

Wiemer, U., 1993: Erstellung eines Finite-Differenzen-Rechenprogrammes zur Bestimmung von Sorptionsparametern aus DKS-Permeameterversuchen. Unveröff. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Grundbau und Bodenmechanik der Ruhr-Universität Bochum.

Wienberg, R., 1990: Zum Einfluß organischer Schadstoffe auf Deponietone. Teil 1 u. 2. AbfallwirtschaftsJournal s. 222-230 und s. 306-314.

FORSCHUNGSVERBUNDVORHABEN "METHODEN ZUR ERKUNDUNG UND BESCHREIBUNG DES UNTERGRUNDES VON DEPONIEEN UND ALTLASTEN"

N. TADJERPISHEH

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR),
Stilleweg 2, D-30655 Hannover

Kurzfassung

Es werden das Forschungsverbundvorhaben "Methoden zur Erkundung und Beschreibung des Untergrundes von Deponien und Altlasten" sowie einige Ergebnisse von in dem Verbundvorhaben durchgeführten Projekten des Fachbereichs "Geochemie" vorgestellt.

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe als Projektleitung dieses Verbundvorhabens erarbeitet zur Zeit auf der Grundlage der Forschungsarbeiten ein aus 6 Bänden bestehendes Werk mit dem vorläufigen Titel "Methodenhandbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten". Es wird auf Zielsetzung sowie Zielgruppen eingegangen. Im Detail wird der Band "Tonmineralogie und Bodenphysik" vorgestellt.

1 Forschungsverbundvorhaben: "Methoden zur Erkundung und Beschreibung des Untergrundes von Deponien und Altlasten"

Bei einem Abfallaufkommen von derzeit mehr als 300 Mio. Tonnen pro Jahr in Deutschland wird deutlich, daß Deponien auch in Zukunft unverzichtbar sind. Die Kapazitäten der zur Zeit im Betrieb befindlichen Deponien reichen langfristig nicht aus, so daß neue Deponiestandorte gefunden werden müssen.

Mangels fehlender oder ungenügender geowissenschaftlicher Voruntersuchungen der Standorte bei der Ablagerung von Abfällen sind in den zurückliegenden Jahren aus Altdeponierungen (Altdeponien) Altlasten geworden. Die Zahl der Verdachtsflächen wird bundesweit auf ca. 180.000 geschätzt. Untersuchungen zeigen, daß das von der Schadstoffausbreitung im Untergrund ausgehende Gefährdungspotential weit größer ist, als bisher angenommen.

Der geologische Untergrund von Deponien und Altlasten wird als letzte und wichtigste Barriere (**geologische Barriere**) zur Behinderung und Minderung des Austrags von Schadstoffen aus den Deponien und Altlasten in die Umwelt angesehen. Die TA Siedlungsabfall stellt folgende Anforderungen an die geologische Barriere:

Sie soll aus natürlich anstehenden schwach durchlässigen Locker- bzw. Festgesteinen mit mehreren Metern Mächtigkeit und hohem Schadstoffrückhaltepotential bestehen.

- Sie soll eine über den Ablagerungsbereich hinausgehende flächige Verbreitung aufweisen.
- Unter dem Ablagerungsbereich soll die geologische Barriere möglichst homogen ausgebildet sein; unter dem Deponieplanum muß der Abstand zur Grundwasseroberfläche mindestens 1 m betragen.

Bei der Erkundung und Beschreibung der geologischen Barriere, d.h. des Untergrundes von geplanten und bestehenden Deponien wie auch bei der Gefährdungsabschätzung von Altlasten sind geowissenschaftliche Erkenntnisse und Methoden unverzichtbar. Um zuverlässige Daten über den Untergrund zu erhalten, müssen Möglichkeiten, Grenzen, Vor- und Nachteile der praxisüblichen Methoden bekannt sein. In diesem Zusammenhang müssen auch Methoden optimiert bzw. durch Neuentwicklungen ersetzt werden; hierzu fördert der Bundesminister für Forschung und Technologie in Projektträgerschaft des Umweltbundesamtes das Verbundvorhaben "Methoden zur Erkundung und Beschreibung des Untergrundes von Deponien und Altlasten" im Zeitraum 1990 bis 1994. Ziel dieses praxisorientierten Forschungsverbundvorhabens ist die Neu- und Weiterentwicklung sowie Erprobung von Methoden zur Erkundung und Beschreibung des Untergrundes von Deponien und Altlasten.

1.2 Schwerpunkte des Verbundvorhabens

Als wissenschaftliche und technische Ziele dieses Forschungsverbundvorhabens werden definiert (KNÖDEL et al., 1993):

- Geowissenschaftliche Analyse des Untergrundes als "geologische Barriere";
- Bewertung der bekannten Methoden zur Erkundung und Beschreibung des Untergrundes von Deponien und Altlasten;
- Weiterentwicklung eingeführter Verfahren und Entwicklung neuer Methoden;
- Anwendung und Vergleich von bekannten und neuen Verfahren ausgesuchter Teststandorttypen; Ermittlung der effektivsten und kostengünstigsten Methoden. Diese Untersuchungen werden an folgenden Lokalitäten durchgeführt:

- Sonderabfalldeponie Offheim bei Limburg (Tertiär/Devon)
- Deponie Eulenberg bei Arnstadt/Thüringen (Muschelkalk, Keuper)
- Deponie Schöneiche südlich Berlin (Quartär, Tertiär)
- SAD Münchenhagen bei Nienburg/Weser (Unterkreide)
- Geplanter Deponiestandort Rabenstein bei Chemnitz (päläozoische metamorphe Gesteine)
- Deponie Hermsdorf, Thüringen (mittlerer Buntsandstein)
- SAD Rondeshagen, Schleswig-Holstein (Quartär)
- SAD Malsch, Baden-Württemberg (Jura/Tertiär)

- Erstellen eines mehrbändigen Methodenhandbuchs

Diese Ziele wurden durch interdisziplinäre Forschungsarbeiten in 28 Einzelprojekten verfolgt, an denen rund 37 Forschungseinrichtungen beteiligt waren.

1.3 Erzielte Ergebnisse

In den Einzelprojekten, die den Bereichen Hydrogeologie, Geophysik und Geochemie zugeordnet waren, wurden folgende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten schwerpunktmäßig durchgeführt und dabei folgende Arbeitsziele erfolgreich bearbeitet:

Hydrogeologie: Weiterentwicklung von Bohr- und Probenentnahmetechniken im Lockergestein, Entnahmesonden zur 3-dimensionalen Beprobung von Grundwasser, Ermittlung von Gesteinsdurchlässigkeiten anhand von hydraulischen Testverfahren in situ, Einsatz von Umweltrisotopen-Analysen bei Standortuntersuchungen, Entwicklung praxisnaher Modellprogramme für die Simulation der Strömungs- und Transportvorgänge, geostatistische Verfahren zur Erkundungsoptimierung.

Geophysik: Anpassung seismischer Methoden für den Bereich geringer Tiefen bis etwa 50 m, Weiterentwicklung der 3D-Meß- und Auswerte-/Interpretationstechnik, Erfassung petrophysikalischer Parameter und ihre Korrelation mit der Lithologie, Darstellung lithologisch relevanter elektrischer Parameter durch Messung der chemischen Vorgänge im Deponiebereich mittels Eigenpotentialmessungen.

Geochemie: Bewertung und Optimierung anerkannter sedimentpetrographischer und geochemischer Verfahren zur Beschreibung der Eigenschaften des Untergrundes von Deponien und Altlasten, molekulartheoretische Aussagen zum Transport- und Lösungsverhalten im Untergrund, Bewertung gasförmiger Tracer (Helium, Radon, Methan) zur Auffindung von Emissionspfaden, Untersuchungen zum Transport von Schadstoffen in Tongesteinen, Auswertung von geochemischen Analysedaten aus natürlichen Systemen zur Bestimmung der geogenen Grundlast und zur Abgrenzung von Kontamination und Einfluß organischer Verbindungen auf das Mikrogefüge und Adsorptionsverhalten von Tongesteinen.

Der Einfluß organischer Schadstoffe auf das Mikrogefüge und das Rückhaltevermögen von tonigen Materialien soll hier an einigen Ergebnissen exemplarisch vorgestellt werden.

An Tongesteinsproben u. a. aus der SAD Hoheneggelsen (Niedersachsen) wurden Durchströmungsversuche mit wäßrigen Chloroform- und Benzollösungen einzeln sowie mit Zusatz eines anionischen Tensids (Tetrapropylbenzoesulfonat) durchgeführt und die Wirkung dieser Stoffe auf die Durchlässigkeit, das Adsorptionsvermögen und das Mikrogefüge untersucht (KERSCHBAUM & WEHNER, 1993).

Die Benzol- und Chloroformkonzentration lag unterhalb der Sättigungsgrenze. Sie betrug für Benzol 1,61 g/l und für Chloroform 4,11 g/l. Zur Untersuchung des Einflusses des Tensids wurden zu je 100 ml Schadstofflösung 2 ml einer 5% igen Tensidlösung zugesetzt.

Bei den Tongesteinen aus Hoheneggelsen handelt es sich um geringfügig verfestigte Tone des Barreme mit ca. 2 % C_{org}, die bei einem Tonanteil zwischen 52 und 57 % die Tonminerale Illit, Kaolinit, Chlorit und als Nebengemengteil Smektit führen. Wesentliche Nichttonminerale sind Quarz und Calcit (zwischen 10-30 %; ECKHARDT, 1991). ECKHARDT (1991) gibt für diese Tone folgende Kenndaten an:

Enslin-Wert (24h)	: 0,87-0,95
Oberfläche	: 30-37 m ² /g
k _f -Wert	: < 10 ⁻⁹ m/s

Für die Durchführung der oben genannten Untersuchungen waren ungestörte Proben erforderlich. Zur Beurteilung der entnommenen Bohrkern wurden die Transmissions-Computer-Tomographie und die radiometrische Dichtebestimmung eingesetzt. Beide Verfahren erlauben einen zerstörungsfreien Nachweis verborgener Klüfte, Risse und anderer Inhomogenitäten, so daß gezielt Proben aus den ungestörten Bereichen der Bohrkern entnommen werden konnten.

Der Vergleich der Transmissions-Computer-Tomographie mit der radiometrischen Dichtebestimmung in Abbildung 1 zeigt, daß die negativen Peaks der Dichtekurve Querrissen zuzuordnen sind. Im Gegensatz dazu ließ sich die Dichteerhöhung (Abb. 2) einer Fe-reichen Karbonatkonkretion zuordnen (MATTIAT & BERNHARDT, 1993). Der Vergleich der beiden Methoden lieferte identische Ergebnisse, so daß zur Beurteilung von Proben die relativ einfach durchzuführende radiometrische Dichtebestimmung ausreicht und nicht die aufwendige Transmissions-Computer-Tomographie eingesetzt werden muß. Detaillierte Informationen zu diesen Methoden sind in der Veröffentlichung von MATTIAT & BERNHARDT (1993) aufgeführt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Wirkung von organischen Schadstoffen auf Tongesteine sind in den Abbildungen 3-7 dargestellt.

In den ersten Tagen der Durchströmungsversuche steigt die Durchlässigkeit der Proben nach der Beaufschlagung mit benzolhaltigen Lösungen an und erreicht nach ca. 60 Tagen einen konstanten Wert (Abb. 4). Bei den tensidhaltigen Benzollösungen liegt die Durchlässigkeit der Proben am Anfang deutlich höher als bei benzolhaltigen Lösungen ohne Tensid (Abb. 4). Im Gegensatz zu den benzolhaltigen Lösungen sinken hierbei aber die k_f-Werte in den ersten Tagen. Nach ca. 30 Tagen verlaufen sie aber parallel zur Kurve der Proben der benzolhaltigen Lösungen ohne Tensid und erreichen nach ca. 60 Tagen in etwa auch den gleichen k_f-Wert (Abb. 4).

Bei chloroformhaltigen Lösungen liegen die k_f-Werte der Proben nach dem Zusatz von Tensiden am Anfang deutlich unter denen der Probe ohne Tensid, mit zunehmender Versuchsdauer aber steigt das Sickerwasservolumen und somit die Durchlässigkeit der tensidhaltigen Probe an und erreicht nach etwa 35 Tagen den gleichen k_f-Wert wie bei chloroformhaltigen Lösungen ohne Tensid (Abb. 3 und 4).

Wie aus den Abbildungen 3 und 4 zu ersehen ist, liegen die Durchlässigkeit und das Sickerwasservolumen der Proben mit chloroformhaltigen Lösungen erheblich höher als mit benzolhaltigen Lösungen sowohl mit als auch ohne Tensidzugabe. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, daß durch die Einwirkung der Schadstoffe neue Risse und Klüfte im Gestein entstanden sind. Rasterelektronenmikroskopische Gefügeuntersuchungen an diesen Proben bestätigten diese Annahme. Die REM-Aufnahmen zeigen, daß das Gefüge zum größten Teil zerstört ist (Abb. 5 und 6). Auffällig ist das Auftreten von zahlreichen Mikroklüften (Abb. 6). In diesen Klüften erkennt man häufig mobilisierte Tonminerale. Der innerkristalline Porenraum ist stark vergrößert, und ursprünglich parallel eingeregelt Tonpartikel sind gegeneinander verkippt mit der Tendenz zu "Kartenhausstrukturen" bzw.

extremen "Wabengefügen" (MATTIAT & BERNHARDT, 1993). Die Gefügeveränderungen konnten durch Porositätsbestimmungen quantifiziert werden (Tab. 1).

Tab. 1: Veränderung der Porosität, Porengröße und des Porenvolumens der Tonproben aus Hoheneggelsen vor und nach der Durchströmung mit organischen Schadstoffen (MATTIAT & BERNHARDT, 1993).

Schadstoff	maximales Porenvolumen in mm ³ /g	Porosität in %	häufigste Porengröße in nm
--	149,0	27,0	62,0
Chloroform + Tensid	286,0	42,2	178,6

Abb. 7 zeigt die Wiederfindungsrate des eingesetzten Chloroforms bzw. Benzols im Sickerwasser. Wie aus der Abbildung zu entnehmen ist, wird unter den angewandten Versuchsbedingungen mehr als 99 % des eingesetzten Benzols in den Tonen zurückgehalten. Interessant ist, daß trotz der Zunahme der Durchlässigkeit und Bildung von Klüften mehr als 95 % des eingesetzten Chloroforms adsorbiert wird. Eine Tensidzugabe bewirkt bei Chloroform eine geringe Abnahme der Sorption und ein frühzeitiges Austreten des Chloroforms im Sickerwasser.

Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen (KERSCHBAUM & WEHNER, 1993):

Wäßrige Benzollösungen mit oder ohne Tensidzusatz beeinflussen unter den gegebenen Versuchsbedingungen die Durchlässigkeit des Tongesteins nicht.

Wäßrige Chloroformlösungen mit oder ohne Tensidzusatz erhöhen die Durchlässigkeit des Gesteins und führen zu Gefügeänderungen. Der Tensidzusatz beeinflusst das Sorptionsverhalten des Tongesteins.

Die Rückhaltekapazität dieses Tongesteins ist groß genug, um unter den angewandten Versuchsbedingungen mehr als 95 % der Schadstoffe zu sorbieren.

2 Methodenhandbuch

Im Rahmen des Forschungsverbundvorhabens gibt die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ein aus 6 Bänden bestehendes Methodenhandbuch heraus.

Hierbei handelt es sich bei den Einzelbänden um folgende Themenbereiche:

- Geophysik
- Geofernerkundung
- Geotechnik
- Strömungs- und Transportmodelle
- Tonmineralogie und Bodenphysik
- Geochemie

In dieses Methodenhandbuch werden neben den vorhandenen geowissenschaftlichen Methoden auch die im Verbundvorhaben entwickelten Verfahren sowie die Ergebnisse der Teststandortforschung einfließen.

Den inhaltlichen Schwerpunkt des Methodenhandbuchs bilden Verfahren zur Beratung und Anleitung für die Praxis. So beinhaltet der Band "TONMINERALOGIE UND BODENPHYSIK" bodenphysikalische, mineralogische und geochemische Methoden zur Bestimmung der geotechnischen Eigenschaften des geologischen Untergrundes von Deponien und Altlasten. Dieser Band besteht aus folgenden Kapiteln:

- 1 Grundlagen
- 2 Einsatzmöglichkeiten, Aussagen und Grenzen tonmineralogischer und bodenphysikalischer Verfahren zur Erkundung und Beschreibung der Geologischen Barriere - ein Überblick
- 3 Beschreibung der Barriereigenschaften von Tonen
- 4 Meßparameter

Nach einer kurzen Einführung in die Tongesteine und Tonminerale sowie ihre geotechnischen Eigenschaften werden im Kapitel 1 die grundlegenden Fragen zum Einfluß von Deponieinhaltsstoffen auf die Barriereigenschaften und zum Schadstoffrückhaltevermögen von Tonen behandelt.

Kapitel 3 beschäftigt sich mit existierenden Normen, Regelwerken, Richtlinien, Empfehlungen und Vorschriften zur Erkundung und Beschreibung der Eigenschaften von geologischen Barrieren. Ferner werden in diesem Kapitel Untersuchungsstrategien vorgestellt.

Kapitel 4 beinhaltet die eigentlichen Methoden zur Erkundung und Beschreibung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. Dieses Kapitel hat vier Unterkapitel "bodenphysikalische", "geochemische" und "mineralogische Verfahren" und "Verfahren zur Gefügeuntersuchung von Tonen". Im einzelnen werden folgende Methoden beschrieben:

Unter physikalischen Verfahren werden Methoden u. a. zur Bestimmung der Korngrößenverteilung, Durchlässigkeit, Wasseraufnahme, Scherfestigkeit, spezifischen Oberfläche, Porosität, Konsistenzgrenzen und des Wassergehalts beschrieben.

Mineralogische Verfahren beinhalten Methoden zur quantitativen Mineralanalyse. Zu nennen sind hier Röntgendiffraktometrie, IR-Spektroskopie, Analyse des Elementbestandes, Thermoanalyse etc.

Zur Gefügeuntersuchung werden Rasterelektronenmikroskop, Lichtmikroskop, radiometrische Dichtemessung, Transmissions-Computer-Tomographie eingesetzt. Sie werden im Unterkapitel "Gefügeuntersuchungen" vorgestellt.

Das Unterkapitel "chemische Verfahren" stellt Methoden zur Bestimmung des Sorptionsvermögens, der Ionenaustauschkapazität und des Bindemittels, d.h. des Karbonatgehalts, der freien Metalloxide und -hydroxide, organischen Substanz (C_{org}), vor. Ferner wird auf die Durchführung von Diffusionsversuchen und ihre Aussagekraft eingegangen.

Jede Methode ist gegliedert in: Prinzip der Methode, Anwendungsmöglichkeiten, Aussagen und Grenzen, Begriffe, Meßgrößen und Meßeinheiten, Probenahme und Probenvorbereitung, Auswertung und Darstellung der Meßdaten und Ergebnisse sowie Interpretation, Qualitätssicherung, technischer und zeitlicher Aufwand, Kosten und Anwendungsbeispiele.

Die BGR beabsichtigt, das Methodenhandbuch im Laufe des Jahres 1995 herauszugeben.

Ergebnisse der Teststandortforschung werden als Fallbeispiele getrennt veröffentlicht.

3 Literatur

- ECKHARDT, F.-J., 1991: Geotechnische Probleme der marinen Unterkreide Niedersachsens. Mitt. Inst. Bodenforsch. und Baugeol. Univ. Wien; Reihe: Angewandte Geowissenschaften, 1, Tonmineralogie und Geotechnik, 123-159.
- KERSCHBAUM, S. und WEHNER, H., 1993: Modelluntersuchungen zur Wirkung organischer Schadstoffe auf das Mikrogefüge und die Rückhaltewirkung von Tongesteinen. Teil II.: Modellexperimente und Analytik. In: 3. Statusbericht des Verbundvorhabens "Deponieuntergrund", Berlin, 549-568.
- KNÖDEL, K., KRUMMEL, H., MATTIAT, B., WEHNER, H., KREYSING, K. & DUMKE, I., 1993: Forschungsverbundvorhaben "Methoden zur Erkundung und Beschreibung des Untergrundes von Deponien und Altlasten". Geol. Jb., A142, 321-333.
- MATTIAT, B. und BERNHARDT, J., 1993: Modelluntersuchungen zur Wirkung organischer Schadstoffe auf das Mikrogefüge und die Rückhaltewirkung von Tongesteinen. Teil I.: Analyse des Mikrogefüges der Tone. In: 3. Statusbericht des Verbundvorhabens "Deponieuntergrund", Berlin, 531-548.

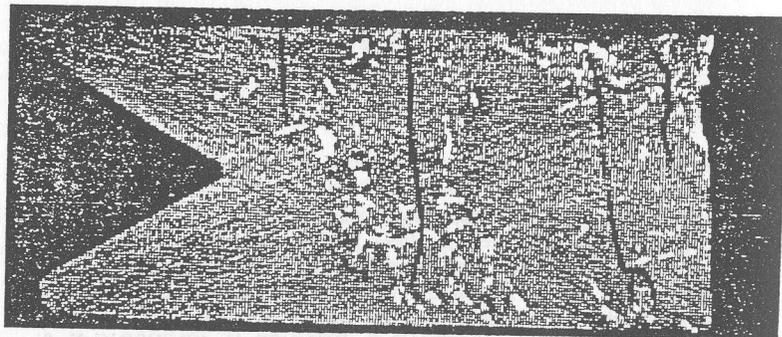
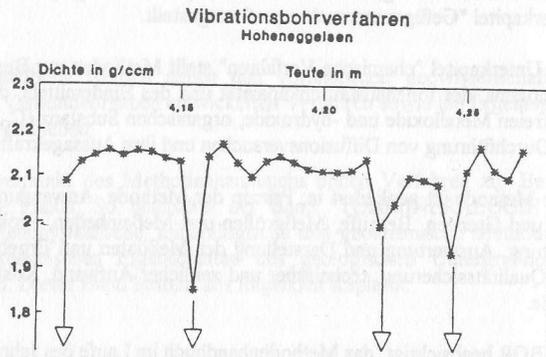


Abb. 1: Vergleich eines radiometrischen Dichteprofiles mit einem Computertomogramm eines im Vibrationsverfahren gewonnenen Bohrkerns (MATTIAT & BERNHARDT, 1993).

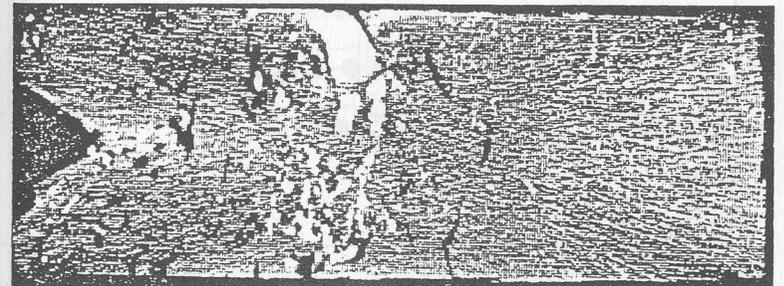
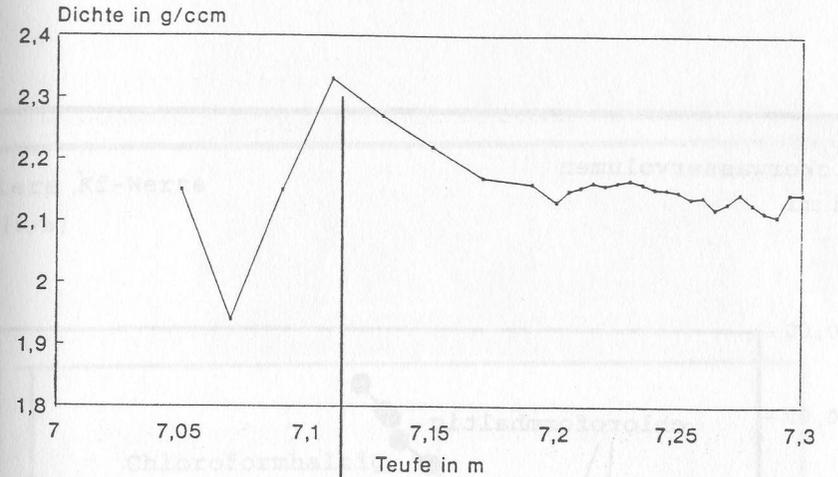


Abb. 2: Vergleich eines radiometrischen Dichteprofiles mit einem Computertomogramm eines im Schlagbohrverfahren gewonnenen Bohrkerns (MATTIAT & BERNHARDT, 1993).

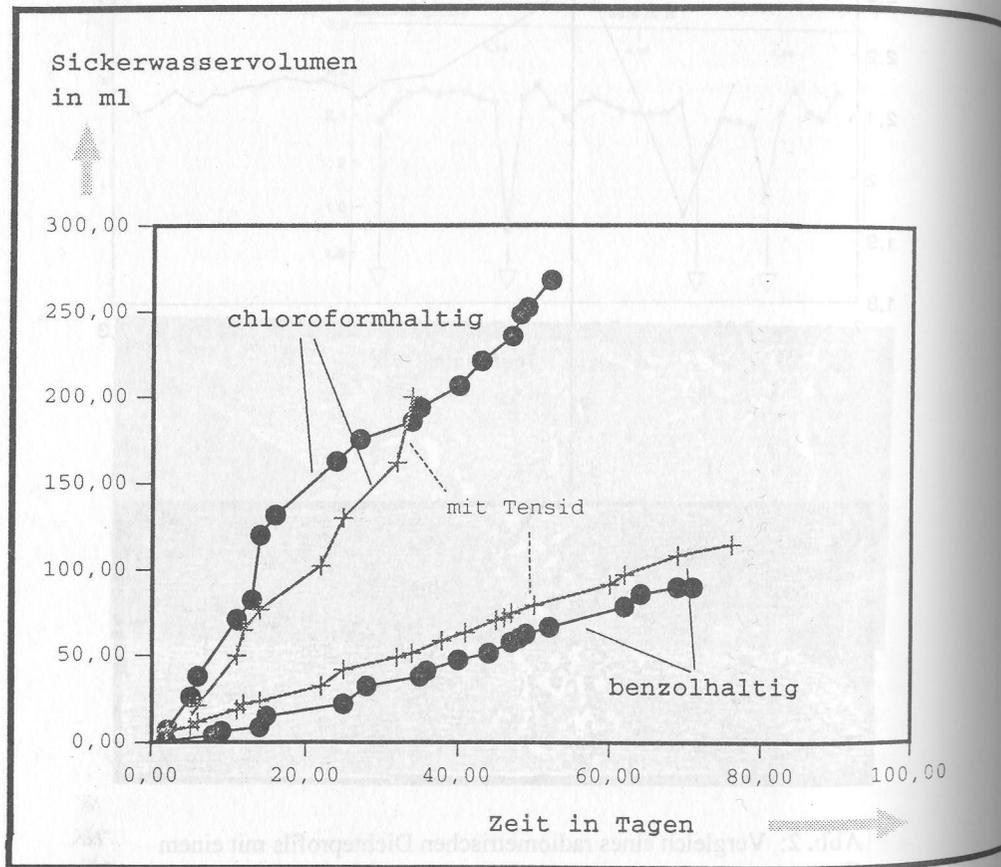


Abb. 3: Änderung des Sickerwasservolumens für vier verschiedene wäßrige Schadlösungen (KERSCHBAUM & WEHNER, 1993).

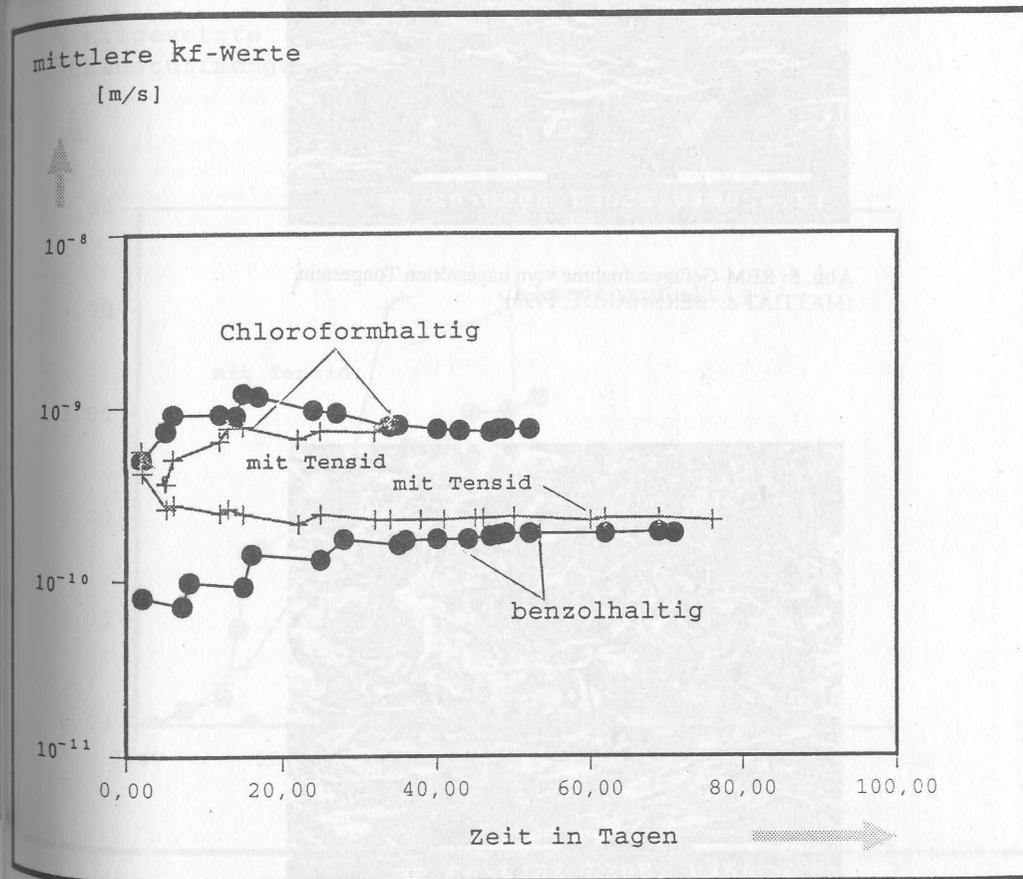


Abb. 4: Durchlässigkeitsänderung für vier verschiedene wäßrige Schadstofflösungen (KERSCHBAUM & WEHNER, 1993).

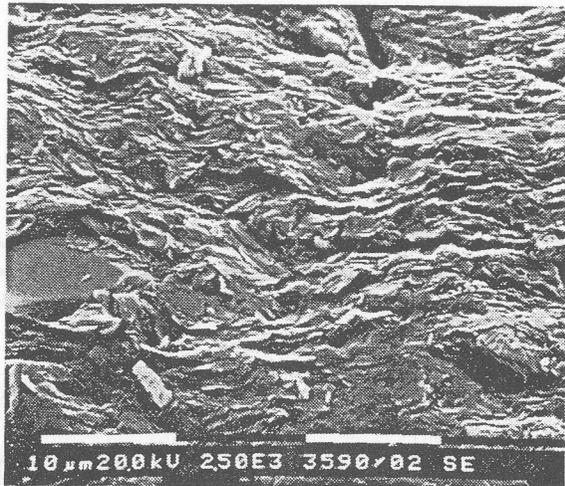


Abb. 5: REM-Gefügeaufnahme vom ungestörten Tongestein (MATTIAT & BERNHARDT, 1993).

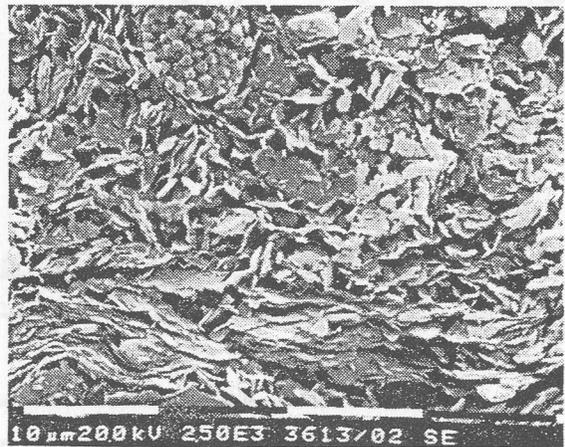


Abb. 6: REM-Gefügeaufnahme nach Durchströmung mit einem Gemisch aus anionischem Tensid und Chloroform (MATTIAT & BERNHARDT, 1993).

% eingesetzte
Schadstoffmenge

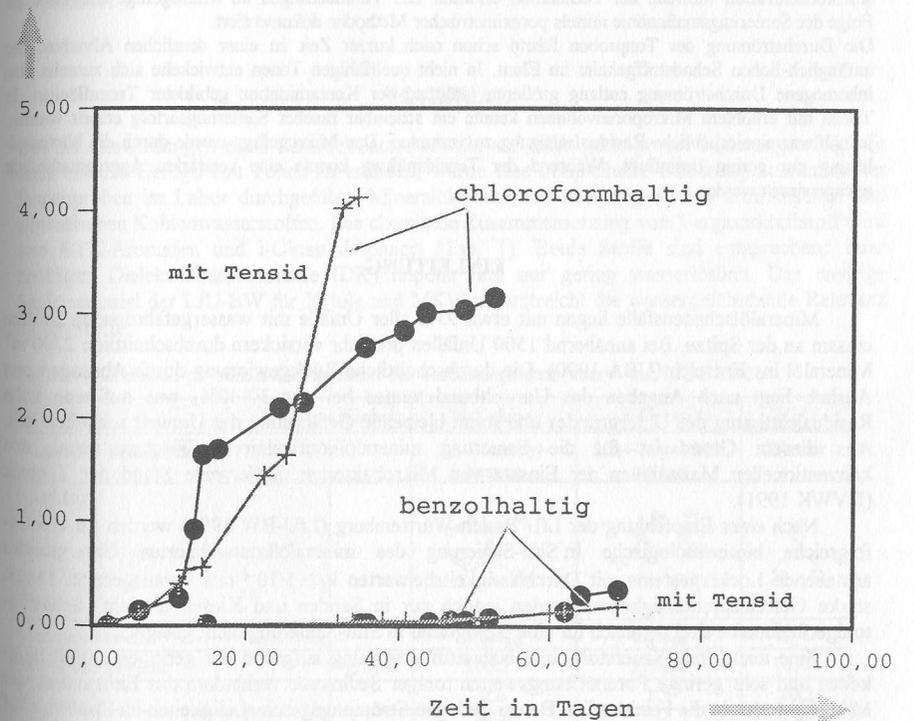


Abb. 7: Wiederfindungsrate der eingesetzten Schadstoffe im Sickerwasser (KERSCHBAUM & WEHNER, 1993).