Erfahrungen bei der Untertunnelung einer Deponie im grundwassererfüllten Schiefergebirge

Autor(en): **Kühne, M. / Heitfeld, M.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin für angewandte Geologie**

Band (Jahr): **5 (2000)**

Heft 2

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-222276

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Bull. angew. Geol.	Vol. 5	Nr. 2	S. 177 – 190	Dezember 2000

Erfahrungen bei der Untertunnelung einer Deponie im grundwassererfüllten Schiefergebirge*

mit 8 Figuren

M. KÜHNE[1] & M. HEITFELD[2]

Zusammenfassung

1. Einleitung
2. Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse im Projektgebiet
3. Hydrochemische Verhältnisse im Projektgebiet
4. Bautechnische Konzepte
5. Geologisch-hydrologisches Monitoring im Rahmen der Tunnelauffahrung
6. Ergebnisse des Monitoring
7. Zusammenfassende Bewertung

Literaturverzeichnis

Zusammenfassung

Im Zuge des Baus der DB-Neubaustrecke Köln - Rhein/Main wurde die Kreismülldeponie Fernthal durch einen 1.555 km langen Tunnel unterfahren. Damit wurde erstmalig in Deutschland eine Deponie mittels eines Verkehrstunnels unterquert.

Die Deponie liegt in einem ehemaligen Basaltsteinbruch und weist in Teilabschnitten keine Oberflächen- bzw. Basisabdichtung auf. Im Rahmen von Voruntersuchungen wurden im Grundwasser örtlich deponiespezifische Verunreinigungen (CSB, TOC, AOX) festgestellt. Für den Bau des NBS-Tunnels, der ca. 30 m tiefer durch das verwitterte devonische Schiefergebirge führt, wurde nach umfangreicher Variantendiskussion ein spezielles Konzept entwickelt mit dem Ziel, den NBS-Tunnel im Trockenen aufzufahren und gleichzeitig eine Grundwassersanierung vorzunehmen.

In diesem Zusammenhang wurde ca. 4 m unterhalb des geplanten NBS-Tunnels zunächst ein 380 m langer Drainagestollen (Durchmesser 3.5 m) aufgefahren und wasserdruckhaltend ausgekleidet. Die Grundwasserabsenkung bis unter das Niveau des NBS-Tunnels wird durch insgesamt 88 Entwässerungsbohrungen erreicht. Das in den Entwässerungsbohrungen gezielt gefasste Grundwasser von bis zu 9 l/s wird entsprechend dem Verunreinigungsgrad getrennt gefasst und behandelt. Der Absenkungstrichter weist eine maximale Ausdehnung von rd. 400 m seitlich der Trasse auf.

Der NBS-Tunnel konnte anschliessend weitgehend im Trockenen aufgefahren werden. Nach der Erstellung der wasserdruckhaltenden Innenschale und einer Oberflächenabdichtung der Deponie können die Drainagebohrungen verschlossen werden und ein Wiederaufstau des Grundwassers kann beginnen. Im Untergrund der Deponie verbliebene Grundwasserbelastungen können in Zukunft über ein gezieltes Öffnen von Entwässerungsbohrungen gereinigt werden.
Die Vortriebs- und Sanierungsarbeiten wurden durch ein umfassendes geotechnisches, hydrogeologisches, hydrochemisches und seismisches Überwachungsprogramm begleitet.

---

* Beitrag an der Bodenseetagung 2000, Stein am Rhein, 3.11.2000

[1] Deutsche Montan Technologie GmbH (DMT), Essen

[2] Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH (IHS), Aachen

1. Einleitung

Die ICE-Neubaustrecke Köln – Rhein/Main der Deutschen Bahn AG stellt ein wichtiges Bindeglied im deutschen und europäischen Hochgeschwindigkeits-Eisenbahnnetz dar. Die Trasse wird entsprechend den planerischen Vorgaben in enger Bündelung mit der Bundesautobahn A3 geführt; dabei müssen die Mittelgebirgsräume Siebengebirge, Westerwald und Taunus gequert werden (siehe Figur 1).

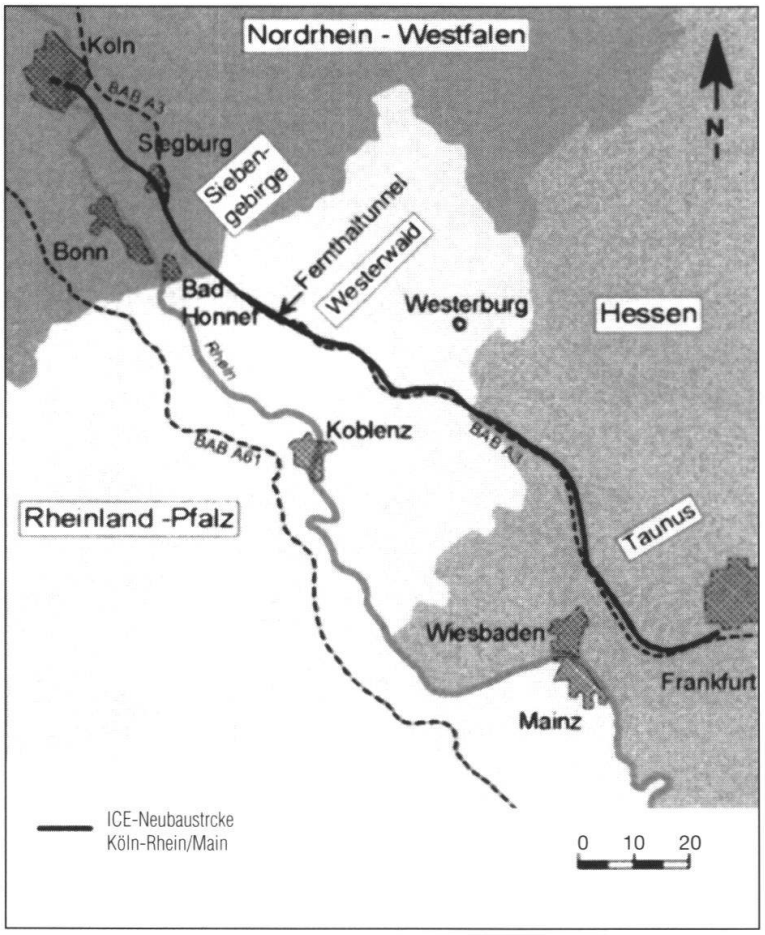
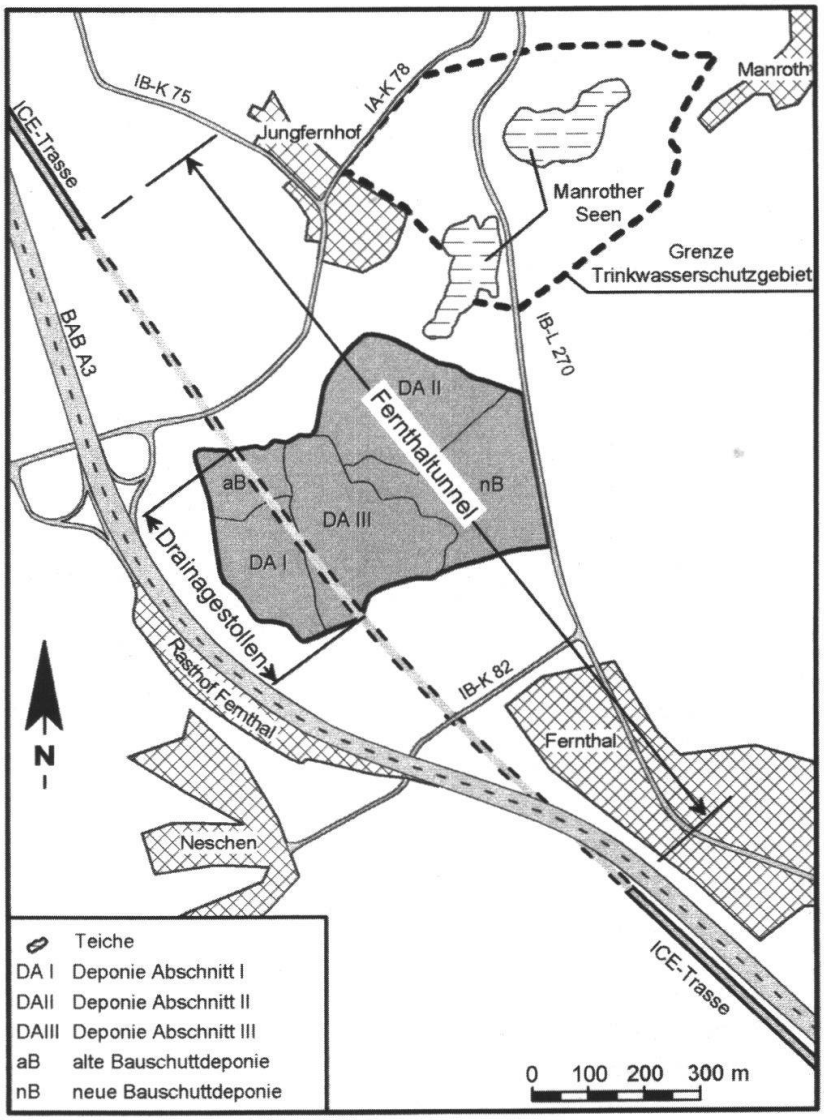


Fig. 1:
Lage der ICE-Neubaustrecke Köln – Rhein/Main in enger Bündelung mit der Bundesautobahn A3.

Im Bereich des Westerwaldes wurde auf einer Länge von rd. 380 m eine stillgelegte Abfalldeponie des Landkreises Neuwied mit dem Fernthaltunnel unterfahren. Die Deponie wurde in einem ehemaligen Basaltsteinbruch angelegt; sie gliedert sich in insgesamt fünf Abschnitte (s. Figur 2). In den Deponie-Abschnitten DA I bis DA III wurde zwischen 1977 und 1995 Hausmüll bzw. hausmüllähnlicher Abfall abgelagert; lediglich der Deponie-Abschnitt DA III weist eine Basisabdichtung auf. In zwei weiteren Abschnitten (aB und nB) wurde Bauschutt deponiert.

Im Rahmen von Voruntersuchungen im Zuge des Genehmigungsverfahrens wurden Grundwasserkontaminationen im Untergrund der Deponie festgestellt. Eine weitere Verlagerung von Schadstoffen als Folge der Vortriebsarbeiten in den unterlagernden devonischen Kluftgrundwasserleiter musste verhindert werden. Weiterhin war eine Sicherung der Deponie erforderlich. Es wurde daher eine Gesamtkonzeption im Hinblick auf die Durchführung der Vortriebsarbeiten sowie die Sicherung der Deponie erarbeitet. Die Unterfahrung der Deponie wurde von der

Fig. 2:
Lageplan des Fernthaltunnels mit Kreismülldeponie Fernthal.



Deutschen Montan Technologie GmbH (DMT) und dem Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH (IHS) im Auftrag der bauausführenden Firma (Arbeitsgemeinschaft Tunnel Los A und C) durch ein umfassendes hydrologisches Beweissicherungsprogramm dokumentiert. Zusätzlich war seitens der Genehmigungsbehörden die Ingenieurgemeinschaft Wittke/Hart als Fremdüberwacher eingeschaltet.

2. Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse im Projektgebiet

Regionalgeologisch gesehen befindet sich der Fernthaltunnel innerhalb des Rheinischen Schiefergebirges. Entsprechend den Ergebnissen der Baugrunderkundung wurden im Rahmen der Vortriebsarbeiten für den Fernthaltunnel ausschliesslich unterdevonische Gesteinsserien der Siegen-Stufe angetroffen; es handelt sich dabei hauptsächlich um Tonschieferabfolgen mit eingeschalteten Sandsteinbänken. Vereinzelt wurden Vererzungszonen beobachtet. Im Hangenden der unterdevonischen Gesteinsserien wurden während des Tertiärs (Oligozäns) die Vallendarer Schichten abgelagert. Es handelt sich dabei überwiegend um Sande und Kiese mit einem teilweise höheren Tongehalt; sie werden auch als Klebsande bezeichnet.

Während des Miozäns kam es im Projektgebiet zur Bildung von ausgedehnten Basaltvorkommen; dabei entstanden u.a. die Basaltkuppe des Bertenauer Kopfes sowie die Manrother Basaltdecke. Bis in die 70er Jahre fand ein intensiver Basaltabbau statt. Nach Beendigung des Abbaus wurden die Abbaugruben zunächst überwiegend offengelassen. Ein Teil der ehemaligen Basaltgruben wurde später als Deponiefläche genutzt; auch die ehemalige Kreismülldeponie Fernthal ist in offengelassenen Basaltgruben angelegt worden und wurde zwischen 1977 und 1995 betrieben. Nordöstlich der Deponie Fernthal haben sich in zwei weiteren ehemaligen Basaltgruben die Manrother Seen gebildet (vgl. Figur 2).

Strukturgeologisch ist das Projektgebiet vor allem durch einen teilweise intensiv gestörten, variszischen Faltenbau gekennzeichnet. Die vorhandenen Störungszonen streichen überwiegend schichtparallel in SW-NE-Richtung. Im Rahmen der Auffahrung des Fernthaltunnels wurde überwiegend ein südöstliches Einfallen der Störungszonen festgestellt. Neben einzelnen Störungszonen wurden im Rahmen des Tunnelvortriebs auch mehrere Faltenstrukturen durchfahren.

Im Rahmen der Baugrunderkundung wurde die hydrogeologische Situation auch im Bereich des Fernthaltunnels durch Bohrungen, die zu Grundwassermessstellen ausgebaut wurden, Durchlässigkeitsuntersuchungen und Färbeversuche im Detail erkundet. In den Grundwassermessstellen wurden über einen Zeitraum von 5 Jahren (1994–1998) Grundwasserstandsmessungen durchgeführt; weiterhin wurden die Daten des Deponiebetreibers (Kreis Neuwied) bei der Bearbeitung eines hydrogeologischen Modells mit berücksichtigt.

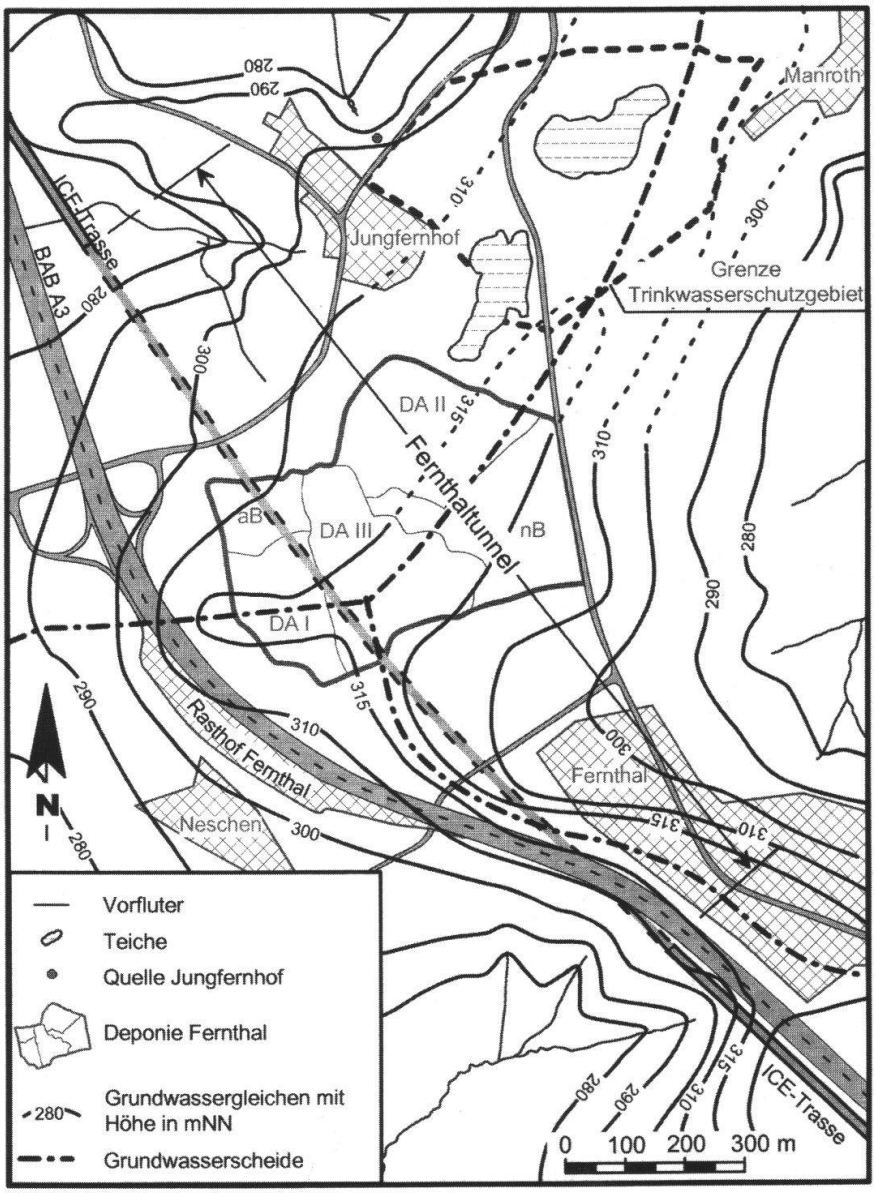
Auf der Grundlage der Grundwasserstandsmessungen sowie der kartierten Quellaustritte wurde ein Grundwassergleichenplan konstruiert (s. Figur 3).

Im zentralen Bereich der Deponie Fernthal befand sich vor Beginn des Tunnelvortriebs ein Grundwasserplateau; von hier aus erfolgte ein Grundwasserabstrom in nordwestlicher, südwestlicher und südöstlicher Richtung. Die Grundwasserscheide verlief von Südosten her etwa parallel zur BAB A3 in nordwestlicher Richtung bis zum Bereich der Deponie Fernthal; hier knickte ein Ast der Grundwasserscheide nach Nordosten ab, in Richtung der Manrother Seen. Der zweite Ast der Grundwasserscheide verläuft von der Deponie Fernthal aus in westlicher Richtung, am nördlichen Rand des Rasthofes Fernthal. Im Bereich der Quelle Jungfernhof, nordwestlich der Manrother Seen, ist ein Trinkwasserschutzgebiet ausgewiesen (s. Figur 3). Die Manrother Seen liegen innerhalb des Trinkwasserschutzgebietes; die Untersuchungen haben allerdings ergeben, dass die Seen keinen Grundwasseranschluss aufweisen.

Die Untersuchungen zeigen, dass im Hinblick auf eine mögliche Schadstoffausbreitung die Deponie sehr ungünstig im Bereich einer Triple-Wasserscheide liegt. Die zwischen 1977 und 1985 genutzten Deponieabschnitte (DA I und DA II) weisen entsprechend dem damaligen Stand der Technik keine Basisabdichtung auf. Ausserdem ist auf der rd. 7.6 ha grossen Deponiefläche keine Oberflächenabdichtung vorhanden. Es findet somit ein Schadstofftransport mit dem Sickerwasser in den Untergrund statt. Die ursprünglich als Grundwasserstauer angesehenen Klebsande unterhalb der Deponie sind nicht flächenhaft vorhanden und weisen eine erhöhte Durchlässigkeit auf.

Im Rahmen der Baugrunduntersuchungen wurden seitens der Ingenieurgemeinschaft NBS Köln - Rhein/Main PA 4 (Geoplan GmbH & Jessberger + Partner

Fig. 3:
Grundwassergleichenplan vor der Auffahrung des Fernthaltunnels im Bereich der Deponie Fernthal.



GmbH) Durchlässigkeitsuntersuchungen der anstehenden Gesteinsserien durchgeführt. Neben Auffüll- und Absenkversuchen kamen dabei auch WD-Tests sowie Pumpversuche und Färbeversuche zur Anwendung. Aus den durchgeführten Untersuchungen im Rahmen des Baugrundgutachtens ergaben sich folgende Durchlässigkeitsbeiwerte:

- unterdevonische Ton- und Sandsteine $1 \cdot 10^{-5}$ bis $9 \cdot 10^{-7}$ m/s
- tertiäre Klebsande (Vallendarer Schichten) $1 \cdot 10^{-4}$ bis $5 \cdot 10^{-7}$ m/s
- Basalte $1 \cdot 10^{-5}$ bis $5 \cdot 10^{-8}$ m/s

3. Hydrochemische Verhältnisse im Projektgebiet

Die geologisch-hydrologische Beweissicherung während der Vortriebsarbeiten beim Bau des Fernthaltunnels wurde von der Deutschen Montan Technologie GmbH und dem Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH durchgeführt.

Bereits vor Beginn der Vortriebsarbeiten wurde im Oktober 1998 mit einer intensiven hydrologischen Beweissicherung begonnen. In diesem Zusammenhang wurden unter anderem in monatlichen Abständen Grundwasserstandsmessungen und hydrochemische Analysen von Grundwasserproben aus dem Deponiebereich sowie der engeren Umgebung durchgeführt.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden vor allem in den Grundwassermessstellen auf dem Deponieabschnitt DA I sowie im Bereich der alten Bauschuttdeponie teilweise deutlich erhöhte Konzentrationen der deponiespezifischen Parameter CSB, TOC, AOX und N_{gesamt} nachgewiesen. In Figur 4 sind exemplarisch die Ergebnisse der CSB-Analysen für den Monat April 1999 (vor der Auffahrung des Drainagestollens) als Isolinienplan dargestellt. Die höchsten CSB-Konzentrationen von rd. 250 mg/l zeigten sich am Übergangsbereich zwischen dem Deponieabschnitt DA I und der alten Bauschuttdeponie (aB) sowie im westlichen Randbereich des Deponieabschnittes DA III. In südwestlicher Richtung nahmen die CSB-Gehalte deutlich ab; die hier ermittelten Konzentrationen lagen zwischen 5 und 20 mg/l. In den östlichen/nordöstlichen Bereichen der Deponie (östlicher Abschnitt DA III, DA II, nB) lagen die ermittelten CSB-Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze von 5 mg/l.

Neben den CSB-Belastungen des Grundwassers wurden vor allem im Bereich des Deponieabschnittes DA I auch deutliche Erhöhungen der elektrischen Leitfähig-

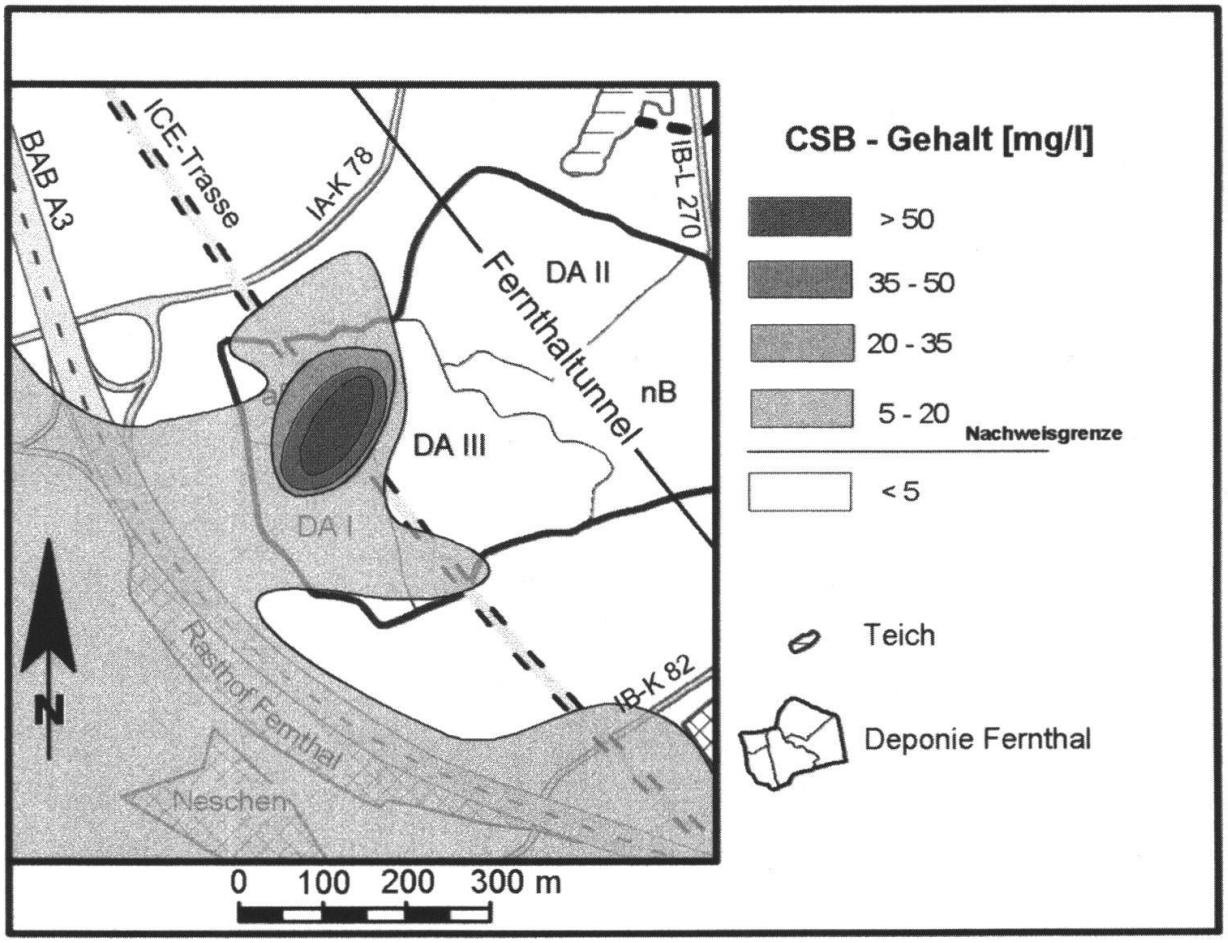


Fig: 4: Isolinienplan der ermittelten CSB-Konzentrationen im Bereich der Deponie Fernthal für April 1999.

keit sowie der Parameter TOC, Chlorid und Hydrogencarbonat nachgewiesen. Die Grundwassermessstellen im Bereich der alten Bauschuttdeponie aB wiesen ebenfalls deutlich erhöhte Konzentrationen der Parameter Chlorid und Hydrogencarbonat auf; zusätzlich wurden erhöhte Sulfat-Gehalte festgestellt, die im Zusammenhang mit dem hier abgelagerten Bauschutt stehen.

Die Ergebnisse der Voruntersuchungen zeigten, dass insbesondere im Bereich der älteren Deponieabschnitte (DA I und aB) Sickerwasseraustritte vorhanden sind, die zu einer Grundwasserkontamination in der unmittelbaren Deponieumgebung geführt haben.

4. Bautechnische Konzepte

Die ursprüngliche Konzeption der Auffahrung des NBS-Tunnels sah eine möglichst grundwasserschonende Bauweise (Ulmenstollenvortrieb mit vorauseilenden Injektionen) vor; gemäss Planfeststellungsbeschluss sollte die aus den Vortriebsarbeiten resultierende Grundwasserabsenkung auf < 1 m und die dem Tunnel zufliessende Wassermenge auf < 1.1 l/s auf knapp 400 m begrenzt werden.

Da im Zuge einer vor Beginn der Vortriebsarbeiten durchgeführten ergänzenden hydrologischen und hydrochemischen Erkundung eine Grundwasserkontamination auch im devonischen Grundwasserleiter festgestellt worden war, wurde ein alternatives bautechnisches Konzept entwickelt, mit dem der Bau des NBS-Tunnels kostenoptimiert ausgeführt und parallel eine zumindest teilweise Grundwasserreinigung erreicht sowie ein weiterer Schadstoffaustrag aus der Deponie verhindert werden sollte.

Das im Auftrag der Deutschen Bahn durch die Ingenieurgemeinschaft Wittke/Hart entwickelte bautechnische Konzept umfasst folgende Punkte:

- vor der Auffahrung des NBS-Tunnels wird unter der Deponie Fernthal unterhalb des geplanten Tunnels ein ca. 380 m langer Drainagestollen aufgefahren (vgl. Figur 5); im Endzustand ist eine wasserdruckhaltende Ausbildung des Stollens erforderlich;
- von dem Drainagestollen aus werden Entwässerungsbohrungen hergestellt, durch die das Grundwasser gezielt gefasst, beprobt, analysiert und abgeleitet werden kann (vgl. Figur 5);
- die nicht basisabgedichteten Bereiche der Deponie Fernthal werden mit einer Oberflächenabdichtung versehen, durch die ein weiterer Austrag von Deponiesickerwasser in den Untergrund und das Grundwasser weitgehend verhindert werden soll;
- nach Fertigstellung des Drainagestollens kann der NBS-Tunnel überwiegend im trockenen Gebirge aufgefahren werden.

Durch mehrfaches Absenken und Aufstauen des Grundwassers nach Herstellung des NBS-Tunnels unterhalb der Deponie Fernthal soll eine «Reinigung» des Gebirges durchgeführt werden. Seitens der Ingenieurgemeinschaft wurde das Konzept daher als «sanierungsorientierte Wasserhaltung» bezeichnet.

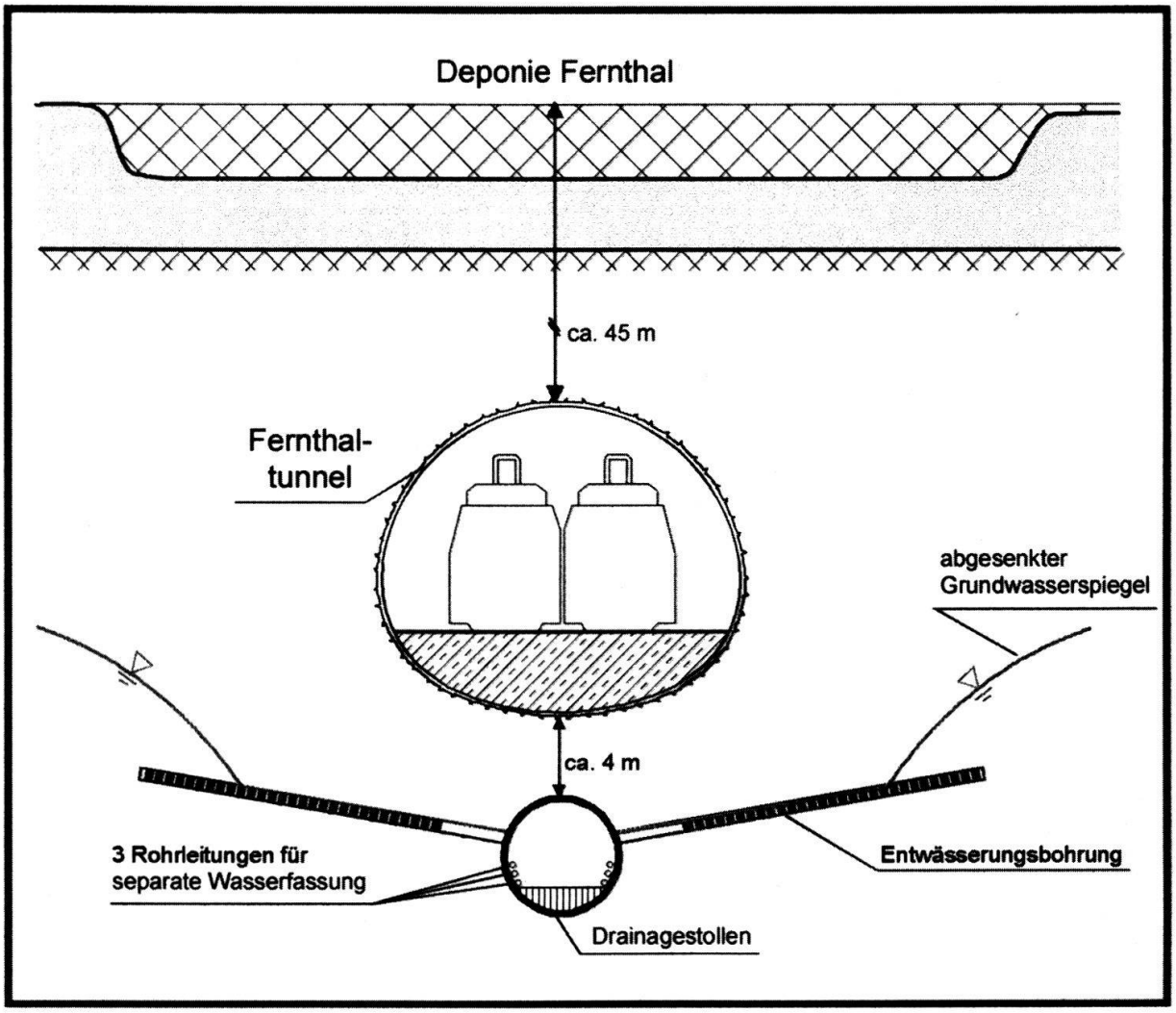


Fig. 5: Schematische Darstellung des bautechnischen Konzeptes mit NBS-Tunnel und Drainagestollen.

5. Geologisch-hydrologisches Monitoring im Rahmen der Tunnelauffahrung

Das bautechnische Konzept wurde seitens der zuständigen Behörden im März 1999 genehmigt. Entsprechend den Auflagen und Nebenbestimmungen der Genehmigungsbehörde wurden die Herstellung des Drainagestollens sowie das Auffahren des NBS-Tunnels durch ein umfassendes geologisch-hydrologisches Monitoring begleitet.

In diesem Rahmen wurden seitens DMT/IHS u.a. folgende Arbeiten durchgeführt:

- Dokumentation jedes Abschlages sowie geologische Aufnahme der Ortsbrust bei mindestens jedem zweiten Abschlag;
- tägliche Interpretation von Tunnelkonvergenzen, Verformungen im Gebirge und Oberflächensetzungen;
- Durchführung eines Erschütterungsmonitorings mit Messung der aus dem Tunnelvortrieb resultierenden Schwinggeschwindigkeiten in Abschlagsnähe sowie in drei Messquerschnitten im Gebirge;

- quantitative Erfassung, Beprobung und Analyse des an der Ortsbrust sowie in den Tunneln anfallenden Bergwassers;
- Einbau von automatischen Datenloggern in Grundwassermessstellen im Nahbereich des Drainagestollens, zweitägliche Pegelmessung an bis zu 13 Messstellen sowie wöchentliche Pegelmessung in bis zu 29 Messstellen zur Dokumentation des Absenkungstrichters; zusätzlich wurde das Niveau des Wasserspiegels am Breder See (der südwestliche Manrother See) monatlich überprüft;
- Durchführung von hydrochemischen Minimalanalysen (CSB, TOC, AOX, N_{gesamt}) vor Ort in einem mobilen Baustellenlabor, um eine möglichst zeitnahe Vorlage der Analysenergebnisse zu gewährleisten.

Nach der Herstellung des Drainagestollens konnte der NBS-Tunnel unter der Deponie Fernthal weitgehend im Trockenen aufgefahren werden; auch diese Vortriebsarbeiten wurden durch ein entsprechendes Monitoring-Programm begleitet. Um eine dauerhafte Reinigung des Gebirges im Untergrund der Deponie Fernthal zu ermöglichen, musste ein weiterer Schadstoffaustrag aus der Deponie minimiert werden. Hierzu wurden die Deponieabschnitte DA I und DA II mit einer Oberflächenabdichtung versehen und das Sickerwasser im Deponiekörper gefasst und ordnungsgemäss entsorgt. Diese Arbeiten wurden parallel zu den Vortriebsarbeiten des Drainagestollens bzw. NBS-Tunnels durchgeführt und im Sommer 2000 abgeschlossen.

6. Ergebnisse des Monitoring

Nachfolgend werden einige Ergebnisse der Vortriebsarbeiten im Drainagestollen dargestellt. Im Tunnelband (Figur 6) sind ausgewählte Ergebnisse des geologisch-hydrologischen Monitoring während der Vortriebsarbeiten zusammengefasst.

Bei den einzelnen Abschlägen wurde jeweils die an der Ortsbrust zutretende Wassermenge dokumentiert; über weite Strecken des Drainagestollens lag die zutretende Wassermenge bei ≤ 0.5 l/s. Vor allem in gefalteten bzw. gestörten Bereichen der anstehenden Gesteinsserien wurden jedoch vereinzelt bis zu maximal 1.5 l/s Bergwasser an der Ortsbrust gemessen.

Das an der Ortsbrust anfallende Bergwasser wurde jeweils beprobt und hydrochemisch analysiert. Dabei wurden neben den vor Ort-Parametern pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit überwiegend Minimalanalysen in einem eigens dazu eingerichteten Baustellenlabor durchgeführt; die Untersuchungen umfassten im wesentlichen die deponiespezifischen Parameter CSB, TOC, AOX und N_{gesamt}. In Abständen von ca. 25 m Vortriebsstrecke wurden zusätzlich Vollanalysen (zusätzliche Massenionen, Schwermetalle) durchgeführt. Bei den Minimalanalysen lagen die ermittelten Konzentrationen überwiegend im Bereich der Nachweisgrenzen einzelner Parameter; der Konzentrationsverlauf der elektrischen Leitfähigkeit, des CSB- und TOC-Gehaltes über den Verlauf des Drainagestollens ist in Figur 6 dargestellt. Bei der Unterfahrung des Deponieabschnittes DA I haben sich deutliche Kontaminationen etwa bei Stollen-m 210 bzw. 260 ergeben; auch bei den Vollanalysen aus diesen Bereichen wurden erhöhte Konzentrationen einzelner Anionen und Kationen festgestellt.

Die ermittelten Konzentrationserhöhungen stimmen sehr gut mit den Erkenntnissen aus den Voruntersuchungen vor der Auffahrung des Drainagestollens überein;

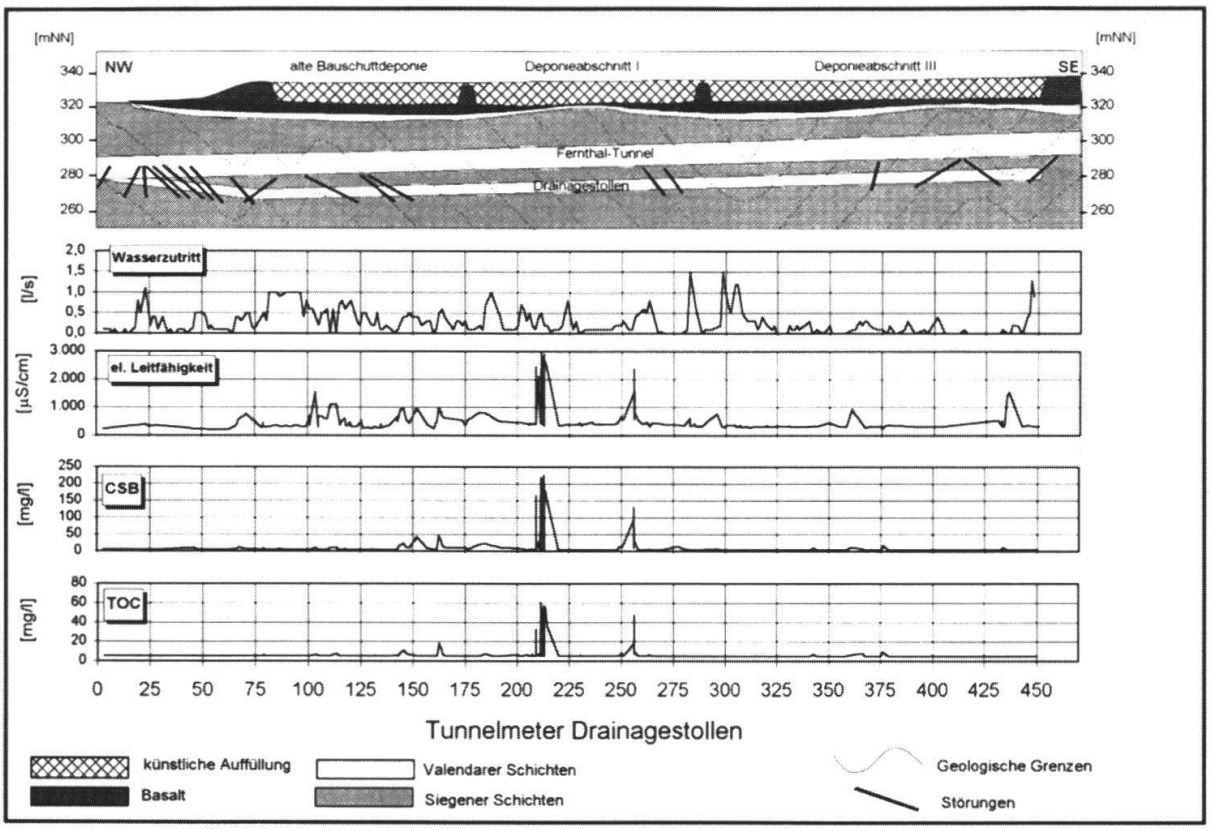


Fig. 6: Schematisches Längsprofil des Drainagestollens mit Angabe der zutretenden Wassermengen sowie Analysenergebnissen der Parameter elektrische Leitfähigkeit, CSB und TOC.

dabei wurden ebenfalls im Bereich des Deponieabschnittes DA I deutlich erhöhte Konzentrationen von deponiespezifischen Parametern im Grundwasser beobachtet.

Die im Drainagestollen angetroffene Menge an stark verunreinigtem Grundwasser war verhältnismässig gering. Bereits nach wenigen Tagen sind die Wasserzutritte in den betroffenen Bereichen jeweils deutlich zurückgegangen. In den unmittelbar benachbarten Bereichen wurden in den Wasserproben nur geringfügige Erhöhungen der untersuchten Parameter festgestellt.

Eine Zusammenfassung der ermittelten Gesamtwassermengen im Drainagestollen ist in Figur 7 dargestellt. Bereits kurz nach Beginn der Vortriebsarbeiten stieg die zutretende Gesamtwassermenge bis auf etwa 14 l/s an. Nachdem zwischenzeitlich Abdichtungsmassnahmen der Spritzbetonschale durchgeführt wurden, ging die Wassermenge bis zum Ende der Vortriebsarbeiten auf Werte zwischen ca. 7 und 10 l/s zurück.

Es zeigte sich bereits frühzeitig, dass die Spritzbetonschale nicht wasserdruckhaltend ausgebildet werden konnte, so dass Zusatzmassnahmen erforderlich waren. In einem ersten Schritt wurden gezielt Injektionen der Spritzbetonschale mit Zementsuspension bzw. Kunstharzen durchgeführt. Die Injektionsarbeiten führten jedoch nur zu einem Teilerfolg; bereits nach wenigen Wochen stellte sich erneut eine Wassermenge von 5 bis 7 l/s ein. Um der Forderung nach einer wasserdruckhaltenden, möglichst dichten Schale des Drainagestollens nachzukommen, wurde seitens der

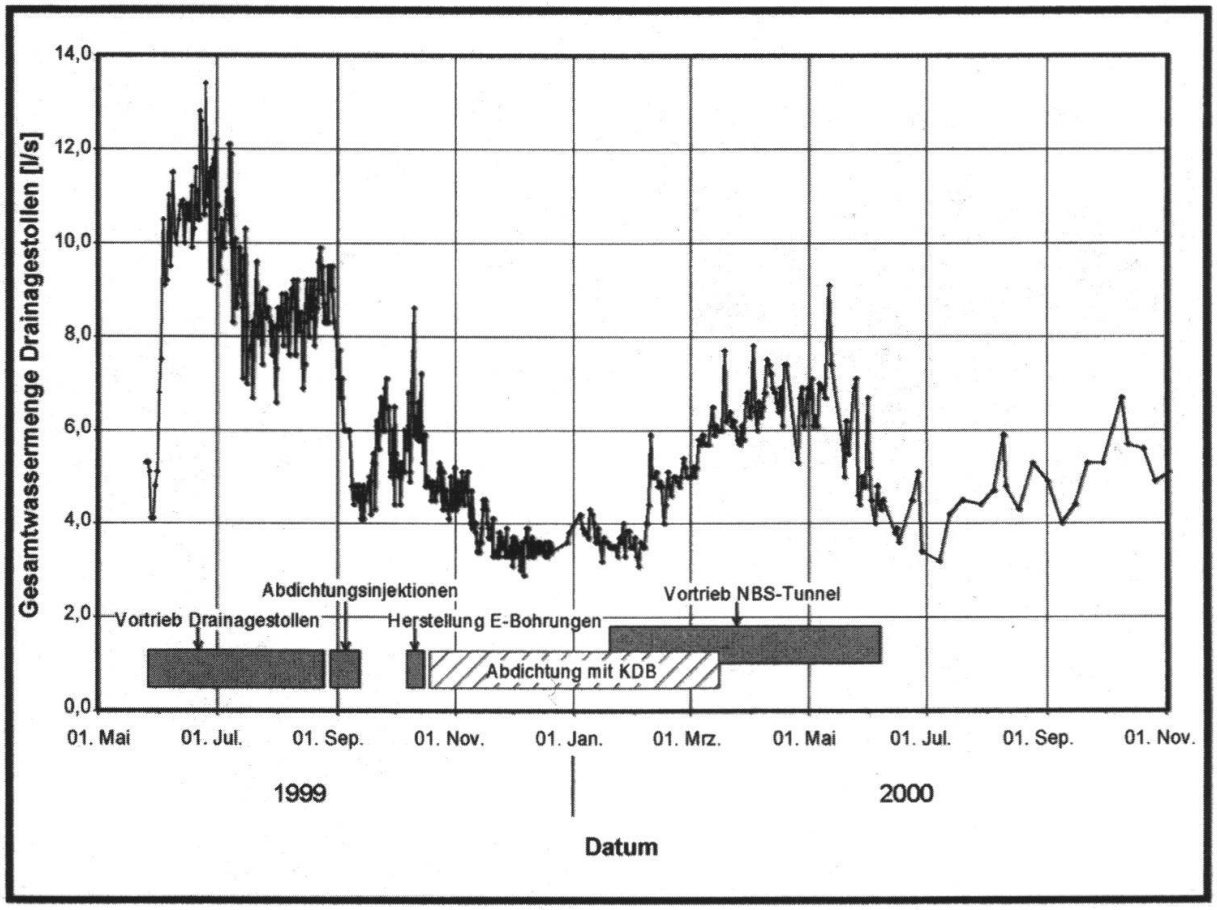


Fig. 7: Zeitliche Entwicklung der im Drainagestollen angefallenen Gesamtwassermenge (zwischen Mai 1999 und November 2000).

bauausführenden ARGE der Innenausbau mit einer Kunststoffdichtungsbahn (KDB) vorgeschlagen. Die Arbeiten waren aufgrund der beengten Platzverhältnisse sehr zeitintensiv und benötigten mit Unterbrechungen einen Zeitraum von ca. 5 Monaten. Durch diese Massnahme konnte die zutretende Wassermenge auf relativ konstante Werte zwischen ca. 3 und 4 l/s reduziert werden.

Eine Zunahme der Wassermenge wurde wiederum im Zusammenhang mit dem Vortrieb des NBS-Tunnels oberhalb des Drainagestollens festgestellt; bei dieser Zunahme handelt es sich überwiegend um das zusätzlich eingetragene Wasser, z.B. Bohrwasser zur Ankerherstellung etc. Die maximalen Zutritte lagen in diesem Zeitraum bei ca. 9 l/s.

Nach Beendigung der Vortriebsarbeiten am Fernthaltunnel hat sich bis Anfang November 2000 eine durchschnittliche Wassermenge von ca. 5 l/s in dem Drainagestollen eingestellt.

Neben den kontinuierlich durchgeführten Wassermengenmessungen im Bereich des Drainagestollens und des Fernthaltunnels wurden in den Grundwassermessstellen regelmässig Pegelmessungen durchgeführt. Aus den ermittelten Daten wurden jeweils Grundwassergleichenpläne konstruiert. In Figur 8 ist exemplarisch ein Grundwasserdifferenzenplan für den Zeitraum November/Dezember 1998 (vor Beginn der Vortriebsarbeiten) und August 2000 (nach Abschluss der Vortriebsar-

beiten) dargestellt. Im Bereich des Drainagestollens beträgt die maximale Grundwasserabsenkung rd. 45 m. Die Grundwasser-Absenkungsbeträge nehmen seitlich des Tunnels kontinuierlich ab. Allerdings wurde am nördlichen Deponierand noch eine Grundwasserabsenkung von rd. 5 m ermittelt. Auf der Grundlage dieser Daten kann die Reichweite des Absenkungstrichters in nordöstlicher Richtung mit > 450 m angenommen werden. Der Absenkungstrichter reicht somit bis in das Trinkwasserschutzgebiet hinein; eine Beeinflussung der Schüttungsmenge wurde jedoch nicht festgestellt, da die Quellfassungsanlage im wesentlichen oberflächennahes Schichtenwasser fasst. Auch in südwestlicher Richtung wurde eine grössere Reichweite des Absenkungstrichters festgestellt, als nach der hydrogeologischen Modellrechnung zu erwarten war. Hier ist eine Quellfassungsanlage trockengefallen; die Reichweite des Absenkungstrichters kann mit > 350 m angegeben werden.

Die durch die Grundwasserabsenkung beeinflusste Fläche, die zum Drainagestollen hin entwässert, kann mit rd. 0.5 km^2 angegeben werden. Diese Fläche entspricht auch etwa dem Bereich der Grundwasserneubildung, die dem Drainagestollen im stationären Regime zuströmt. Auf der Grundlage vergleichender Un-

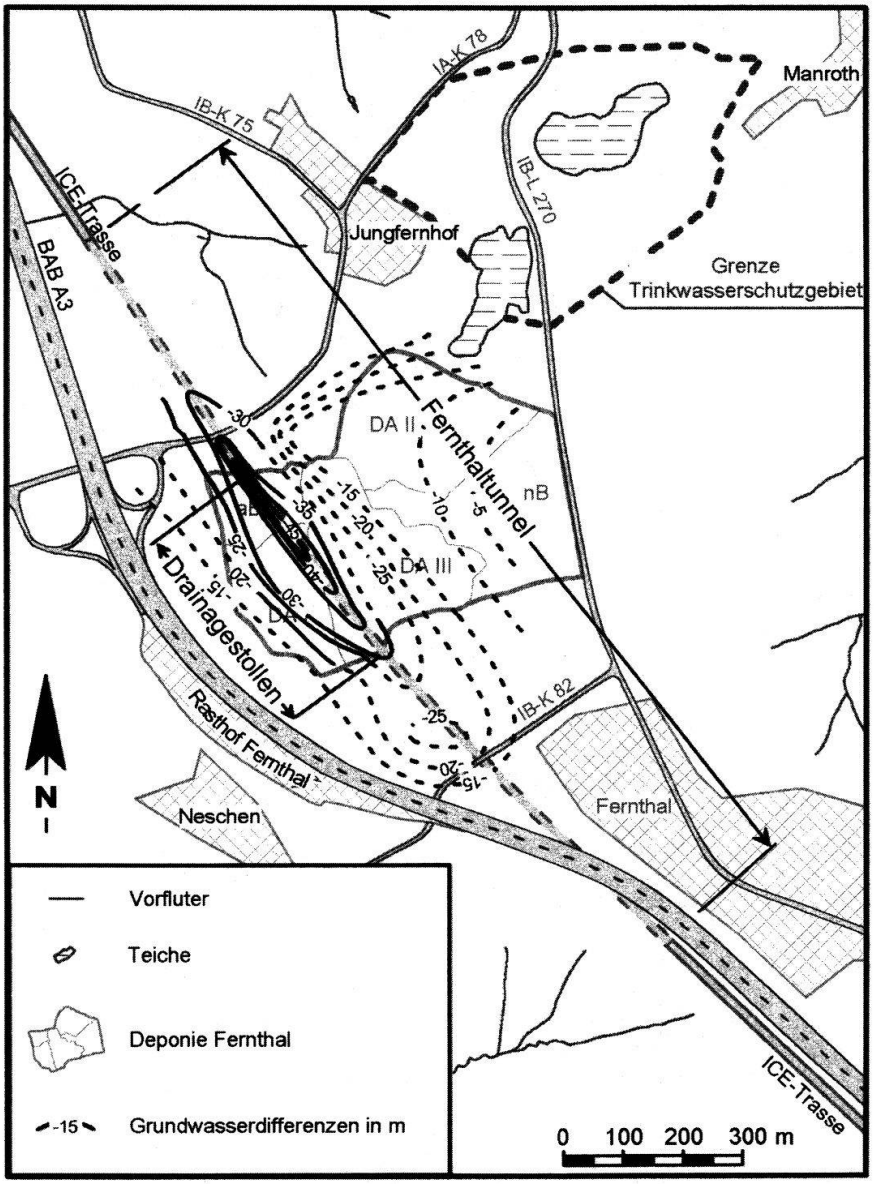


Fig. 8: Grundwasserdifferenzenplan für den Zeitraum November/Dezember 1998 (vor Beginn der Vortriebsarbeiten) und August 2000 (nach Abschluss der Vortriebsarbeiten).

tersuchungen kann für das Rheinische Schiefergebirge bei entsprechenden geologischen Verhältnissen eine Grundwasserneubildungsrate von 3 bis 5 l/(s·km^2) angesetzt werden. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Basaltvorkommen wird für das Projektgebiet von einer mittleren Grundwasserneubildungsrate von 5 l/(s·km^2) ausgegangen. In Bezug auf die Grundwasserneubildungsfläche ergibt sich insgesamt eine Grundwasserneubildung von rd. 2.5 l/s; dieser Wert ist geringer als die nach Fertigstellung des NBS-Tunnels gemessene Wassermenge und zeigt, dass bisher noch kein stationäres Grundwasserregime erreicht ist.

7. Zusammenfassende Bewertung

Die Untertunnelung einer Deponie im grundwassererfüllten Schiefergebirge hat gezeigt, wie wichtig eine umfassende Beweissicherung bereits im Vorfeld einer entsprechenden Baumassnahme ist. Im vorliegenden Fall konnte nachgewiesen werden, dass eine Grundwasserkontamination bereits vor Beginn der Vortriebsarbeiten vorlag; ohne entsprechende frühzeitige Untersuchungen wäre nachträglich der Verursacher nur schwer zu ermitteln gewesen.

Das gesamte Vortriebskonzept wurde den neuen Erkenntnissen angepasst, so dass gegenüber der ursprünglich vorgesehenen Konzeption ohne zusätzlichen Kostenaufwand auch eine Sanierung der Deponie vorgenommen werden konnte.

Während der Vortriebsarbeiten konnten die in den Grundwassermessstellen festgestellten Grundwasserkontaminationen nur in abgeschwächter Form bestätigt werden. Die Ursache liegt in der starken Verdünnung; durch die Grundwasserabsenkung im Drainagestollen wurde aus nicht verunreinigten Bereichen sauberes Wasser herangezogen. Die gesamte, durch die Grundwasserabsenkung beeinflusste Fläche reicht weit über die Deponiegrenzen hinaus.

Während der Vortriebsarbeiten wurden maximale Wasserzutritte im Drainagestollen von rd. 14 l/s gemessen; die auf der Basis einer FEM-Berechnung abgeschätzte Wassermenge von rd. 3 l/s wurde deutlich überschritten.

Die gesamte im Zeitraum 05.1999 bis 10.2000 erzeugte Kluftentleerung kann mit rd. 180'000 m^3 abgeschätzt werden; dabei wurde die gesamte im Drainagestollen gefasste Wassermenge (300'000 m^3) abzüglich der mittleren Grundwasserneubildung von rd. 2.5 l/s (entsprechend rd. 120'000 m^3) berücksichtigt. Es muss daher mit einem Zeitraum von mindestens 1 bis 2 Jahren gerechnet werden. bis sich nach Verschliessen der Entwässerungsbohrungen die ursprünglichen Grundwasserstände in etwa wieder eingestellt haben.

Während der Vortriebsarbeiten wurde auch ein Erschütterungsmonitoring zur Überprüfung der Auswirkungen des Vortriebs auf die Basisabdichtung von Deponieabschnitt DA III durchgeführt. Die Ergebnisse haben gezeigt. dass die Abschlagslängen sowie die Sprengparameter optimal gewählt wurden; die Schwinggeschwindigkeiten lagen im Bereich der Deponiebasis generell unterhalb von 30 mm/s. Entsprechend den Ergebnissen kann eine Beschädigung der Basisabdichtung ausgeschlossen werden.

DEUTSCHE MONTAN TECHNOLOGIE GMBH + INGENIEURBÜRO HEITFELD-SCHETELIG GMBH 1999 - 2000: Beweissicherungsprogramm Unterfahrung Deponie Fernthal - Monatsberichte Nr. 1 bis Nr. 14 zwischen 25.04.1999 und 08.06.2000; Essen / Aachen.

INGENIEURGEMEINSCHAFT NBS KÖLN-RHEIN/MAIN PA4 GEOPLAN GMBH - JESSBERGER + PARTNER GMBH 1996: DB-Neubaustrecke Köln-Rhein/Main. Planungsabschnitt 4 Deponie Fernthal - Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse aus der hydrogeologischen Erkundung des PA 4; Witten / Bochum.

INGENIEURGEMEINSCHAFT NBS KÖLN-RHEIN/MAIN PA4 GEOPLAN GMBH - JESSBERGER + PARTNER GMBH 1996: NBS Köln-Rhein/Main Unterfahrung der Deponie Fernthal - Beweissicherungsprogramm zur Vorlage bei den Fachbehörden; Witten / Bochum.

INGENIEURGEMEINSCHAFT WITTKE/HART 1998: Neubaustrecke Köln - Rhein/Main. Konzept für eine sanierungsorientierte Wasserhaltung beim Tunnelbau unter der Deponie Fernthal; Aachen/Melsbach.

INGENIEURGEMEINSCHAFT WITTKE/HART 1999: Neubaustrecke Köln - Rhein/Main. Gutachterliche Stellungsnahme zur Grundwasserabsenkung beim Bau des Fernthal-Tunnels; Aachen/Melsbach.