrung	kf-Bereich	
Br2A	$2 - 3 \times 10^{-8}$	Durchschnitt
Br3A	$6 - 10 \times 10^{-8}$	ca. 10^{-7} bis 10^{-8}
Br7A	$1 - 2,5 \times 10^{-7}$	

Rotliegendes (Standenbühler Schichten):

Bohrung	kf-Bereich	
Br2A	$3 - 6 \times 10^{-9}$	Durchschnitt
Br3A	$5 - 20 \times 10^{-9}$	ca. 10^{-8} bis 10^{-9}
Br7A	$5 - 6 \times 10^{-9}$	

Wie aus den beigegeführten Versuchsprotokollen (Anlage I) zu erkennen ist, wurden bei den WD-Versuchen im Buntsandstein bei Maximaldrücken Wassermengen zwischen 3 und 12 l/min, bei den Minimaldrücken Wassermengen zwischen 1 und 3 l/min in das umgebende Gestein eingepreßt.

Des weiteren ist aus dem Verlauf der Wasseraufnahme zu erkennen, daß im Buntsandstein bei der jeweiligen Drucksteigerung Klüfte geringfügig erweitert wurden, die zu einer kurzfristigen starken Steigerung der Wasseraufnahme führten. Bei den WD-Versuchen im Rotliegenden wurden bei Minimal- und Maximaldruck nur geringe Unterschiede in der Aufnahmekapazität festgestellt. Sie liegt im Bereich unterhalb 1 l/min. Die einzelnen starken Ausschläge bzw. kurzzeitigen Steigerungen der Aufnahmekapazität zum Beginn der jeweiligen Drucksteigerung sind auf geringfügig aufreißende Klüfte zurückzuführen.

Die Durchlässigkeiten in beiden Gesteinen sind nicht auf die primäre Durchlässigkeit der Gesteine, sondern vielmehr auf Durchlässigkeiten entlang von Rissen, Klüften, Schichtflächen zurückzuführen. Es muß deshalb zusätzlich angenommen werden, daß im Bereich von größeren Klüften sowie entlang von Störungen größere Durchlässigkeiten und Fließgeschwindigkeiten angetroffen werden können.

6.2.4 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen zur Hydrogeologie

Wie aus den vorhergehenden Ausführungen zu erkennen ist, findet sich im Untersuchungsgebiet ein Grundwasserkörper ausgebildet, der im Norden eine geringe Mächtigkeit von einigen Metern besitzt und in Richtung Süden sehr schnell an Mächtigkeit gewinnt. Hierbei ist die Mächtigkeitszunahme nicht nur auf das Ansteigen der Grundwasseroberfläche zurückzuführen, sondern auch auf die starke Mächtigkeitszunahme des Hauptspeichergesteins Sandstein zurückzuführen.

In den oberen Gesteinsschichten findet sich in der Talaue ein Porengrundwasserleiter ausgebildet. Er geht ohne ein zwischengeschaltetes trennendes Schichtglied in den Kluftwasserleiter des Buntsandsteins über. Die Hauptfließrichtung in allen Tiefenniveaus des Grundwasserkörpers ist nach Norden, entsprechend dem Talachsenverlauf der Vorflut, gerichtet. An den Talrändern schwenken die Fließrichtungen sukzessive in eine Richtung schräg zur Talachse ein. Der Grundwasserkörper zeigt im jahreszeitlichen Verlauf nur geringe Grundwasserspiegelschwankungen. So wurden während des trockenen Frühjahrs und Sommers 1991 nur Maximalabsenkungen von ca. 1 m gemessen, was bei der begrenzten Ausdehnung des Einzugsgebietes zu beachten ist. Dies läßt den Rückschluß

zu, daß das Speichervermögen bzw. Rückhaltevermögen der Gesteine ein schnelles Leerlaufen verhindert. Demnach ist auch mit geringen Fließgeschwindigkeiten zu rechnen.

Die aus den WD-Versuchen überschlägig berechneten Durchlässigkeiten liegen für die Staufer Schichten bei ca. 10^{-7} - 10^{-8} m/s, für die Standenbühler Schichten bei ca. 10^{-8} - 10^{-9} m/s. Für die sandigen Talaueablagerungen kann nach verschiedenen vorhandenen Ergebnissen aus Korngrößenverteilungen durch Abschätzverfahren eine Durchlässigkeit von ca. 10^{-5} - 10^{-6} m/s angesetzt werden. Zusätzlich kann für die Müllablagerungen eine spezifisch hohe Durchlässigkeit angenommen werden, die sich vermutlich im Bereich von ca. 10^{-4} - 10^{-5} bewegen wird. Die Deponieabdeckung kann wegen der eingebauten tonigen Anteile mit ca. 10^{-5} - 10^{-7} partiell sicherlich auch geringer angenommen werden.

Aufgrund der Größenverhältnisse der kf-Werte sind folgende Beziehungen anzusetzen:

kf-Hausmüll >> kf-Buntsandstein >> kf-Rotliegendes
und
kf-Hausmüll >> kf-Deponieabdeckung

Diese Verhältnisse lassen den Schluß zu, daß weitgehend der größte Teil des gebildeten Sickerwassers auf der Deponiebasis gestaut wird und der Gravitation folgend abfließt. Nur ein geringer Teil wird in die Staufer Schichten übertreten. Die unterlagernden Rotliegendtonsteine können wegen ihrer geringen Durchlässigkeit als Wasserstauer bezeichnet werden. Soweit ist weitgehend ein Eindringen von Grundwasser wirksam behindert.

Aus den gemessenen Grundwasserständen geht im Vergleich zur Deponiebasis hervor, daß zumindest die östlichen Randbereiche der Deponie Siegelbach ganzjährig von Grundwasser beeinflusst werden. Dort liegen Müllablagerungen mit bis zu mehr als 2 m Mächtigkeit unter dem Grundwasserspiegel, was eine Grundwasserbelastung durch direkte Auslaugung des Mülls bedingt.

Die Sickerwasserneubildung im Deponiekörper wird auch im großen Maß durch die Versickerung von Niederschlagswässern beeinflusst. Da die Deponie keine adäquate Oberflächenabdichtung aufweist, können Niederschläge relativ leicht an vielen Stellen in den Deponiekörper eindringen. Die Menge dieses Sickerwassers

kann grob unter den gegebenen Bedingungen nach mathematischen Ansätzen abgeschätzt werden. Hierbei beruhen diese Mengenabschätzungen auf Modellrechnungen, die bereits an vergleichbaren Standorten mittels eines Computermodells (HELP) durchgeführt wurden. Für gegebene Bedingungen kann angenommen werden, daß ca. 60 - 70 % der Niederschläge durch Evapotranspiration dem Boden wieder entzogen werden. Ein geringer Anteil ($< 1\%$) wird direkt im Oberflächenabfluß abgeleitet. Der verbleibende Rest von ca. 30 - 40 % gelangt ohne weitere Hindernisse in die Deponie und sickert der Gravitation folgend bis auf die Deponiesohle wo es weiter versickert bzw. gestaut und dem allgemeinen Gefälle der Staufläche folgend abgeleitet wird.

Unter der Annahme einer jährlichen Niederschlagsmenge von ca. 800 mm ergibt sich für die Deponie somit eine Gesamtniederschlagsmenge von ca. 56.500 m³/a (Gesamtfläche 58.000 m²). Nach Abzug der Verluste durch Evapotranspiration verbleiben ca. 14.000 - 19.000 m³/a Sickerwasser. Die im Sickerwasser auftretende Schadstofffracht ist hierbei stark von der Verweilzeit des Wassers im Deponiekörper und vom Anteil an löslichen bzw. transportierbaren Schadstoffen abhängig. Eine Verschiebung der Sickerwasserzusammensetzung durch das Altern bzw. Ausbluten einer Deponie kann als natürliche Bedingung erwartet werden.

Da wahrscheinlich der größte Sickerwasseranteil am östlichen Deponierand in die Talaue bzw. direkt in die vorbeifließenden Oberflächenwässer abgeleitet wird, ist die Schadstofffahne vermutlich dort nur untergeordnet ausgebildet.

Da zur Zeit nicht bekannt ist, inwieweit der Sickerwasserabfluß am Deponierand behindert wird, ist zu vermuten, daß in der Deponie je nach Jahreszeit und Wasserandrang ein gewisser Rückstau auftritt. Bei einem relativ hohen Rückstau innerhalb der Deponie besteht somit die Möglichkeit, daß Sickerwasser zeitweise über andere Wegsamkeiten abgeleitet wird. Hierdurch könnten z. B. die starken Schwankungen der Leifähigkeit in Meßstelle P3 erklärt werden.

Aus den Meßprotokollen der Probenahme ist zu erkennen (siehe hierzu Anlage III), daß bei geringen Förderleistungen von 0,3 - 0,4 l/s teilweise eine starke Absenkung des Grundwasserspiegels auftritt, die auf eine relativ geringe Durchlässigkeit des Buntsandsteins hindeutet. Hingegen werden in den im Talauenbereich verfilterten Meßstellen spezifisch geringere Absenkungen und somit höhere Durchlässigkeiten angetroffen.

6.3 Hydrochemische Verhältnisse

6.3.1 Allgemeines zur Hydrochemie

Wie schon im vorangegangenen Abschnitt erläutert, wurden, um die hydrochemischen Verhältnisse im Untersuchungsfeld zu ergründen, verschiedene Parameter in Wasserproben analysiert und monatliche Messungen der Leitfähigkeiten im Grundwasser durchgeführt. Ebenso wurden in den Bohrlöchern vor Verfilterung verschiedene Messungen durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen ist die Eingrenzung möglicher Schadstoffahnen.

6.3.2 Ergebnisse der Leitfähigkeitsmessungen

Es liegen im einzelnen folgende Meßwerte vor:

1. Meßprogramm der Meßstellen P1 - P10, S1 - S4, seit Januar 1991 regelmäßig im monatlichen Abstand
2. Meßprogramm der Meßstellen Br1 - Br9, seit August 1991 regelmäßig im monatlichen Abstand
3. Messungen der Leitfähigkeit während der Grundwasser-Probenahme

Zu den einzelnen Werten wird auf die Anlagen P, Q, III und die Planbeilagen 6 und 9 verwiesen.

Aus den Messungen der Leitfähigkeiten in den Meßstellen P1 - P10 und S1 - S4 lassen sich einige zu erwartende Tendenzen erkennen. Zur besseren Verständlichkeit wurden die Leitfähigkeiten für jede Meßstelle getrennt für den Meßzeitraum aufgetragen (Planbeilage 6). Aus der Plandarstellung ist zu erkennen, daß die höchsten Leitfähigkeiten in den Randbereichen der Deponien zur Aue hin auftreten. Dort wurden fortlaufend Leitfähigkeiten von mehr als 100 mS/m gemessen. In den weiter entfernten Bereichen, die nicht als sickewasserbeeinflußt angesehen werden können, treten Leitfähigkeiten von ca. 3.050 mS/m auf. Hierbei ist darauf hinzuweisen, daß diese Meßwerte nur den oberen Tiefenbereich im Grundwasser betreffen.

Bei einem direkten Vergleich der Leitfähigkeiten untereinander (Anlage Q) ist die oben dargestellte Tendenz der Leitfähigkeiten sehr deutlich zu erkennen. So zeigen sich mehrere Meßstellen (S1 - S4, P3, P8, P9) die hohe Leitfähigkeiten $> 100 \text{ mS/m}$ aufweisen und einige Meßstellen (P1, P2, P4, P6, P7, P10) die Werte um 50 mS/m aufweisen. Aus den beiden Diagrammen ist auch zu erkennen, daß die Meßstellen mit hohen Leitfähigkeiten dabei größeren zeitlichen Schwankungen unterworfen sind, die teilweise über 100 mS/m ausmachen können. Hingegen zeigen die Meßstellen mit geringen Leitfähigkeiten auch weitgehend geringe Schwankungsbreiten und einen gleichmäßigeren Kurvenverlauf.

Bei einem Vergleich der Leitfähigkeitsmessungen mit den Grundwasserständen zeigen die Meßstellen mit geringen Leitfähigkeiten einen weitgehend simultanen Verlauf. Die Meßstellen mit hohen Leitfähigkeiten zeigen einen stark abweichenden, teilweise sogar gegenläufigen Verlauf. Diese großen Unterschiede dürften auf Sickerwassereinflüsse zurückgeführt werden.

Um die Leitfähigkeiten in den verschiedenen Tiefenniveaus des Grundwasserkörpers sowie die Verteilung der Leitfähigkeiten über die Fläche des Untersuchungsfeldes beurteilen zu können, werden die Ergebnisse zu Isolinienplänen für die Monate Januar, August und September für jedes der drei Tiefenniveaus verarbeitet (Planbeilage 9).

Wie aus diesen Isolinien für den oberen Tiefenbereich zu erkennen ist, ist die Verteilung während aller drei dargestellten Monate relativ gleichmäßig.

Im Fußbereich der Deponie Siegelbach und der Umlagerungsdeponie werden die Maximalwerte von 350 mS/m bzw. 150 mS/m angetroffen. Lateral nehmen diese Werte sehr schnell ab. Zwischen diesem Maxima treten schmale Bereiche mit nur geringfügig erhöhten Werten auf. Im Südostteil des Untersuchungsfeldes findet sich ein Bereich mit gleichmäßig niedrigen Meßwerten. Im weiteren Verlauf des Tales, nördlich des Rohr'schen Weihers, gehen die Leitfähigkeiten wieder auf 70 mS/m zurück.

Aus der Verteilung der Leitfähigkeiten im mittleren und unteren Tiefenbereich geht eindeutig hervor, daß dort relativ geringe Leitfähigkeiten von $50 - 60 \text{ mS/m}$ eine flächige Verbreitung besitzen. Die Leitfähigkeiten nehmen in bei-

den Tiefenbereichen nach Norden bzw. Nordosten in Richtung der Umlagerungsdeponie zu. Maßgebend für die Zunahme auf Werte zwischen 80 und 100 mS/m sind hierbei die Meßstellen 6A/B und 7A/B.

Um die während der monatlichen Leitfähigkeitsmessungen gewonnenen Daten für die neu eingerichteten 5"-Meßstellen besser kontrollieren und eichen zu können, wurden während der Entnahme der Grundwasserproben kontinuierlich die Leitfähigkeit im Pumpenstrom gemessen. Hierbei zeigte sich, daß während des Abpumpens sich, wie zu erwarten, stationäre Verhältnisse bezüglich dieses Parameters einstellten (siehe Anlage III). Zugleich wurde hierbei aber festgestellt, daß die Leitfähigkeiten in einigen Meßstellen während des Abpumpens stark absanken. Die Meßwerte vor Pumpbeginn und am Ende des Abpumpens wurden aus diesem Grund für die verschiedenen Tiefenniveaus auf die Lagepläne in Planbeilage 9 übertragen.

Aus diesen beiden Abbildungen ist zu erkennen, daß in den Meßstellen Br6B, Br6A, Br7A ein sehr starkes Absinken der Leitfähigkeit während des Pumpvorganges registriert werden konnte. Da ein seitliches Eindringen von Wasser in die Meßstellen aufgrund der konstruktiven Ausführung der Meßstellen ausgeschlossen werden kann ist anzunehmen, daß den Filterstrecken evtl. über Klüfte höher belastetes Wasser zufließt. Durch die Entnahme größerer Wassermengen wird dieses Wasser aus der Meßstelle entfernt und Frischwasser mit einer entsprechend geringeren Leitfähigkeit angesaugt. Dieser Effekt kann jedoch insgesamt in seinen Auswirkungen als eher gering eingestuft werden. Es dürfte auszuschließen sein, daß hierdurch größere Mengen belasteter Grundwässer in unbelastete Bereiche abwandert. Dies bedeutet für die Meßwerte der Meßstelle Br6 und Br7, daß zumindest im mittleren und unteren Tiefenbereich eine Korrektur der Meßwerte zu geringeren Leitfähigkeiten vorgenommen werden muß. Somit wären auch Korrekturen im Bereich der Isoliniendarstellungen der Leitfähigkeiten in den angesprochenen Tiefenbereichen vorzunehmen. Dies bedeutet, daß das in diesen Plandarstellungen auftretende Ansteigen der Isolinien in Richtung Umlagerungsdeponie insbesondere im unteren Tiefenbereich nicht so stark ausgebildet ist.

Aus den restlichen Meßwerten ist zu erkennen, daß die in den anderen Meßstellen registrierten Leitfähigkeiten die im Grundwasserkörper allgemein auftretenden Leitfähigkeiten repräsentieren.

Demnach können für die verschiedenen Tiefenbereiche folgende charakteristische Leitfähigkeiten angegeben werden:

- oberer Tiefenbereich ca. 55 mS/m
- mittlerer Tiefenbereich ca. 45 mS/m
- unterer Tiefenbereich ca. 25 mS/m

Hiermit dokumentiert sich eine sukzessive Abnahme der Leitfähigkeit mit zunehmender Tiefe. Ob diese Leitfähigkeitsabnahme als mehr oder weniger linear über den Grundwasserkörper oder eher schrittweise in Stockwerken vorliegt, ist aufgrund des vorhandenen Datenmaterials nicht feststellbar.

6.3.3 Ergebnisse der Bohrlochvermessungen

Wie bereits erläutert, wurden in den Bohrlöchern sowohl im unausgebauten wie auch im ausgebauten Zustand teufenabhängige Messungen von Leitfähigkeit, Temperatur und pH-Wert vorgenommen. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in den Anlagen X - Z dargestellt.

Die Abbildungen in Anlage X beinhalten die Temperatur-, pH- und Leitfähigkeitswerte im unausgebauten Bohrloch. Die Darstellungen in Anlage 4 geben die Meßergebnisse in den ausgebauten Bohrlöchern wieder. In der Anlage Z wurden die Leitfähigkeiten aus beiden Messungen verglichen.

Beim Vergleich der Leitfähigkeiten im ausgebauten und unausgebauten Zustand ist zu erkennen, daß bis auf Meßstelle 4 und 7 die Leitfähigkeit im mittleren Tiefenbereich geringfügig höher liegt, als im unteren Tiefenbereich. Hierbei ist auch zu erkennen, daß die Leitfähigkeiten nicht kontinuierlich zu- bzw. abnehmen, sondern in einem jeweils schmalen Tiefenniveau fast sprunghaft zur Teufe hin abnehmen. Diese Tendenz wird auch durch kleine Sprünge im Kurvenverlauf der pH- und Temperaturwerte im unausgebauten Bohrloch belegt.

Der Sprungbereich liegt in den Meßstellen Br1, Br4 - Br7 jeweils in Tiefen von 25 - 35 m, in den Meßstellen Br2 und Br3 bei ca. 10 - 20 m Tiefe. Der Absolutbetrag der Leitfähigkeitsänderung in diesen Sprungbereichen ist von Meßstelle zu Meßstelle unterschiedlich.

Zum jetzigen Zeitpunkt kann noch nicht geklärt werden, worauf dieser Sprung zurückgeführt werden kann. Eine mögliche Erklärung hierfür, insbesondere in Verbindung mit den Ausführungen am Ende des Abschnittes 6.3.2, würde die Möglichkeit einer primären Zonierung bzw. Schichtung des Grundwasserkörpers sein.

6.3.4 Ergebnisse der Grundwasserproben

Wie bereits unter Punkt 5. erläutert, wurden Wasserproben aus den ausgebauten Sickerwasserschürfen S1 - S4 und den neuen Meßstellen Br1A - Br9 entnommen und analysiert. Diese Analysenergebnisse wurden tabellarisch und grafisch aufgearbeitet.

Im einzelnen finden sich die Ergebnisse in den Anlagen:

Anlage T: Tabelle der Analysenergebnisse
Sickerwasserproben S1 - S4

Anlage U: Tabelle der Analysenergebnisse
Grundwasserproben Br1A - Br9

Anlage V: Darstellung der Anionen- und Kationenverhältnisse

Planbeilage 13: Grafische Darstellung der Analysenergebnisse für die
verschiedenen Probenahmepunkte. Verschiedene Diagramme
mit Darstellung von Anionen- und Kationenkonzentrationen

Nachfolgend sind diese einzelnen Anlagen erläutert sowie die daraus abzuleitenden Ergebnisse dargestellt.

Zu Anlage T:

In dieser Tabelle sind alle Analysenergebnisse aus den zwei Beprobungszyklen der Sickerwasserschürfe S1 - S4 dargestellt. Bei der Beprobung der Meßstelle S3 wurde bei der 1. Beprobung eine Doppelprobe entnommen. Da die Meßstelle S4 während der 2. Beprobung trocken gefallen war wurde als Ersatz die benachbarte Meßstelle P5 beprobt.

Zusätzlich zu den Analysenergebnissen sind in der Tabelle beobachtete Konzentrationsbereiche aus anderen Deponien (Literaturangaben) beigelegt. Des weiteren wurden die Werte der sog. Holland-Liste beigelegt, welche allerdings nur hilfsweise herangezogen werden können.

Beim Vergleich der Analysenergebnisse der beiden Beprobungen ist zu erkennen, daß bei einigen Parametern stark voneinander abweichende Konzentrationen gemessen wurden (schwerflüchtige Lipophile, Gesamtkohlenwasserstoffe, Phenol etc.). Diese Unterschiede müssen primär auf den Wasserhaushalt der Deponie zurückgeführt werden. Es ist nicht zu vermuten, daß die Zusammensetzung des Sickerwassers über längere Zeit, insbesondere wenn die Einflußfaktoren wie Niederschläge starken Schwankungen unterworfen sind, konstant bleiben.

Allgemein ist aus den Analysenergebnissen zu erkennen, daß sich die Wasserproben durch relativ hohe Konzentrationen bei den anorganischen Parametern ausweisen.

Im Bereich der organischen Parameter sind besonders auffallend erhöhte Phenol- und AOX-Werte bei der 2. Beprobung und hohe Gesamtkohlenwasserstoffe- und schwerflüchtige Lipophilkonzentrationen bei der 1. Beprobung. Zusätzlich traten geringfügige Pestizidkonzentrationen (Atrazin und Somazin) und PAK-Konzentrationen bei der 1. Beprobung auf.

Bei allen weiteren organischen Parametern (Pestizide, chlorierte Kohlenwasserstoffe, polyzyklische Aromate, monozyklische Aromate) lagen die Messungen unterhalb der jeweiligen Nachweisgrenze.

Beim Vergleich der erhöhten Werte mit in der Holland-Liste aufgeführten Werten ist zu erkennen, daß bei beiden Beprobungen Phosphat und Ammonium weitgehend über den C-Werten liegen. Beim Vergleich dieser Werte mit der Tabelle der Analysenergebnisse aus den restlichen Grundwassermeßstellen ist zu erkennen, daß diese hohen Konzentrationen als nicht charakteristisch für das Untersuchungsgebiet anzusehen sind. Sie sind demnach auf Sickerwassereinfluß zurückzuführen. Gleiches gilt auch für die Werte Gesamtkohlenwasserstoffe, schwerflüchtige Lipophile und Phenole. Vereinzelt Schwermetallkonzentrationen (entsprechend B- und C-Werten der Holland-Liste) müssen ebenfalls hiermit in Verbindung gebracht werden.

Zur Hervorhebung dieser "Wertüberschreitungen" wurden die Meßwerte gekennzeichnet. Auf die hohen Anionen- und Kationenkonzentrationen wird im weiteren Verlauf noch ausführlicher eingegangen.

Zu Anlage U:

In dieser Anlage sind die Meßergebnisse der Grundwasserproben aus den Meßstellen Br1A - Br9 zusammengefaßt. Die an diesen Proben durchgeführte Analytik wurde gegenüber den Proben aus den Sickerwasserschürfen auf für die weitere Betrachtung sinnvolle Leitparameter beschränkt. Hierbei handelt es sich um die Analysen von Anionen und Kationen, TOC, AOX und Phenol.

Wie aus der Tabelle zu entnehmen ist, lagen bei den organischen Parametern alle Meßwerte außer AOX/TOC unterhalb der jeweiligen Nachweisgrenze. Die gemessenen AOX-Werte liegen um den Faktor 10 unterhalb den in den Sickerwasserproben gemessenen Werten. Teilweise liegen die Werte auch unterhalb der Nachweisgrenze. Für die TOC-Messungen gelten die gleichen Verhältnisse. Hier liegen die Werte um den Faktor 100 unterhalb der Ergebnisse aus den Sickerwasserproben.

Die Analysenwerte der Anionen- und Kationenkonzentrationen zeigen gegenüber den Sickerwasserproben ebenfalls niedrigere Werte an. Nur in den Meßstellen Br6A, Br6B, Br7A, Br7B, Br8 und Br9 sind die Meßwerte gegenüber den restlichen Meßstellen erhöht. Auffallend sind für diese Analysen auch die hohen Sulfat- und Nitratkonzentrationen, die jedoch nicht auf einen Sickerwassereinfluß zurückgeführt werden können, da in den Sickerwasserproben keine erhöhten Sulfat- und Nitratwerte nachgewiesen werden konnten. Diese hohen Konzentrationen dürften eher auf einen Einfluß der Landwirtschaft (Düngung) zurückzuführen sein.

Die in den Wasserproben festgestellten hohen Wasserhärten (Karbonat- und Gesamthärte) scheinen typisch für die natürlichen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet zu sein. Dies ist vermutlich auf die primären Karbonatanteile der Staufer Schichten zurückzuführen, die zu einem relativ hohen natürlichen Hydrogenkarbonatanteil des Grundwassers führen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß in den sickerwasserbeeinflussten Meßstellen die Wasserhärten über den natürlichen Verhältnissen liegen.

Zu Anlage V:

In dieser Anlage werden die verschiedenen Ionenverhältnisse grafisch dargestellt. Die Bezeichnungen auf der x-Achse entsprechen den folgenden Ionenverhältnissen:

- A = Alkali-Verhältnis ($\text{Na}^+ : \text{K}^+$)
- E = Erdalkali-Verhältnis ($\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$)
- EA = Erdalkali-Alkali-Verhältnis ($\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$) : ($\text{Na}^+ : \text{K}^+$)
- HS = Hydrogenkarbonat-Verhältnis ($\text{HCO}_3^- : (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$)
- S = Salinar-Verhältnis ($\text{Cl}^- : \text{SO}_4^{2-}$)
- LN = Chlorid-Natrium-Verhältnis ($\text{Cl}^- : \text{Na}^+$)

In den einzelnen Darstellungen zeigen die verschiedenen Proben einen weitgehend parallelen Kurvenverlauf. Die größten Schwankungen treten im Bereich der Chlorid-Sulfatverhältnisse auf, wo ein Schwankungsbereich zwischen 10 und 3.000 auftritt.

Die stärksten Abweichungen vom allgemeinen Trend treten hierbei wie vermutet bei den Proben S1 - S4/P5 auf, was mit Sickerwassereinfluß in Verbindung gebracht werden kann. Die übrigen Proben zeigen keine gravierenden Unterschiede im Kurvenverlauf.

Erläuterungen zur Planbeilage 13:

Zur besseren Übersicht und zum direkten Vergleich wurden für jede Probenahmestelle die gemessenen Parameter in Balkendiagrammen dargestellt. Auf der Abszisse sind die jeweiligen Parameter auf der Ordinate die zugehörigen Konzentrationen logarithmisch in mg/l aufgetragen. Für die Doppelmeßstellen wurden die Analysenergebnisse für die flache (B)- und die tiefe (A)- Meßstelle jeweils zusammen dargestellt. Für die Sickerwasserschürfe sind die zwei Beprobungszyklen gemeinsam dargestellt. Um die Analysenergebnisse auswerten zu können, wurden verschiedene Diagramme mit in den Plan übernommen.

Folgende zusätzlichen Abbildungen und Tabellen finden sich auf dieser Planbeilage:

1. Darstellung der Alkalikonzentrationen in mval/l
2. Darstellung der Erdalkalikonzentrationen in mval/l
3. Darstellung der Relation von Alkali- zu Erdalkalikonzentrationen
4. Vergleichende Darstellung der Anionen- und Kationenkonzentrationen als Säulendiagramme in mval/l
5. Vergleichende Darstellung der Anionen- und Kationenkonzentrationen in mval/l
6. Darstellung der Anionen- und Kationenkonzentrationen im Piper-Diagramm

Erläuterungen zu den Diagrammen

Zu Diagramm 1:

In der Abbildung sind die Natrium- und Kaliumkonzentrationen in direkter Abhängigkeit voneinander dargestellt. Die doppeltlogarithmische Form wurde dabei lediglich aufgrund des großen überdeckten Meßbereiches gewählt. Durch eine Korrelationsrechnung kann nachgewiesen werden, daß die Werte linear mit einem Regressionskoeffizient von etwa 0,97 korrelieren. Dies bedeutet, daß mit steigender Natriumkonzentration in gleicher Weise die Kaliumkonzentration zunimmt.

Da sowohl die Alkaliionen als auch die Erdalkaliionen wesentlich geringer, als dies z. B. bei organischen Parametern der Fall ist, durch chemische Umsetzungen oder Adsorptionsprozesse beeinflusst werden, handelt es sich bei Abnahme der Konzentration im wesentlichen um Verdünnungsprozesse. Bei den vorliegenden geologischen Bedingungen ist keine deutliche Zufuhr von Alkaliionen z. B. durch Freisetzung dieser Ionen aus dem Gestein zu erwarten. Verantwortlich für ansteigende Na/K-Konzentrationen können somit nur anthropogene Einflüsse sein. Im vorliegenden Falle kommen hierfür die beiden Deponien in Frage. Verstärkt wird diese Annahme dadurch, daß die besonders hohen Meßwerte im direkten Deponiebereich (Sickerwasserschürfe S1 - S4) festgestellt wurden. Mit zunehmender Entfernung von der Deponie (sowohl in horizontaler, wie auch in vertikaler Richtung) wurden immer geringere Konzentrationen beobachtet, d. h. die Wässer werden vermehrt mit unbelastetem Grundwasser vermischt.

Zu Diagramm 2:

Genau wie in Diagramm 1 sind in dieser zweiten Abbildung die Calcium- und Magnesiumkonzentrationen in direkter Relation zueinander aufgetragen. Auch hier wurde die doppeltlogarithmische Auftragung lediglich wegen des großen überdeckten Wertebereichs gewählt.

Obwohl für diese beiden Erdalkalitionen die direkte Abhängigkeit wesentlich undeutlicher zu erkennen ist, was sich z. B. auch in einem sehr niedrigen Korrelationskoeffizienten widerspiegelt, zeigen doch z. B. die Proben Br1A - Br9 ebenfalls eine recht deutliche Abhängigkeit.

Die direkt sickerwasserbeeinflussten Proben S1 - S4 streuen hingegen wesentlich stärker, was möglicherweise auf unterschiedliche Entstehungsbereiche der Sickerwasserkontamination im Deponiekörper zurückzuführen ist.

Generell kann jedoch auch bei den Erdalkalitionen von der Beobachtung eines Verdünnungseffektes ausgegangen werden.

Zu Diagramm 3:

In diesem Diagramm werden die Quotienten der Alkali- und Erdalkalikonzentrationen gegeneinander aufgetragen. Auf der Punktverteilung ist nur undeutlich zu erkennen, daß mit zunehmendem Alkaliverhältnis das Erdalkaliverhältnis absinkt. Hierbei liegen die durch Sickerwasser beeinflussten Meßstellen weitgehend im Bereich der hohen Alkaliverhältnisse. Hieraus läßt sich vermuten, daß durch einen zunehmenden Sickerwassereinfluß eine Verschiebung der Kationenverhältnisse bei den Alkaliionen in Richtung Natrium und bei den Erdalkalitionen in Richtung Magnesium auftritt.

Zu Diagramm 4 und 5:

Da beide Diagramme einander zugeordnet sind, werden sie gemeinsam betrachtet. In Diagramm 4 wurden die Konzentrationen der Anionen (Chlorid, Sulfat, Hydrogenkarbonat) und Kationen (Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium) im Vergleich dargestellt. Diagramm 5 zeigt die gleichen Ergebnisse als Prozentsätze.

Bei den Säulendiagrammen sind links der Mittellinie die Kationen und rechts davon die Anionen aufgetragen. Bei der Prozentdarstellung werden Anionen und Kationen jeweils getrennt zu 100 % gesetzt.

Wie aus den Grafiken deutlich zu erkennen ist, weisen sich die Wasserproben aus den neuen Meßstellen (Br1A - Br9) durch einen überwiegenden Anteil an Calcium und Hydrogencarbonat aus. Dies ist sehr gut aus der prozentualen Darstellung zu erkennen. Auch zeigt sich, daß die in den Meßstellen Br6A, 6B, 7A, 7B, 8 und 9 angetroffenen Gesamtkonzentrationen ca. 1,5 - 2fach über den restlichen Meßwerten Br1A - 5B liegen. Ein Hinweis auf Fremdeinfluß bei diesen Meßstellen kann vermutet werden. Beim Vergleich der Meßwerte der Proben S1 - S4/P5 ergeben sich starke Verschiebungen der Gesamtkonzentrationen und prozentualen Ionenanteile.

Hierbei sind die Gesamtkonzentrationen stark erhöht und die Ionenverhältnisse besonders zugunsten der Natriumionen und Kaliumionen verschoben. Bei den Anionen sind vor allem die Chloridkonzentrationen bei S1 - S3 und die Sulfatkonzentrationen bei S4/P5 erhöht.

Diese Veränderungen können eindeutig auf äußere Einflüsse durch Deponiesickerwasser zurückgeführt werden. Bei den Proben weist die Erhöhung der Natriumionen, Kaliumionen und Chloridionen mehr auf einen Sickerwassereinfluß aus einer "Hausmülldeponie", bei den Proben S4/P5 durch die Erhöhung der Sulfatkonzentrationen auf einen Einfluß einer "Bauschutt geprägten Deponie" hin. Die relativ hohen Calcium- und Hydrogencarbonatkonzentrationen können, wie schon zuvor erwähnt, auf natürliche Lösungsvorgänge aus dem Buntsandstein zurückgeführt werden. Hingegen sind die starken Erhöhungen der Ionenkonzentrationen über diese Hintergrundwerte hinaus nicht auf natürliche Bedingungen zurückzuführen.

Zu Diagramm 6:

Hierbei handelt es sich um ein sog. Piper-Diagramm, in dem sich Ionenbeziehungen von Kationen und Anionen zueinander wie auch untereinander vergleichen lassen.

Das Diagramm besteht aus zwei gleichschenkligen Dreiecken und einer Rautendarstellung. Bei den Dreiecken werden die Anionen und Kationen in Beziehung zueinander gesetzt, bei der Rautendarstellung jeweils untereinander. Die Darstellung der Punkte beruht darauf, daß die Summe der Lote gefällt von einem Punkt in der Fläche auf die Dreiecksseiten gleich der Höhe des Dreiecks ist. Für die Übertragung der Werte wird die Dreieckshöhe gleich 100 gesetzt und die Prozentsätze der einzelnen Parameter von der Basis in Richtung der jeweiligen Dreiecksspitze abgetragen. Bei der Darstellung in der Raute gilt, daß die Summe der Konzentrationen in gegenüberliegenden Seiten der Raute gleich 100 gesetzt werden kann.

Wie aus der Verteilung der einzelnen Punkte bzw. Punktwolken im Diagramm zu erkennen ist, weist sich das Grundwasser im Untersuchungsgebiet, wie bereits beschrieben, durch seine hohen Calcium- und Hydrogencarbonatanteile aus.

Bei der Verteilung der Kationen zeigt sich eine relativ dichte Punktwolke im oberen Bereich der Calciumkonzentrationen. Hierbei zeigt sich aber auch, daß die jeweils flachen B-Meßstellen einen geringfügig erniedrigten Prozentsatz an Ca-Ionen aufweisen. Damit verbunden ist eine unterschiedlich hohe Magnesium- bzw. Natrium-/Kalium-Zunahme. Starke Abweichungen vom allgemeinen Trend treten, wie bereits bekannt, in den Analysen S1 - S4/P5 auf.

Bei der Verteilung der Anionen ist zu erkennen, daß sich eine weiter gefächerte Punktwolke mit zwei Schwerpunkten ausgebildet hat. Der erste Schwerpunkt zeigt eine deutliche Hydrogencarbonatvormacht an, der zweite Schwerpunkt zeigt eine Abnahme der Hydrogencarbonatkonzentrationen, die mit einer Zunahme der Chlorid- und Sulfat/Nitrat-Konzentrationen verbunden ist.

Starke Abweichungen treten auch im Bereich der Meßstellen S1 - S4/P5 auf, wo sich die Proben durch eine starke Chloridzunahme ausweisen. Beim Vergleich von Anionen und Kationen zeigt sich eine langgestreckte Punktwolke mit zwei Maxima. Im Bereich des ersten Maximums finden sich überwiegend Wasserproben aus den tieferen (A-)Meßstellen. Sie weisen sich durch die bereits angesprochenen sehr hohen Hydrogencarbonat- und Erdalkaliionenkonzentrationen aus. Bei dem zweiten Maximum treten vor allem Proben der flachen (B-)Meßstellen auf, die

eine sukzessive Zunahme an Chlorid/Sulfat bzw. Natrium und Kalium andeuten. Die Proben S1 - S4/P5 zeigen, wie erwartet, ebenfalls stark vom allgemeinen Trend abweichende Ionenverhältnisse auf.

6.3.5 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen zur Hydrochemie

- In den Meßstellen Br1A - Br5A und Br1B - Br5B konnte aufgrund der allgemeinen sehr niedrigen Stoffkonzentrationen kein Fremdeinfluß festgestellt werden. Die in Meßstelle Br5A und Br5B analysierten Stoffkonzentrationen können als Hintergrundwerte angesehen werden.
- In den Meßstellen Br6A, 6B, 7A, 7B, 8 und 9 konnten Stoffkonzentrationen festgestellt werden, die "relativ geringfügig" (etwa 100 %) über den Hintergrundwerten liegen. Somit kann für diese Meßstelle ein bedingter Fremdeinfluß angenommen werden.

Bei den Meßstellen Br6A/B und Br7A/B kann dieser Einfluß auf die Bauschuttdeponie zurückgeführt werden. Für die Meßstellen Br8 und Br9 kann dieser Einfluß auf die im Talverlauf zwischen Rohr'schen Weiher und Ortseingang Erfenbach abgelagerten Erdaushub- und Bauschuttmassen zurückgeführt werden. Ein Einfluß von seiten der Umlagerungsdeponie ist auszuschließen. Die angetroffenen Konzentrationen lassen jedoch den Schluß zu, daß der vorhandene Einfluß keine wesentlichen negativen Auswirkungen auf den Grundwasserkörper in diesem Bereich mit sich bringt.

- In den Meßstellen S1 - S4 bzw. P5 konnte ein deutlicher Einfluß durch Sickerwässer festgestellt werden. Dieser Einfluß kann auf die Umlagerungsdeponie und die Deponie Siegelbach zurückgeführt werden.
- Die stoffliche Zusammensetzung der Proben aus den Meßstellen S1 - S4/P5 zeigt, daß die Proben S1 - S3 gegenüber den restlichen Grundwasserproben eine Zunahme der Natrium- und Kaliumkonzentrationen aufweisen. Auch zeigen sie nennenswerte Boratkonzentrationen. Dies weist auf einen eindeutigen Einfluß durch Hausmüll geprägter Sickerwasser.

Die in den Proben S4/P5 angetroffenen Stoffkonzentrationen weisen sich durch eine allgemeine Zunahme der Ionenfracht, unter Beibehaltung der prozentualen Anteile der verschiedenen Ionen und die Zunahme des Sulfatanteils aus.

Vergleichbare Erkenntnisse können auch aus dem Vergleich der AOX-Konzentrationen gezogen werden. Die allgemeine Zunahme der Ionenfracht mit starkem Hydrogencarbonatanteil sowie die geringfügige Erhöhung der Sulfatkonzentrationen lassen den Schluß zu, daß zumindest ein Einfluß von durch Bau-schutt geprägtem Sickerwasser vorhanden ist.

- Die beim Vergleich der zwei Beprobungszyklen in Meßstelle S1 - S4/P5 teilweise festgestellten großen Unterschiede bei verschiedenen Parametern lassen den Rückschluß zu, daß die jeweilige Zusammensetzung des Sickerwassers über die Zeit nicht konstant ist, sondern sich entsprechend den Änderungen der verschiedenen Randparameter (Niederschläge, Verdunstung etc.) sehr variabel verhalten kann. Dies beweist auch die zeitliche Verteilung der Leitfähigkeiten, bei der deutlich relativ kurzfristige Schwankungen auftreten.
- Bezüglich der Verweilzeit und der zurückgelegten Strecke des Sickerwassers im Deponiekörper können im Moment noch keine Angaben gemacht werden. Aus diesem Grund ist noch nicht endgültig feststellbar, inwieweit das Sickerwasser in den Meßstellen S1 - S4 unverdünnt oder bereits durch Grundwasser verdünnt ist.
- Die Verteilung der Alkaliionen- und Erdalkaliionenverhältnisse in den verschiedenen Proben zeigt an, daß die Abnahme der Konzentrationen auf Verdünnungseffekte zurückgeführt werden muß.
- Im Bereich der Meßstellen Br6A/B, Br7A/B und P5 weisen die Ionenkonzentrationen darauf hin, daß im oberen Tiefenbereich des Grundwasserkörpers Sickerwässer in Richtung Rohr'scher Weiher abgeleitet werden. Im mittleren und unteren Tiefenbereich zeigt sich nur noch ein geringer Einfluß, der ebenfalls in Richtung Rohr'scher Weiher gerichtet ist. Hierbei zeigt sich auch, daß der Einfluß sukzessive von oben nach unten abnimmt.
- Im Bereich der Deponie Siegelbach zeigt sich in allen umliegenden Meßstellen (Br1A - Br4B) kein nennenswerter Einfluß. Nur die am direkten Deponiefuß befindlichen Meßstellen S1 - S4 zeigen einen deutlichen Einfluß an. Dies bedeutet, daß im Untersuchungsbereich Sickerwässer bevorzugt im oberen Tiefenbereich wandern und lateral keine große Ausdehnung aufweisen.

- Eine primäre Schichtung des Grundwasserkörpers bzw. Unterteilung in verschiedene Stockwerke läßt sich anhand der vorliegenden Analytik nicht feststellen. Vielmehr scheint eine allgemeine sukzessive Abnahme der Ionenkonzentrationen im Grundwasserkörper mit der Tiefe vorhanden zu sein.
- Die hohen Sulfat- und Nitratkonzentrationen in den Wasserproben, die vorwiegend in den flachen B-Meßstellen angetroffen werden, sind unabhängig von der geographischen Lage im Untersuchungsfeld. Diese nicht geogen erklärbaren hohen Konzentrationen müssen auf einen anthropogenen Einfluß zurückgeführt werden der nicht im Bereich der Deponien gesucht werden kann. Denkbar ist hier ein Einfluß aus der landwirtschaftlichen Nutzung der umgebenden Flächen.

6.3.6 Ergebnisse der Wasserproben aus den Oberflächengewässern

An insgesamt fünf Stellen, verteilt über die ganze Strecke des Erfenbachs im Untersuchungsgebiet, wurden Wasserproben aus dem Gewässer entnommen und auf verschiedene allgemeine Parameter analysiert.

Die Ergebnisse dieser Analysen sind in Anlage W und Planbeilage 14 dargestellt. Die Proben sind als GW1 - GW5 bezeichnet.

Wie aus den Ergebnissen zu erkennen ist, zeigen sich in allen Proben eine Erhöhung der Anionen und Kationen sowie hohe TOC-Gehalte. Organische Verunreinigungen durch Kohlenwasserstoffe und Phenole konnten nicht nachgewiesen werden.

Beim Vergleich der verschiedenen Konzentrationen im Verlauf der Talachse ergaben bereits die ersten Proben bei P3 (GW1) relativ hohe Anionen- und Kationenkonzentrationen, verbunden mit einem stark erhöhten TOC-Gehalt. Dies kann darauf zurückgeführt werden, daß das im Bach abgeleitete Wasser aus dem Bereich des Gewerbegebietes Siegelbach stammt und von dort bereits eine Grundbelastung mit sich bringt.

Beim Vorbeifließen des Wassers an der Deponie Siegelbach zeigt sich nur ein undeutlicher Einfluß der Deponie auf den Chemismus. Es steigen nur die Natrium- und Nitratkonzentrationen an.

Im weiteren Verlauf ist bei der Probe am Auslauf des Rohr'schen Weihers (GE4) eine Belastung durch Borat festzustellen. Der Einfluß von Deponiewasser ist bei den verschiedenen Proben durch die Zunahme von Natrium, Nitrat und Borat nur eher gering dokumentiert. Dieses Verhalten ist vermutlich auf den schnellen Austausch des Bachwassers zurückzuführen, da allgemein die vorbeifließende Wassermenge sehr viel größer sein wird als die aus der Deponie eintretende Sickerwassermenge.

Die allgemein nach dem Auslauf des Rohr'schen Weihers absinkenden Konzentrationen sind in der großen Pufferwirkung des Teiches begründet. Bei der am Auslauf entnommenen Probe liegt hierbei die Nitratkonzentration unterhalb der Nachweisgrenze. Dies kann darauf zurückgeführt werden, daß beim Durchfluß des Wassers durch den Teich Nitrat weitgehend durch biologische Aktivitäten abgebaut wird. Die relativ gleichmäßige Abnahme der TOC-Gehalte im Verlauf des Baches kann ebenfalls auf einen biologischen Abbau zurückgeführt werden.

6.4 Deponiegas

Wie bereits erläutert, wurden im Bereich der beiden Deponien in halbjährlichen Abständen die Methan- und Sauerstoffkonzentrationen in den Gaspegeln gemessen. Zur Zeit liegen erst zwei Messungen vor. Diese Meßergebnisse sind als Anlage L dem Bericht beigelegt.

Die vorhandenen Datenmengen reichen zum jetzigen Zeitpunkt für eine eingehende Interpretation noch nicht aus. Hierzu müssen noch weitere Messungen vorgenommen werden. Jedoch kann für die vorliegenden Messungen festgestellt werden, daß seit Beginn des Meßprogrammes keine drastischen Veränderungen im Methangehalt an den einzelnen Meßstellen zu verzeichnen war. Besonders an dem ehemaligen Deponierand, im Bereich der heutigen Friedhofserweiterung, wurden immer noch Methankonzentrationen von über 50 Vol% gemessen. Zur Verdeutlichung des Verlaufes des Deponierandes im Bereich der Friedhofserweiterung wurden in Anlage M mehrere Fotografien dem Bericht beigelegt, aus denen nach morphologischen Erkenntnissen der Verlauf des Deponierandes dargestellt ist.

7. Zusammenfassung der Ergebnisse

Aus den Untersuchungen lassen sich folgende Ergebnisse und Schlußfolgerungen ableiten:

- Die Mächtigkeit der Staufer Schichten im Untersuchungsgebiet stellt sich als wesentlich größer heraus als sich aus den vorherigen Informationen erwarten ließ. Durch die Bohrungen konnte ein relativ starkes Absinken der Rotliegendoberfläche in Richtung Süden festgestellt werden. Mit dem Absinken der Rotliegendoberfläche verbunden ist eine deutliche Zunahme der Mächtigkeit des Grundwasserkörpers. Die Rotliegendoberfläche wurde im Bereich der Deponien zwischen 30 und 40 m unterhalb der Deponiesohle angetroffen.
- Für die Fließrichtungen des Grundwassers im oberen Tiefenbereich (hauptsächlich Porenwasserleiter im Bereich Talaue) ergibt sich ein Verlauf parallel zur Talachse. Diese Verteilung entspricht den typischen Vorflutverhältnissen eines Tales.

Im unteren Tiefenbereich des Grundwasserkörpers (Kluftwasserleiter im Buntsandstein) ergibt sich eine Fließrichtung die geringfügig nach Nordosten aus der Talachse herausgedreht ist. Sie verläuft somit weitgehend spitzwinklig zur Abdachung der Rotliegendoberfläche (Grundwasserstauer). Somit ist ein Abfließen der Oberflächenwässer nach Nord-Nordost und der Tiefenwässer in Nordost-Richtung gegeben. Ein Abfließen von Grundwasser in Richtung Süden, der Abdachung der Rotliegendoberfläche folgend, konnte nicht festgestellt werden.

Bezüglich einer vertikalen Komponente der Fließrichtung ergab sich aus den Grundwasserständen, daß im westlichen Talbereich ein positiver Druckgradient und auf der östlichen Talseite ein negativer Druckgradient zwischen mittlerem und oberem Tiefenbereich besteht. Dies bedeutet, daß im westlichen Teil eine geringe Tendenz des Grundwassers besteht in die oberen Bereiche aufzusteigen. Im östlichen Bereich ergibt sich eine entgegengesetzte Tendenz. Hier wandert Grundwasser entsprechend der Druckdifferenz in geringem Umfang in die Tiefe.

- Die für den Grundwasserkörper während der Trockenperiode Frühjahr/Sommer 1991 gemessenen, mit rund 1 m Absolutbetrag unerwartet geringen Grundwasserabsenkungen lassen den Rückschluß zu, daß der Grundwasserkörper eine geringe Fließgeschwindigkeit sowie eine gute Rückhaltekapazität besitzt.
- Die in den einzelnen Hauptgesteinseinheiten festgestellten Durchlässigkeiten ergeben, wie erwartet, für die Rotliegendensedimente sehr geringe Durchlässigkeiten ($k_f = 10^{-8} - 10^{-9} \text{ m/s}$). Im Bereich der Buntsandsteine werden unerwartet niedrige Durchlässigkeiten von ca. $10^{-7} - 10^{-8} \text{ m/s}$ festgestellt. Daraus ergibt sich, daß sich die Durchlässigkeit der Deponiesohle doch wesentlich geringer darstellt als zu vermuten war, was wiederum bedeutet, daß die Durchlässigkeit des Deponiekörpers wesentlich höher ist als die der unterlagernden Gesteine. Das Sickerwasser wird somit den Deponiekörper relativ schnell durchwandern und großteils auf der Deponiesohle gestaut werden. Nur ein geringer Anteil der Sickerwässer wird in den Buntsandstein eindringen. Der überwiegende Teil der Sickerwässer wird entsprechend der Morphologie bzw. dem Gefälle der Deponiesohle abfließen.

Die Deponiesohle der Umlagerungsdeponie liegt nach den heutigen Informationen vollständig oberhalb des geschlossenen Grundwasserspiegels. Im Bereich der Deponie Siegelbach hingegen liegen, wie aus dem Vergleich der Deponiesohle und den Grundwasserständen zu erkennen, größere Anteile bis maximal ca. 2,5 m tief im direkten Einflußbereich des Grundwassers. Ein Auslaugen von Stoffen und die damit verbundene Verunreinigung des Grundwassers konnte in diesen Bereichen durch die chemischen Analysen bestätigt werden (Proben S1 - S3).

Hierbei muß jedoch drauf hingewiesen werden, daß nicht unterschieden werden kann, welcher Anteil der Grundwasserbelastung auf die Sickerwasserneubildung und die direkte Auslaugung durch Grundwasser zurückgeführt werden kann.

- Aufgrund der Morphologie der Deponiesohle kann angenommen werden, daß Sickerwasser zu Beginn in Richtung östlichem Deponierand abgeleitet wird. In diesem Bereich befand sich während der Betriebszeit sozusagen die "Vorflut" der Deponie. Dort hatten sich mehrere sicker- und grundwasserbeeinflusste Teiche gebildet, die in Richtung Nordosten über einen Graben entwässert

wurden. Es kann demnach angenommen werden, daß noch heute entlang des Deponierandes bevorzugt Wegsamkeiten für das Sickerwasser nach Nordosten in Richtung der heutigen Verebnungsfläche am Deponiefuß auftreten. Dort kann mit einem flächigen Übertreten von Sickerwasser in die Talaue gerechnet werden. Da jedoch in diesem Bereich der Bach direkt an der Begrenzung des Deponiekörpers vorbeifließt, ist anzunehmen, daß ein größerer Anteil dieses Sickerwassers direkt im Bach abgeleitet und sehr schnell verdünnt wird.

Da sich bei einem größeren Sickerwasserandrang ein Rückstau im Deponiekörper bilden wird ist zu vermuten, daß im Bereich der südöstlichen Deponiebegrenzung bei einem entsprechend hohen Rückstau auch dort Sickerwasser in die Talaue austritt. Dies würde die stark schwankenden Leitfähigkeiten in Meßstelle P3 erklären. Somit kann zumindest für diesen Bereich ein zeitlich begrenzter Einfluß angenommen werden.

- Im Bereich der Umlagerungsdeponie wurden größere Fremdeinflüsse im oberen Grundwasserbereich festgestellt (Meßstellen S4 und P5). Dieser verstärkte Einfluß konnte in der benachbarten Meßstelle P1 nicht mehr registriert werden. Somit kann für diesen Bereich des Grundwasserstockwerkes angenommen werden, daß Sickerwasser aus der Umlagerungsdeponie und in unbekanntem Maße auch aus der Bauschuttdeponie ebenfalls auf der Deponiesohle abläuft und in einer relativ schmalen Fahne, vermutlich entlang einer bevorzugten Wegsamkeit (Erdaushubaufschüttung im Straßenbereich südöstlich - östlich des Rohr'schen Weihers) in Richtung des Weihers verfrachtet wird und in den Vernässungszonen austritt. Über die natürliche Entwässerung des Geländes wird das Sickerwasser abgeleitet und letztendlich verdünnt.

Im mittleren und unteren Tiefenbereich der Meßstellen Br6 und Br7 werden geringfügige Beeinflussungen des Grundwassers festgestellt. Die spezifische Zusammensetzung der Wässer in diesen Tiefen läßt auf einen Fremdeinfluß schließen, aufgrund der stofflichen Verschiebungen aus einer mehr durch Bauschutt geprägten Quelle. Demnach dringt in geringem Maß Sickerwasser, vermutlich über Klüfte und Spalten, aus der Bauschuttdeponie in größere Tiefen vor.

Die Meßstellen im weiteren Talverlauf (Br8 und Br9) zeigen nur eine geringfügige anthropogene Beeinflussung des Grundwassers, die größtmäßig gleich dem Einfluß in den Meßstellen Br6 und Br7 ist. Da jedoch zwischen

diesen Meßstellen und dem Rohr'schen Weiher noch einige Ablagerungen im direkten Auenbereich liegen und der Aquifer in diesem Bereich nur mehrere Meter mächtig ist, kann dieser Einfluß auf die abgelagerten Erdaushub-/Bauschuttmassen zurückgeführt werden. Der festgestellte Einfluß ist jedoch als nur sehr gering anzusehen. Somit kann davon ausgegangen werden, daß die im Talverlauf liegenden als Nr. 4, 5 und 6 bezeichneten Ablagerungen keinen nennenswerten Negativeinfluß auf den Grundwasserkörper ausüben.

In den restlichen neuen Meßstellen (Br1A - Br5B) konnten keine durch die Deponien verursachten Fremdeinflüsse festgestellt werden. Aus diesem Grund können diese Meßstellen als nicht beeinflusst angesehen werden. Hierbei sind die an den Meßstellen Br5A und Br5B festgestellten Stoffkonzentrationen als Hintergrundwerte heranzuziehen.

Im ganzen Untersuchungsgebiet zeigen besonders die B-Meßstellen eine hohe Belastung durch Nitrat und Sulfat. Diese Konzentrationen sind nicht mit den natürlichen Bedingungen in Einklang zu bringen. Der Fremdeinfluß kann jedoch nicht auf die Deponie zurückgeführt werden, da er in allen Meßstellen angetroffen wird (auch in Meßstellen im Oberstrom der Deponien). Vielmehr muß diese Beeinflussung auf einen anderen, vermutlich landwirtschaftlichen Einfluß zurückgeführt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß eine Eingrenzung von Sickerwasserfahnen, die von der Deponie Siegelbach und der Umlagerungsdeponie ausgehen, erreicht werden konnte. Diese beeinflussten Bereiche wurden in die Planbeilage 15 dargestellt.

In diesem Plan ist deutlich zu erkennen, daß der beeinflusste Bereich bei der Deponie Siegelbach auf den Deponiekörper selbst sowie die direkt östlich angrenzenden Bereiche beschränkt ist. Vermutlich kann ein zeitlich begrenzter Einfluß am südöstlichen Deponierand angenommen werden. Die Ausbreitung der Sickerwässer im Bereich der Umlagerungsdeponie geschieht entlang einer schmalen Talaue bis in das Gebiet des Rohr'schen Weihers. Danach ist kein nennenswerter Einfluß mehr festzustellen.

Bezüglich der Deponiegasproblematik ist anzumerken, daß die vorhandenen Methanbelastungen, insbesondere am südwestlichen Deponiebereich (Friedhofserweiterung) unvermindert anhalten.

8. Vorschläge für die weitere Vorgehensweise

Alle weiteren Maßnahmen im Bereich der Deponien sind nach Abschluß der Hauptuntersuchung im Rahmen der Sanierung bzw. der Sanierungsuntersuchung zu sehen. Da die grundlegenden Planungen für eine Sanierungsuntersuchung noch nicht vorliegen können, sind die im weiteren einzuleitenden Maßnahmen nur in einem begrenzten Umfang anzugeben. Jedoch kann ein Teil der weiteren Vorgehensweise schon jetzt als grobes Rohgerüst vorgegeben werden.

Im einzelnen handelt es sich hierbei um verschiedene Meßprogramme, welche die bereits durchgeführten Messungen ergänzen sollen. Maßnahmen die darüber hinaus reichen, lassen sich nur schwer angeben, da zuerst die angestrebten Sanierungsziele abgesteckt werden müssen. Erst dann können konkrete Sanierungsvarianten ausgearbeitet werden. Erste Angaben zu möglichen Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen sind unter Punkt 9 dargestellt. Hierbei wird im weiteren nicht zwischen Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen unterschieden, da die Grenzziehung als sehr schwierig anzusehen ist.

Im einzelnen lassen sich die oben angesprochenen grundlegenden Meßprogramme wie folgt beschreiben:

- Deponiegas

Die Messung der Methan- und Sauerstoffkonzentrationen sollten in kürzeren Abständen an den Gaspegeln durchgeführt werden. Des weiteren sollte darauf hingewiesen werden, daß unbedingt die Zusammensetzung des Deponiegases auf Haupt-, Neben- und Spurenverbindungen bestimmt werden sollte. Diese Analysen sollten unbedingt in regelmäßigen Abständen wiederholt werden, um evtl. auftretende zeitliche Veränderungen der Gaszusammensetzung dokumentieren zu können. Sowohl die absolute Zusammensetzung als auch die Variationsbreite über die Zeit gesehen haben Auswirkungen auf die später durchzuführende Sanierung.

Des weiteren sollte eine möglichst detaillierte Berechnung der Deponiegasproduktion durchgeführt werden. Hierbei ergibt sich aus dem mangelnden Informationsgehalt bezüglich der abgelagerten Müllmengen die größte Problematik,

die eine gute Abschätzung des weiteren Gasanfalls nur sehr schwer zuläßt. Ebenso sollten Gaspegel dauerhaft abgepumpt werden um festzustellen, wie ergiebig die Gaskonzentrationen sind.

- Hydrogeologie

Da bei der Sanierung zumindest mit einer Teilsanierung durch hydraulische Maßnahmen gerechnet werden muß und die Sanierungsziele im Bereich des Grundwasserpfadcs überprüft werden müssen, sollen die Messungen von Grundwasserständen und Leitfähigkeiten unbedingt weitergeführt werden. Hierbei sollten jedoch kürzere Meßabstände vorgesehen werden. Ergänzt werden sollten die Messungen durch die Erfassung meteorologischer Daten im Untersuchungsgebiet (mindestens Niederschlag und Temperatur), möglichst durch eine registrierende Meßstation.

Diese Maßnahmen sind auch im direkten Zusammenhang mit der Sanierung bzw. Kontrolle der Sanierungsziele zu sehen.

- Setzungsmessungen

Da Veränderungen im Setzungsverhalten einer Deponie nur mit Hilfe von Langzeitbeobachtungen festgestellt werden, sind unbedingt diese bereits angefangenen Messungen im halbjährlichen Rhythmus fortzusetzen.

- Sonstiges

Bei der Durchführung von hydraulischen Sanierungsmaßnahmen ist mit der Bestimmung von weiteren hydrogeologischen Parametern zu rechnen. Hierunter fallen voraussichtlich Pumpversuche und Tracerversuche die zur Bestimmung von Brunnenreichweite, Förderleistung, Durchlässigkeiten, Speicherkapazität und Abstandsgeschwindigkeit benötigt werden.

Da während der Betriebszeit der Deponie immer wieder massive Verschmutzungen der Oberflächengewässer gemeldet wurden, kann angenommen werden, daß Schadstoffe über die Oberflächengewässer im großen Umfang verteilt wurden. Da der Bach oberhalb des Schwimmbades Pfaffenwoog in Fischteiche mündet, ist damit zu rechnen, daß in diesen als Sedimentfallen anzusehenden Teichen Schadstoffe mit

dem transportierten Sand, Schluff und Ton abgelagert wurden. Hierzu sollten in diesen Gewässern Sedimentproben entnommen und auf mögliche Schadstoffgehalte analysiert werden.

9. Erste Vorschläge für mögliche Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen

Beide Deponien können aufgrund ihrer räumlichen Trennung sowie unterschiedlicher Ausdehnung nicht als Einheit betrachtet werden. Vielmehr muß eine getrennte Beurteilung von Sanierungsvarianten vorgenommen werden.

Allgemein ist eine on-site- oder eine off-site-Sanierung der Deponien als grundlegende Möglichkeiten anzusehen. Im einzelnen bedeutet dies bei einer off-site-Sanierung, daß das vorhandene Deponievolumen aufgenommen und abtransportiert wird. Bezüglich dem endgültigen Verbleib dieses Materials bestehen unterschiedliche Möglichkeiten. Einerseits ist eine Deponierung auf einer geregelten Fremddeponie möglich, andererseits könnte Material auf evtl. verbleibende Bereiche der Deponie umgelagert werden (z. B. Umlagerung der Umlagerungsdeponie wieder auf die Deponie Siegelbach).

Bei einer on-site-Sanierung erfolgt die Sanierung im Bereich des Deponiegeländes. Diese bedeutet z. B. Umlagerung eines bestimmten Deponieteils auf einen anderen Deponieteil oder Oberflächenabdichtung der Deponie durch Dichtungsbahnen etc.

Allgemein ist bei den Sanierungsvarianten zu berücksichtigen, daß sich die Deponien sowohl über den Luftpfad (Deponiegas) als auch dem Wasserpfad (Sickerwasser) der Umwelt mitteilen. Bei der Sanierung ist deshalb zu gewährleisten, daß beide Ausbreitungswege wirkungsvoll unterbrochen werden.

Dies bedeutet im einzelnen für die beiden Ausbreitungspfade:

- Deponiegas

Da die Bildung von Deponiegas nur bedingt von außen über den Feuchtigkeitsgehalt des Mülls beeinflusst werden kann, muß das anfallende Gas aufgefangen und schadlos entsorgt werden. Eine zuverlässige und kontrollierte Entgasung der Gesamtdeponie kann hierbei prinzipiell nur durch eine flächige Oberflächenab-

dichtung mit eingearbeiteter Gasdrainage erreicht werden, will man die kostenintensive und aus verschiedenen Gründen nicht unproblematische Installation einer Vielzahl von Gasbrunnen im Deponiekörper vermeiden. Für die Entsorgung des anfallenden Gases kommt vermutlich nur eine thermische Beseitigung in Frage, wobei je nach Konzentrationen verschiedener spezieller Spureninhaltsstoffe möglicherweise noch Reinigungsstufen vorzuschalten sind (alternativ hierzu wäre eine Hochtemperaturverbrennung denkbar).

Eine Nutzung der anfallenden mechanischen und thermischen Energie ist im Endeffekt von den anfallenden Gasmengen sowie dem Nutzungszeitraum abhängig. Hierzu sind im weiteren noch zusätzliche Untersuchungen nötig, die Aussagen über den zeitlichen Verlauf der anfallenden Gasmenge und die spezifische Zusammensetzung des Gases, insbesondere der Spureninhaltsstoffe, geben.

- Grundwasserbelastung

Als primäres Ziel der Sanierung ist die Unterbrechung der Sickerwasserneubildung zu sehen. Als sekundäres Ziel kann die Entsorgung vorhandener und noch anfallender Sickerwässer bzw. belasteter Grundwässer angesehen werden.

Bezüglich der Bildungsmechanismen von Deponiewässern bestehen zwei grundlegende Möglichkeiten:

1. Niederschlagswässer
2. Grundwassereinfluß

Im ersten Fall werden die Sickerwässer durch Niederschlagswässer gebildet, die der Gravitation folgend den Deponiekörper durchwandern. Im zweiten Fall wird eine Verunreinigung durch den direkten Einfluß des Grundwassers gebildet. Dies bedeutet, daß die abgelagerten Müllmassen im direkten Einflußbereich bzw. Schwankungsbereich des Grundwassers abgelagert wurden.

Um das Eindringen von Niederschlagswässern in den Deponiekörper zu verhindern, ist die Oberflächenabdichtung als einzige adäquate Sanierungsmaßnahme anzusehen, die auch im Zusammenhang mit der Entsorgung der anfallenden Deponiegase erforderlich ist. Bei einer entsprechenden Ausbildung dieser Oberflächenab-

dichtung in einer Art, wie sie sich bereits beim Bau neuer Deponien bewährt hat (schematischer Aufbau z. B. nach TA-Abfall) werden sowohl Niederschlagswässer als auch Deponiegas abgeleitet.

Um den Austrag von Schadstoffen im Bereich der wassergesättigten Bodenzone zu verhindern, besteht einerseits die Möglichkeit durch hydraulische Maßnahmen den Grundwasserspiegel unter das Niveau der Deponiebasis abzusenken, so daß die Müllmassen ganzzeitlich oberhalb des abgesenkten Grundwasserspiegels liegen. Bei kleineren Deponien bzw. Deponieteilen besteht die Möglichkeit durch einfaches Auskoffern des Materials die weitere Auslaugung in diesem Bereich zu verhindern.

Somit ergeben sich für die beiden Deponien folgende Möglichkeiten:

- Umlagerungsdeponie

Bei der Umlagerungsdeponie wurden hauptsächlich Beeinträchtigungen des Grundwasserpfadest festgestellt. Geringfügige Auswirkungen ergeben sich auch durch noch auftretendes Deponiegas.

Die vorhandenen Müllmassen liegen oberhalb des Grundwasserspiegels und werden nur von perkolierenden Niederschlagswässern durchströmt. Um eine wirksame Unterbindung der Sickerwasser-/Gasmigration in diesem Bereich zu erzielen, stehen prinzipiell zwei mögliche Alternativen zur Verfügung:

1. Oberflächenabdichtung mit Sickerwasser- und Gasfassung
2. Auskoffern und Umlagern auf eine geregelte Deponie

Bei Variante 2 ist zusätzlich noch zu klären, ob das ausgekofferte Material unbedingt auf eine geregelte Hausmülldeponie (Kapiteltal) entsorgt werden muß oder auch auf die Deponie Siegelbach zurückgebracht werden kann. Auf dieser Deponie ist in jedem Fall eine Oberflächenabdichtung vorzunehmen.

Bei der Sickerwasserproblematik der Umlagerungsdeponie ist zu berücksichtigen, daß gewisse Einflüsse der direkt benachbarten Bauschuttdeponie nicht vollständig ausgeschlossen werden können. Es zu vermuten, daß ein gewisser Anteil der Grundwasserbeeinflussung auf diese Deponie zurückgeführt werden kann. Hierbei ist auch zu bemerken, daß die Abdeckung der Bauschuttdeponie in großen Berei-

chen als nicht ausreichend angesehen werden kann. An der Oberfläche finden sich weit verbreitet nur mangelhaft abgedeckte Bauschuttreste. Ebenso ist der Bewuchs in diesen Bereichen der Bauschuttdeponie stark vermindert. Der Baum- und Buschbestand entspricht weitgehend nicht einer ausreichenden Rekultivierung.

Aus diesen Gründen wäre zu empfehlen, eine adäquate Rekultivierung durch eine ausreichend starke Abdeckung durch bindiges Material und eine Bepflanzung zu erreichen. Als Nebeneffekt könnte hierbei die Verringerung der Sickerwasserbildung in diesem Deponiekörper erreicht werden.

- Deponie Siegelbach

Da die Gasproduktion an der Deponie Siegelbach vermutlich noch über längere Zeit anhalten wird und größere Sickerwassermengen gebildet werden, erscheint es unter den gegebenen Bedingungen angebracht, bei der Grundvariante der Sanierung von einer Oberflächenabdichtung der Deponie auszugehen. Eine vollständige Umlagerung der Deponie kann aufgrund der zu bewegenden sehr großen Volumina und den damit verbundenen Problemen wie Transport, Deponierung und hohe Kosten als nicht realisierbar angesehen werden.

Durch eine Oberflächenabdichtung können sowohl die Deponiegase wirkungsvoll abgeleitet als auch die Sickerwasserneubildung durch Niederschlagswässer verhindert werden. Bezüglich der Sickerwasserneubildung ist hierbei anzumerken, daß im Deponiebereich eine große Fläche der Deponiesohle unterhalb des Grundwasserspiegels sowie ein weiter Teil im direkten Schwankungs- bzw. Einflußbereich des Grundwassers liegt.

Um die weitere Bildung von Sickerwasser in diesen Bereichen zu verhindern, bestehen zwei grundlegende Alternativen:

- A. Durch eine hydraulische Maßnahme wird der Grundwasserspiegel im Deponiebereich soweit abgesenkt, daß er ständig unterhalb der Deponiesohle liegt. Hierbei ist im weiteren Verlauf der Sanierungsuntersuchung zu klären, wie diese Grundwasserabsenkung erreicht werden kann. Zusätzlich ist abzuklären, inwieweit das anfallende Pumpwasser über die Kanalisation entsorgt werden kann.

Über die Dimensionierung sowie Art und Ausbildung einer entsprechenden Anlage zur Grundwasserabsenkung sind verschiedene Lösungsansätze denkbar, deren Realisierung von den Ergebnissen der Sanierungsuntersuchung abhängig sind.

- B. Als weitere Variante besteht die Möglichkeit, den Teil der Deponie, der sich im Einflußbereich des Grundwassers befindet, durch Auskoffern zu beseitigen. Hierbei kann das Material abtransportiert und auf einer geregelten Deponie gelagert werden. Als einfachere Lösung besteht jedoch die Möglichkeit, das Material auf den restlichen Deponiekörper umzulagern. Allgemein ist jedoch im voraus abzuklären, ob das Aushubmaterial oder Teile davon nicht als Sondermüll deklariert werden müssen und welche Sicherungsmaßnahmen bei der Durchführung der Baggerarbeiten vorzunehmen sind.

Bei der Umlagerung des Materials auf den verbleibenden Deponieteil könnte auch das Material der Umlagerungsdeponie miteinbezogen werden. Unter der danach vorzunehmenden Oberflächenabdichtung wäre eine weitere Auslaugung wirkungsvoll verhindert.

Vorteile der Umlagerung auf den Hauptteil der Deponie liegen in den geringeren Kosten der Maßnahme sowie dem geringeren Eingriff in den Grundwasserhaushalt. Aus rein ökologischen Gründen stellt die langfristige hydraulische Absenkung des Grundwassers mit ihren negativen Auswirkungen auf die benachbarte Aue die schlechtere Lösung der angesprochenen Möglichkeiten dar.

Da beide Sanierungsvarianten für verschiedene Bereiche der Deponie gewisse Vor- und Nachteile aufweisen, besteht die Möglichkeit, beide Verfahren zu kombinieren bzw. für unterschiedliche Deponiebereiche anzuwenden. Wie bereits angesprochen, erscheint aus ökologischen Gründen eine hydraulische Maßnahme im Bereich der Talaue (östlicher Deponieteil) nicht angebracht. Hier wäre ein Auskoffern und Umlagern der Massen empfehlenswert. Für den Grundwassereinfluß im Bereich des Hauptkörpers der Deponie kommt jedoch aus rein ökonomischen Gründen diese Lösung nicht in Frage. Hier wäre eine hydraulische Maßnahme durchzuführen.

Somit können zwei Varianten angenommen werden:

Variante A: Abdecken der Gesamtdeponie und reine hydraulische Sanierung des Grundwassers

Variante B: Abdecken des Hauptdeponiekörpers, Umlagern von Teilen der Deponie auf den Hauptkörper in Verbindung mit einer hydraulischen Maßnahme

Vor- und Nachteile der vorgeschlagenen Sanierungen sind im Rahmen der Sanierungsplanung genauer zu untersuchen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß mögliche Baumaßnahmen (eventuell vierspuriger Ausbau der L 367) einen gravierenden Einfluß auf die Sanierungsvarianten besitzen können. Denkbar wäre hierbei auch eine Integration der Baumaßnahmen in die Sanierung.