

Das Schadstoffrückhaltevermögen der mineralischen Basisdichtschichten der Mülldeponien Horn und Gmünd – ein Zwischenbericht

H. KUGLER & B. SCHWAIGHOFER

INHALTSVERZEICHNIS:

- 1. Einleitung**
- 2. Geologie**
 - 2.1. Einführung zur Geologie des Waldviertels
 - 2.2. Geologie der Bearbeitungsgebiete
- 3. Analysen und Methoden**
- 4. Ergebnisse**
 - 4.1. Kornverteilung und Durchlässigkeit
 - 4.2. Mineralogie
 - 4.3. Chemie
- 5. Zusammenfassung**

1. Einleitung

Die beiden Massenabfalldeponien in der Nähe der Städte Horn und Gmünd im niederösterreichischen Waldviertel wurden vor einigen Jahren in Teilbereichen der Deponiesohle mit etwa 60 cm mächtigen mineralischen Dichtschichten ausgestattet.

Aufgrund der Notwendigkeit umfassender Sanierungs-, aber auch Erweiterungsmaßnahmen wurden die Müllkörper abgetragen, wodurch sich für das Institut für Angewandte Geologie, Univ. f. Bodenkultur Wien, die außergewöhnliche Gelegenheit ergab, mineralische Deponiebasisabdichtungen zu untersuchen, welche etwa 10-15 Jahre kontaminierten Sickerwässern ausgesetzt waren.

Vorrangiges Ziel dabei war, die Wirksamkeit der mineralischen Dichtschichten im Hinblick auf mittel- bis langfristigen Schadstoffrückhalt zu ermitteln. Diesbezüglich standen und stehen im weiteren Verlauf dieser Arbeit die Durchlässigkeit und die SM-Retardation als sehr wesentliche Eigenschaften einer mineralischen Deponiebarriere im Mittelpunkt des Interesses.

2. Geologie

2.1. Einführung in die Geologie des Waldviertels

Das Waldviertel als geographisch-politisch und nicht nach geologischen Gesichtspunkten begrenzte Landschaft liegt etwa am Ostrand der europäischen Varisziden, genauer gesagt auf der Böhmischen Masse.

Diese ist im Waldviertel durch zwei Großeinheiten charakterisiert: im Westen das tektonisch höher gelegene Moldanubikum und im Osten das tiefere Moravikum, welches vom Moldanubikum von Westen her überfahren wurde. Ein wesentliches Kriterium zur tektonischen Abgrenzung der beiden (in sich weiter gegliederten) Einheiten war schon zu

Zeiten von F.E.SUESS der unterschiedliche Metamorphosegrad. Das Moldanubikum zeigt durch Granulite eine bis katazonale Entwicklung an, wohingegen das Moravikum geringere Überprägung aufweist.

Das Alter der Gesteine des Waldviertels ist durch ihre metamorphe Überprägung sehr schwierig zu bestimmen, es wird jedoch für die meisten Ausgangsgesteine als oberproterozoisch bis höchstens altpaläozoisch angenommen (HÖCK, V. 1996 in STEININGER 1996).

Diese Gesteine wurden dann schließlich in unterschiedlichem Ausmaß während der variszischen Orogenese vor 350-320 Mio.J. metamorphosiert (DALLMEYER et al. 1992, 1994 in STEININGER 1996) und in deckentektonische Vorgänge integriert. So wurden etwa die Gföhler Gneise und die Granulite im Rahmen einer Hochdruck-Hochtemperatur-Metamorphose in 45-50 km Versenkung gebildet.

Durch eine Kontinent-Kontinent-Kollision kam es zur Subduktion des Moravikums und damit zu einer Verdickung der kontinentalen Kruste, was zu isostatischem Auftrieb derselben, bedingt durch eine im Vergleich zum Mantel geringere Dichte, führte. Die aufgrund hochmetamorpher Gesteine und tektonischer Überlegungen angenommene Krustendicke des variszischen Orogens läßt schließlich auf ein damaliges Hochgebirge schließen, dessen höchste Erhebungen zwischen 5000 und 8000 m aus dem Meer herausgeragt haben müssen (HÖCK, V., bzw. PETRAKIKIS & RICHTER in STEININGER 1996).

Untermuert wird diese Vorstellung noch von in der Umgebung des variszischen Gebirges vorkommenden, extrem grobkörnigen Konglomeraten, welche eine hohe Wasser- und damit Reliefenergie voraussetzten (HÖCK, V. in STEININGER 1996).

Die Störungssysteme sind erst spät während der variszischen Gebirgsbildungsphase entstanden und weisen im wesentlichen zwei Hauptrichtungen auf; einerseits ein NW-SE verlaufendes Streichen (Pfahl- und Donaustörung) und andererseits ein fast rechtwinkelig dazu orientiertes Streichen von NE nach SW (Rodl-, Vitis- und Diendorfer Störung).

Es wird angenommen, daß es sich hier um ein System von Blattverschiebungen handelt, deren verschiedene Richtungen durch einen einheitlichen Deformationsakt aus südlicher Richtung entstanden sind, etwa durch einen nordvergenten Krustenblock im Bereich der heutigen Alpen (WALLBRECHER et al. 1991 in STEININGER 1996).

Das variszische Hochgebirge blieb aber nicht lange in dieser Form bestehen, bereits im **Perm** setzte verstärkt Erosion und Abtragung des Gebirges ein, dessen sedimentäre Produkte in durch Dehnungsvorgänge entstandenen langgestreckten Becken abgelagert wurden. Das Perm der Zöbing-Formation mit Sandsteinen (und Arkosen) etwa stellt einen Rest einer vermutlich viel großflächigeren und 1000 m mächtigen jungpaläozoischen Sedimentbedeckung dar (HÖCK, V. 1996 in STEININGER 1996).

In der Trias fand die bereits im Perm begonnene Abtragung des Hochgebirges ihre Fortsetzung und die Böhmisches Masse wurde in weiterer Folge zu einer Hügellandschaft reduziert, deren Abtragungsprodukte durch große Flußsysteme in Senken (z.B. im Wittingauer Becken, Raum Gmünd) oder in Flachmeeren abgelagert wurden, welche randliche Bereiche der Böhmisches Masse und des Waldviertels im Jura, aber auch in der Kreide bedeckten (STEININGER, ROETZEL 1996 in STEININGER 1996).

Das **Alttertiär** ist global von einer Meeresregression gekennzeichnet, was mit der Tatsache übereinstimmt, daß weder paläozäne, noch eozäne Sedimente im Waldviertel bekannt sind (MALZER et al. 1993 in STEININGER 1996).

Daraus kann geschlossen werden, daß die Verwitterung und Abtragung voranschritt, insbesondere im **Eozän**, in dem die letzte globale Wärmephase des Känozoikums stattfand. Unter tropischen Klimabedingungen kam es zu tiefgreifenden lateritischen Verwitterungen mit Roterdeböden, Anreicherung von tonigen Verwitterungsprodukten sowie zu einem morphologischen Formenschatz, wie er heute als Wackelsteine, Blockmeere oder Felsburgen

vorliegt. Man kann davon ausgehen, daß bereits im ausgehenden Alttertiär das variszische Hochgebirge zu einer flachwelligen Hügellandschaft eingeebnet und gleichzeitig bis in mehrere 1000 m Tiefe, dem kristallinen Kern, exhumierte war (STEININGER 1996).

Zu Beginn des **Oligozäns** kam es zunächst zu weltweiter Klimaverschlechterung und im Raum Krems und Melk zur Ablagerung küstennaher Sedimente (Pielacher Tegel), im Zuge fortschreitenden Meeresspiegelanstieges jedoch in diesem Raum zur Sedimentation in tieferen Meeresbereichen (Melker Sande und Älterer Schlier).

Außerdem kommt es im Oligozän auf der südöstlichen Böhmisches Masse, also im Waldviertel, zur Sedimentation schlecht sortierter Sande und Schotter mit Toneinschaltungen, der sogenannten St. Marein-Freischling-Formation. Diese liegt u.a. im Raum Gmünd und in großen Bereichen des Horner Beckens vor. Es handelt sich dabei um eindeutige Süßwassersedimente fluviatiler Herkunft, die auf „ein Entwässerungssystem eines träge fließenden, weit ausufernden und mäandrierenden Flusses“ schließen lassen, der das Wittingauer Becken gegen Osten über das Waldviertel und durch das Horner Becken Richtung Krems entwässerte, wo er ins oligozäne Meer mündete (ROETZEL, STEININGER in STEININGER 1996).

Zu Beginn des Jungtertiärs, im **Eggenburgium** (unteres Miozän), führte eine globale Meerestransgression zur Überflutung des weiteren Eggenburger und Horner Raumes und zu Seichtwasserbildungen mit Meerestiefen bis max. 60 m, es entstanden z.B. die Sedimente der Mold- oder Zogelsdorf-Formation (ROETZEL, STEININGER in STEININGER 1996).

Im **Ottwang** (unteres Miozän) erfolgte ein weiterer Meeresspiegelanstieg und führte zu Sedimenten größerer Tiefe, wie etwa den Tonen der Zellendorf- oder Weitersfeld-Formation, aber auch zur Überflutung von Flußtälern und Bildung von Kohlesümpfen (z.B. Langau-Formation).

Im oberen Ottwang setzte eine, wahrscheinlich durch stärkere Hebung der Westalpen bedingte, von W nach E fortschreitende Rückzugs- und Verlandungsphase ein, deren Zeugen vermutlich die schlecht sortierten, tonigen Schotter und Sande der Theras-Formation sind (ROETZEL & REHAKOVA 1991 in STEININGER 1996).

Nach einer Meerestransgression in **Karpat** und **Badenium** wird im **Sarmat** das Waldviertel von den Weltmeeren praktisch abgeschnitten, wodurch es zur Ausbildung eines großflächigen Binnenmeeres vom Wr. Becken bis zum Aralsee kam (RÖGL & STEININGER, 1983 in STEININGER 1996).

Im **Pliozän**, vor ca. 5 Mio.J., führte schließlich die alpine Gebirgsbildung und ein damit verbundener, N- bis NW-vergenger Druck auf die Böhmisches Masse zur tektonischen Hebung derselben. Gleichzeitig entwickelten sich aus den bis dahin eher breit und flächig ausgebildeten Flußtälern schluchtartige Eintiefungen (STEININGER, ROETZEL in STEININGER 1996).

Das **Pleistozän** schließlich ist geprägt durch eine Wechselfolge von Kalt- und Warmzeiten. Die Böhmisches Masse und damit das Waldviertel war Periglazialgebiet, wodurch keine Moränen oder Findlinge vorkommen, dafür aber Lößablagerungen und terrassenförmige Einschnitte von Flüssen, welche bruchtektonischen Verläufen folgten, wie z.B. der Kamp.

Lößsedimente waren ursprünglich wohl im gesamten Waldviertel zu finden, sie wurden jedoch von höher gelegenen oder wind- und wasserexponierten Bereichen erodiert bzw. umgelagert und in geschützten Beckenlagen wieder abgelagert. So finden sich heute noch Löss vorwiegend an Osthängen in der Wachau, im Krems- und Kamptal, sowie im Horner und Eggenburger Becken (FRANK & RABEDER in STEININGER 1996).

2.2. Geologie der Bearbeitungsgebiete

Die Deponie Gmünd liegt in der Gmünder Bucht als Ausläufer des Wittingauer Beckens. Dieses ist ursprünglich ein tektonisches Einbruchsbecken der variszischen Gebirgsbildungsphase, das aber seine heutige Ausbildung dem Einfluß der alpinen Orogenese während der Oberkreide und dem Alttertiär verdankt. Während dieser Absenkphase wurde das Becken syndimentär sowohl von Meeres-, als auch Flußsedimenten aufgefüllt.

Im Bereich der Deponie stehen die aus der Oberkreide stammenden Gmünder Schichten an, die aus dem südböhmischen Wittingauer Becken nach Österreich hereinstreichen, terrestrisch-limnisch-fluviatile Süßwasserschichten darstellen und Mächtigkeiten von über 100 m erreichen können. Bei Gmünd und dem Lainsitztal aufwärts gegen Weitra liegt eine Serie sandiger, bunter Tone in inniger Verzahnung mit verschiedenenkörnigen Sanden und Feinkonglomeraten vor.

Die Gmünder Schichten liegen z.T. auf kaolinitisiertem Grundgebirge (FUCHS in OBERHAUSER 1980).

Bei den Sandgruben im Bereich von Breitensee und der Deponie handelt es sich um fluviatil aufgearbeitete Verwitterungsprodukte des östlich bzw. nordöstlich anschließenden Kristallins in Form von Sand-Kies-Abfolgen mit internen Schräg- und Kreuzschichtungen.

Das anstehende Kristallin als Bestandteil des südböhmischen Plutons bildet vorwiegend der hellgraue, mittelkörnige Eisgarner Granit.

Von hydrogeologischer Relevanz in bezug auf potentielle Eigenschaften als GW-Leiter sind v.a. die Lockersedimentkomplexe und Alluvialkörper der Lainsitz, aber auch die Randbereiche des Eisgarner Granits, welcher sandige bis grusige Verwitterungstaschen aufweist, die mit Lainsitzer Sanden und mit Sedimentresten verzahnt sind.

In Ermangelung langfristig eingerichteter und beobachteter Meßstellen im direkten und weiteren Deponieumfeld wird ein Höchst-GW von 472 m üA angenommen (ÖKOPLAN 1993), wodurch zumindest ein Teil der Sohle des alten Deponiekörpers (471,8 - 473,2 m) knapp innerhalb des GW-Schwankungsbereiches gelegen ist! Die Notwendigkeit einer Sanierung und einer funktionierenden, mineralischen Basisabdichtung wird so drastisch vor Augen geführt.

Beim Horner Becken, einer 20 km langen und im Mittel 1 - 3,5 km breiten, im Grundriß winkelförmigen Senke, handelt es sich um ein tektonisches Einbruchsbecken entlang vorgegebener Schwächezonen innerhalb des Kristallins der Böhmischen Masse mit Gneisen und Glimmerschiefern als Beckenrahmen bzw. -untergrund. Der miozäne Einbruch des Beckens erfolgte syndimentär mit der Auffüllung limnisch-fluviatiler, aber auch mariner Sedimente, die in teilweise intensiver Wechsellagerung von vorwiegend Tonen, Schluffen und Sanden in einer Mächtigkeit von deutlich weniger als 100 m im weiteren Deponiebereich vorliegen (WERNER et al. 1993). Die größte erbohrte Mächtigkeit der Beckensedimente bei Mörtersdorf weist allerdings 176 m auf (TOLLMANN 1985).

Grundsätzlich können im Beckenbereich, aber auch im Deponieareal, zwei GW-Stockwerke unterschieden werden, die Durchlässigkeiten zwischen 3×10^{-5} bis 6×10^{-4} m/s aufweisen. Die GW-Stauer mit Durchlässigkeiten zwischen $1,1 \times 10^{-8}$ und $1,0 \times 10^{-11}$ m/s werden im wesentlichen durch Ton-Schluffkomplexe oder Verwitterungsschwarten bzw. durch das Basiskristallin gebildet. Die für die Basisabdichtung relevante Staueroberkante befindet sich in einer Tiefe von rund 10 m unter GOK.

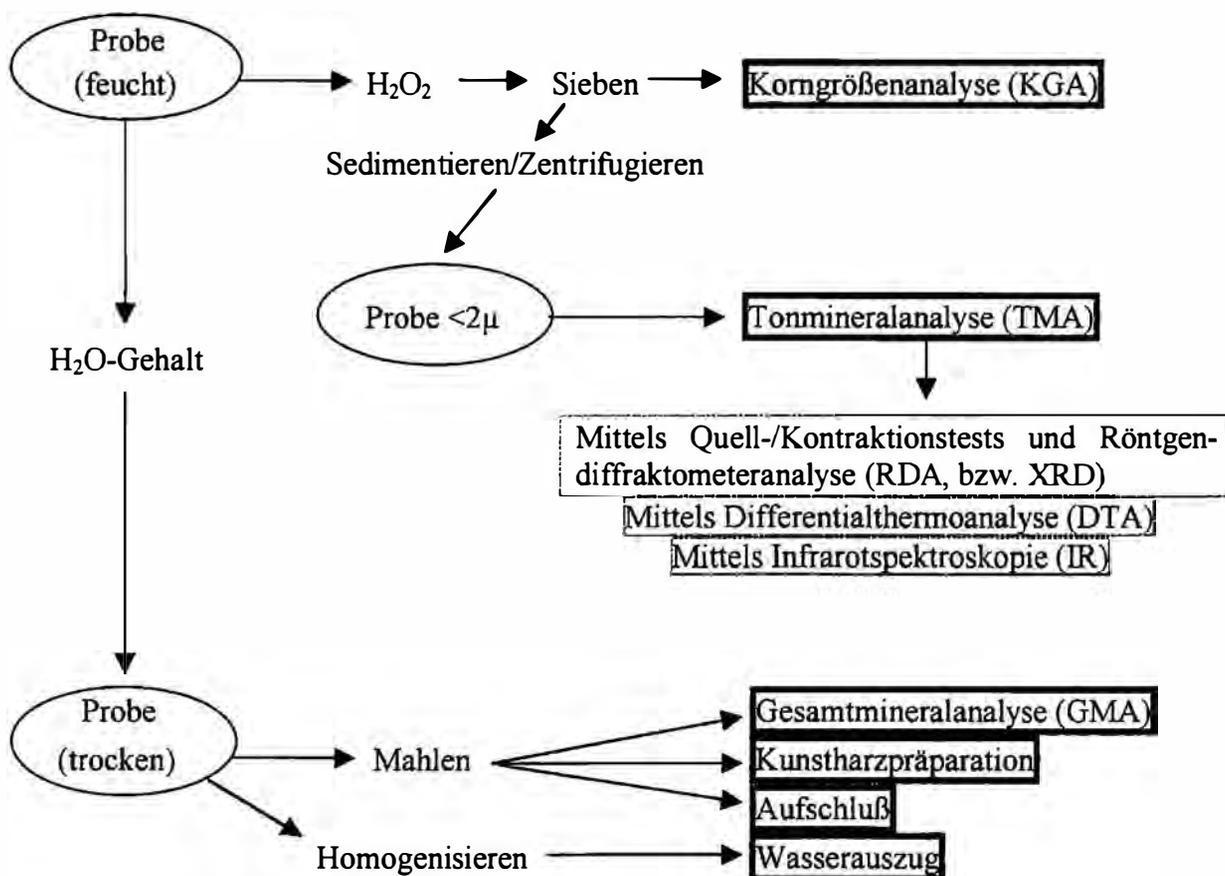
Insgesamt handelt es sich beim Horner Becken um ein bedeutendes GW-Vorkommen (WERNER et al. 1993), was auch in diesem Falle die Schutzbedürftigkeit vor kontaminierten Sickerwässern veranschaulicht.

3. Analysen und Methoden

Die Probenahme erfolgte horizontweise (in Abständen zw. 0,5 cm bis zu mehreren cm) an von Löffelbaggern eröffneten Röschen, die von den Kiesdrainagen im Hangenden bis zu Bereichen im Liegenden der Dichtschichten reichten.

Im Mittelpunkt der Untersuchungen an den mineralischen Dichtschichten stand (und steht auch noch im weiteren Verlauf der Arbeit) die Barrierewirkung auf Basis geringer Durchlässigkeit bei gleichzeitig hoher Schwermetall (SM)-Retardation.

Zur Klärung dieser Fragen wurde analytisch und methodisch folgendermaßen vorgegangen:



Ein wichtiger Parameter zur Abschätzung der „Dichtheit“ bzw. zur Bestimmung der Durchlässigkeit ist die KGA mittels Siebens und Sedigraphierens.

Durch Sedimentieren oder Zentrifugieren kann die Tonfraktion gewonnen werden, an der die TMA durchgeführt wird. Art und Quantität vorkommender Minerale der Gesamtfraktion, v.a. aber der Tonminerale (TM) in der Fraktion $< 2 \mu$, beeinflussen die chemisch-mineralogische Wirksamkeit des Schadstoffrückhalts innerhalb einer mineralischen Barriere, sie können aber auch durch Quell- und Schrumpfungsverhalten oder Fällungsreaktionen Einfluß auf die Dichtwirkung ausüben.

Eine TMA mit dem Anspruch qualitativer, aber auch (semi-)quantitativer Aussagen stellt somit den Kern der mineralogischen Untersuchungen dar.

Die chemischen Analysen schließlich beziehen sich auf die Verteilung von ausgewählten und, im Falle eines Durchtrittes von Sickerwasser, auf die Umwelt toxisch wirkenden Anionen und SM innerhalb der Dichtschichten.

Die Erstellung von Konzentrationsprofilen soll letztlich Aufschluß über das Migrationsverhalten dieser Ionen bzw. das Schadstoffrückhaltepotential der Dichtschicht in hydraulischer und chemisch-mineralogischer Hinsicht geben.

In Ergänzung zu den beprobten Röschen an der Deponiebasis wurden in der näheren Umgebung der beiden Deponien weitere Proben genommen, von denen aufgrund von Mitteilungen und naheliegenden Gründen, wie etwa der Anwesenheit von Tongruben in unmittelbarer Nachbarschaft zur Deponie, angenommen werden kann, daß es sich um das gleiche Material handelt, das zur Herstellung der Dichtschichten verwendet wurde.

Diese vermeintlichen Referenzen sollen nach Verifizierung ihrer Identität durch KGA, GMA, TMA und ergänzenden Untersuchungen wie IR-Spektroskopie und Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) im weiteren Verlauf der Arbeit als Vergleichsmaterial herangezogen werden, um Veränderungen in den eingebauten Dichtschichten nachvollziehen zu können. Besonders die Frage der geogenen Hintergrundgehalte an SM und Anionen kann dann sicherer beantwortet werden und zu einer Verifizierung, bzw. Verdeutlichung von anthropogenen Kontaminationen mit Schadstoffen führen.

4. Ergebnisse

4.1. Kornverteilung und Durchlässigkeit

Kornverteilungen geben wichtige Hinweise auf das Durchlässigkeitsverhalten und auf weitere Eigenschaften (z.B. Sorptionskapazität), die mit dem Gehalt an bestimmten Fraktionen, besonders der Tonfraktion, in Zusammenhang stehen.

Durchlässigkeiten können u.a. relativ realitätsnah mittels Durchlässigkeitsversuchen an ungestörten Proben ermittelt werden, u.U. aber auch durch Kornverteilung bzw. Kornsummenkurven abgeschätzt werden. Zu diesem Zweck wurden verschiedene empirische Formeln¹ entwickelt, die sich allerdings auf gröbere Sedimente beziehen und auf tonige Sedimente, wie sie üblicherweise im Deponiebau eingesetzt werden, nur bedingt anwendbar sind.

Im Falle der beiden bearbeiteten Dichtschichten ist es auf Grund relativ hoher Tongehalte in den meisten Horizonten leider nicht möglich, für diverse Formeln erforderliche Korndurchmesser (bei bestimmten %-Gehalten der Summenkurven) anzugeben, da diese meist außerhalb des sedigraphisch meßbaren Bereiches liegen.

¹ SEELHEIM 1880, HAZEN 1893, BEYER 1964 oder BIALAS et al. 1970 in HÖLTING, B. 1992

Allerdings können, als erste Annäherung, Abschätzungen durch Vergleiche mit ähnlich kornverteilten und mineralogisch zusammengesetzten Proben, deren Durchlässigkeiten durch Versuche ermittelt wurden, durchgeführt werden sowie relative Vergleiche einzelner Horizonte innerhalb eines Profils zu einer ersten Aussage verwendet werden.

4.1.1. KGA von Gmünd

Die Kornsummenkurven der Dichtschicht von Gmünd zeigen in der Zusammenschau (s. Abb. 1) einen klaren Hauptstrang, der im wesentlichen durch eine sehr homogene Verteilung der einzelnen Korngrößenklassen mit Tonanteilen zwischen 20-25 % zu charakterisieren ist (zur Verteilung der Tonfraktionen innerhalb des Profils s. Abb. 5). Es ist daher seitens der Korngrößen mit sehr ähnlichen und gleichmäßigen Durchlässigkeiten innerhalb der Dichtschicht zu rechnen.

Zum Vergleich wurden die Proben „Referenz A, B und C“ ergänzend dargestellt, welche von einer Baustelle bzw. einem Ablagerungsplatz stammen, auf dem in traditioneller Weise toniges Material der näheren Umgebung für Bauzwecke deponiert wurde und wird. Durch mündliche Mitteilung konnte in Erfahrung gebracht werden, daß dieser Platz der Herkunftsort des tonigen Materials für die mineralische Basisdichtschicht der Deponie war. Ob das vor kurzem genommene Material das gleiche ist, das vor etwa 20 Jahren für die Dichtschicht verwendet wurde, wird im weiteren Verlauf der Arbeit zu überprüfen sein.

Von diesen Kurven laufen zwei jenen der Dichtschicht in den gröberen Fraktionen durchaus parallel, erst ab der Schluff-Fraktion kommt es zur Entfernung bedingt durch höhere Feintongehalte. Es besteht allerdings die Möglichkeit, daß auch ein gewisser präparativer Unterschied eine Rolle spielt, denn gerade der Bereich $<63 \mu\text{m}$ ist aufbereitungstechnisch sehr sensibel und von vorhandenen Mitteln der Dispergierung abhängig. Zieht man dies, zusammen mit der natürlichen Variabilität tonigen Materials auch von ein und derselben Tongrube in Betracht, so können die beiden Proben zunächst von Seiten der KGA als mögliche Referenzen für das Dichtschichtmaterial betrachtet werden.

Die dritte Kurve (Referenz C) zeigt im gröberen Bereich markante Unterschiede zu sämtlichen anderen Proben, sodaß diese Probe seitens der KGA nur mit Vorbehalten als Referenz für die Dichtschicht von Gmünd betrachtet werden kann.

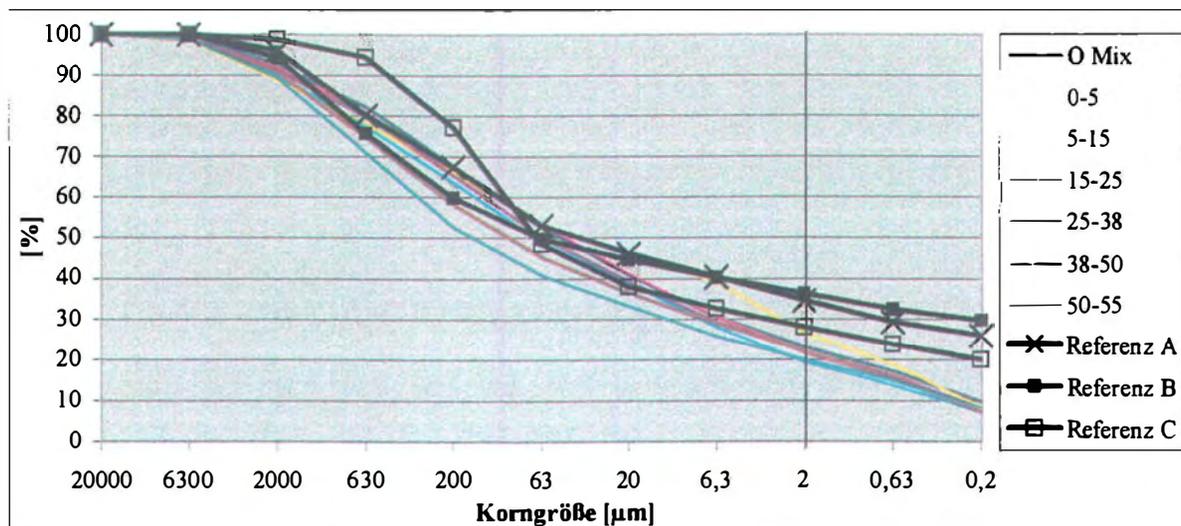


Abb. 1: Bereiche der Kornsummenkurven der Dichtschicht von Gmünd (Rösche 1).

Die Legende zeigt die Tiefe der einzelnen Horizonte [cm],
 O_{Mix} ist eine Oberflächenmischprobe, „Referenz A und B“ sind vermeintliche Referenzproben, die schwarze Senkrechte bei $2\mu\text{m}$ markierte die Grenze zur Tonfraktion

4.1.1 KGA von Horn und Durchlässigkeitsversuche

Ein anderes Bild zeigt sich bei den Korngrößenverteilungen innerhalb der Dichtschicht von Horn (s. Abb. 2). Hier weisen die oberen Horizonte (jene, in die praktisch keine Kiese mehr eingepreßt sind) bis zu einer Tiefe von 20 cm ein markantes Fein- und Mittelsandmaximum auf und unterscheiden sich von tieferliegenden Horizonten, die über das erfaßte Korngrößenspektrum sehr homogene Verhältnisse zeigen (gleiche Verläufe bzw. Steigungen über die Korngrößensklassen). Lediglich im Bereich etwa der Grobsand- bis zur Kiesfraktion gibt es unterschiedliche Quantitäten, die letztlich zur Parallelverschiebung der Summenkurven im restlichen betrachteten Bereich führen.

Insgesamt bewirkt der höhere Sandanteil in den obersten 20 cm verhältnismäßig geringere Tonanteile (30-50 %) als in den Horizonten von 20-54 cm (45-65 % !).

Möglicherweise sind diese auffälligen, bereichsbezogenen Unterschiede innerhalb der Dichtschicht auf lagenweisen Einbau verschiedener Lieferchargen von inhomogener Quelle (z.B. einer Tongrube) zurückzuführen.

Grundsätzlich kann seitens der KGA davon ausgegangen werden, daß in Tiefen der Dichtschicht ab etwa 20 cm (noch) geringere Durchlässigkeiten und höhere Schadstoffadsorptionspotentiale auf Grund größerer Tongehalte (bei vergleichbarer TM-Verteilung) vorliegen. (s. dazu auch Abb. 6)

Auch bei den Proben „Referenz 1 bis 3“ kann zwischen „Referenz 1“ mit sehr geringen Kies- und Sandanteilen und den anderen zwei Proben, deren Summenkurven einen gewissen Knick im Mittelsandbereich aufweisen, differenziert werden. Beim Vergleich mit der Dichtschicht kann näherungsweise eine Zuordnung zu den zwei bereits unterschiedenen Bereichen der Dichtschicht getroffen werden.

Dabei zeigt besonders „Referenz 3“ einen auffällig ähnlichen Verlauf wie die meisten Horizonte bis 20 cm Tiefe. „Referenz 2“ tendiert auch zu diesem Bereich, „Referenz 1“ fällt diesbezüglich etwas aus dem Rahmen, eine Zuordnung zum tieferen Bereich der Dichtschicht ist aber nicht auszuschließen.

Das wäre auch insofern nicht unplausibel, da „Referenz 2 und 3“ von einem eng begrenzten Bereich (1 m Entfernung) stammen, der zwar wie „Referenz 3“ innerhalb derselben Tongrube bei Breiteneich situiert ist, aber zur Entnahmestelle von „Referenz 3“, die schon farblich eindeutig erkennbare Unterschiede zeigt, eine große Distanz besteht und die Hypothese unterschiedlicher Lieferchargen dadurch wahrscheinlicher wird.

In Horn wurde darüberhinaus in ersten Versuchen die Durchlässigkeit an zwei ungestörten Tonproben (aus Stechzylindern) der mineralischen Dichtschicht (nach STN 72 1020 mit konstantem hydraulischen Gradient $i=30$) bestimmt.

Der Durchlässigkeitsbeiwert k_f der Proben, welche jeweils die obersten 10-15 cm umfassen, beträgt $1,03 \cdot 10^{-11}$ und $1,27 \cdot 10^{-11}$ m/s.

Auf Grund oben gezeigter höherer Tongehalte bei relativ gleichmäßiger Kornabstufung ab 20 cm Tiefe ist daher grundsätzlich von noch geringeren Durchlässigkeiten im unteren Dichtschichtbereich auszugehen.

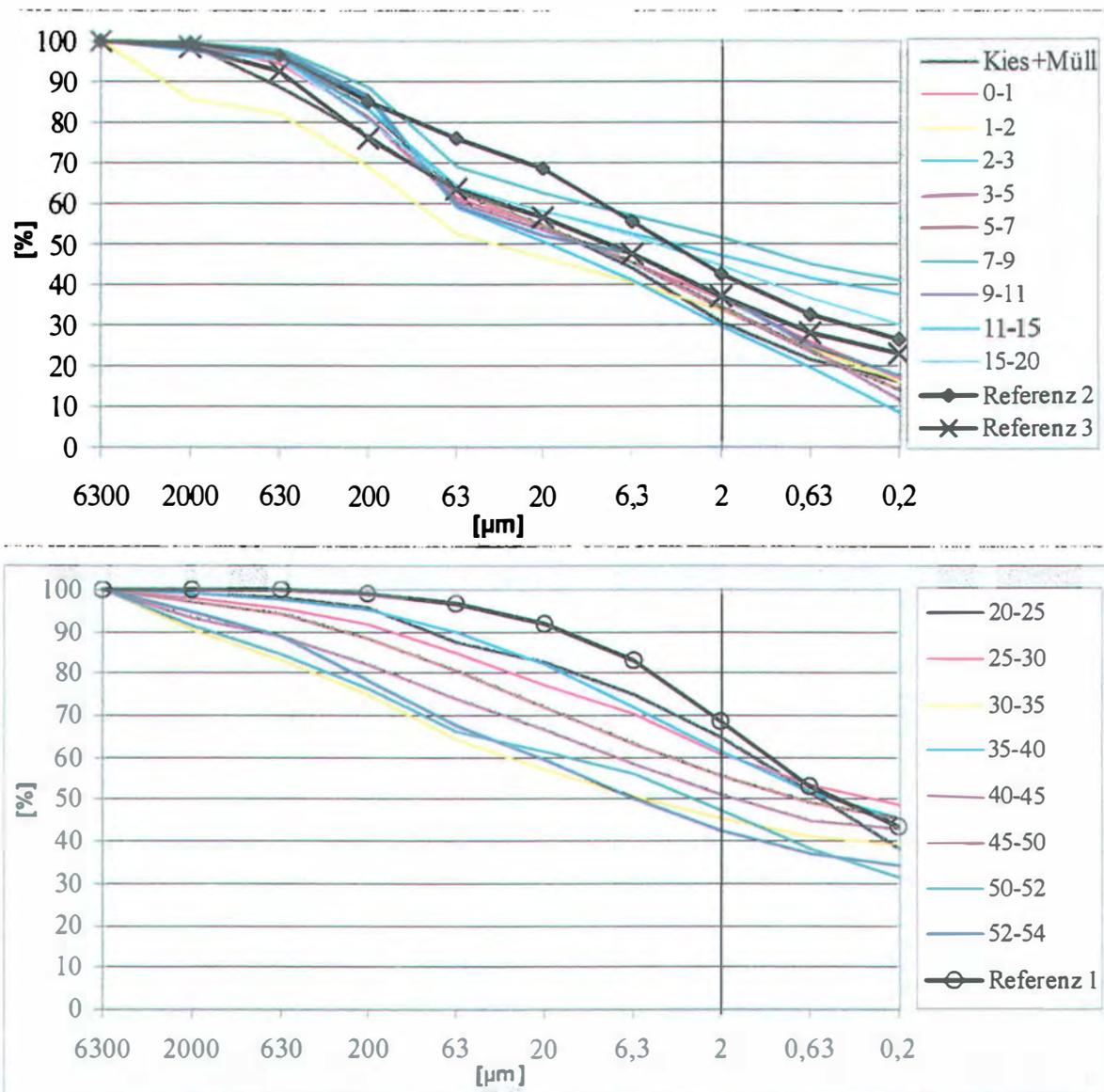


Abb. 2: Kornsummenkurven der Dichtschicht in Horn (Rösche 1).

Die Legende bezieht sich auf die Tiefe [cm] der Horizonte; „Kies+Müll“ ist eine der Dichtschicht aufliegende Probe mit Resten der Kiesdrainage und von Müll; „Referenz 1 bis 3“ sind vermeintliche Referenzproben.

Die senkrechte Linie bei 2µm markiert die Grenze zur Tonfraktion, eine diesbezügliche und besonders auf den Verlauf bezogene Zweiteilung der Dichtschicht in zwei Bereiche wird augenscheinlich sinnvoll.

4.2. Mineralogie

4.2.1. GMA

4.2.1.1. GMA von Gmünd

Qualitativ gesichert konnten anhand der Röntgendiffraktometrie die Minerale oder Mineralgruppen Quarz, Kalifeldspat und Plagioklas, Glimmer, Kaolinit, Dolomit und Calcit identifiziert werden.

Durch die Peakintensitäten ist, bei gleichen Probenmengen, in erster Annäherung auch ein quantitativer Vergleich einzelner Minerale zwischen den Horizonten möglich. Zu diesem

Zweck wurden die jeweiligen mineralspezifischen Bereichswerte zwischen größtem und kleinstem gemessenen Wert innerhalb der Profile in 5 gleich große Klassen unterteilt und diesen in Abhängigkeit der relativen Menge „+“-Symbole zugeordnet. „+“ ist demnach die Klasse mit der(n) geringsten, „++++“ jene Klasse mit der(n) größten Peakintensität(en) (s. Abb. 3).

Gmünd-Rösche I

	Quarz	Kalif.	Plag.	Glimmer	Kaolinit	Dolomit	Calcit
Schlamm	+	++	+	++	+	++	++++
Kies	++	++++	+	++	+	++++	++++
O Mix	++	++++	++	++++	++	+	+
0-5 cm	+++	++++	++++	++++	+++	++++	+++
5-15 cm	+++	+++	++	++++	++++	+	+
15-25 cm	++	+++	+	++++	++++	+	+
25-38 cm	++	++++	++	++++	++++	+	+
38-50 cm	++	++++	++	++++	+++	+	+
50-55 cm	++	+++	++	++	+++	+	+
55-60 cm	++++	++++	++++	++	+	+++	+
60-70 cm	++++	++++	++++	++++	+	++	+

Gmünd-Rösche II

	Quarz	Kalif.	Plag.	Glimmer	Kaolinit	Dolomit	Calcit
Schlamm	+	++	+	++	+	++	++++
Kies	+	+	+	++	+	++++	++++
O Mix	++	++++	++	++++	++	+	+
0-5 cm	++++	++++	++	++	+++	+	
5-15 cm	++	++	+	+	+++	+	
15-25 cm	+	++++	+	++	++	+	
25-35 cm	+	+++	+	++	+++	+	+
35-45 cm	++	+++	++	+	++	++	
45-55 cm	+++	++	+	++	+++	+	
55-70 cm	++++	++++	++++	++		++	++
Referenz A	+++	++			+++	+++	+
Referenz B	++	+	+	+	++	++	+
Referenz C	+++	++	+	+	+++	++++	++

Abb. 3: Verläufe der identifizierbaren Minerale innerhalb der beiden Röschen von Gmünd.

„Schlamm“ ist eine schlammige Probe im Bereich der Kiesdrainage, „O_{Mix}“ eine in flächenhafter Verteilung über der Deponiesohle entnommene Oberflächenmischprobe; beide Proben werden daher stellvertretend für beide Profile dargestellt. „Kies“ sind der Probe „Schlamm“ in ihrer Zusammensetzung und Herkunft sehr ähnliche Proben im Grenzbereich zwischen Kiesdrainage und Dichtschicht der jeweiligen Rösche.

„Referenz A bis C“ sind potentielle Vergleichsproben.

Der dunkelgraue Bereich zeigt die Dichtschicht, der punktierte Bereich darunter stellt Sandhorizonte im Liegenden dar.

„+“ bis „++++“ entspricht der relativen Quantität eines bestimmten Minerals im Verlauf der Horizonte; ein Vergleich der Mengen unterschiedlicher Minerale ist unzulässig.

Grundsätzlich kann eine relativ homogene Verteilung der einzelnen Minerale und Mineralgruppen innerhalb der Dichtschicht festgestellt werden.

Auffällig dagegen sind bei den Proben „Schlamm“ und „Kies“ die im Vergleich zur Dichtschicht geringen Anteile an Kaolinit bei gleichzeitig hohen Calcit- und Dolomitgehalten, was zumindest bei den Proben „Kies“ auf den Einfluß der tonarmen und mehr oder weniger kalkreichen Kiesdrainage zurückzuführen ist.

Weiters hervorzuheben sind die bei den Sandhorizonten im Liegenden der Dichtschicht erwartungsgemäß hohen Anteile an Quarz und Feldspäten bei gleichzeitig geringen Gehalten an Kaolinit.

Die möglichen Referenzen A bis C, von denen zu erwarten ist, daß es sich zumindest bei einer Probe um das an der Deponiebasis verwendete Dichtschichtmaterial handelt, zeigen tendentiell geringere Feldspat- und Glimmergehalte bei etwas erhöhten Dolomitwerten.

Aus gesamtmineralogischer Sicht kann keine dieser Proben mit Sicherheit als Referenz ausgeschlossen werden.

4.2.1.2. GMA von Horn

Eine qualitative und in ersten Ansätzen auch quantitative Auswertung erfolgte wie unter 4.2.1.1.. Die qualitative Zusammensetzung ähnelt jener von Gmünd (s. Abb. 4).

Wie bereits in der Dichtschicht von Gmünd festzustellen war, zeigt sich auch hier ein homogener Verlauf der Quantitäten einzelner Minerale oder Mineralgruppen. Ebenso weist die Probe „Kies+Müll“ hohe Karbonatgehalte auf. Auffällig dabei ist allerdings, daß die Grenze zur Dichtschicht nicht so scharf zu ziehen ist wie in Gmünd, erhöhte Karbonatgehalte reichen bis zu 2 cm in die Dichtschicht hinein. Das könnte einerseits auf Fällungsreaktionen von aus der Kiesdrainage gelöstem und verlagertem Karbonat zurückzuführen sein, oder aber durch präparationstechnische Vorgänge (Herausselektionieren von großen Kiesen und Waschen derselben mittels Ultraschall) verursacht worden sein.

Relativ erhöhte Gehalte an Quarz und Feldspat finden sich in den sandigen Horizonten unterhalb der Dichtschicht. Die auffällig hohen Gehalte an Karbonat sowie der optische Eindruck vor Ort lassen die begründete Vermutung zu, daß es sich hierbei um (zumindest hohe Anteile an) Bauschutt handelt.

Darunter beginnt sich durch diverse, augenscheinliche Müllreste eine Altlast (mit ebenfalls hohem Karbonatgehalt) anzukündigen, deren Ausmaße und Inhalt nur erahnt werden können.

Die „Referenzen 1 bis 3“ zeigen auf den ersten Blick tendentiell geringere Quarz- und Feldspatgehalte, im Vergleich mit Horizonten aus der (mittleren) Dichtschicht wird aber doch eine große Ähnlichkeit deutlich, ohne eine dieser Proben daher mit Sicherheit als Referenz ausschließen zu können.

„Referenz 3“, die bei der KGA eine auffällige Übereinstimmung mit den oberen 20 cm gezeigt hat (s. Abb. 2), kann durch die GMA allerdings nicht eindeutig diesem Bereich zugeordnet werden.

HORN -Rö 1

	Quarz	Kalif.	Plag.	Glimmer	Kaolinit	Dolomit	Calcit
Kies+Müll	+	+	+	I	+	+++++	+++++
0-1	I	I	+	+	+	+++	+++
1-2	++	+	+	+	+	++	+
2-3	++	+	+	++	++		+
3-5	+++	+	+	+	+	I	
5-7	++	+	+	+	+	I	
7-9	++	+	I	+	+	I	
9-11	++	+	+	++	+	I	+
11-15	++	+	I	+	+	I	I
15-20	++	+		+	+	I	+
20-25	+	I	+	+	++		+
25-30	+	I	+	I	+		I
30-35	++	+	+	I	+	I	I
35-40	I	I	+	+	++		I
40-45	+	+	+	+	+	+	+
45-50	++	+	++	+	+	+	+
50-52	++	+	+	+	+	+	++
52-54	++	+	++	+	+	+++	+
54-56	+++	++++	+++	++	+	+	+++++
56-58	++++	+++	+++	+	+	++	++++
58-60	+++	+	+	+	+	+	+++++
60-62	+++	+	++	+	+	+	+++
62-64	++	+++	++	I	+	+	++++
64-65	+++	++	++	+	+	+	++++
>65:Müll	+	+	++	+	+	I	+++++
Referenz 1	+	I	I	+	++		
Referenz 2	+	I		+	++		
Referenz 3	+	++	I	I	+		

Abb. 4: Verläufe der identifizierbaren Minerale innerhalb der Rösche 1, Horn.

„Kies+Müll“ ist ein auf der Dichtschicht aufliegender Rest der Kiesdrainage mit Müll vermengt.

Der dunkelgraue Bereich stellt die Dichtschicht dar, der punktierte Bereich sandige, mit Bauschutt angereicherte Horizonte; der schwarze Bereich kennzeichnet den Beginn eines alten Müllhorizontes im Liegenden. Wie bei Gmünd wurden auch hier vermeintliche Referenzmaterialien untersucht und im Anschluß an die Rösche dargestellt.

„+“ bis „+++++“ entspricht der relativen Quantität eines bestimmten Minerals im Verlauf der Horizonte; ein Vergleich der Mengen unterschiedlicher Minerale ist daher unzulässig. „I“ bedeutet Identifikation, aber zu geringe Mengen für eine Quantifizierung. Die Bereichsklassen für die Zuordnung der „+“-Symbole entsprechen jenen von Gmünd, wodurch ein bestimmtes Mineral auch zwischen den Deponien durch seine Peakintensität verglichen werden kann.

4.2.2. TMA

4.2.2.1. TMA von Gmünd

Wie bereits aus den Kornsummenkurven (Abb. 1) ersichtlich, liegen die Gehalte an Tonfraktionen in den Dichtschichthorizonten (0 – 55cm) sehr homogen etwa zwischen 20-25 %, also knapp über den Mindestanforderungen der Deponieverordnung (DVO) an eine mineralische Basisdichtschicht für Massenabfalldponien mit 20 Masse-%. (Hinsichtlich der wichtigen qualitativen Beschaffenheit der Tonfraktion und der quantitativen Verteilung der TM in derselben gibt die DVO allerdings keine Auskunft.)

In Abb. 5 werden die Anteile der Tonfraktionen am Gesamtgewicht den Verteilungen der quantifizierbaren TM innerhalb der Tonfraktionen der einzelnen Horizonte bzw. der vermeintlichen Referenzen gegenübergestellt.

Dabei zeigt sich eine vom Tongehalt weitgehende Unabhängigkeit der TM-Verteilung, sogar die beiden sandigen Horizonte im Liegenden der Dichtschicht zeigen keine signifikante Abweichung.

Dominant ist eindeutig der Gehalt an Kaolinit, bzw. Fireclay (ein mit DMSO nicht aufweitbarer Kaolinit) mit insgesamt ca. 80 - 90 % aller TM der Tonfraktion. Daneben findet sich innerhalb der Dichtschicht noch Illit mit 10 - 15 % und der quellbare Smectit in geringen Mengen von 1 - 5%.

Die TMA macht deutlich, daß es sich bei dem Ton der Basisabdichtung der Deponie Gmünd ganz offensichtlich um ein kaolinitreiches Verwitterungsprodukt der kristallinen Gesteine der Böhmisches Masse handelt.

Die vermeintlichen Referenzmaterialien „Referenz A und B“ zeichnen sich durch geringere Illitgehalte und entsprechend größere Kaolinit- und Fireclayanteile als jene der Dichtschicht aus. Die bei der KGA doch recht markant abweichende „Referenz C“ stimmt diesbezüglich besser überein, weist dafür aber signifikant höhere Smectitgehalte auf, die in der hier vorliegenden Dichtschicht bei weitem nicht erreicht werden.

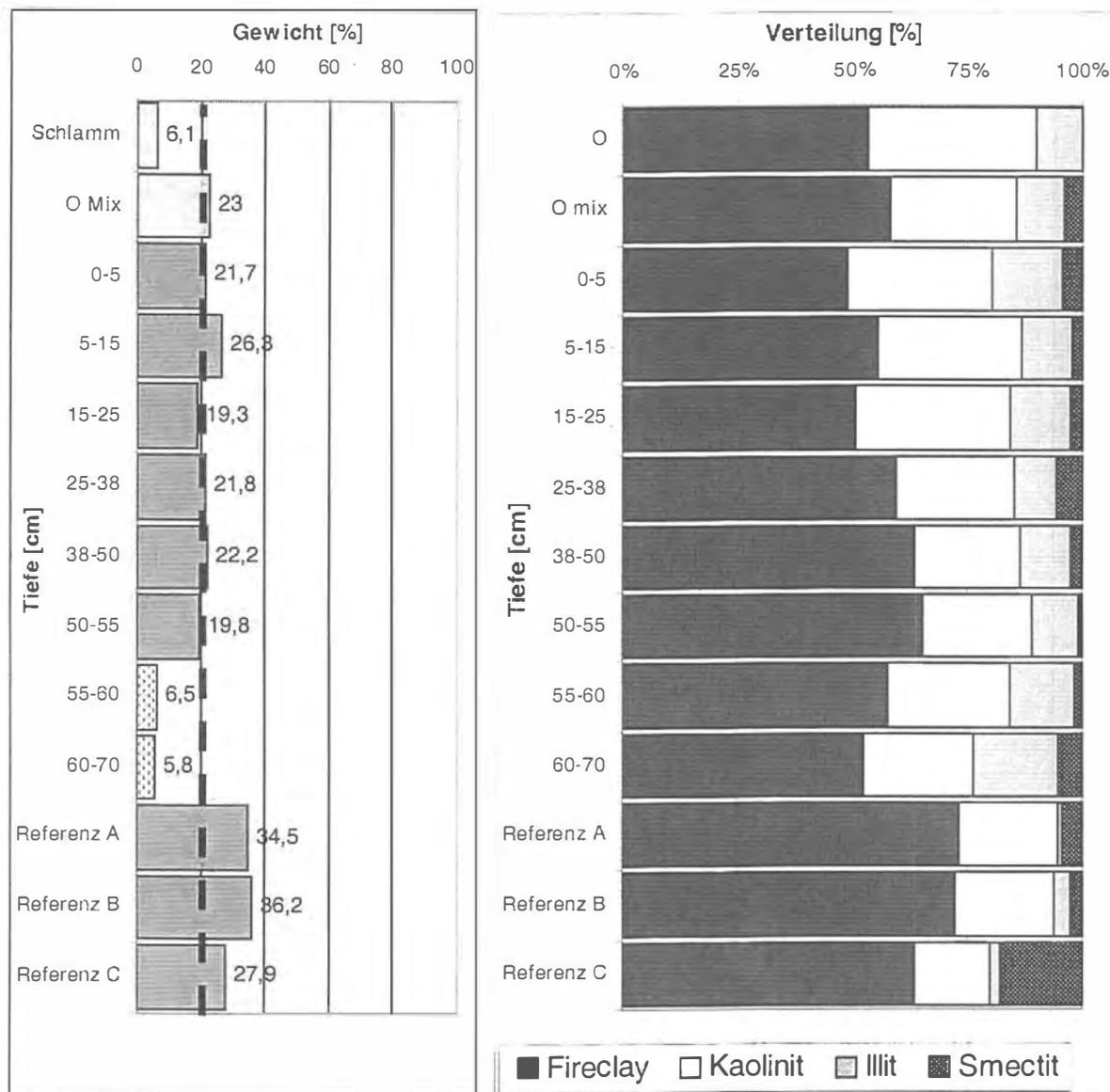


Abb. 5: Gegenüberstellung der Gewichtsanteile der Tonfraktionen mit den Verteilungen der TM in den Tonfraktionen der einzelnen Horizonte in Gmünd (Rösche 1), sowie der potentiellen Referenzen A-C. In der linken Abb. markiert die strichlierte Senkrechte die Mindestanforderung der Deponieverordnung hinsichtlich des Tonanteils der Gesamtfraktion, der dunkelgraue Bereich stellt die Dichtschicht (bzw. auch die vermeintlichen Referenzen) dar, der punktierte Bereich sandige, mit Bauschutt angereicherte Horizonte.

4.2.2.2. TMA von Horn

Im Vergleich zur Gmünder Dichtschicht liegt in Horn ein wesentlich höherer (etwa doppelter) Tongehalt vor (s. Abb. 6), der sich besonders im mittleren bis unteren Teil der Dichtschicht durch einen hohen Feintonanteil auszeichnet. In tieferen Bereichen ist also grundsätzlich bei gleicher TM-Verteilung (s. Abb. 7) von noch günstigeren Sorptionsverhältnissen als in den obersten cm der Dichtschicht auszugehen.

Beim Vergleich mit den vermeintlichen Referenzen zeigt „Referenz 1“, wie bei der KGA schon ersichtlich, den höchsten Tonanteil, die Verteilung auf Grob-, Mittel- und Feintonfraktion ist aber, genau wie die anderen beiden „Referenzen“, jenen der Dichtschichthorizonte ähnlich.

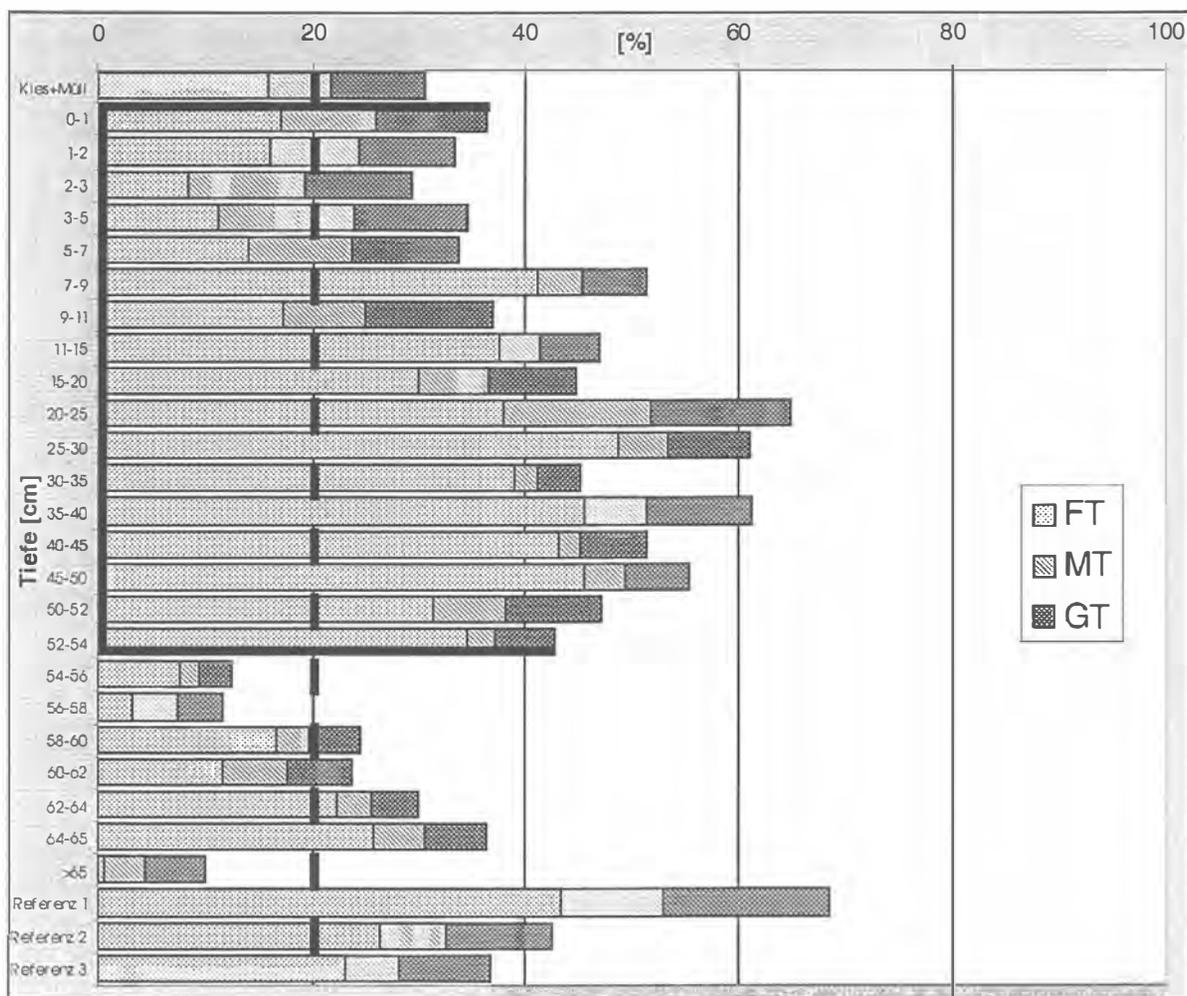


Abb. 6: Anteil der Tonfraktion am Gesamtgewicht und Verteilung der Fein-, Mittel- und Grobtonfraktion in der Dichtschicht von Horn (Rösche 1).

Der schwarze Rahmen zeigt den Bereich der Dichtschicht, die untersten drei Balken gehören zu den vermeintlichen Referenzen; die strichlierte Senkrechte markiert die Mindestanforderung der Deponieverordnung hinsichtlich des Tonanteils der Gesamtfraktion.

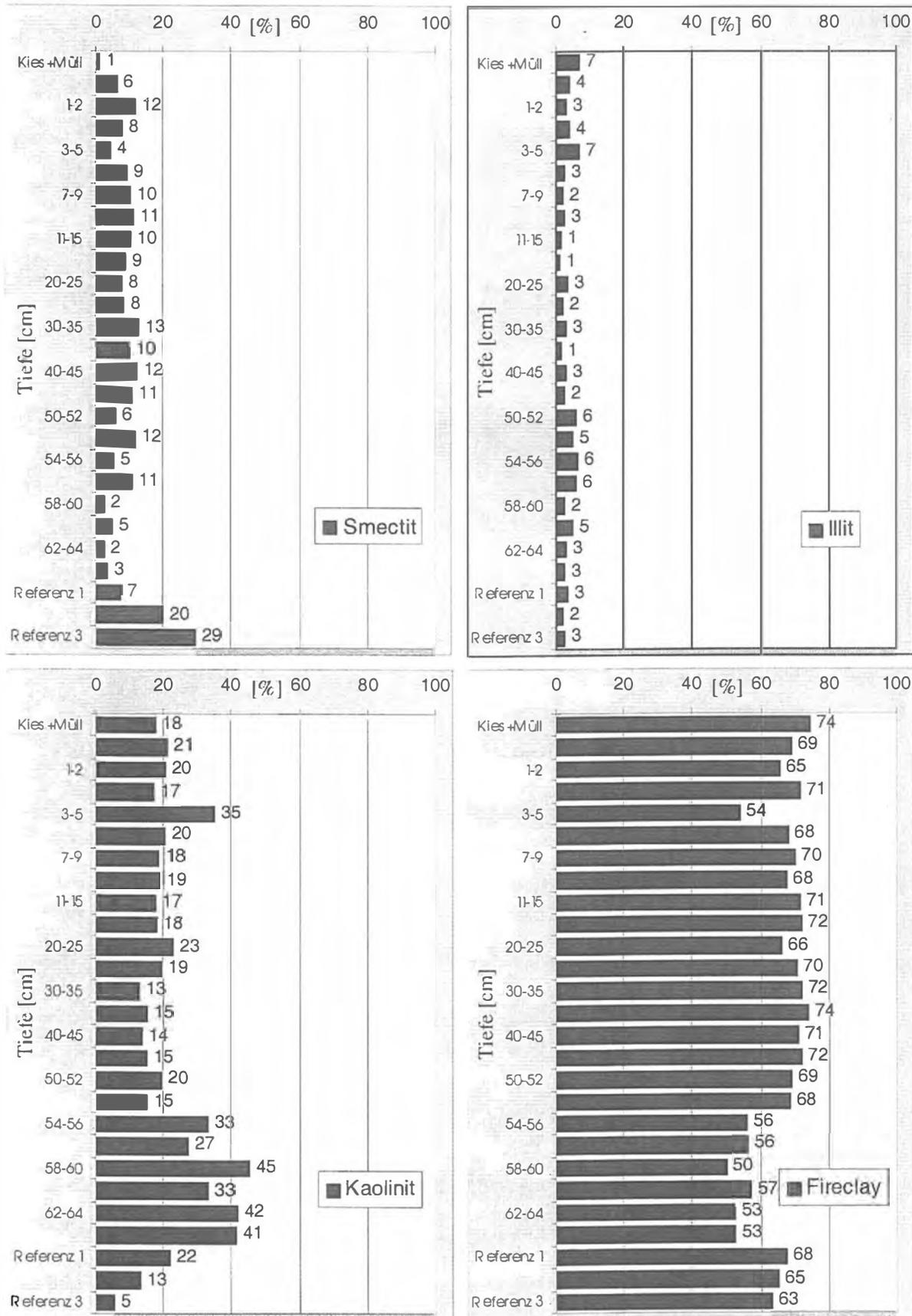


Abb. 7: Qualitative und semiquantitative TM-Verteilung der Rösche 1 von Horn; die Dichtschicht reicht von 0-54 cm; die untersten drei Balken zeigen die drei vermeintlichen Referenzen 1 bis 3.

Eindeutige Korrelationen zwischen absolutem Ton- oder Feintongehalt mit der quantitativen TM-Verteilung sind nicht augenscheinlich, lediglich in den mit Bauschutt angereicherten Horizonten im Liegenden der Dichtschicht mit vergleichsweise geringen Tonanteilen zeigt sich ein größeres Kaolinit/Fireclay-Verhältnis, welches aber kausal eher auf die unterschiedliche Herkunft und Zusammensetzung (zumindest eines nicht unbeträchtlichen Anteils) jener Horizonte zurückzuführen sein dürfte und nicht mit dem geringeren Tongehalt an sich zusammenhängt.

Generell zeigt sich, wie auch schon in Gmünd, eine markante Dominanz von Kaolinit und Fireclay mit insgesamt ca. 85 - 90 % aller TM in der Tonfraktion. Gegenüber Gmünd ist aber ein höherer Smectitanteil (ca. 4 - 13 %) bei geringeren Gehalten an Illit zu beobachten.

Genetisch dürfte es sich bei dem Ton der Horner Dichtschicht wie in Gmünd um (fluviatil umgelagerte) Verwitterungsprodukte der Böhmisches Masse handeln.

Von den im Liegenden der Dichtschicht dargestellten „Referenzen 1-3“ zeigt lediglich „Referenz 3“ etwas deutlichere Abweichungen von der Schwankungsbreite der Dichtschichthorizonte in Form der insgesamt höchsten Smectit- und niedrigsten Kaolinit-/ Fireclaygehalte.

4.3. Chemie

Im Vordergrund der chemischen Untersuchungen stand die Frage der Anionen- und SM-Verteilungen in den Röschen der beiden Deponien, bzw. die Tiefe des Eindringens dieser Ionen in die Dichtschichten, welche etwa 10 - 15 Jahre in Kontakt mit kontaminierten Sickerwässern gestanden waren.

4.3.1. Anionen

4.3.1.1. Konzentrationsprofile von Gmünd

Beispielhaft sind in Abb. 8 die Konzentrationsverläufe der Sulfat- und Chloridionen dargestellt. Bereits innerhalb der obersten 5 cm der Dichtschicht findet ein starkes, bei etwa 25 cm ein weiteres leichtes Absinken (v.a. von Sulfat) auf mehr oder weniger natürliche Hintergrundgehalte statt. Die elektrische Leitfähigkeit als Summenparameter aller in Lösung befindlichen Ionen korreliert sehr gut mit den dargestellten Anionen und weist ebenfalls in etwa 25 cm Tiefe einen erkennbaren Knick zu einem niedrigeren Niveau auf.

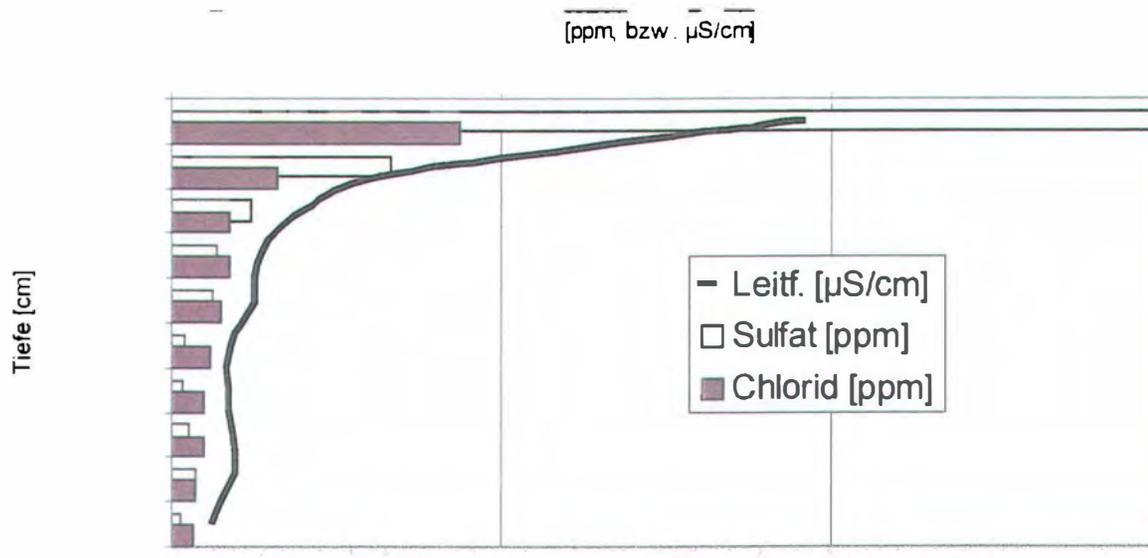


Abb. 8: Konzentrationsprofile von Sulfat- und Chloridionen, in kombinierter Darstellung mit der elektrischen Leitfähigkeit, in Rösche 1, Gmünd nach etwa 15 Jahren Sickerwasserkontakt.

4.3.1.2. Konzentrationsprofile von Horn

Die Sulfat- und Chloridkonzentrationen liegen im Vergleich zu Gmünd zwar ca. doppelt so hoch, sie verhalten sich aber tendenziell ähnlich (s. Abb. 9) und sinken zunächst nach etwa 3 cm in der Dichtschicht auf ein markant niedrigeres Niveau ab. Der Sulfatgehalt verdoppelt sich ab 54 cm allerdings wieder, was aber nicht auf Migration, sondern mit größter Wahrscheinlichkeit auf Bauschutt (mit entsprechendem Gipsgehalt) in diesen Horizonten zurückzuführen ist. Ab 62 cm (Altlast im Liegenden der Dichtschicht) steigen die Werte wieder dramatisch an.

Weniger wechselhaft verhalten sich die Chloridwerte, die bis ca. 50 cm auf konstantem (recht hohem) Niveau bleiben und darunter auf etwa die Hälfte absinken. Die Altlast scheint kaum einen Einfluß auf die Chloridwerte auszuüben, erst im eigentlichen Müllhorizont ist ein leichter Anstieg zu verzeichnen.

Der Summenparameter der Leitfähigkeit zeigt im Einklang mit den dargestellten Anionen einen drastischen Abfall bis 3 cm und pendelt sich ab einer Tiefe von 9 cm auf konstantem, aber, den Anionengehalten entsprechend, ziemlich hohem Niveau ein. Gleichlaufend mit den Sulfatgehalten folgt auf Grund der Altlast ein starker Anstieg ab etwa 62 cm.

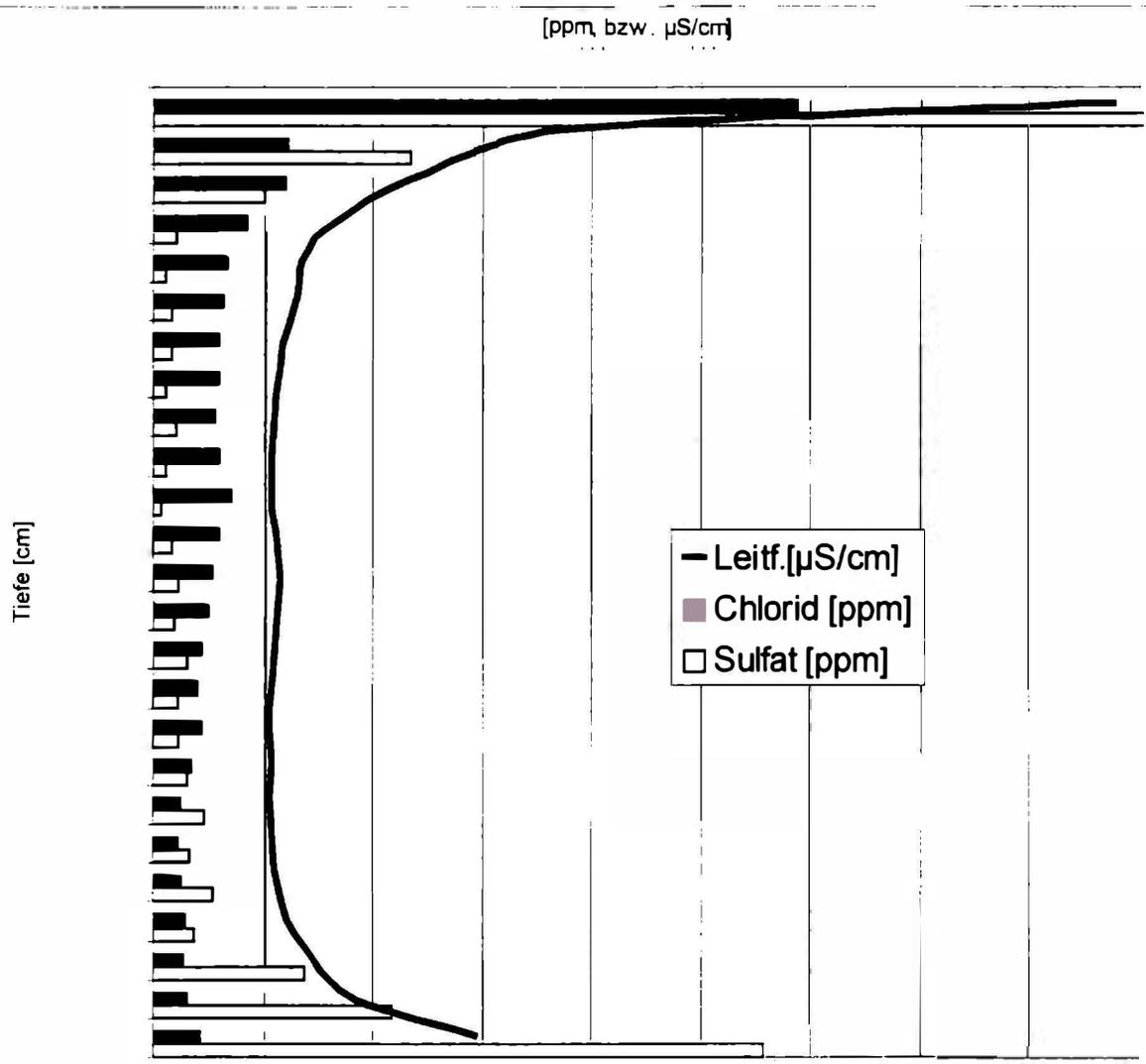


Abb. 9: Konzentrationsprofile von Sulfat- und Chloridionen, in kombinierter Darstellung mit der elektrischen Leitfähigkeit, in Rösche 1, Horn nach etwa 10 Jahren Sickerwasserkontakt.

Betrachtet man die Konzentrations- und Leitfähigkeitsverläufe beider Profile, so liegt die Vermutung nahe, daß v.a. die Sulfationen einen maßgeblichen Einfluß auf die gesamte Leitfähigkeit haben.

4.3.2. SM

Mittels einer Säuremischung aus HF und HNO₃ wurden gemahlene Pulver der einzelnen Horizonte in einem Mikrowellengerät aufgeschlossen und dabei gelöst. Im Österreichischen Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal (Geotechnisches Institut, Abteilung Analytische Geochemie) wurden die Konzentrationen umweltrelevanter SM mittels ICPMS gemessen. Ziel war es, das Migrationsverhalten der SM, bzw. das Retardationsvermögen der Dichtschicht diesen SM gegenüber, zu untersuchen.

4.3.2.1. Konzentrationsprofile von Gmünd

In Abb. 10 ist ein Vergleich von SM-Konzentrationsprofilen der Gesamtproben und deren Tonfraktionen graphisch dargestellt.

Dabei wird auf den ersten Blick offensichtlich, daß einerseits die Konzentrationen bereits an der Dichtschichtoberfläche sehr geringe Werte erreicht haben, andererseits die Tonfraktion grundsätzlich der Hauptakteur im Adsorptionsgeschehen von SM ist.

Auf den ersten Blick mag es verwundern, daß die Gesamtfractionen, von denen die Tonfraktionen ja Bestandteile sind, insgesamt geringere Konzentrationen aufweisen. Das liegt ganz offensichtlich daran, daß die Tonfraktionen mengenmäßig nur einen gewissen Prozentsatz der Gesamtmasse ausmachen und die Restfraktionen wesentlich niedrigere Konzentrationen aufweisen, sodaß die Konzentrationen der Gesamtproben (gewogene Mittelwerte der Konzentrationen aller Fraktionen) niedriger liegen als die der Tonfraktionen. Angesichts der konstanten und gleichzeitig niedrigen Werte bereits ab dem Horizont „O_{mix}“ können zumindest alle tieferliegenden Horizonte (also praktisch die gesamte Dichtschicht) als Bezug und vorläufige Referenzen für geogene Hintergrundgehalte herangezogen werden.

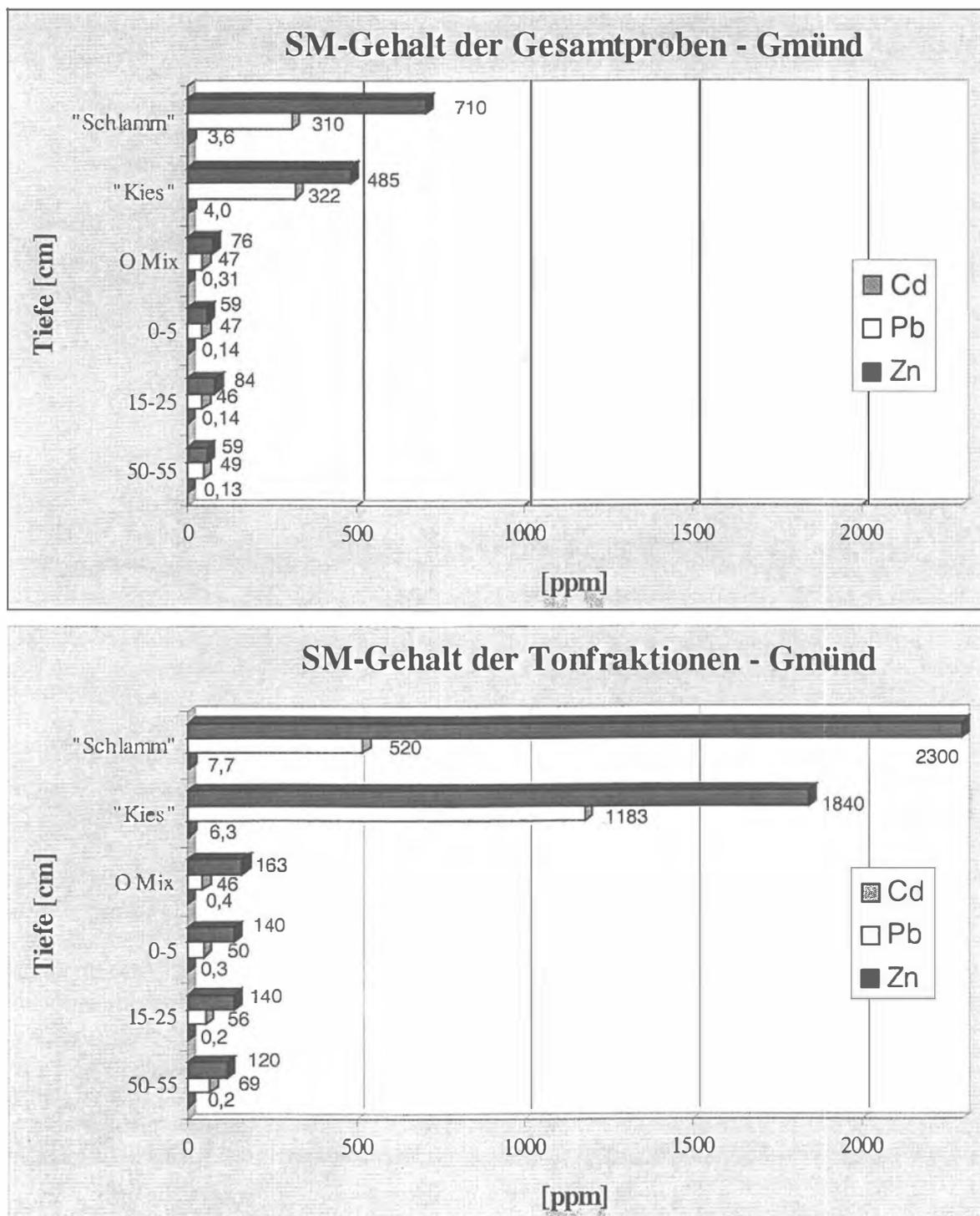


Abb. 10: Gegenüberstellung von SM-Konzentrationsprofilen der Gesamt- und der Tonfraktion innerhalb Rösche 1, Gmünd. Auffällig sind die deutlich höheren Konzentrationen der hier dargestellten SM in der Tonfraktion.

Einen kurzen, verifizierenden Vergleich und Überblick über die in der Literatur angegebenen Grundgehalte oder häufig vorkommenden Werte in den unten angeführten Gesteinen bzw. Sedimenten und Böden gibt Tabelle 1:

SM-Gehalte in:	Cd [ppm]	Zn [ppm]	Pb [ppm]	Cu [ppm]
Tonsteinen	0,13*	95*	22*	45*
Schieferton	0,3*****	100*****	20*****	50*****
Geschiebemergel	0,3*	40*	20*	15*
	0,2*****	50*****	30*****	20*****
Sedimente	0,2-0,9''''''	21-100''''''	7-20''''''	4-45''''''
Meeresschlick	0,3*	96*	43*	15*
Böden	0,1-0,5**	10-150**	2-60***	10-50*****
	0,05-0,7'	10-100'	5-40'	5-35'
	0,8''	140''	85''	36''
	1'''	150'''	100'''	50'''
	0,06''''	10-300''''	10''''	2-100''''

Tab. 1: Grundgehalte oder häufig vorkommenden SM-Konzentrationen.

*WEDEPOHL 1984, KUNTZE et al. 1991

**BRÜMMER 1992

***SCHIMMING 1992

****TUREKIAN, K.K. u. WEDEPOHL, K.H. 1961

***** DVWK 1997

'FIEDLER 1993

''NIEDERLÄNDISCHE LISTE 1988

'''KLOKE 1993

''''MÜLLER, H.W. u. SCHWAIGHOFER, B. 1990

Betrachtet man die für den Vergleich mit obigen Hintergrundwerten doch (im Vergleich zur reinen Tonfraktion) maßgebenderen Gesamtgehalte, so zeigen die gemessenen Werte in der als weitgehend unbeeinflusst erachteten Dichtschicht keine auffälligen Überschreitungen, wodurch die Annahme natürlicher Werte vorerst bestätigt werden kann.

Beim Vergleich der Gesamtgehalte mit den Tonfraktionen ergeben sich nun gewisse Unterschiede, sowohl zwischen den SM, als auch zwischen der praktisch unbeeinflussten Dichtschicht und den kontaminierten Horizonten darüber.

Zunächst fällt auf, daß Pb einigermaßen überraschend und als einzige Ausnahme der untersuchten SM praktisch idente Werte in der Gesamt- wie in der Tonfraktion aufweist. Demgegenüber liegen die Werte der Tonfraktion innerhalb der Dichtschicht etwa für Zn ca. 2mal und jene für Cd ca. 1,5mal über deren Gesamtgehalten. Zieht man die Tongehalte der einzelnen Horizonte (durchschnittlich etwa 20 % innerhalb der Dichtschicht) in Betracht (s. Abb. 5), so müssen die Gehalte der restlichen etwa 80 % selbstverständlich geringer sein als die Gesamtgehalte. Betrachtet man das Datenmaterial der gemessenen SM nach Elimination von wahrscheinlichen Meßfehlern und/oder Inhomogenitäten einzelner Proben innerhalb ihrer Horizonte, so lassen sich rechnerisch Verhältniszahlen der Konzentrationen der Ton- und der Restfraktion in Form von Anreicherungsfaktoren ermitteln.

Diese lassen einen genaueren Vergleich zu und streichen tendentiell die Bedeutung der Tonfraktion noch mehr hervor. So ergeben sich als gewogene Mittelwerte innerhalb der als unbeeinflusst erachteten Dichtschicht für die betrachteten SM in ansteigender Reihenfolge Cd<Mn<Co<Zn<As<V<Cr Anreicherungsfaktoren von 2 bis 4,5 (mit Ausnahme von Pb mit 1,3). (s. dazu Abb. 11)

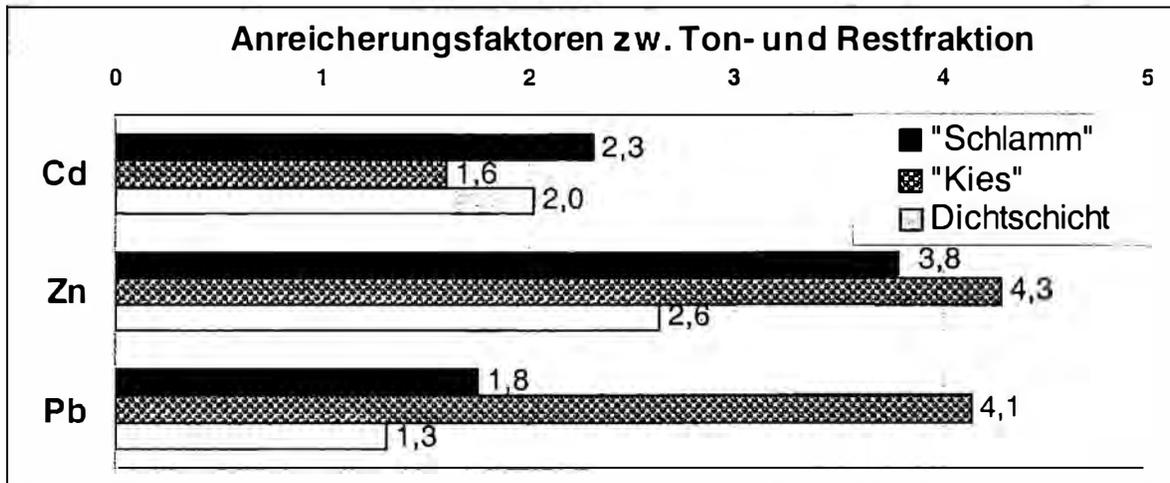


Abb. 11: Darstellung von Anreicherungs-faktoren als Verhältniszahlen zwischen den SM-Konzentrationen der Ton- und der Restfraktionen. Die Werte beziehen sich auf die Horizonte „Schlamm“, „Kies“, und die Dichtschicht, von der in Abhängigkeit der vorliegenden Horizontmächtigkeiten gewogene Mittelwerte errechnet wurden.

Dieses Phänomen der Anreicherung in der Tonfraktion bezieht sich nun nicht nur auf die vorliegenden Grundgehalte innerhalb der Dichtschicht, sondern auch auf die obersten vom Sickerwasser beeinflussten Horizonte.

Vor allem „Schlamm“ und „Kies“², die einander wegen ihrer Entstehung und Herkunft sehr ähneln, weisen (auf höherem Konzentrationsniveau) in der Tonfraktion ebenso eine Anreicherung auf, die manchmal noch höher sein kann, als in der unbeeinflussten Dichtschicht.

Zur Überprüfung, ob ein Zusammenhang zwischen Kontaminierung und Anreicherungsverhalten in der Tonfraktion besteht, wurden jene SM, bei denen methodische und analytische Fehler unwahrscheinlich waren und bei denen auf Grund von starken Konzentrationsunterschieden zwischen den obersten Horizonten und der praktisch unbeeinflussten Dichtschicht (sowohl in der Ton-als auch in der Restfraktion) von starker Kontamination durch Sickerwässer ausgegangen werden kann, in die engere Betrachtung einbezogen.

Von diesen SM (Cd, Pb und Zn) wurden schließlich Verhältniszahlen zwischen den Anreicherungs-faktoren der obersten, stark kontaminierten Horizonte und jenen der Dichtschicht errechnet, um etwaige Tendenzen oder Abhängigkeiten aufzuspüren (s. Abb. 12).

² Auf Grund sehr geringer Mengen der Fraktion <2mm (Abtrennung der Kiesfraktion als Hauptbestandteil) wurde keine KGA und TMA durchgeführt, daher erfolgte durch Rückrechnung vorhandenen Probenmaterials und durch Vergleichen mit der verwandten Probe „Schlamm“ eine Abschätzung des Tongehaltes, der auf Werte zw. 2-6% eingegrenzt werden konnte; ebenso kann eine der Probe „Schlamm“ praktisch idente TM-Verteilung postuliert werden, da die feineren Fraktionen von „Kies“ aus dem Horizont „Schlamm“ verlagert wurden.

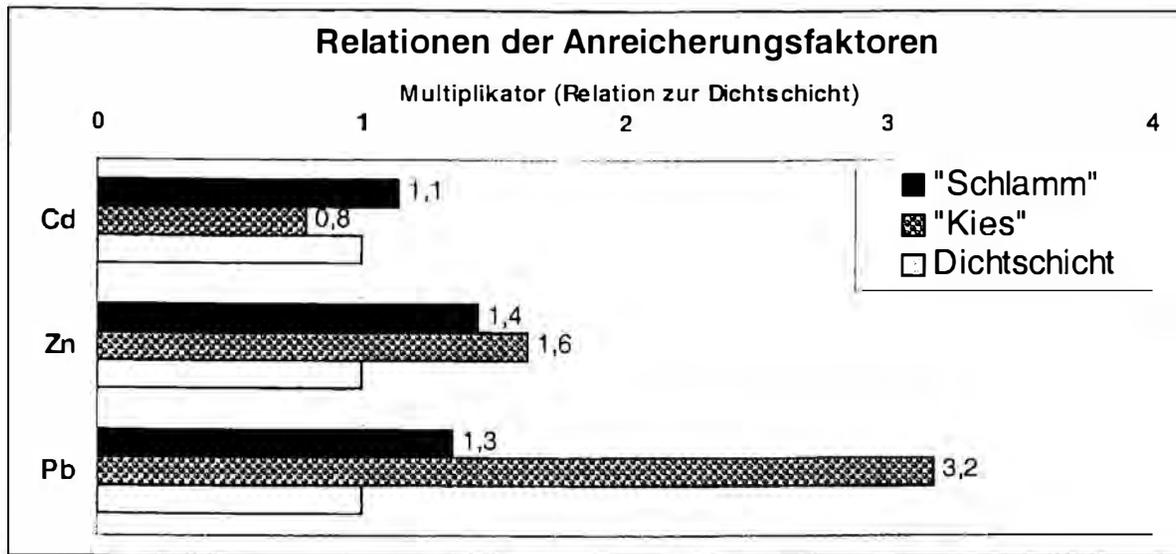


Abb. 12: Für die 3 betrachteten SM wurden die Anreicherungsfaktoren der kontaminierten Horizonte „Schlamm“ und „Kies“ in Relationen zu jenen der Dichtschicht gesetzt. Die angezeigten Werte sind demnach ein Vielfaches der jeweiligen Dichtschicht-Anreicherungsfaktoren.

Cd verhält sich praktisch unauffällig, Zn und Pb hingegen zeigen eine, im Vergleich zur hier als natürlich erachteten Verteilung der SM-Gehalte auf Ton- und Restfraktion innerhalb der Dichtschicht, verstärkte bzw. überproportionale Anreicherung in den Tonfraktionen der stark kontaminierten Horizonte.

Dabei zeigt sich im Falle von Zn eine bis 1,6-fach und bei Pb eine bis 3,2-fach stärkere Anreicherung als innerhalb der von Sickerwässern noch unbeeinflussten Dichtschicht mit ihren natürlichen Grundgehalten und Konzentrationsverteilungen auf die Ton- und Restfraktionen.

Grundsätzlich zeigen die großen Konzentrationsunterschiede zwischen kontaminierten Horizonten und der überwiegend unbeeinflussten Dichtschicht das noch in großer Schichtmächtigkeit zur Verfügung stehende Adsorptionspotential und Aufnahmevermögen dieser Horizonte.

Darüberhinaus wird die große Bedeutung hoher Quantitäten an Tonfraktion deutlich, die einerseits von Natur aus ein stärkeres Adsorptionsverhalten als die (v.a. gröberen) Restfraktionen aufweist und deren Adsorptionstätigkeit andererseits zumindest im konkret gemessenen Fall von Pb und Zn offensichtlich mit zunehmender Kontamination überproportional im Vergleich zur Restfraktion ansteigen dürfte.

Dabei liegt die berechtigte Vermutung nahe, daß auch bei der großen Restfraktion sinnvoll zu differenzieren wäre, und etwa die Schluff-Fraktion durch ihre relativ geringe Korngröße und ihren, wenn auch begrenzten, Gehalt an TM ein höheres Adsorptionspotential besitzt als noch größere Fraktionen.

Hinzugefügt sei, daß die oben durchgeführten Überlegungen unter dem Gesichtspunkt mehr oder weniger konstant vorliegender TM-Verteilungen zu sehen sind und der qualitative Einfluß bei der Beurteilung der SM-Adsorption durch die Tonfraktion noch zusätzlich Berücksichtigung finden muß.

4.3.2.2. Konzentrationsprofile von Horn

In Abb. 13 sind die Konzentrationsprofile der SM Cu, Zn und Pb dargestellt. Alle drei zeigen modellhaft hohe Werte in den obersten Bereichen, die in direktem Kontakt mit kontaminiertem Sickerwasser standen, aber bereits nach 1-2 cm sinken die Konzentrationen auf konstant niedrige Niveaus, die den geogenen Hintergrundgehalten entsprechen (s. Tab.1). Die Zn- und Pb-Gehalte liegen nur geringfügig höher als in Gmünd und zeigen im Bereich der kontaminierten Oberfläche und der Dichtschicht sehr ähnliche Verläufe.

Bei einer Tiefe von 54 cm zeigt sich allerdings ein mehr oder weniger ausgeprägtes, aber recht sprunghaftes Absinken der meisten SM-Gehalte, wie auch z.B. von Zn, was eindeutig mit den an Bauschutt angereicherten Horizonten im Liegenden der Dichtschicht korreliert werden kann.

Besonders interessant ist ein erneuter Anstieg vieler SM-Konzentrationen ab etwa 62 cm Tiefe. Dieser kann, wie im Falle von Pb, z.T. enorm sein und ist, ebenso wie der gleichlaufende Anstieg der Anionenkonzentrationen bzw. der Leitfähigkeit (s, Abb. 9), auf die erwähnte Altlast im untersten Bereich der Rösche zurückzuführen.

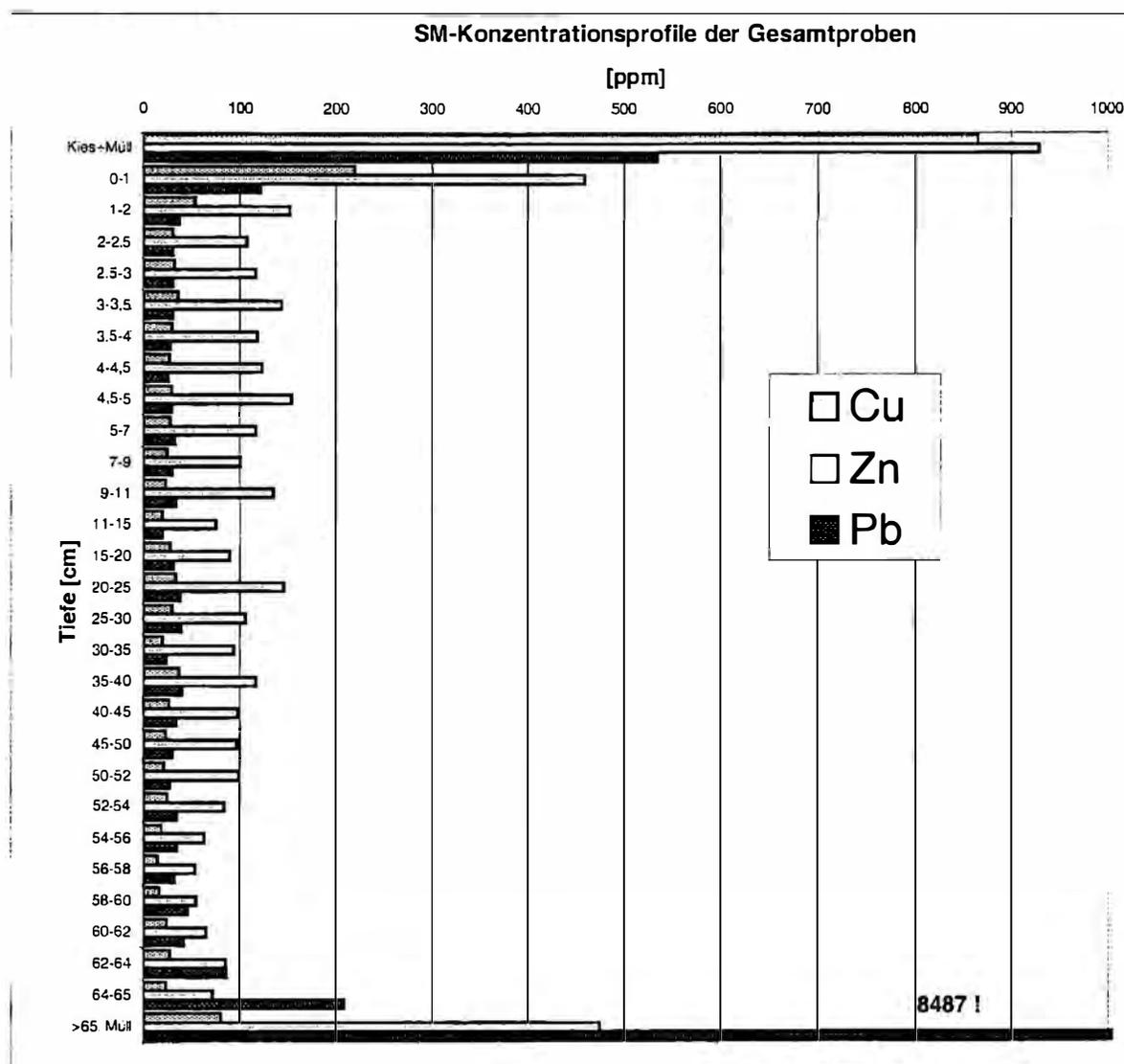


Abb. 13: Konzentrationsprofile beispielhaft ausgewählter SM in der Rösche 1, Horn. Bemerkenswert ist das rasche Absinken in den obersten cm und der enorme Anstieg durch die Altlast im Liegenden.

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, die Wirksamkeit der untersuchten Dichtschichten gegenüber kontaminierten Sickerwässern, denen sie 10 - 15 Jahre ausgesetzt waren, hinsichtlich geringer hydraulischer Leitfähigkeit und hoher Schadstoffretardation (Schwermetalle und Anionen) zu prüfen.

Zu diesem Zweck wurden zunächst Korngrößenanalysen durchgeführt, um den Tongehalt zu bestimmen und um die Verteilung der einzelnen Kornfraktionen zu erfassen.

Grundsätzlich zeigte sich ein recht homogener Aufbau der Dichtschichten, wobei allerdings in Horn der berechnete Verdacht besteht, daß hier zwei verschiedene Lieferchargen am Aufbau beteiligt waren. Auf Basis zweier Durchlässigkeitsversuche im Bereich der obersten 15 cm der Horner Dichtschicht mit k_f -Werten um 10^{-11} m/s kann durch Vergleiche mit Kornsummenkurven tieferer Horizonte eine sehr geringe Durchlässigkeit festgestellt werden. Durch geringere Tongehalte in Gmünd (mind. 20 - 25 %) kann auch von etwas geringeren Durchlässigkeiten ausgegangen werden.

Die für die Schadstoffretardation in tonigen Barrieren wichtige quantitative und qualitative Tonmineralverteilung zeigt einerseits eine Unabhängigkeit vom Tongehalt, andererseits bei beiden Deponien eine eindeutige Kaolinit- bzw. Fireclaydominanz von etwa 80 - 90 %. Neben Illit kommt auch der quellbare und für die Adsorption von Schwermetallen wichtige Smectit in quantifizierbaren Mengen vor, in Horn bis 15 %.

Sowohl Korngrößenanalyse als auch durchgeführte gesamt- und tonmineralogische Untersuchungen waren erste Hinweise auf das Rückhaltepotential der untersuchten Tone.

Die Erstellung von Konzentrationsprofilen von Anionen und v.a. Schwermetallen sollte schließlich die Grundlage für konkretere Aussagen zum Migrationsverhalten dieser Schadstoffe bzw. zum Rückhaltevermögen der Dichtschichten darstellen.

Anionen, die auf Grund ihrer Ladung relativ mobil sind, konnten einige cm in die Dichtschicht eindringen, wohingegen Schwermetalle bereits in den obersten Bereichen der Dichtschichten Werte erreichten, die als geogen zu bezeichnen sind.

Besonders interessant ist der Vergleich der Schwermetalladsorption in der Gesamt- und in der Tonfraktion der Gmünder Dichtschichthorizonte. Dabei zeigt sich einerseits eine deutliche Anreicherung in der Tonfraktion, andererseits gibt es besonders bei Pb und Zn Hinweise darauf, daß es bei starker Kontamination, wie sie in den obersten Horizonten vorlag, zu überproportionaler Anreicherung kam.

Die bisher vorliegenden Untersuchungen unterstreichen auf deutliche Weise die Wirksamkeit der alten Dichtschichten durch erfolgreichen Schadstoffrückhalt und noch unausgeschöpftes Potential und demonstrieren gleichzeitig die Bedeutung der Tonfraktion und der Tonminerale hinsichtlich geringer Durchlässigkeiten und hoher Adsorption.

Quellenverzeichnis

BRÜMMER, G.W. 1992 in: DVWK 1997

DVWK 1988: Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen ; 1 [verantw. Hrsg. Dt. Verb. für Wasserwirtschaft u. Kulturbau e.V. (DVWK). Bearb. vom DVWK-Fachausschuß "Standort u. Boden"]. - Hamburg [u.a.] : Parey, 1988. - IV, 8 S. (DVWK-Merkblätter zur Wasserw. ; 212)

- DVWK 1997: Sanierung kontaminierter Böden. / [DVWK-Fachausschuß 4.2 "Sanierung kontaminierter Böden"]. - Bonn : Wirtschafts- und Verl.-Ges. Gas und Wasser, 1997. - XV, 267 S. (Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau ; 116)
- FIEDLER, H.J. 1993 in: LEWANDOWSKI, J. et al. 1997
- HÖLTING, B. 1992: Hydrogeologie: Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. - 4., überarb. Aufl. - Stuttgart : Enke, 1992. - XI, 415 S.
- KLOKE, A. 1993 in: LEWANDOWSKI, J. et al. 1997
- LEWANDOWSKI, J., LEITSCHUH, S., KOSS, V. 1997: Schadstoffe im Boden: eine Einführung in Analytik und Bewertung (m. Versuchsanleitungen). - Berlin [u.a.] : Springer, 1997. - XVIII, 339 S
- MÜLLER, H.W. u. SCHWAIGHOFER, B. 1990: Schwermetallgehalte in Sedimenten der Fließgewässer, in: Kärntner Fließgewässergüteatlas, Klagenfurt.
- NIEDERLÄNDISCHE LISTE 1988 in: LEWANDOWSKI, J. et al. 1997
- OBERHAUSER, R. (1980): Der geologische Aufbau Österreichs. -hrsg. von d. Geolog. Bundesanst. Wissenschaftl. Red.: R. Oberhauser. Beitr. von: F. K. Bauer ... - Wien [u.a.] : Springer, 1980. - XIX, 699 S.
- ÖKOPLAN 1993: Gmünd – Sanierung/Anpassung an den Stand der Technik
- SCHIMMING 1992 in: DVWK 1997
- STEININGER, F.F. (1996): Erdgeschichte des Waldviertels, Waldviertler Heimatbund, 1996, Schriftenreihe des Waldviertler Heimatbundes ; 38
- TOLLMANN, A. 1985: Geologie von Österreich. – Wien: Deuticke
Band 2. Außerzentralalpiner Anteil : 27 Tabellen. - 1985. - XV, 710 S
- TUREKIAN, K.K. u. WEDEPOHL, K.H. 1961 in: DVWK 1988
- WEDEPOHL, K.H. 1984, KUNTZE et al. 1991 in: BLUME, H.P. 1992: Handbuch des Bodenschutzes. - 2., überarb. u. wesentlich erw. Aufl. - Landsberg, Lech : Ecomed, 1992. - XXII, 794 S.
- WERNER, H. & Partner (1993): Mülldeponie Horn, Sanierung und Weiterbetrieb, Einreichprojekt

Autoren:

Hannes KUGLER & Bernd SCHWAIGHOFER, Univ.Prof.Dr.
Institut für Angewandte Geologie
Universität für Bodenkultur Wien
1190 Wien, Peter Jordan-Str. 70