

Hydraulische Sanierung eines Grundwasserschadens mittels Dränagestollen erfolgreich abgeschlossen

Rainer Hart, Michael Heitfeld, Berndt Pierau, Georg Wieber

1. Vorbemerkungen

Beim Bau eines Schnellbahntunnels unterhalb einer undichten Deponie im Rheinischen Schiefergebirge wurde erstmals ein spezieller Dränagestollen eingesetzt. Damit war es möglich, die notwendige Wasserhaltung mit einer Sanierung des Grundwassers zu verbinden. Dieses Verfahren der Sanierungsorientierten Wasserhaltung (WBI-HART 1999) wurde bereits in mehreren Publikationen (HART et. al. 2000; KÜHNE & HEITFELD 2000; PIERAU & HART, 2001) unter verschiedenen Gesichtspunkten vorgestellt. Jetzt – gegen Ende der erfolgreichen Sanierung – wird von den Erfahrungen bei der Umsetzung des Konzeptes in die Praxis und dem Sanierungsergebnis berichtet.

2. Projekt

Der 1.550 m lange Tunnel der Hochgeschwindigkeitsbahnstrecke Köln-Frankfurt war auf einer Länge von ca. 400 m unter der partiell undichten Kreisabfalldeponie innerhalb eines sickerwasserbelasteten Kluftgrundwasserleiters aufzufahren (Abbildung 1). Der Abstand der Firste des 14,8 m breiten Tunnelquerschnittes zur Deponiesohle betrug dabei bereichsweise nur ca. 20 m.

Die Kreisabfalldeponie liegt in einem ehemaligen Basaltsteinbruch. Die Verfüllung mit Hausmüll erfolgte ab dem Jahr 1977 in mehreren Abschnitten, zunächst ohne (Deponieabschnitte DA I und DA II), ab 1988 dann im Abschnitt DA III mit Basisabdichtung (HART 1991). Bauschutt wurde in eigenen Bereichen deponiert.

Im Deponieabschnitt DA II hatte sich Deponiesickerwasser eingestaut.

Die Schnellbahntrasse liegt unter den Deponieabschnitten DA I, DA III und Alte Bauschuttdeponie (Abbildung 1).

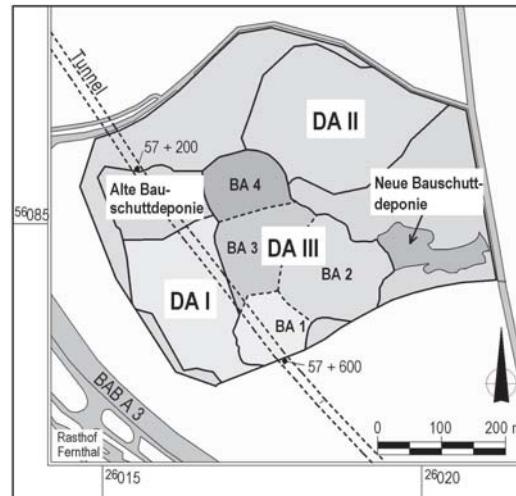


Abbildung 1:
Lage der Tunneltrasse unter der Deponie Fernthal

3. Baugrund und Grundwasserverhältnisse

Der Tunnel wurde in einer steil einfallenden Wechselfolge aus unterdevonischen Tonschiefern und so genannten „Grauwacken“ ungefähr senkrecht zur Streichrichtung aufgefahren.

Über diesem Grundgebirge liegt eine wenige Meter mächtige Schicht aus Sanden und Kiesen, Sedimenten eines Flussdeltas des geologischen Zeitalters Tertiär. Diese wurden durch eine Basaltdecke, die heute noch in Relikten mit Mächtigkeiten zwischen ca. 15 m und 30 m vorhanden ist (AHRENS & BURRE 1932), gegen einen erosiven Abtrag geschützt. Der Basalterguss schließt den Deponieraum seitlich ein und ist unter der Deponiebasis zumindest in Teilbereichen mit ei-

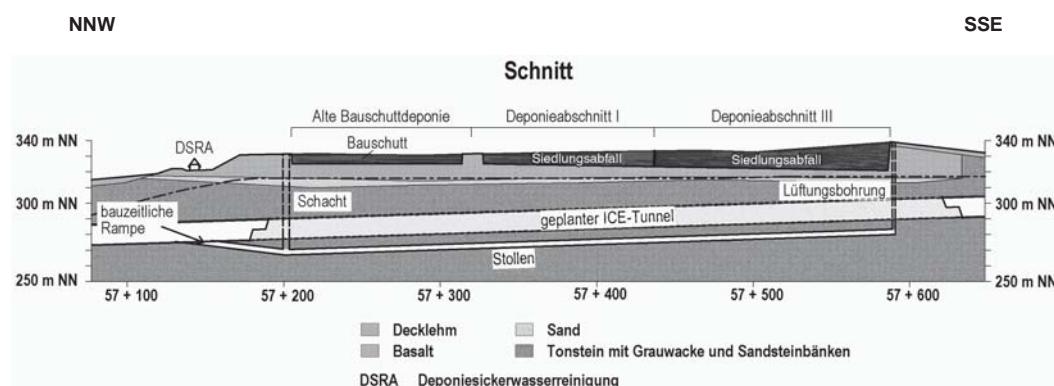


Abbildung 2:
Geotechnischer Längsschnitt

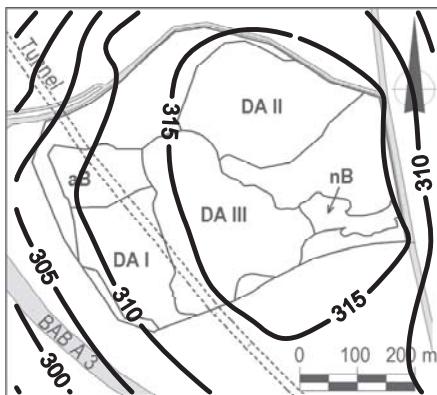


Abbildung 3:
Grundwassergleichen 1998

ner Restmächtigkeit von wenigen Metern vorhanden (Abbildung 2).

Der Kluftgrundwasserleiter des Devons und tiefer liegende Partien der tertiären Sande und Kiese sind grundwassererfüllt. Aus der Kuppenlage der Deponie resultiert in Verbindung mit den gegebenen geologischen Bedingungen ein radialer Grundwasserabstrom in Richtung der umliegenden Täler (Abbildung 3). Die Gebirgsdurchlässigkeit liegt im Mittel in der Größenordnung von $k_f = 1,5 \cdot 10^{-6}$ m/s, so dass insgesamt nur eine geringe Wasserdurchlässigkeit vorliegt. Eine maßgebende horizontale Anisotropie wurde in Pumpversuchen nicht festgestellt.

Die Durchlässigkeit der hangenden Sande des Tertiärs ist ungefähr 10-mal höher. Die beiden Grundwasserleiter sind hydraulisch miteinander verbunden.

In verschiedenen Bohrungen der Baugrundkundung für den Tunnel zeigten sich im Grundwasser unterhalb der Deponieabschnitte DA I / Alte Bauschuttdeponie und Deponieabschnitt DA II erhebliche Deponiesickerwasseranteile. Abbildung 4 zeigt die Verhältnisse im Jahr 1998 exemplarisch für den Parameter Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB).

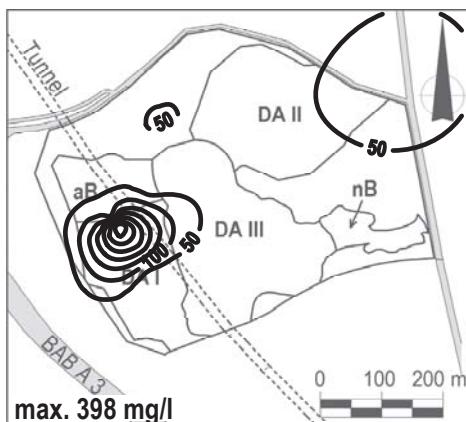


Abbildung 4:
Gleichen der CSB-Belastung (mg/l) des Grundwassers im Jahre 1998

4. Elemente der Sanierungsorientierten Wasserhaltung

Bei dem Verfahren der Sanierungsorientierten Wasserhaltung wird die notwendige Grundwasserabsenkung mit Hilfe eines Dränagegestollens vom Tunnelvortrieb selbst getrennt, um die hydraulische Sanierung des Grundwassers auch vor- und nachbauzeitlich betreiben zu können.

Im vorliegenden Fall wurde der Dränagegestollen (Abbildung 5) vor dem Bau des Schnellbahntunnels aufgefahrene und nach Fertigstellung einer Wasserdruck haltenden Auskleidung beidseitig mit 10 m langen Entwässerungslanzen, die einen Abstand von 5 bis 10 m aufweisen, versehen. Für jede Entwässerungslanze war ein Dreiegehahn vorgesehen, um eine Ableitung des gefassten Wassers in Abhängigkeit von der chemischen Belastung in eine der drei Hauptentwässerungsleitungen zu ermöglichen. Die Leitung für stark belastetes Wasser sollte der Sickerwasserreinigungsanlage, die für gering belastetes Mischwasser einem Vorfluter und die für natürliches Wasser einer Brauchwassernutzung zugeführt werden. Die chemische Beschaffenheit des Mischwassers erlaubte es letztlich, das gefasste Wasser in einer einzelnen Leitung zur Einspeisung in einen Vorfluter zu sammeln. Diese führte das gefasste Wasser zunächst im Freispiegel in einen Pumpensumpf, um es anschließend mit einer Steigleitung durch den Zugangsschacht auf Geländeniveau zu fördern.

Durch Öffnen bzw. Schließen der einzelnen Entwässerungslanzen konnte der Absenkbereich des Grundwassers zeitlich und räumlich gesteuert werden; darüber hinaus war die Möglichkeit einer partiellen

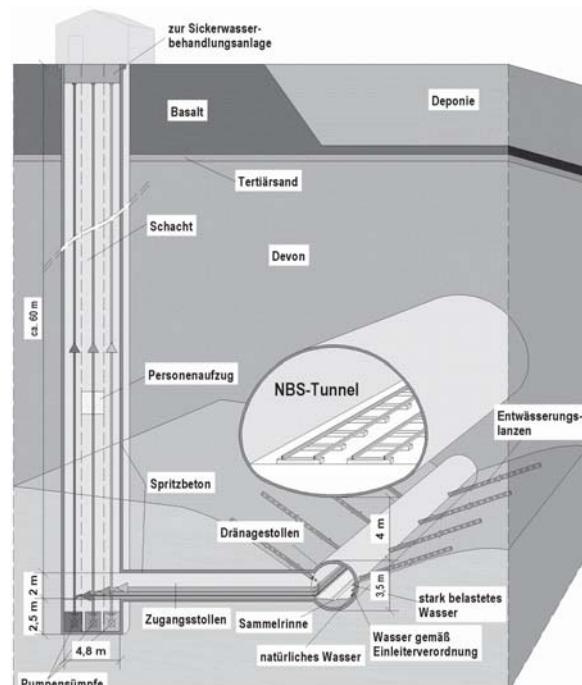


Abbildung 5:
System der Sanierungsorientierten Wasserhaltung nach HART et al. 2000)

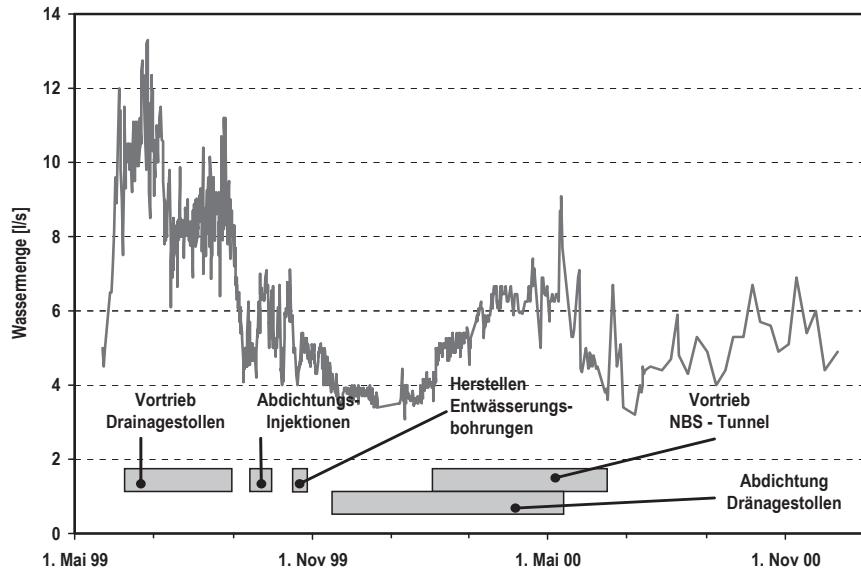


Abbildung 6:
Aus dem Stollen abgeführte Wassermenge
(PIERAU & HART, 2001)

Entnahme belasteten Grundwassers gegeben. Zudem konnte der Bahntunnel ohne Beeinträchtigung durch Deponiesickerwasser im entwässerten Gebirge aufgefahren werden.

Zur Reduzierung des künftigen Schadstoffinputs wurden die Deponieabschnitte DA I und DA II mit einer Oberflächenabdichtung versehen und das im Deponieabschnitt DA II eingestaute Sickerwasser durch 6 Brunnen mit teleskopierendem Ausbau weitgehend abgepumpt.

5. Hydraulische Wirksamkeit der Sanierungsorientierten Wasserhaltung

Im Dränagestollen fielen während des Vortriebs, der ca. 4 Monate dauerte, durchschnittlich 9 l/s Wasser an (Abbildung 6). Das nach kurzer Vortriebsstrecke erreichte Maximum von 13,5 l/s reduzierte sich schließlich auf 5 l/s.

Die spätere Zunahme zwischen Februar und Juni 2000 wird auf eine erhöhte Grundwasserneubildungsrate sowie die Gebirgsauflockerung durch den Kalottenvortrieb des Tunnels zurückgeführt.

Der abgesenkte Bereich dehnte sich mehr als 400 m nach Nordosten und über 200 m nach Südwesten aus, so dass letztlich die gesamte Deponie im Einzugsbereich des Dränagestollens lag. Ein relativ gleichmäßiger Verlauf der Gleichen des Grundwasserdifferenzenplanes lässt in großräumiger Betrachtung auf ein annähernd isotropes Durchlässigkeitsverhalten des devonischen Kluftgrundwasserleiters schließen (Abbildung 7).

Für kleinere Gebirgseinheiten gilt dies nicht, wie die sehr unterschiedlichen Ergiebigkeiten der einzelnen Entwässerungslanzen mit einer Stichtagsmessung am 14.12.2000 nach Ende der ersten Absenkphase zeigten (Abbildung 8 und 9).

Die Wassermengen der einzelnen Lanzen streuten über die weite Spanne von 0,0015 l/s bis 0,4 l/s. So resultiert 50 % des Zuflusses aus 12 von 88 Lanzen. 38 % des Wassers wurde auf der Südwestseite des Stollens, 62 % auf seiner Nordostseite gefasst. Lanzen mit geringer Ergiebigkeit liegen im Wesentlichen im mittleren Stollenabschnitt (HART & GRANDKE 2006).

Insgesamt wurde mit dem Stollen in der Zeit vom Beginn seines Vortriebs im April 1999 bis zum Ende der ersten Absenkung im Dezember 2000 eine Grundwassermenge von ca. 285.000 m³ gefasst und abgeleitet.

Der erste Wiederanstieg erfolgte durch Verschließen der Lanzen zunächst natürlich, ab Anfang Februar 2001 durch druckgesteuertes Einspeisen von Wasser in 4 umliegende Grundwassermessstellen sowie 13 Entwässerungslanzen beschleunigt. Diese Einspeisung wurde zur Verkürzung der Sanierungsdauer gewählt, musste aber einen Monat später wegen eines Defekts der Stollenauskleidung abgebrochen werden. Zu diesem Zeitpunkt lag die Grundwasseroberfläche bereits 12 m unterhalb des Ausgangswasserspiegels. Der zweite Wiederanstieg erfolgte nach Anschluss relevanter Entwässerungslanzen an 13 Sammelleitungen und Verdämmen des Dränagestollens ab September 2001.

Die Anstiegsphase erstreckte sich bis zum Frühsommer des Jahres 2002. Wegen der reduzierten Grund-

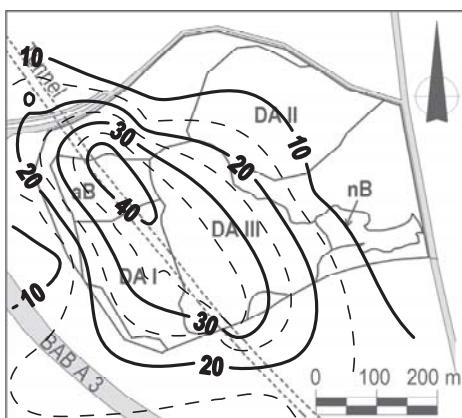


Abbildung 7:
Grundwasserdifferenzenplan [m] 12/1998 – 12/2000

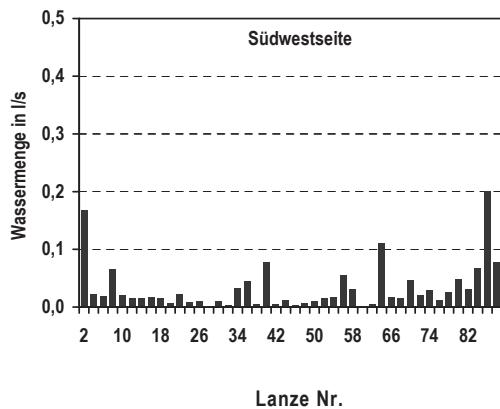


Abbildung 8:
Ergiebigkeiten an der Südwestseite des Stollens

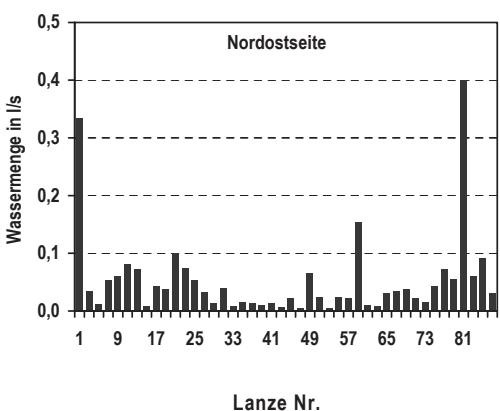


Abbildung 9:
Ergiebigkeiten an der Nordostseite des Stollens

wasserneubildung als Folge der Oberflächenabdichtung und Sümpfung des Deponieabschnittes DA II blieb das Anstiegsmaximum auch in den folgenden Jahren mehrere Meter unter dem ursprünglichen Grundwasserstand. Aus dem gleichen Grund strömte das Grundwasser nach erfolgtem Wiederanstieg nicht mehr radial aus dem Bereich der Deponie ab (Abbildung 3), sondern in westliche Richtungen (Abbildung 10). Die Grundwasserscheide hat sich nach Osten verlagert, offenbar kommt eine leichte längsdränende Wirkung des Tunnels hinzu.

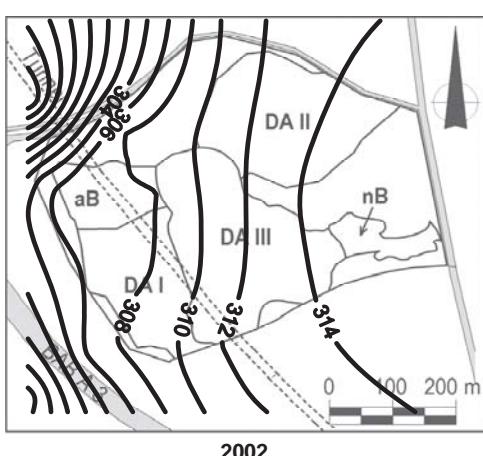


Abbildung 10: Grundwassergleichenplan nach Wiederanstieg

6. Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit während der Sanierung

Beim Auffahren des Dränagegestolls zeigten 43 von 120 Analysen des Bergwassers organische Auffälligkeiten, erfasst über den Parameter Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB). Diese traten in nur wenige Meter breiten Zonen auf (Abbildung 11). Der Maximalwert von CSB = 226 mg/l lag deutlich unter dem in den Baugrunderkundungen festgestellten Höchstwert von CSB = 727 mg/l.

Bei der späteren ersten Beprobung der Entwässerungsanlagen wurde nur noch ein maximaler Wert von CSB = 78 mg/l festgestellt. Hier zeigten sich in der Erstbepro-

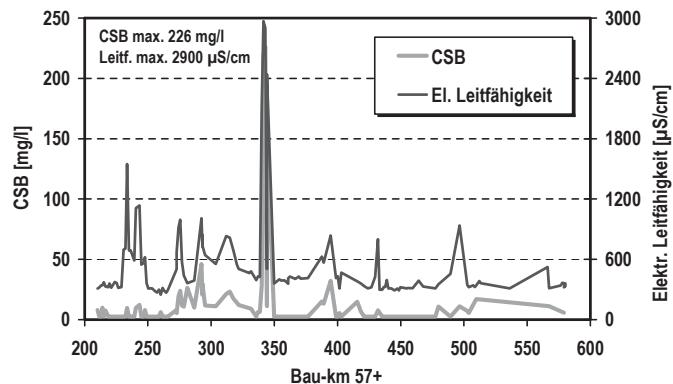


Abbildung 11:
CSB und elektrische Leitfähigkeit der an der Ortsbrust im Stollen zugetretenen Kluftwässer

bung und den weiteren Analysen erhebliche Unterschiede zwischen der Südwestseite und der Nordostseite des Dränagegestolls hinsichtlich der Verteilung und auch des zeitlichen Verlaufes, wie Abbildung 12 (HART & GRANDKE 2006) mit einer Gegenüberstellung der beiden Seiten (links, rechts) und der unterschiedlichen Beprobungszeitpunkte (vertikal) zeigt.

Auf der Südwestseite wurden offensichtlich verschiedene Deponiesickerwasserfahnen, die in unterschiedlichen Entfernung zum Stollen lagen, angezogen und vollständig gefasst. Auf der Nordostseite zeigt sich hinsichtlich mehrerer kleinerer Peaks ein vergleichbarer Verlauf, ein Doppelpeak hingegen entwickelt sich zu höherer Intensität. Hieraus wird geschlossen, dass bereits zu diesem Zeitpunkt eine weitgehende Sanierung des Grundwassers unterhalb der Deponieabschnitte DA I und „Alte Bauschuttdeponie“ (Abbildung 1) erfolgt war und gleichzeitig auf der Nordostseite eine Sickerwasserfahne aus dem Deponieabschnitt DA II in den Einfluss des Dränagegestolls geraten war. Die weitgehende Sanierung der beiden erstgenannten Bereiche belegt auch ein Gleichenplan der CSB-Werte für Dezember 2000 (HART & GRANDKE 2006), dem Beginn der ersten Anstiegsphase (Abbildung 13).

Nach dem zweiten Wiederanstieg erhöhte sich die Grundwasserbelastung im Bereich des Stollens aufgrund des Eintrages aus dem Bereich des Deponieabschnittes DA II zunächst wieder etwas, unterlag aber

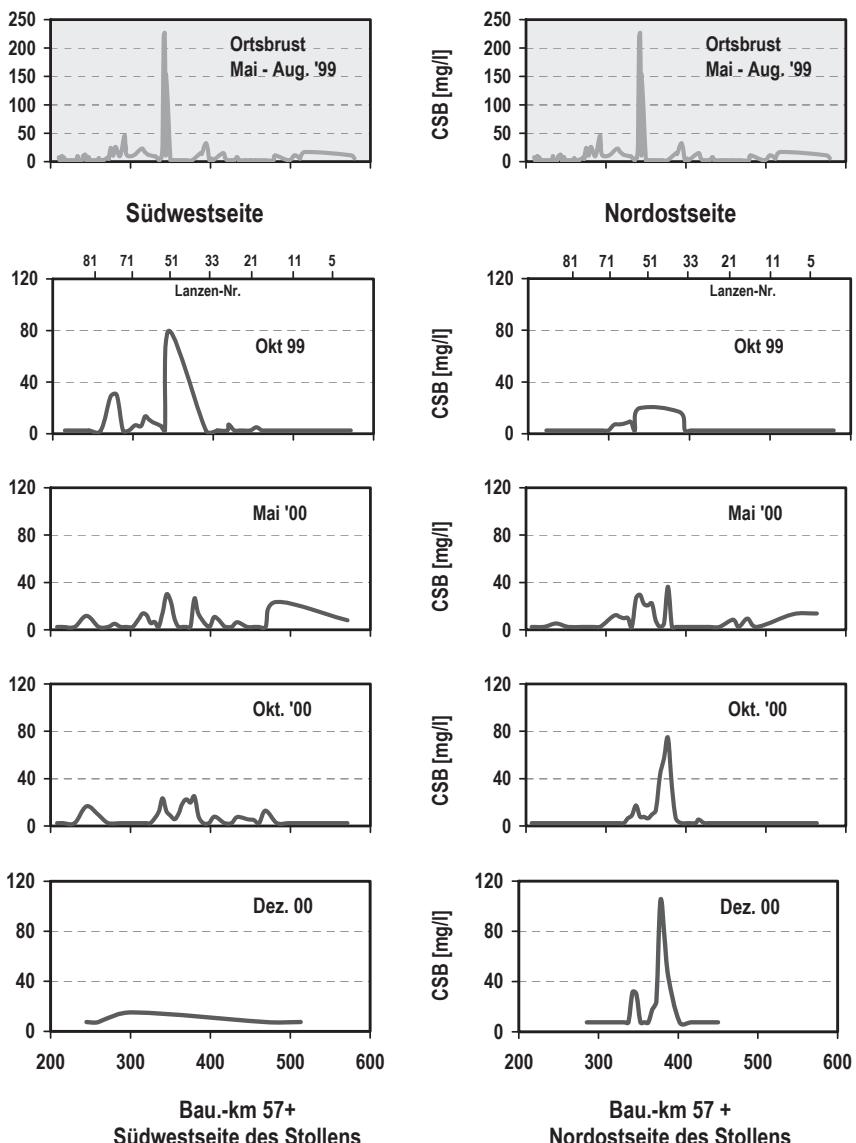


Abbildung 12:
Konzentrationsverlauf der CSB-Belastung
(mg/l) in den Entwässerungslanzen,
dargestellt in Längsprofilen des Stollens zu
verschiedenen Messzeitpunkten

bis zum Jahre 2006 einem erheblichen natürlichen
Abbau.

Dies lässt sich u.a. am Gleichenplan für den Gesamt-
kohlenwasserstoff (Abbildung 14) und an den Gang-
linien der Sammelleitungen des Stollens sowie der
umliegenden Messstellen nachvollziehen (HART &
GRANDKE 2006).

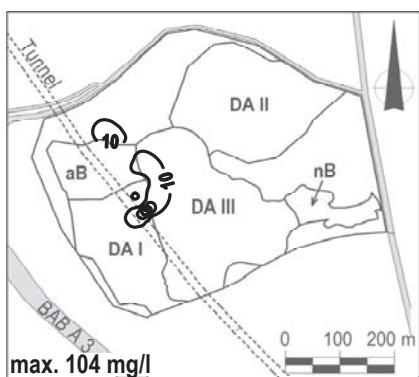


Abbildung 13:
Gleichen der CSB-Werte (mg/l) für Dezember 2000

Daher konnte im November 2006 bei der zuständigen Umweltbehörde die Beendigung der Sanierungsmaß-
nahmen beantragt werden.

7. Bewertung der Sanierungsorientierten Wasserhaltung

Die Sanierungsorientierte Wasserhaltung ermöglichte es, den Tunnel unterhalb der undichten Deponie ohne Beeinträchtigung durch Deponiesickerwasser im ent-
wässerten Gebirge aufzufahren und auch den Grund-
wasserschaden erfolgreich zu sanieren.

Unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten ist es inter-
essant, dass erstmals ein kontaminiertes Kluftgrund-
wasserleiter mit einem Dränagestollen durchfahren wurde. Die Ergebnisse der umfangreichen begleiten-
den hydrogeologischen und hydrochemischen Unter-
suchungen zeigen, dass sich der Kluftaquifer groß-
räumig annähernd isotrop verhielt. Hingegen hatte
sich das Deponiesickerwasser stark anisotrop entlang
einzelner wasserführender Klüfte ausgetragen. Ent-
sprechend belastete Grundwässer wurden daher beim
Vortrieb des Stollens nicht gleichmäßig verteilt, son-

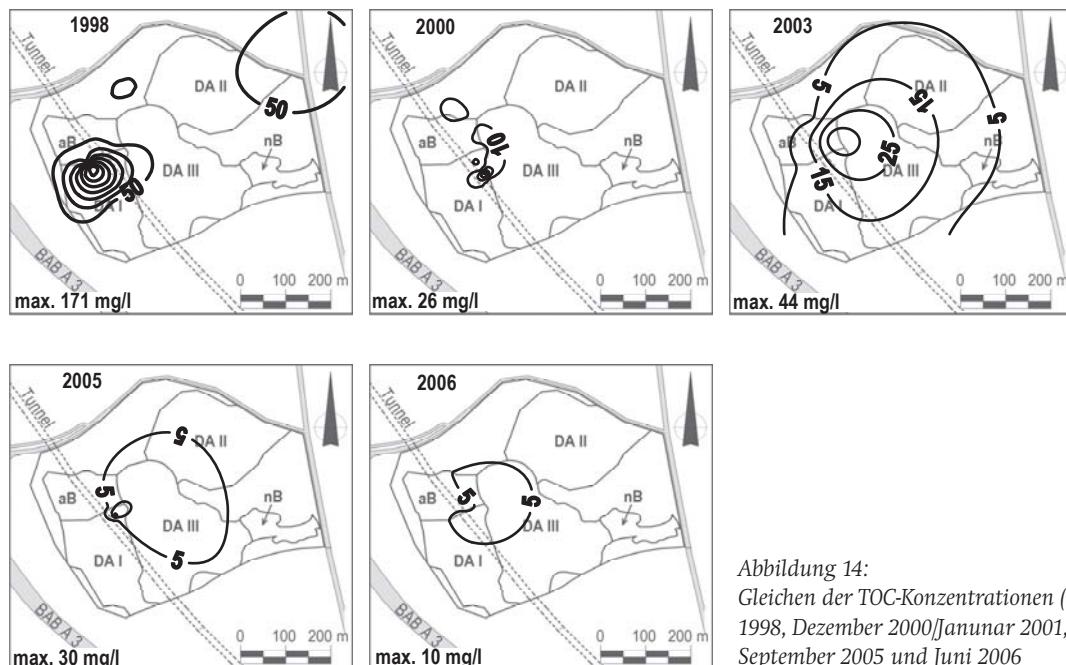


Abbildung 14:
Gleichen der TOC-Konzentrationen (mg/l) für die Zeiträume
1998, Dezember 2000/Januar 2001, Dezember 2003,
September 2005 und Juni 2006

dern in mehreren, jeweils nur wenige Meter breiten Zonen angetroffen.

Der für das Projekt entwickelte, mit vergleichsweise einfach zu bedienenden Mitteln ausgerüstete Dränagegestollen hat sich als sehr wirksames Instrument zur hydraulischen Sanierung mäßig bis gering durchlässiger Kluftgrundwasserleiter bewährt. Die Sanierungsoorientierte Wasserhaltung stellt somit bei ähnlichen hydrogeologischen Bedingungen eine überlegenswerte Alternative zu anderen Verfahren der Grundwassersanierung dar.

Literatur

- AHRENS, W. & BURRE, O. (1932): Der so genannte „Bertenauer Vulkan“ im Westerwald und die petrographische Stellung seiner Basalte.- Jb. Preuß. Geol. Landesanst. 53: 777–803, 10 Abb., 8 Tab.; Berlin.
- HART, R. (1991): Erfahrungen bei der Verwendung Westerwälder Tertiärtonen für den Bau mineralischer Deponiebasisabdichtungen.- Tagung. Geol. Landesamt Rheinland-Pf.: Überprüfung mineralischer Deponiebasisabdichtungen; 27 S., 7 Abb., 3 Tab.; Mainz
- HART, R. & GRANDKE, G. (2006): Abschlußbericht zur Grundwassersanierung der Deponie.- Gutachten der Chem.-techn. Labor. H.Hart GmbH (unveröff.): 103 S., 75Abb., 9 Tab., 10 Anlagen.; Melsbach.
- HART, R., WITTKE, W., PIERAU, B., KLEEMANN, U. & WIEBER, G. (2000): Die Sanierungsorientierte Wasserhaltung – Ein neues Konzept für das Auffahren von Tunneln in kontaminiertem Grundwasser.- Geotechnik, 23: 182–184, 3 Abb.; Essen (Glückauf).
- KÜHNE, M., & HEITFELD, M. (2000): Erfahrungen bei der Untertunnelung einer Deponie im grundwassererfüllten Schiefergebirge.- Bull. Angew. Geol., Vol. 5, Nr. 2, S. 177–190, Hannover.
- PIERAU, B. & HART, R. (2001): Sanierungsorientierte Grundwasserhaltung beim Bau eines Tunnels der NBS Köln-Rhein/Main unter einer Kreismülldeponie.- Taschenbuch Tunnelbau 25: 215-230, 8 Abb.; Essen (VGE).
- WBI-HART (1999): Konzept für eine Sanierungsorientierte Wasserhaltung beim Tunnelbau unter der Deponie Fernthal.- Gutachten der Ingffg. WBI-HART (unveröff.); 28 S., 10 Abb.; Aachen.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Geol. Rainer Hart,
Chem.-techn. Laboratorium Heinrich Hart GmbH
56581 Melsbach
hart@labor-hart.de

Dr.-Ing. Michael Heitfeld
Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH (IHS)
52072 Aachen
info@ihs-online.de

Dr.-Ing. Bernd Pierau
Prof. Dr.-Ing. W. Wittke, Berat. Ing. für Grundbau und Felsbau
GmbH (WBI)
52071 Aachen
wbi@wbionline.de

Priv.-Doz. Dr.-habil. Georg Wieber
Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord
56068 Koblenz
Georg.Wieber@sgdnord.rlp.de