

## Deponietechnik und Geowissenschaften

Johann Georg Haditsch, Graz\*)

Es gibt viele Möglichkeiten für eine nutzbringende Anwendung geowissenschaftlicher Erkenntnisse bei der Planung, beim Betrieb und in der Nachsorge von Abfalldeponien. Geowissenschaftliche Arbeiten für die Deponietechnik umfassen die Erkundung des geologischen Untergrundes bzw. der Nebengesteine, der geologischen Barriere, der geochemischen und

mechanischen Belastung und Belastbarkeit der geologischen Umgebung, der geohydrologischen Verhältnisse und der Eigenschaften möglicher mineralischer Dämmstoffe. Schließlich können die Geowissenschaften auch brauchbare Hinweise für eine Rekultivierung alter Deponien liefern.

## Deposition Technology and the Geosciences

For geoscientists there are a lot of profitable applications for geoscientific achievement during the planning, the running of the plant and the reclamation stage. Geoscientific works enclose the exploration of the geology and the host-rock, respectively, the function of the geological barrier rocks, the

geochemical and mechanical load and the load capacity of the geological environs, the hydrogeological relations and the quality of potential mineral sealing materials. Finally, the geosciences are able to produce useful instructions for the reclamation of old deposit sites.

### Technologie de déposition et géologie

Il y a beaucoup de possibilités pour une application efficace des connaissances géologiques dans la planification, en état de fonction et dans le contrôle subséquent des dépôts de déchets. Des travaux géologiques pour la technologie de déposition comprennent l'exploration du sous-sol respectivement des roches englobantes, de la barrière géologique des

charge et capacité de charge géochimique et mécanique de l'entourage géologique, en outre des relations géo-hydrologiques ainsi que des qualités des matières isolantes minérales possibles. Finalement la géologie est aussi capable de fournir des références valables pour une réutilisation des dépôts abandonnés.

Je komplizierter eine Technik wird, desto komplexer und damit aufwendiger werden gegebenenfalls Schutzmaßnahmen vor den schädlichen Auswirkungen dieser Technik. Daher bedienen sich alle hochentwickelten und mitweltfreundlichen Techniken nicht nur der Errungenschaften der wissenschaftlichen Grundlagenforschung, sondern sie stimulieren diese auch. Auf diese Weise wurden daher beispielsweise auch geowissenschaftliche Erkenntnisse zu einer wesentlichen Grundlage einer mitweltverträglichen Deponietechnik und die Geowissenschaften aufgrund ihrer Problemlösungskapazität wichtige Partner für innovative Forschungsarbeiten auf diesem technischen Gebiet.

Die gegenüber der in älteren Abfällen menschlicher Tätigkeiten nachweisbaren höhere und längere Zeiträume wirkende Toxizität moderner Industrieabfälle erfordert bei der Planung, beim

If necessary, a complex technology causes complex measures against its noxious effects. Therefore, all developed technologies, if compatible with the environment, not only use the achievements of scientific basic research but also stimulate such research works. By this, p.e., geoscientific results became a fundamental basis for those deposition technologies which are compatible with the environment. In that respect, the geosciences also became important partners for the industry on the field of innovating research.

In contrast to older waste modern industrial waste shows a more intense toxicity, which is also persistent for considerable time. Therefore planning and construction and operation and the subsequent control of today's waste disposals need special conscientiousness because of a far-reaching protection of the environment. For this reason, in order to minimize the risks, and to achieve

\*) Univ.-Prof. Dr. Johann Georg Haditsch  
Mariatroster Straße 193  
A-8043 Graz

Bau und beim Betrieb von Deponien sowie bei der Nachsorge aus Gründen eines möglichst umfassenden und langandauernden Schutzes der Mitwelt eine besondere Sorgfalt. Deshalb, d. h. aus Gründen einer Risikominimierung, und um eine möglichst weitgehende und relativ unkomplizierte Kontrolle der unmittelbaren Umgebung eines Deponiekörpers ermöglichen zu können, wurden schon seit langem Deponien in einem Aquifer abgelehnt und wurde auch Hochdeponien der Vorzug gegenüber Tieflagerungen gegeben. Aus diesen Gründen wurde beispielsweise auch die Nachfolgenutzung von Schotter- und Sandgruben des Grazer Feldes und des Basaltsteinbruches von Weitendorf in der Form von Deponien für den Haus- und Gewerbemüll von den Geologen einhellig abgelehnt.

Um sich eine Vorstellung von der Menge der für die Endlagerung bestimmten Abfälle machen zu können, sei hier nur angeführt, daß allein in den „alten“ Bundesländern der Bundesrepublik Deutschland jährlich 4 bis 5 Mio. t an nachweispflichtigen Sonderabfällen und in Österreich rund 1,5 Mio. t an gefährlichem Sondermüll (gemäß ÖNORM S 2000), 300.000 bis 400.000 t an besonders überwachungsbedürftigen Sonderabfällen (nach ÖNORM S 2101) und 2 Mio. t an Haus-, Gewerbe-, Sperr- und Industriemüll und Straßenkehrschutt anfallen (J. G. Haditsch, 1991).

Aus allen diesen Abfällen können bei Zutritt von Luft und/oder Wasser mehr oder minder gefährliche Schadstoffe emittieren. Dem Wunsche nach einem möglichst umfassenden Schutz vor diesen Emissionen kann am ehesten durch eine allseitige Umschließung der Abfallstoffe nach dem Multi-barrierenprinzip und durch eine langandauernde Kontrolle des Deponieinhaltes und seiner Abbauvorgänge entsprochen werden. Wenngleich zum Aufbau künstlicher Barrieren, abgesehen von Metallen, Gläsern und Keramiken (bei hochtoxischen Abfällen) heute entweder mineralische Dämmstoffe oder Kunststoffe, vielfach miteinander kombiniert, eingesetzt werden können, so besteht trotzdem, und dies aus guten Gründen, noch immer die Forderung nach einer funktions-tüchtigen natürlichen geologischen Barriere für die Basisabdichtung einer obertägigen und für die allseitige Umschließung einer untertägigen Deponie. Dabei können, abhängig von der Toxizität der zu deponierenden Stoffe, vom Verlauf der Zerfalls- und Abbauprozesse, von den sich dabei entwickelnden Temperaturen und abhängig von der zu fordernden Sicherheit der Überwachung, obertägige Endlager oder Tieflagerungen in Erwägung gezogen werden. Für hochtoxische Abfälle kommt wohl nur deren Verbringung in unterirdische und intensiv (und daher: aufwendig) kontrollierte Hohlräume in Betracht.

Die sehr unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Schadstoffen in der Biosphäre (Atmo-, Hydro-, Pedosphäre und Lithosphäre) und die solcherart unterschiedlich ablaufenden geochemischen Kreisläufe – in etwa 100 bzw. 1

a most extensive and a comparatively easy control of the near surroundings of waste deposits, depositions in water reservoir rocks have been rejected. For the same reason, depositions on the surface were given preference over subsoil sites. That is also the reason why, p.e., in the Grazer Feld and in the basalt quarry of Weitendorf (both situated in the province of Styria, Austria) a following-up utilization of the old workings in the form of waste deposits for the rubbish from households and factories have been refused by geologists unanimously.

Only to get an idea of the annual quantity of waste determined for the perpetual deposition, it should be mentioned that, p.e., in the "old" provinces of the FRG 4–5 mill. m.t. of authenticated special waste arise; for Austria the figures show ca. 1,5 mill. m.t. of dangerous special waste (according to the definition given by ÖNORM S 2000), and 300.000–400.000 m.t. of special waste requiring extremely intensive control (ÖNORM S 2101), and 2 mill. m.t. of waste from the households and factories and industries and bulky waste and road sweepings (J. G. Haditsch, 1991).

If air has access to the waste, solely, or in combination with water, more or less dangerous substances may emit. A far-reaching protection against these emissions, as desired, can be achieved most likely by total enclosing the waste material in correspondence with the multi-barrier principle, and by a lasting control of the contents and the decomposition processes. For the construction of artificial barriers, apart from metals, glass and ceramics, this in the case of extremely toxic materials, today mineral sealing materials and plastics are used, solely or in combination with each other; nevertheless, with reason, another good natural geological barrier is demanded, this for the sealing of the basis or for the all-round enclosing of the deposits. Depending on the toxicity and the disintegration and decomposition processes, and on the temperatures developed by these processes, and also depending on the security of control desired, deposits on the surface or subsoil sites may be considered. For extremely toxic waste materials most probably only the deposition in subsoil cavities, and an intensive control, may be a possibility.

The different velocities of diffusion for noxious substances in the biosphere, i.e. atmosphere and hydrosphere and pedosphere, and in the lithosphere, with ca. 100 or 1 mill.y., respectively, as early as in the planning stage give advice to tie up the geosciences with the project, and recommend a close co-operation of the waste technologist with the geoscientist.

From the geologist's point of view, for a site the following demands are made:

1. a maximum of geological uniformity, and, corresponding with this, a maximum of hydrogeological homogeneity;

Mio. Jahren – lassen schon bei der Deponieplanung eine starke Einbindung der Geowissenschaften in das Projekt und eine enge Zusammenarbeit des Deponietechnikers mit dem Geowissenschaftler als angeraten erscheinen.

An einen Deponiestandort werden grundsätzlich folgende geologische Anforderungen gestellt:

1. möglichst hohe geologische (und damit auch hydrogeologische) Homogenität;
2. großer Abstand zwischen der Deponiesohle und dem Grundwasserspiegel;
3. geringe Permeabilität des Trägergesteins (Apocholiths);
4. große Adsorptionsfähigkeit des Trägergesteins;
5. Unterlagerung der geologischen Barriere durch gut wasser- und gasdurchlässige Gesteine mit möglichst hohem Adsorptionsvermögen;
6. geringe Fließgeschwindigkeit des Grundwassers;
7. ungünstige Grundwasserbeschaffenheit;
8. geringe Grundwasserhöflichkeit.

Vom Geowissenschaftler werden bei der Standorterkundung nicht nur Untersuchungen zur Abklärung der eben genannten Punkte verlangt, sondern auch Antworten auf die Fragen nach der Standfestigkeit der natürlichen, geologischen Umgebung und nach der Qualität der allein oder in Kombination mit Kunststoffen eingesetzten mineralischen Dämmstoffe erwartet. Daher müssen im Falle einer untertägigen Deponie die in Frage kommenden Räume vor allem in bezug auf die chemischen und physikalischen (thermischen, mechanischen) Eigenschaften der Wirtsgesteine, hinsichtlich ihrer Standfestigkeit, Wasserführung und Permeabilität und im Hinblick auf die Eigenschaften des Aquifers (oder der Grundwasserleiter) und die Vorflutverhältnisse untersucht werden. Bei obertägigen Standorten müssen Fragen der Geländemorphologie, Tektonik, der mineralogischen und granulometrischen Eigenschaften und damit das Verformungsverhalten der Trägergesteine und deren Permeabilität und Sorptionseigenschaften gegenüber migrierenden Flüssigkeiten, Dämpfen und Gasen beantwortet werden. Weiters sind in diesem Falle hydrogeologische Untersuchungen hinsichtlich des Aufbaues, der Struktur und der Mächtigkeit des Aquifers, der Hydrochemie, des Wasseralters, der Grundwasserfließbewegungen und -richtungen, der Vorflutverhältnisse, der Zusammensetzung der Aquifer-Deckschichten, allfälliger Wasseraustritte, -fassungen und -nutzungen erforderlich.

Die Wirkung einer geologischen Einheit als natürliche Barriere kann nach den Ergebnissen verschiedener mineralogischer und chemischer Untersuchungen, wie beispielsweise des Mineralbestandes, der Korngrößenverteilung, der Kornge-

2. a great distance between the basis of the waste deposit and the water table;
3. an unimportant permeability of the host-rock (apocholite);
4. a great absorption capacity of the host-rock;
5. rocks with well-developed permeabilities for water and gases, and with a maximum of adsorption capacity, below the apocholite, as substratum of the deposit;
6. a low flow rate of the underground water;
7. an unfavourable water quality;
8. not very promising prospects for water.

In connection with the site exploration, the geoscientist is not only asked for investigations of the topics just mentioned, but also for answers in respect to the stability of the natural underground, and concerning the quality of the mineral sealing materials to be used solely or in combination with plastics. Consequently, for subsouil sites the host-rocks are to be examined with respect to their chemical and physical (thermal and mechanical) properties, and with respect to their stability, their water conservation and permeability, the properties of the water-bearing strata and the draining streams. For sites on the surface, problems connected with the geomorphology, the tectonics, and the mineralogical and granulometric properties are to be solved; by this, an answer is possible, in respect to the deformation properties of the host-rocks, and their permeability and sorption capacity for migrating fluids, steams and gases. Furthermore, in this case hydrogeological investigations are necessary, in regard to the disposition, the structure and the capacity of the aquifers, the hydro-chemistry, the age of the water, the underground water movements and water running directions, the properties of the draining streams, the composition of the hanging-wall of the water-bearing strata, and on the existence of wells and springs and water utilizations.

In respect to its ability for an application for a natural barrier, a geological unit can be judged on the basis of the results of different mineralogical and chemical investigations, as, p.e., the mineral composition, the grain size distribution, the grain morphology, the specific surface value, the density, the porosity, the pore size distribution, the porosity type(s), and – in the case of solid rocks – the cleavage intensity, the orientation of the ruptures, the values for  $k$  and  $p_H$ , the CaO contents, the cationic exchange capacity, the adsorption capacity, the reactivity for acid and alkaline and saline solutions.

In regard to the  $k$  and  $k_f$  values it should be kept in mind that these values have no significant importance for solid rocks; without the determination of the mineralogical composition, these values nearly are also useless for non-consolidated rocks. In clayey sediments with a very low  $k$  value, p.e., shrinkage ruptures may develop (the so-called "secondary cleavage"), that may cause

stalt, spezifischen Oberfläche, Dichte, Porenziffer, Porengrößenverteilung, des Porentyps oder der -typen, bei Festgesteinen auch der Klufziffer und der Klufflagen, der  $k$ - und  $p_H$ -Werte, des Kalkgehaltes, Kationenaustausch- und Adsorptionsvermögens und der Reaktivität gegenüber Säuren, Basen und Salzen beurteilt werden.

Hinsichtlich des  $k$ - (oder  $k_f$ -) Wertes ist dabei zu bedenken, daß dieser Wert für Festgesteine keine wesentliche Aussagekraft hat und auch bei Lockergesteinen ohne Bestimmung von deren mineralogischer Zusammensetzung fast wertlos ist. Es kann nämlich z. B. bei tonigen Sedimenten mit sehr niedrigem  $k$ -Wert zur Ausbildung von Schrumpfrissen, der sogenannten „sekundären Klüftung“ kommen, die eine Erhöhung der Permeabilität zur Folge hat. Aus diesem Grund sind als geologische Barrieren korngestützte Quarzgefüge mit tonmineral- (v. a. smektitmineral-)erfüllten Intergranularen besser geeignet (und auch standfester) als gut sortierte feinkörnige tonmineralreiche Sedimente.

Die  $k$ -Werte natürlicher Lockersedimente sind in der Abb. 1 wiedergegeben. Manche dieser Sedimenttypen (z. B. tonige Schluffe, Tone) können sehr niedrige Werte aufweisen; diese können aber auch erreicht werden, wenn in gröberkörnigen Sedimenten die Intergranularen durch entsprechende Mengen an Füllkorn geeigneter Kornklassen gefüllt sind. Als Beispiele für derartige, für den Deponiebau geeignete Trägergesteine können aus der Bundesrepublik Deutschland angeführt werden:

1. Von den Hangschuttmassen der Standorte Halbeswig, Brandholz, Euskirchen und Plöger

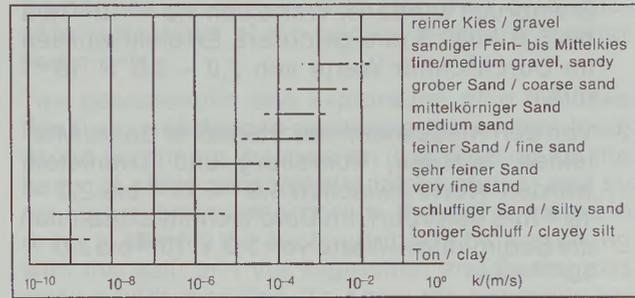


Abb./Fig. 1

$k$ -Werte von Lockersedimenten (nach C. Milota, 1986, aus P. Tschaufeser, 1987)

$k$  values of unconsolidated sedimentary rocks (after C. Milota, 1986, from P. Tschaufeser, 1987)

an increased permeability. For this reason, grain-supported structures with quartz, and with fillings of the intergranular pores with clay minerals, especially smectite, are more appropriate to geological barriers, and also of better stability, than well-sorted fine-grained sediments, rich in clay minerals.

The  $k$  values for natural and not consolidated sediments are shown in fig. 1. Some of these sediment types (as, p.e., clayey silts, clays) may have very low  $k$  values; nevertheless, these values can also be achieved in coarser-grained sediments by filling the intergranular spaces with grains of suitable size. Examples for such appropriate barrier rocks can be given from the FRG:

1. Slope debris from Halbeswig, Brandholz, Euskirchen and Plöger Steinbruch had to have  $k$  values between  $1,0 \times 10^{-8}$  m/s and  $5,0 \times 10^{-9}$

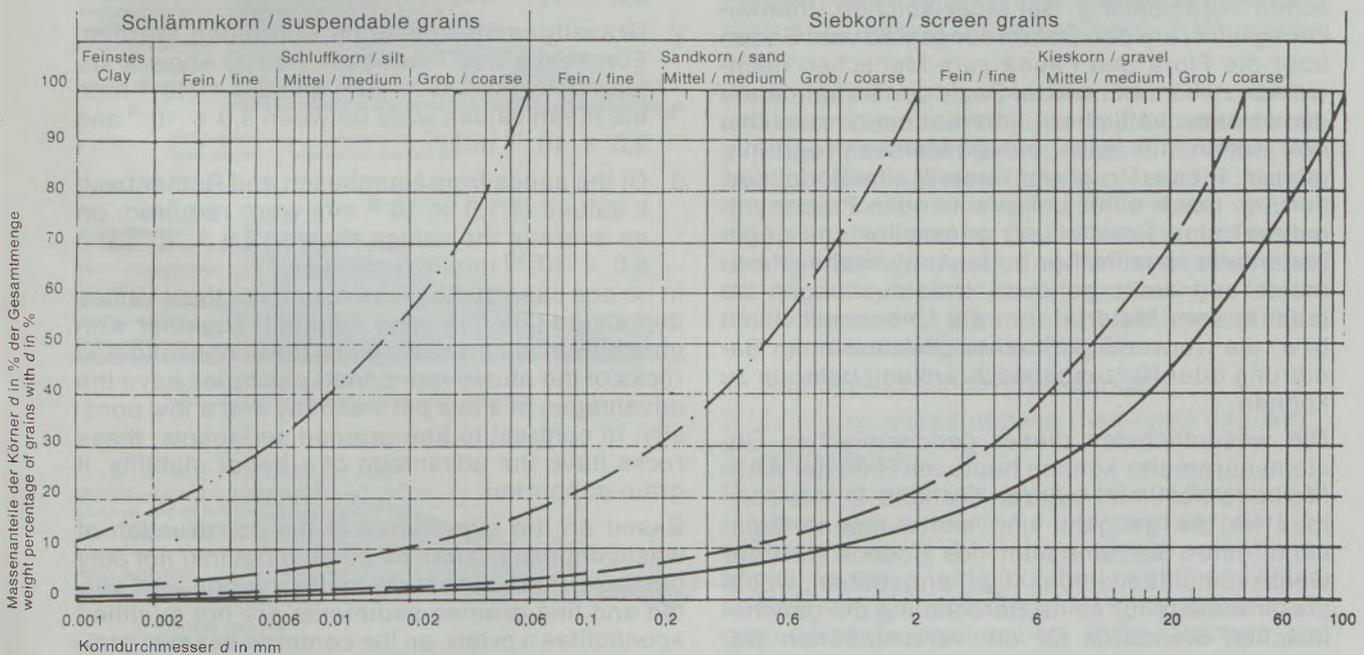


Abb./Fig. 2

Fullercurven für verschiedene Größtkorndurchmesser (nach H. Steffen, 1986)

Fuller curves for different maximum grain diameters (after H. Steffen, 1986)

Steinbruch wurden k-Werte von  $1,0 \times 10^{-8}$  m/s bis  $5,0 \times 10^{-9}$  m/s gefordert. Erreicht wurden im Durchschnitt Werte von  $7,0 - 8,0 \times 10^{-10}$  m/s.

2. Von den Kiessanden der Standorte Bonn, Mörfelden, Werden, Ebersberg und Traunstein wurden Werte zwischen  $1,0 \times 10^{-8}$  bis  $2,0 \times 10^{-9}$  m/s gefordert. Im Durchschnitt erbrachten die Sedimente k-Werte von  $3,0 \times 10^{-9}$  bis  $2,0 \times 10^{-10}$  m/s.
3. Von den Sanden von Halmbusch und Rothenbach wurde ein k-Wert von  $1,0 \times 10^{-8}$  m/s gefordert; erbracht wurden durchschnittlich  $2,0 \times 10^{-9}$  bzw.  $8,0 \times 10^{-10}$  m/s.

In keinem der hier geschilderten Fälle wurden die geforderten k-Werte überschritten. Mit reinen schluffigen oder tonigen Sedimenten haben diese zuletzt angeführten Beispiele den Vorteil einer geringen Permeabilität und ebenso geringen aktiven Porosität, gegenüber den Feinsedimenten im Falle eines korngestützten Gefüges aber auch den Vorteil einer größeren Stabilität.

Aufgrund der hier in aller Kürze wiedergegebenen Erfahrungen beim Deponiebau kann gesagt werden, daß nicht nur wegen der Trockenempfindlichkeit gut sortierte feinkörnige Sedimente keineswegs schon von vorneherein gute Apocholithe darstellen, daß vielmehr gröberkörnige korngestützte Gefügetypen mit weitgehend impermeablen Intergranularräumen bessere Standortqualitäten aufweisen. In diesem Zusammenhang sei auch auf die Fullerkurven (Abb. 2) hingewiesen, die auch wertvolle Hinweise auf die Qualität natürlicher Dämmgesteine liefern können.

Zur geowissenschaftlichen Standortuntersuchung gehört auch eine Erkundung der geochemischen Vorbelastung. Bei einer solchen Untersuchung wird, um den Gefährdungspfad vom Boden über die Flora und Fauna zum Menschen nachweisen zu können, auf der Basis der vorhandenen geowissenschaftlichen Informationen zunächst der Boden nur nach einem Mindestprogramm geprüft. Dieses Programm umfaßt eine Bodenkartierung, (nach einer entsprechenden Probenentnahme) eine Feststellung genereller und gegebenenfalls spezifischer bodenanalytischer Parameter und weitergehende Untersuchungen an botanischem Material, um die Unbedenklichkeit bzw. die Notwendigkeit einer Überwachung, Sanierung oder Nutzungsbeschränkung belegen zu können.

Die wesentlichsten dieser geochemischen Gesteinsparameter können heute mit Hilfe der AAS-Methode bestimmt werden (Tabelle 1). Als Ausmaß für die geogene und anthropogene Belastung eines Gesteins oder des Bodens wird der Geoakkumulationsindex ( $I_{geo}$ ) angegeben, wobei als Grundlage für seine Berechnung die geochemischen Standards für die verschiedenen Gesteinstypen herangezogen werden. Für Sedimente tonig-schluffiger Zusammensetzung wählt man dafür vielfach den Tongesteins-Standard nach K.

**Tabelle/Table 1:**

Bestimmung von Elementen in Gesteinsproben mittels der AAS

Determination of elements from rock samples by the AAS method

Flammenlostechnik flamefree technique		Flammentechnik/flame technique (konventionelle AAS)/ (conventional AAS)	
Graphitrohr	Hydrid	Luft-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> -N <sub>2</sub> O
As	+		
Cd	+		
Co		+	
Cr		+	
Cu		+	
Hg	+		
Li			+
Mn		+	
Ni*	+	+	
Pb*	+	+	
Sr			+
Zn		+	

\* Bestimmungsmethode abhängig von der Elementkonzentration

\* Method of determination depending on the element's concentration

m/s; on an average the values showed  $7,0$  to  $8,0 \times 10^{-10}$  m/s.

2. Gravelly sands from Bonn, Mörfelden, Werden, Ebersberg and Traunstein had to show k values between  $1,0 \times 10^{-8}$  and  $2,0 \times 10^{-9}$  m/s; the mean values were between  $3,0 \times 10^{-9}$  and  $2,0 \times 10^{-10}$  m/s.
3. Of the sands from Halmbusch and Rothenbach k values of  $1,0 \times 10^{-8}$  m/s were required; on an average the values showed  $2,0 \times 10^{-9}$  and  $8,0 \times 10^{-10}$  m/s, respectively.

In no one case of the given examples the k values demanded failed to meet the limit. Together with pure silty or clayey sediments, the unconsolidated rocks of the above-mentioned examples have the advantages of a low permeability and a low porosity. In contrast to fine-grained sediments, these rocks have the advantage of a better stability, if grain-supported.

Based on the experience of the construction of waste deposits, it can be pointed out that not only because of the sensitivity to desiccation well-sorted and fine-grained sediments are not qualified apocholites a priori, on the contrary, coarser grained and grain-supported types with nearly impermeable intergranular spacings show better qualities. In this connection the Fuller's graphs should

Tabelle/Table 2:

Tongesteins-Standard nach K. K. Turekian & K. H. Wedepohl (1961); Angaben in ppm  
Rock standard after K. K. Turekian & K. H. Wedepohl (1961); in ppm

As	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
13	0,3	19	90	45	66	850	68	20	300	95

K. Turekian & K. H. Wedepohl (1961), (Tab. 2).

Die Berechnung des Geoakkumulationsindex geschieht nach der Formel  $I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{B_n \times 1,5}$ , wobei  $C_n$  die im Gestein (Sediment, Boden) gemessene Konzentration des Elements und  $B_n$  den geochemischen Untergrundwert („background“) des gleichen Elements angibt.

Aus dem Geoakkumulationsindex lassen sich Akkumulationsklassen ableiten, die die Belastung eines Gesteins, im speziellen Fall eines Sediments, typisieren (Tab. 3).

Was im Vorstehenden über die Untersuchung des Standortes gesagt wurde, kann analog auch auf die von Dichtstoffen angewandt werden. Mineralische Dichtstoffe werden als Barrieren einerseits zur Basisabdichtung verwendet, andererseits auch für den Aufbau von Abdeckschichten. Bei den heute üblichen Hochdeponien lassen sich nach Vorhandensein und Art einer mineralischen Abdeckschicht drei Typen unterscheiden (Abb. 3):

1. Ringwall- oder Abgedeckte Deponie;
2. Halboffene Deponie;
3. Offene Deponie.

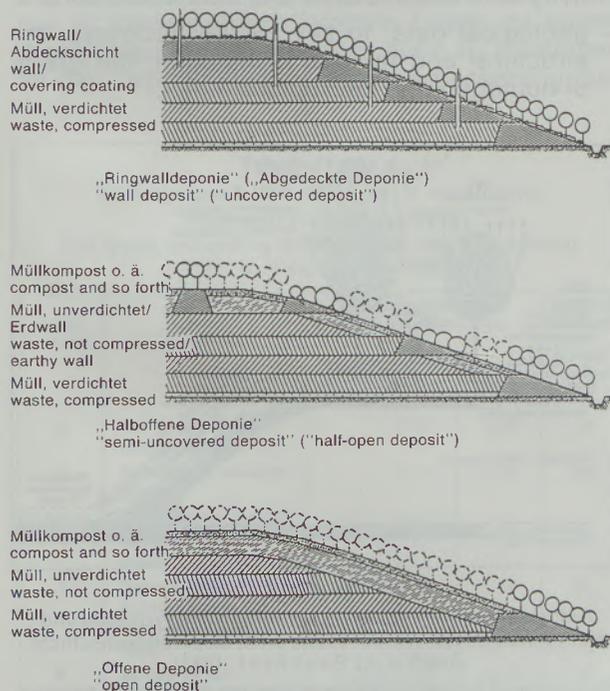


Abb./Fig. 3

Abfalldeponietypen (nach U. Neumann, 1981)  
Types of waste deposits (after U. Neumann, 1981)

be pointed out (fig. 2), that also may give valuable indications of the quality of natural barrier sediments.

The geoscientific site exploration also includes the survey of the pre-existing geochemical load. At the beginning, by such an investigation on the basis of older geoscientific informations, and by running a minimum program, the soil is tested in order to identify the endangering paths, beginning with the soil, and via vegetation and fauna, and ending with mankind. To show the necessity for an inspection or a reclamation or a limitation for the utilization, this program includes a soil survey, and a determination of general and special soil parameters, respectively, after a suitable sampling; it also includes deepening investigations of botanical material.

The most important geochemical rock parameters nowadays can be determined by the means of the AAS method (table 1). The extend of the geogene and anthropogene load of a rock, or of the soil, respectively, can be shown by the so-called "geochemical accumulation index" (Geoakkumulationsindex,  $I_{geo}$ ); the basis for the calculation of this value are the different geochemical rock standards. For sediments of clayey-silty composition usually the standard published by K.K. Turekian & K. H. Wedepohl (1961) is chosen (tab. 2).

The calculation of the  $I_{geo}$  value follows the formula  $I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{B_n \times 1,5}$ ,  $C_n$  being the concentration of a relevant chemical element, found in the rock (sediment, soil), and  $B_n$  being the geochemical background of the same element.

From the  $I_{geo}$  value accumulation grades can be derived, which typify the geochemical strain of a rock, or of the soil or the sediment, in the special case.

What about the site exploration has been mentioned above, in an analogous way can also be applied to the investigation of sealing materials. Mineral sealing materials are use for barrier materials for the foundation of the waste deposit, they are also used for the construction of the covering coatings. According to the existence and the form of mineral covering coatings, for the usual deposits on the surface three types of deposits can be distinguished (fig. 3):

1. wall deposit (uncovered deposit);
2. semi-uncovered deposit (half-open deposit);
3. open deposit.

For packing materials, today a lot of different sedimentary rock types come into consideration. As with a few words it has been already mentioned above, for the valuation of their usefulness above all data serve, concerning their mineralogical and granulometric composition, their structure and their treatment characteristics. On principle upon such packing materials certain demands are made. Such materials, p.e.,



- Petrographie, d. h. nach seiner Dichte, Porenziffer, Porengrößenverteilung, seinen Porentypen, seinem  $k_f$ - bzw.  $k_f$ -Wert (entsprechend den ÖNORMEN B 4490 bzw. B 2400);
- Chemismus, d. h. nach seinem  $p_H$ -Wert, Kalkgehalt, dem Kationenaustausch- und Adsorptionsvermögen, der Reaktivität gegenüber Säuren, Alkalien und Salzlösungen;
- Geologie, d. h. nach seiner Mächtigkeit, Gefügeorientierung, Genität, Kluftziffer;
- Geophysik, d. h. nach der geophysikalisch nachweisbaren Dichte bzw. Auflockerung und nach den geophysikalisch erkennbaren Inhomogenitätsflächen.

Während bei der Standorterkundung alle geowissenschaftlichen Disziplinen, also die Mineralogie, Petrographie, Geophysik, Geologie (inkl. Hydrogeologie), wesentliche Entscheidungshilfen zu liefern imstande sind, kommen im laufenden Deponiebetrieb nur mehr hydrogeologische und chemische Untersuchungsmethoden zum Einsatz. Mineralogische und geologische Aspekte kommen erst wieder nach Abschluß der Endlagerungstätigkeit, d. h. bei der Nachfolgenutzung des Deponiegeländes, zur Geltung.

Als eine wichtige Folge der Anlage einer Deponie muß, auch für die weitere Zukunft, die nachhaltige Störung des Wasserhaushaltes angesehen werden. Da das Speichervermögen der Deponieabdeckung relativ gering ist, kommt es bei Niederschlägen, abgesehen von einer geringen Bodenverdunstung, hauptsächlich zu einem Abfluß der Niederschlagswässer an der Deponieoberfläche oder im oberflächennahen Bereich (Abb. 4). Eine starke Emission von Meteorwässern kann nicht nur in topographisch tieferen Lagen zu einem Wasserstau führen, sondern auch zu Erosionen an den Deponieflanken. Eine Verbesserung die-

**Tabelle/Table 5:**

Einjährige Pflanzen für die Zwischenbegrünung (DIN 18915, Bl. 3 und DIN 18917); nach U. Neumann (1981)  
Annual plants for the pilot planting (according to DIN 18915, leaf 3, and DIN 18917), after U. Neumann (1981)

Art/plant species	Bodengruppe/ soil types
Gelbe Lupine (Lupinus luteus)	4-7
Blaue Lupine (Lupinus angustifolius)	4-7
Persischer Klee (Trifolium resupinatum)	2-7
Alexandrinischer Klee (Trifolium alexandrinum)	4-7
Senf (Sinapis alba)	6-7
Ölrettich (Raphanus sativus var. oleiformis)	2-7
Serradella (Ornithopus sativus)	2-5
Sommerroggen (Secale cereale)	2-5

- geophysical data, i.e., by the rock density (density log) or rock disintegration, the seismic planes of inhomogeneity.

Whereas all geoscientific branches, like mineralogy, petrography, geophysics and geology (including hydrogeology) are able to deliver essential decisive factors for the planning, during the regular operation only hydrogeological and chemical investigations are brought into action. Only after the end of the deposition activities, to say during the subsequent utilization of the deposit area, mineralogical and geological aspects bring their's influence to bear.

The persistent disturbance of the underground water relations must be regarded as an important effect of the installation of a waste deposit. As the reservoir capacity of the deposit covering is relatively unimportant, rain-falls mainly cause - disregarding a negligible evaporation - a drainage along the surface of the deposit, or close to the surface (fig. 4). An important drainage may not only lead to an accumulation of water in the low-lying areas, but also to erosions on the slopes of deposits. An improvement of this situation can be achieved most easily by an appropriate planting; by this a transpiration and increased evaporation can be obtained. Usually, a pilot planting precedes the definitive insemination. The type of the pilot planting depends on well distinguishable soil types, defined by the granulometry, to say defined essentially by the maximum grain diameter of the deposit's mineral cover, the amount of grains with a diameter less than 0.020 mm and with such with more than 20 mm (table 4, 5).

From what already has been said it follows easily that for the deposition technology and the geosci-

**Tabelle/Table 4:**

Bodengruppen (Din 18915, Bl. 1, modifiziert);  
nach U. Neumann (1981)

Soil types (according to DIN 18915, leaf 1, modified),  
after U. Neumann (1981)

soil type Bodengruppe	specification Bezeichnung	Korn-Anteile Gew. % weight percentage of grains		Größtkorn maximum grain diameter $\phi$ (mm)
		d < 0,02 mm	d > 20 mm	
2	Nichtbindiger Boden non-cohesive soil	$\leq 10$	$\leq 10$	50
3	Nichtbindiger, steiniger Boden non-cohesive soil, stony	$\leq 10$	$\leq 30$	200
4	Schwach bindiger Boden weakly cohesive soil	> 10 bis $\leq 20$	$\leq 10$	50
5	Schwach bindiger, steiniger Boden weakly cohesive soil, stony	> 10 bis $\leq 20$	$\leq 30$	200
6	Bindiger Boden heavy soil	> 20 bis $\leq 40$	$\leq 10$	50
7	Bindiger, steiniger Boden heavy soil, stony	> 20 bis $\leq 40$	$\leq 30$	200

ser Situation kann am einfachsten durch eine entsprechende Bepflanzung und damit durch eine Transpiration und erhöhte Evaporation, erreicht werden, wobei üblicherweise eine Zwischenbegrünung der endgültigen Bestockung vorausgeht. Die Art der Zwischenbegrünung hängt stark von sechs gut unterscheidbaren und granulometrisch definierten Bodentypen ab, d. h. wesentlich vom größten Korndurchmesser der Abdeckschicht und von deren Gehalt an Körnern mit weniger als 0,020 mm und mit mehr als 20 mm Korngröße (Tabellen 4, 5).

Aus dem Gesagten ergibt sich zwanglos, daß es für die Deponietechnik und die Geowissenschaften ein breites Feld für eine nutzbringende, d. h. in diesem Falle ökologisch verträgliche, Zusammenarbeit gibt.

ences there is a wide field for a co-operation, profitable and, in the case in point, ecologically compatible.

#### Literaturverzeichnis/References

1. Brechtel, H.-M. (1984): Beeinflussung des Wasserhaushaltes von Mülldeponien. – In: Beseitigung von Abfällen durch Ablagerung, 4623, MuA Lfg. 5/84:1–16.
2. Haditsch, J. G. (1991): Anforderungen an die Deponietechnik aus der Sicht des Geowissenschaftlers. – BHM, 136, 2:48–51.
3. Milota, C. (1986): Die geordnete Deponie – eine Illusion? – Mitt. ÖGG, 79:213–283.
4. Müller, G. (1986): Schadstoffe in Sedimenten – Sedimente als Schadstoffe. – Mitt. ÖGG, 79:107–126.
5. Neumann, U. (1981): Rekultivierungsanleitung. – In: Beseitigung von Abfällen durch Ablagerung, 4622, MuA 63. Lfg. XII/81.
6. Steffen, H. (1986): Basisabdichtungen für Abfalldeponien. – In: Beseitigung von Abfällen durch Ablagerung, 4543, MuA Lfg. 3/86:1–52.
7. Tschauferer, P. (1987): Umweltgeologische Untersuchungen im Gebiet der Mülldeponie Ahrental (Innsbruck/Tirol) unter besonderer Berücksichtigung der Schwermetalle. – Dipl.-Arbeit, Univ. Innsbruck: 1–127.
8. Turekian, K. K., & K. H. Wedepohl (1961): Distributions of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. – Geol. Soc. Amer. Bull., 72:175–192.