

DIE STABILITÄT DER INDUSTRIESCHLAMMABLAGERUNGEN DER SOLVAY IM TRAUNSEE

Reinhard Gratzer⁽¹⁾, Christian Schmid⁽²⁾, Jürgen Schön⁽³⁾ und Walter Vortisch⁽¹⁾

¹⁾ gratzer@mu-leoben.at, Walter.Vortisch@unileoben.ac.at, Department für Angewandte Geowissenschaften und Geophysik, Montanuniversität Leoben, A-8700 Leoben, ²⁾ schmid@unileoben.ac.at, ZT-Büro Dr. Schmid, Grüner Wald 12, A- 4810 Gmunden, Austria, ³⁾ juergen.schoen@aon.at, Adam von Lebenwald Weg 40, A-8700 Leoben.

ZUSAMMENFASSUNG/ABSTRACT

Die beiden Kernbohrungen Sov-1 und Sov-2 erbohrten in der Ebenseer Bucht Industrieschlammablagerungen der SOLVAY mit Mächtigkeiten von 18 bzw. 34 m mit steifer bzw. breiiger Konsistenz. Geophysikalische Bohrlochmessungen belegen einen relativ homogenen Aufbau mit wechselnder Beimengung silikatischer Brennpunkte. Durchgeführte sedimentpetrographische Untersuchungen hinsichtlich Mineralbestand, Korngrößenverteilung und Mineralumbildung bzw. -neubildungen ergaben keine Hinweise auf Zementationsvorgänge, die für die geotechnischen Eigenschaften der Industrieschlammablagerung von Bedeutung sein könnten. Für das Auftreten von größeren Massenbewegungen (Seiches), die entsprechende Oberflächenwellen des Wasserkörpers erzeugen könnten, besteht auf der Grundlage der gegenwärtigen Datenlage keine Wahrscheinlichkeit. Der jetzt vorliegende, langgestreckte, im Verhältnis zu seiner Länge, gering mächtige Industrieschlammkörper lässt sich durch ruhiges Weiterfließen, der an den Einleitstellen eingebrachten Suspensionen, erklären. Eine nähere Untersuchung der zur Einleitstelle distal gelegenen Industrieschlammablagerung könnte über den sedimentologischen Einfluss von Trübestromtransport weitergehende Auskunft geben. Die untersuchten, mit dem Industrieschlamm eingeleiteten, industriellen Brennpunkte könnten hierbei als "Leitminerale" dienen.

Deposited industrial sludge of the Solvay plant of 18 respectively 34 m thickness were obtained from two core drillings (Sov-1 and Sov-2) in the bay of Ebensee (Traunsee, Austria). The sludge is of plastic respectively liquid state. Geophysical well testing allocate a relative homogeneous composition with changing constituents of siliceous combustion compounds. Sedimentological investigations with respect to mineral content, grain size distribution, mineral recrystallization and neof ormation give no evidence to cementation processes which could be important for the geotechnical properties of the deposited industrial sludge. At present available data argue against the probability of larger mass movements (seiches) which could trigger appropriate surface waves. The marginal mighty, in proportion to its length, elongated body of industrial sludge could be explained by a smooth continuous flow of suspension on its discharge site. Information about the effect of turbiditic transport on sedimentology is expected from detailed investigations of the industrial sludge deposited distal to its discharge site. The investigated industrial combustion products, discharged together with the sludge, could be used as minerals tracers in these studies.

I. EINLEITUNG

Seit dem Bestehen der SOLVAY in Ebensee werden die anfallenden Abfallprodukte in die Ebenseer Bucht des Traunsees eingeleitet. Die Technik der Entsorgung wurde seit Bestehen des Werkes mehrfach geändert. Zuletzt erfolgte diese mittels Schwimmsteg, wobei die gelösten Abfälle sowie 50% der Abfall-Feststoffe in 0,5 m Tiefe und die restlichen 50% an Feststoff in 40 m Tiefe eingeleitet wurden. Wasserrechtliche Genehmigungsbescheide regelten die einzubringenden Mengen, die sich seit 1927 von 135t/d auf 660 t/d an gelösten Stoffen und 300 t/d an Feststoffen erhöht haben.

Bereits 1976 wurde vom Amt der Oberösterreichischen Landesregierung die Studie „Limnologische Untersuchung Traunsee-Traun“ beauftragt. Dieser folgten 1980 erste Untersuchungen der Industrieschlammhäufung in der Bucht von Ebensee mit den von der Einleitstelle ausgehenden Industrieschlamm-Turbiditen (Müller, Schneider 1984).

Diesen Arbeiten schließen sich die Untersuchungen von Baumgartner (1987, 1997) und Semprich (1994) [in: J. Müller 2000b] an, mit der Zielsetzung, die mechanische Stabilität des Industrieschlammkegels zu beurteilen. Im Akademieprojekt „Auswirkung der SOLVAY-Emission auf die ökologische Funktionsfähigkeit des Traunsees“ (Schmidt 1998-2000) werden die Bereiche Sediment, Benthos und Pelagial in Freiland und Labor untersucht. Obwohl die im Kapitel Sediment erarbeiteten Aussagen weitgehend mit den früheren Untersuchungen übereinstimmen, gibt es bezüglich des Gefahrenpotentials, welches von dieser Industrieschlammhäufung

ausgehen kann, gewisse Unsicherheiten. So wurden bereits 1984 Überlegungen über die Auswirkung von Großbrutschungen im Bereich des Industrieschlammkegels angestellt. Internstrukturen, die aus den flachseismischen Untersuchungen abgeleitet werden können, könnten auf wiederholte Schervorgänge zurückzuführen sein. Dies steht im Widerspruch zu den Schlussfolgerungen der Stabilitätsberechnungen (Baumgartner 1997). Dementsprechend ist beim derzeitigen Kenntnisstand über die geotechnischen Eigenschaften des Industrieschlamm-Materials nach wie vor offen, ob sich Massenverlagerungen als Kriechbewegungen entwickeln, oder ob hier auch mit einer raschen Gleitung einer mehrere Millionen m³ umfassenden Masse zu rechnen ist. Auch Baumgartner (1997) stellt fest, dass im Falle einer Naturkatastrophe, z. B. lokales Beben, eine Großbrutschung in Betracht zu ziehen wäre. Nach Vorliegen der Projektstudie Traunsee (Schmidt 2000) wurde daher von Müller (2000a) ein Konzept zur Untersuchung der Standfestigkeit der Industrieschlammhalde im Traunsee bei Ebensee ausgearbeitet.

Um diese Unsicherheit hinsichtlich eines möglichen Gefährdungspotentials endgültig bewerten zu können, wurde in Anlehnung an das Konzept (Müller 2000) vom Land Oberösterreich die „Untersuchung des Stabilitätszustandes der Industrieschlammablagierung – Projekt Solvay“ beauftragt, deren wesentlicher Inhalt in der vorliegenden Arbeit wiedergegeben wird.

II. BOHRUNGEN

Sowohl im weiterführenden Untersuchungskonzept (Müller 2000) als auch in den Arbeiten von Baumgartner (1997) werden Bohrungen in die Industrieschlammablagierung für die notwendigen weiterführenden geomechanischen Untersuchungen gefordert. Diese Bohrungen sollten als off-shore-Bohrungen mit durchgehender Kerngewinnung und begleitenden geophysikalischen Bohrlochmessungen ausgeführt werden, wodurch eine detaillierte Gliederung und Bewertung des in-situ Zustandes des Industrieschlammkörpers und der darunter lagernden quartären Sedimente sowie eine detaillierte Beprobung ermöglicht wird. Beim eingesetzten Bohrverfahren handelt es sich um eine Seilkernbohrung. Dabei wurde das Probenmaterial durch ein 3-fach Kernrohr gewonnen. Dabei werden die Proben bereits während des Bohrvorgangs durch ein Inliner-Rohr vor jeglicher Veränderung bestmöglich geschützt.

Da die beiden Aufschlussbohrungen die Grundlage für das gegenständliche Untersuchungsprogramm hinsichtlich Gefährdungspotential darstellen und nach übereinstimmender Auffassung eine Großbrutschung nur aus dem Hauptteil des Industrieschlamm-Kegels entstehen kann, wurde der Ansatzpunkt für die erste Aufschlussbohrung so gewählt, dass er in der Nähe der Einleitstelle liegt, wo mit den größten Schlammmächtigkeiten zu rechnen ist. Des weiteren wurde die Morphologie des Seeuntergrundes und die Beeinflussung durch das Traundelta berücksichtigt. Die exakte Positionierung erfolgte durch Echolotmessungen. Dabei zeigte sich, dass die geringste Wassertiefe (ca. 40 m) in unmittelbarer Nähe des östlichen Einleitsteiges gegeben ist. An dieser Lokalität wurde die Bohrung Sov-1 abgeteuft (Abb.1, 2).

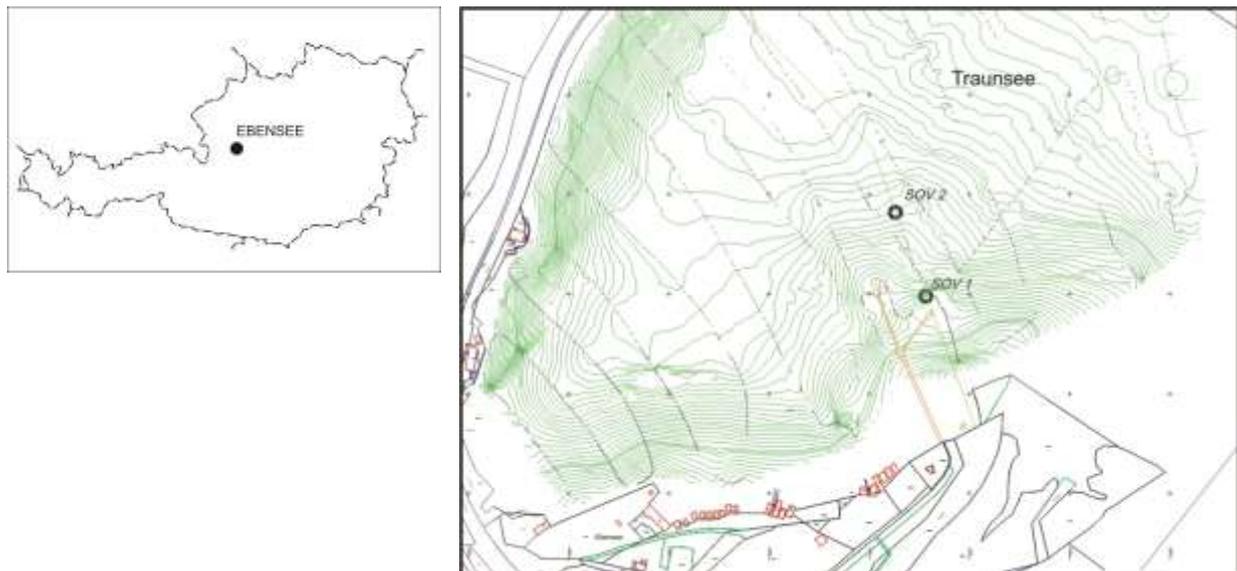


Abb. 1: Detailansicht der Ebenseer Bucht, Relief des Untergrundes, Einleitsteg sowie die beiden Bohrungen Sov-1 und Sov-2



Abb. 2: Bohranlage Wirt Eco 1 auf Ponton montiert verankert an der Bohrstelle im Traunsee

Bohrung Sov-1:

Nach dem Einbringen der Bohrhilfsverrohrung bis zur Oberkante des Industrieschlamm-Kegels begannen bei einer Wassertiefe von 41 m die Kernbohrarbeiten und erreichten den quartären Seeuntergrund in 59 m Tiefe. Die Endteufe der Bohrung liegt bei 71 m. Im Anschluss an die Bohrarbeiten erfolgten die ersten geophysikalischen Bohrlochmessungen in der Bohrhilfsverrohrung, die nach Ausbau der Bohrung mittels PVC-Verrohrung wiederholt wurden.

Das Kernmaterial zeigt bis in eine Tiefe von 47,2 m ein verhältnismäßig einheitliches Industrieschlammmaterial, wobei helle Bereiche auf einen erhöhten Beitrag von Feinmaterial hinweisen. Zwischen 50 m und 51,2 m ist eine graue Färbung des Materials auffällig. Gegen das Liegende bis an die Basis der Industrieschlammablagerung bei 59 m wurde wiederum weitgehend monotoner heller Industrieschlamm erbohrt (Abb. 3, Abb. 4). Der Übergang von Industrieschlamm zu den quartären Sedimenten ist am Kernmaterial nicht eindeutig erkennbar, jedoch geophysikalisch aufgrund der gesteinsphysikalischen Unterschiede klar ausgeprägt.



Abb. 3: Sov-1, 46,2-47,2, Industrieschlamm mit feinsandigem Habitus

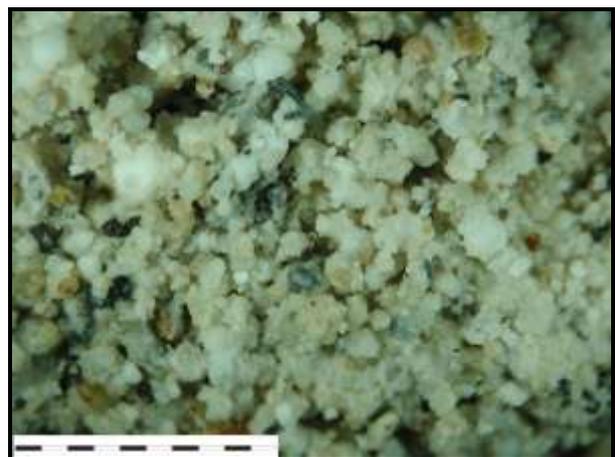


Abb. 4: Sov-1, Gesamtprobe, bergfeucht, Balken 4 mm

Bohrung Sov-2:

Nach Verankerung der Bohrplattform (Abb. 2) erfolgt die Einbringung einer Bohrhilfsverrohrung bis zur Oberkante des Industrieschlammkegels (-61 m u. GOK). Dabei zeigte sich, dass in diesem Bereich der Industrieschlamm eine völlig andere Konsistenz aufweist als an der Bohrstelle von Sov-1. Während bei der Bohrung Sov-1 die Bohrhilfsverrohrung erst nach dem Herausbohren des Kerns nachgezogen werden konnte, war der Industrieschlamm hier so duktil, dass die Bohrhilfsverrohrung durch das Eigengewicht in den Industrieschlamm abgetaucht wäre.



Abb. 5: Sov-2, 87-89 m, Industrieschlamm: schlackenarme (weiß) und reich an Schlacke (schwarz)

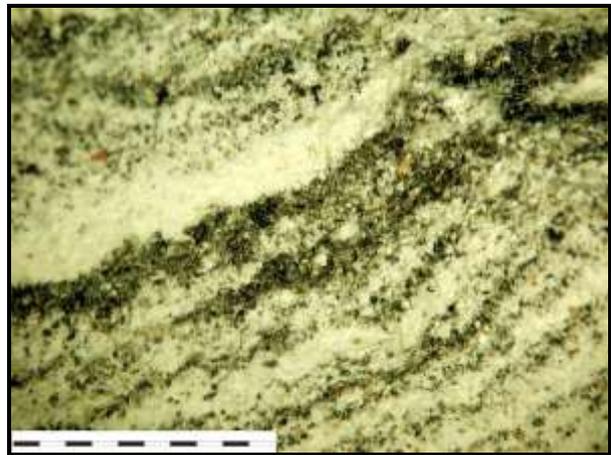


Abb. 6: Sov-2, Gesamtprobe, trocken schlackenarme (weiß) und schlackenreiche Lagen (schwarz) im Industrieschlamm, Balken 4 mm

Die Kernbohrarbeiten begannen in einer Tiefe von 61 m und erreichten den quartären Seeuntergrund bei 95 m. Ab einer Tiefe von 100 m wurden die Bohrarbeiten durch im Sediment eingelagertes Schwemmholz stark behindert. Ein artesischer Überlauf bei 105 m infolge eines Gas-Lifts (Abb. 7), der ca. 1 Stunde andauerte, erschwerte zusätzlich die Bohrarbeiten.

Das Kernmaterial bis in eine Tiefe von 69 m besteht aus einer hellen, teilweise weißen schluffigen Industrieschlammmasse. Im Liegenden folgt Industrieschlamm im Korngrößenbereich von Mittel- bis Feinschluff mit Wechsellagerungsstrukturen im mm-Bereich (Abb. 5, Abb. 6). Lokal sind Anreicherungen von Asche bzw. Schlacke erkennbar. Der Übergang vom Industrieschlamm zu quartärem Seeuntergrund ist an dieser Bohrstelle deutlich ersichtlich.

III. BOHRLOCHGEOPHYSIK

In den beiden Bohrungen Sov-1 und Sov-2 wurden bohrlochgeophysikalische Messungen vorgenommen, um

- die tiefenmäßige Abgrenzung des Industrieschlammkörpers gegen den Seeuntergrund vorzunehmen und
 - zusätzliche Aussagen zum Stoffbestand sowie der Lagerungsdichte des Industrieschlammkörpers abzuleiten.
- Abbildung 7 zeigt für die Bohrung Sov-1 eine Auswahl der Messkurven, die in der PVC-ausgebauten Bohrung gemessen wurden. Es sind dargestellt (von links nach rechts):
- die Kurve der natürlichen Gammastrahlung: Diese Kurve ist ein Maß für den Gehalt gering strahlender Gesteinsbestandteile.
 - die aus einem Gamma-Gamma-Log berechnete Kurve des Dichteverlaufes
 - die Intensität der mit einer Neutronsonde gemessenen Strahlung.

Die Messkurven (Logs) erlauben eine klare Abgrenzung sowohl des Seewassers gegen den Industrieschlammkörper als auch des Industrieschlammkörpers gegen den natürlichen Seeuntergrund. Dabei sind folgende Merkmale und Ursachen maßgebend:

Die Gammastrahlung ist im Seewasser praktisch Null; sie steigt im Industrieschlammkörper bei 41 m Tiefe sprunghaft an (Ursache sind dabei vor allem Aschebestandteile) und nimmt bei 59 m Tiefe stufenartig ab; dies zeigt den Übergang in den Seeuntergrund an.

Das Dichtelog nimmt beim Übergang Seewasser – Industrieschlammkörper sprunghaft zu; eine weitere Zunahme tritt beim Übergang aus dem locker gelagerten Industrieschlammkörper in den dicht gelagerten und kompaktierten Seeuntergrund auf.

Die Kurve der Neutronintensität zeigt Veränderungen der vor allem durch den Wasserstoff (bzw. das Wasser) bedingten Bremswirkung für Neutronen an. Hieraus resultiert die stufenartige, scharfe Veränderung beim Übergang Seewasser – Industrieschlamm und Industrieschlamm – Seewasser.

Die Messkurven erlauben darüber hinaus Aussagen zum Aufbau des Industrieschlammkörpers. Nach dem Dichtelog ist dieser relativ homogen aufgebaut. Die Veränderungen im Gammalog (und in geringerem Maße im Neutronlog) weisen auf Unterschiede in der stofflichen Zusammensetzung vor allem der Aschekomponenten hin.

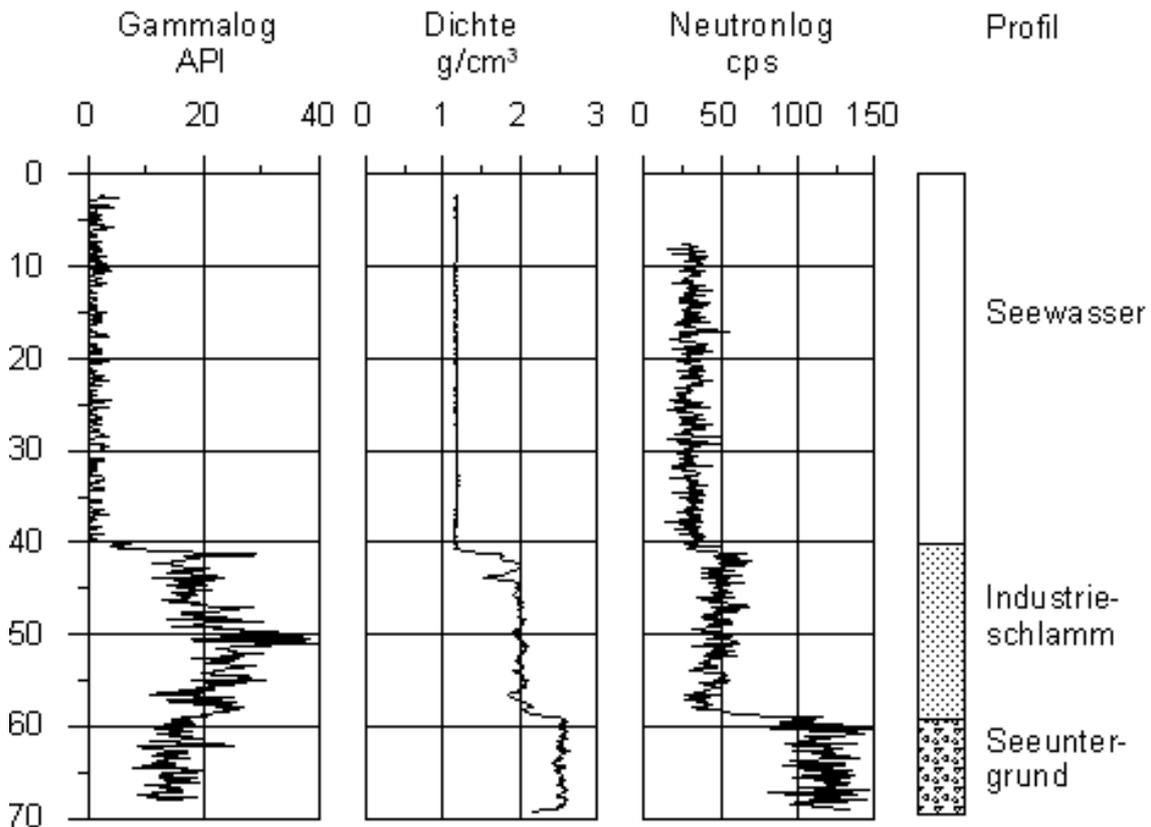


Abb. 7: Ergebnisse geophysikalischer Bohrlochmessungen in der Bohrung Sov-1. Es sind dargestellt (von links nach rechts): die Kurve der natürlichen Gammastrahlung in API-units, die Gamma-Gamma-Dichtekurve in g/cm^3 , die Kurve der Neutronintensität in cps (counts per second).

IV. SEDIMENTOLOGIE

Korngrößenverteilung

Die Kornverteilungslinien aus Proben der Bohrung Sov-1 zeigen, dass sich diese nur geringfügig von einander unterscheiden (Abb. 8, Abb. 9). Generell liegt eine Verteilung mit Schwerpunkt im Sandkornbereich vor, wobei die Kornfraktion zwischen 1 und 0,5 mm (Mittel- bis Grobsand) mit etwa 30-40 Gew.-% ein Maximum in der Häufigkeitsverteilung bildet. Ein zweites nur sehr untergeordnet ausgebildetes Maximum zeichnet sich im Bereich zwischen 63 und 33 μm (Grobschluff) ab. Es deutet sich somit für die meisten Proben eine bimodale Verteilung an, wobei neben einer relativ steilen Kurve im Sandbereich meist eine deutlich weitgestufte Korngrößenverteilung vorliegt. Dies ergibt den Eindruck, dass hier zwei Kornpopulationen vermischt auftreten. Der Schlammkornanteil liegt bei diesem Probenkollektiv um die 20 Gew.-%.

Die Proben der Bohrung Sov-2 weisen im Vergleich zum Material der Bohrung Sov-1 eine deutlich andere Kornverteilung auf. Es dominiert hier der Schluffanteil mit etwa 80 Gew.-%, der dabei im Bereich zwischen 63 und 33 μm ein deutliches Maximum mit ca. 40 Gew.-% des Gesamtkorns bildet. Der Sandanteil liegt bei etwa 20 Gew.-%. Die Industrieschlammablagerung im Bereich der Bohrung Sov-2 unterscheidet sich somit deutlich von jener der Bohrung Sov-1.

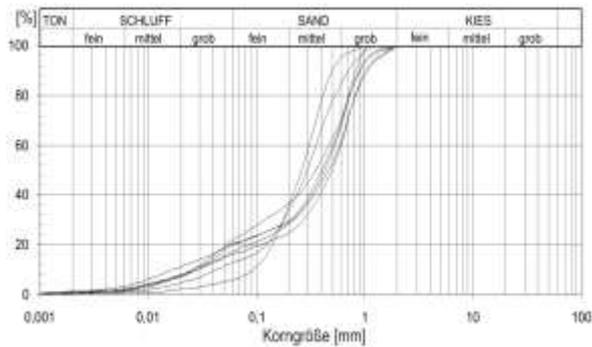


Abb. 8: Bohrung Sov-1, Korngrößenverteilung der Proben 1a-f

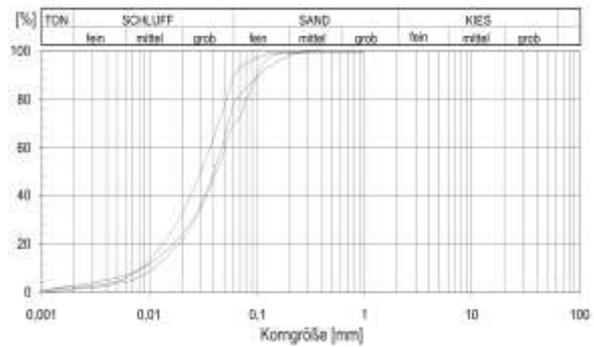


Abb. 9: Bohrung Sov-2, Korngrößenverteilung der Proben 2a-d

Chemismus des subaquatischen Haldenmaterials

Wie nicht anders zu erwarten wird der Chemismus des erbohrten Materials aus der Industrieschlammablagerung durch die extrem hohen Ca-Gehalte dominiert, die in Form von Karbonat und nur untergeordnet von Kalziumhydroxid bzw. Sulfat vorliegen. Die CO₂-volumetrische Bestimmung zeigte Werte zwischen 61-77 Gew.-% (Sov-1) bzw. 73-84 Gew.-% (Sov-2) bezogen auf Kalziumkarbonat. Aussagekräftiger hinsichtlich einer Differenzierung einzelner Proben ist der säureunlösliche Rückstand, der je nach Bohrung zwischen 12-27 Gew.-% (Sov-1) bzw. 6-15 Gew.-% (Sov-2) variiert. Dieser Rückstand korreliert im wesentlichen mit der dem Industrieschlamm beigemengten Kesselschlacke bzw. Asche.

Tab. 1: Röntgendiffraktometrisch nachgewiesene Mineralphasen in der Bohrung Sov-1

	Sov-1a (45-46)	Sov-1b (47,2-48)	Sov-1c (48-49)	Sov-1d (51-51,5)	Sov-1e (52-53)	Sov-1f (54-55)	Sov-1g (57,5-58,5)
Lösungsrückstand aus Essigsäure	20,23	23,73	19,42	27,60	27,11	13,49	12,59
Lösungsverlust ohne (Karbonat + Portlandit) [%]	4,3	1,3	3,0	10,6	1,4	17,9	11,9
Unbekannte Phase im Rückstand bei ca. 5,05Å	S	S	S	S	S	S	S
Kalzit aus CO ₂ -Volumetrie	75,5	75,0	77,6	61,8	68,5	68,6	75,3
Dolomit [%]	S?	S?	-	S	S	S	S
Portlandit [%]	-	-	-	1	-	9,5	2,1
hydratisierte? Phase ⁴⁾ [%]	~ 3	~ 1-2	~ 1	~ 9	~ 3	~ 11	~ 12
Gips [%]	-	-	-	-	-	-	-
Feldspat [%]	S	S	S	S	S	S	S
Quarz [%]	5	4	3	4	4	S	S
Cristobalit [%]	+ ²⁾	+ ²⁾	+ ²⁾	+ ²⁾	+ ²⁾	S ³⁾	S ³⁾
Hämatit [%]	S	S	S	S	S	S	S
Mullit [%]	S	S	S	S	S	S	S

Anmerkungen:

- 1) S = Spuren
- 2) + = geringe Anteile, aber in Gesamtprobe noch gut nachweisbar
- 3) Nur im unlöslichen Rückstand nachweisbar
- 4) Lösliche Phase, über die Lösungsverlustdifferenzen der an dieser Phase relativ reichen Proben (1d, 1f, 1g; hilfswise als Standards benutzt) quantifiziert, vermutlich Ca₂Al(OH)₂ · 6,5H₂O (JCPDS 160-339) oder verwandte Phase

Die Korrelationen der untersuchten Hauptelemente mit dem unlöslichen Rückstand zeigten die zu erwartenden Tendenzen. So bilden die silikattypischen Elemente Al und K gegen den unlöslichen Rückstand einen positiven und wie zu erwarten, Ca einen schwach negativen Trend. Bei Magnesium hingegen ist keine eindeutige Korrelation gegeben. Eine Sonderstellung nehmen die beiden sulfatreichen Proben der Bohrung Sov-2 ein. Von Interesse sind in diesem Zusammenhang die Sr-Werte, da diese bei Karbonaten und noch ausgeprägter bei Sulfaten Anzeiger für evaporitische Bildungsbedingungen darstellen. Für die Industrieschlammablagerung kann somit das Strontium als Indikator für die Beteiligung salinaren Materials gewertet werden.

Mineralbestand – Röntgendiffraktometrie

Der Kalzit bildet in beiden Bohrungen die dominante Mineralphase, wobei die durchschnittlichen Gehalte in der Bohrung Sov-2 höher sind als in der Bohrung Sov-1. Auffällig ist dabei, dass beide Bohrungen in ihren oberen Bereichen vergleichbare Werte aufweisen, sich hingegen in ihren tieferen Bereichen deutlich unterscheiden. Die Kalzitgehalte sind in der Bohrung Sov-2 gegenüber Sov-1 erhöht (Abb. 10, Tab.1, Tab.2).

Als weitere, leicht lösliche Mineralphase wurde Aragonit festgestellt, der nach Müller und Schneider (1984) sowie Schmidt (2000) auf eine Neubildung aus dem Solvay-Prozess zurückgeführt wird. Eine biogene Methanbildung gefolgt von mikrobieller Oxidation ist in diesem Zusammenhang jedoch auch zu diskutieren (Aloisi et al. 2000).

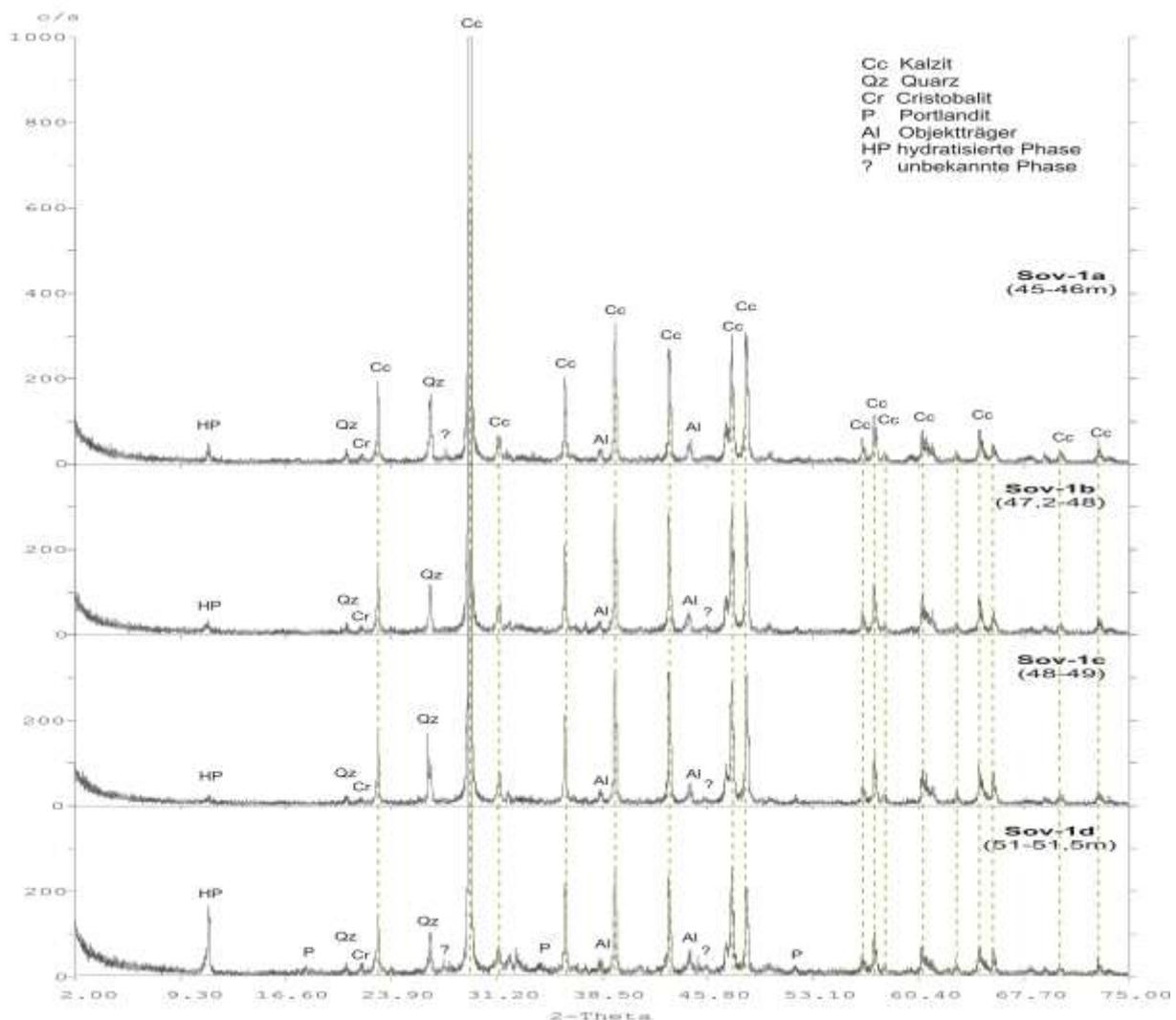


Abb. 10: Röntgendiffraktogramme der Proben Sov-1(a-d), jeweils Gesamtmaterial, Reflexe des Kalzits sind mit strichlierten Linien gekennzeichnet.

Der nur in Spuren auftretende Dolomit dürfte der Schwebfracht der Traun zuzurechnen sein. Schwebstoffuntersuchungen in den Oberflächengewässern der Bucht von Ebensee zeigen eine für die Traun typische Mineralvergesellschaftung, wobei der Dolomitanteil im Durchschnitt doppelt so hoch ist wie der von Kalzit (Müller, Sossau, Zeh 1983). Das an der Basis der Industrieschlammablagerung angetroffene, stark gemischtkörnige, quartäre Sediment unterscheidet sich deutlich von allen anderen Proben. Hier stellt Dolomit die dominante Mineralphase dar, daneben ist Kalzit und, in kleineren Mengen, Quarz nachweisbar (Abb. 11).

Als klastische Anteile in den Industrieschlammproben waren in beiden Bohrungen röntgenographisch noch Quarz und Feldspat nachweisbar. In der Bohrung Sov-2 wird diese Mineralvergesellschaftung im oberen Bereich noch durch die ebenfalls in Spuren vorkommenden Minerale Chlorit, Illit/Muskowit und quellfähige Tonminerale (QTM) ergänzt. Quarz, der im natürlichen klastischen Anteil die dominante Mineralphase darstellt, ist in den oberen Bereichen der Bohrung Sov-1 mengenmäßig mit 4-5 Gew.-% vertreten, geht hingegen in den tieferen Bereichen (ca. ab 54 m) sehr stark zurück, sodass er nur noch in Spuren festgestellt werden konnte.

Die Bohrung Sov-2 zeigt über den gesamten Teufenbereich mit 1-2 Gew.-% wesentlich geringere Quarzgehalte, die den natürlichen Eintrag der Traun widerspiegeln (Schneider, Claes und Kersting 1984).

Ursachen für den geringen Quarzgehalt in den tieferen Bereichen der Bohrung Sov-1 könnten entweder geänderte Einleitungsbedingungen (z. B. ein anderes Massenverhältnis von Industrieschlamm zu klastischem Eintrag) oder verstärkte Quarzlösung aufgrund alkalischer Porenlösungen darstellen. Quantitativ sind diese Vorgänge für die geotechnischen Eigenschaften der Industrieschlammablagerung sicher ohne Bedeutung.

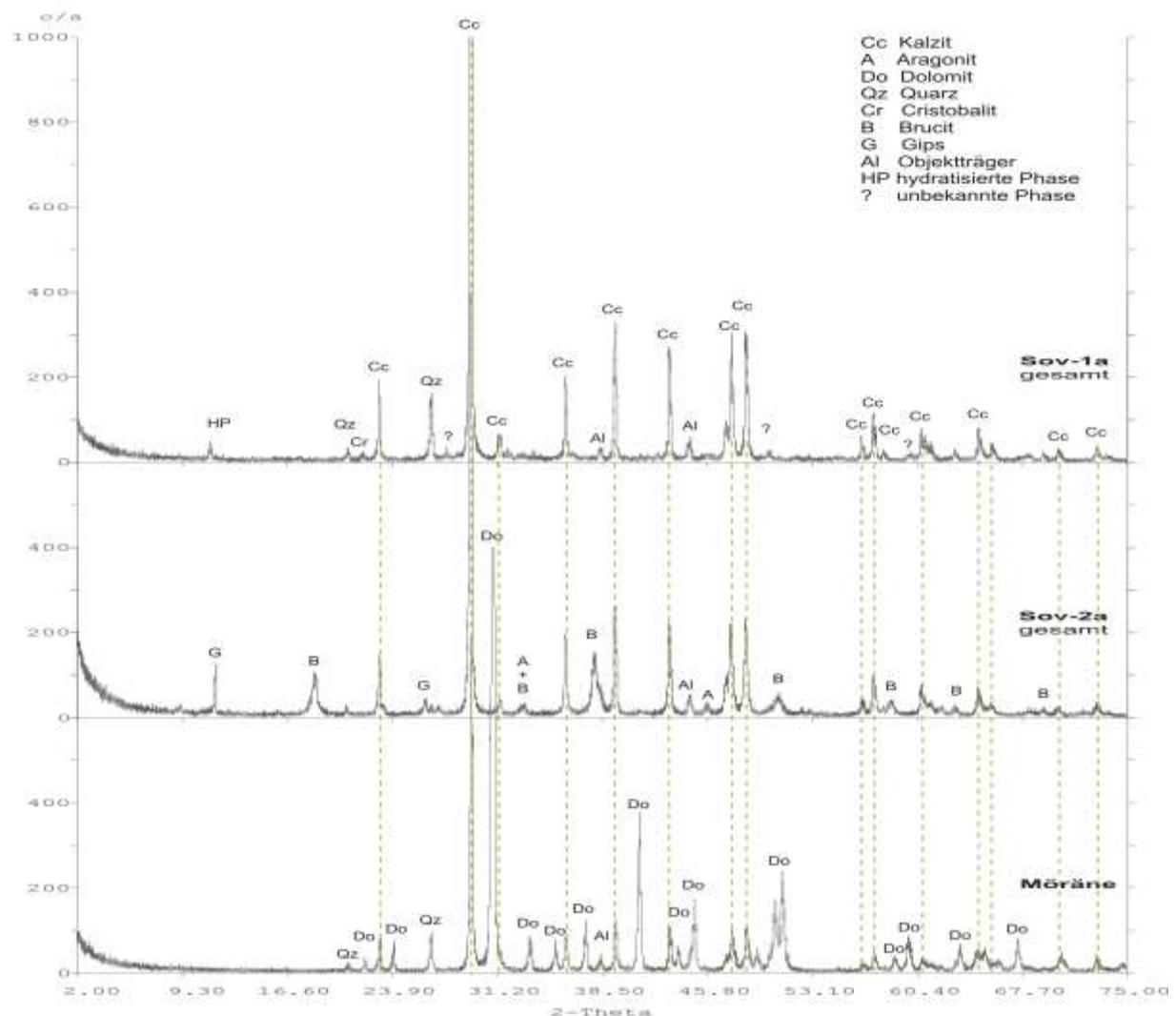


Abb. 11: Gegenüberstellung der Röntgendiffraktogramme der Proben Sov-1a, Sov-2a und Moräne, jeweils Gesamtmaterial, Reflexe des Kalzits sind mit strichlierten Linien gekennzeichnet.

In den karbonatfreien Körnerpräparaten (unlöslicher Rückstand) konnten die Mineralphasen Cristobalit und Mullit, die mit dem Brennvorgang des beim Solvay-Prozess benötigten Kalkes in Zusammenhang stehen, nachgewiesen werden.

Als weitere industriell erzeugte Mineralphasen treten Portlandit und Brucit auf, die aus der thermischen Behandlung karbonatischer Gesteinen stammen. Müller und Schneider (1984) geben an, dass Brucit bei der Solereinigung anfällt. Bezüglich des aus dem Solvay-Prozess stammenden Portlandits ist von Interesse, dass dieser nur in Proben mit erheblichem Abstand zur Oberfläche der Industrieschlammablagerung beobachtet werden konnte. Das Fehlen von Portlandit in den oberflächennahen Bereichen kann sowohl durch Lösung als auch durch Karbonatisierung erklärt werden. Allerdings weist der Umstand, dass Portlandit in der Bohrung Sov-2 praktisch vollständig fehlt, auch auf Zusammenhänge mit einer Änderung der primären Zusammensetzung des eingeleiteten Materials hin.

Tab. 2: Röntgendiffraktometrisch nachgewiesene Mineralphasen in der Bohrung Sov-2

	Sov-2a (63-65)	Sov-2b (69-70)	Sov-2c ³⁾ (85-85,1)	Sov-2d ³⁾ (87,5-87,6)
Lösungsrückstand aus Essigsäure [%]	6,47	8,55	11,04	14,13
Lösungsverlust ohne (Karb. + Brucit) [%]	19,0	18,4	4,8	3,3
Unbekannte lösliche Phase bei ca. 9,6Å	(+)	+	-	-
Kalzit + Aragonit aus CO ₂ -Volumetrie ¹⁾	74,57	73,00	84,15	82,61
Aragonit ²⁾ [%]	(+)	(+)	-	-
Dolomit [%]	S	S ?	S ?	S
Portlandit [%]	-	-	-(S?)	-
Brucit [%]	16	17	- ⁴⁾	5 ⁵⁾
hydratisierte? Phase ⁶⁾ [%]	-	-	S	S?
Gips [%]	4	4	-	-
Feldspat [%]	S	-	S	S
Quarz [%]	1	2	1	1
Cristobalit [%]	S	S	-	S ?
Hämatit [%]	?	?	S	S
Mullit [%]	S	-	S	S
QTM [%]	S	S	-	-
Illit/Muskovit [%]	S	S	-	-
Chlorit [%]	S	S	-	-

Anmerkungen:

S = Spuren, QTM = quellfähige Tonminerale

1) Kalzit + wenige 1er % Aragonit in den Proben Sol-2a und Sol-2b

2) Wenige 1er %

3) Erhöhter Anteil an (röntgenamorphen) Schlackenkomponenten im Essigsäure unlöslichen Rückstand

4) Trotz MgO-Gehalt von 1,47 % kein Brucit nachweisbar

5) Ungefährer Maximalwert entsprechend Röntgendiffraktometrie; bei Umrechnung des gesamten MgO-Gehaltes (vergleiche hierzu jedoch Probe 2c !) zu Brucit entspricht dies 7,3 % Brucit.

6) Vergleiche Tabelle 1, Anmerkung 4

Raster-Elektronenmikroskopie

Ein wesentliches Ergebnis der Raster-Elektronenmikroskopie ist, dass trotz systematischer Suche keine, die geotechnischen Eigenschaften der Industrieschlammablagerung verändernden (stabilisierenden) Mineralneubildungen wie Zementationsprozesse festgestellt werden konnten. Die Karbonatisierung hat bisher nicht erkennbar zur Bildung verkitteter Bereiche geführt. Dies entspricht auch dem plastischen (Bohrung Sov-2) bzw. sandig unverfestigten Materialcharakter (Bohrung Sov-1).

Die im Sandkornbereich liegenden Schlacken und ähnlichen industriellen Brennprodukte, wie auch gefrittetes Gesteinsmaterial, können aufgrund ihrer besonderen Merkmale und damit guter Unterscheidbarkeit vom natürlichem Eintrag durch die Traun und anderer Gewässer als Leitkomponenten für eventuellen turbiditischen Transport von Industrieschlamm in tiefere Bereiche des Traunsees dienen (Abb. 12, Abb. 13).

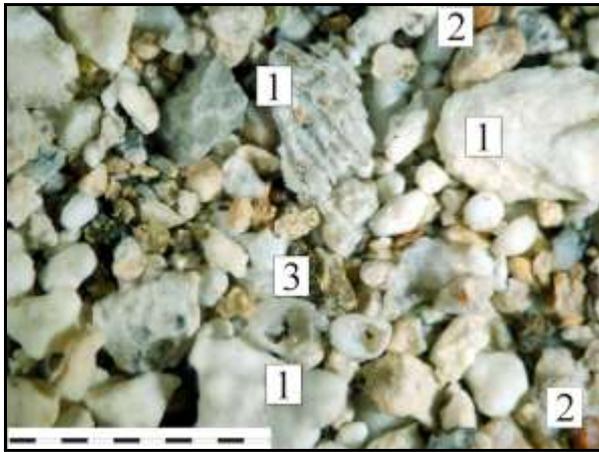


Abb.12: Sov-1 (entkalkt), Balken 2 mm, Quarz/Cristobalite (1), gefrittetes Gestein (2), Schlacke (3)

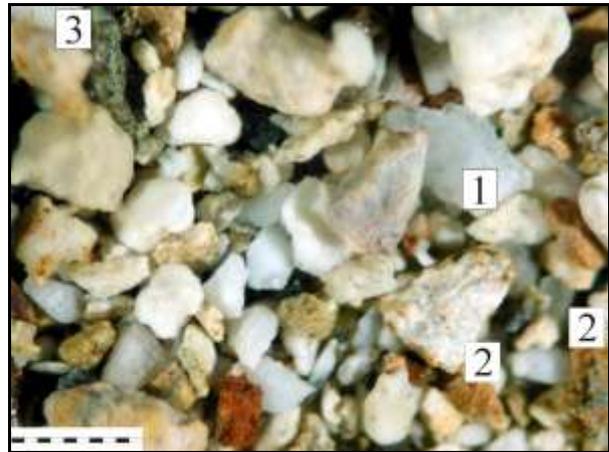


Abb.13: Sov-1 (entkalkt), Balken 0,5 mm, Quarz/Cristobalite (1), gefrittetes Gestein (2 rötlich bräunlich), Schlacke (3)

V. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Bezüglich des Mineralbestandes der Industrieschlammablagerung war eine zentrale Frage, ob Zementationsvorgänge, die geotechnisch wirksam werden, eine Rolle spielen. Aufgrund des bekannten Karbonatisierungsprozesses von Kalziumhydroxid unter Einfluss von CO_2 -Zufuhr aus dem Wasser oder der Luft (Mörteleffekt), kann davon ausgegangen werden, dass die in reichlicher Menge eingeleitete Portlanditphase zu einem erheblichen Anteil karbonatisiert wird, d. h. in Kalzit umgewandelt wird (auf die Möglichkeit einer Aragonitbildung wurde bereits verwiesen).

Daneben kann die Kalzitphase zum Teil auch aus der Einleitung der Solvay bzw. ÖSAG direkt stammen. Eine wichtige Rolle dürfte die Karbonatisierung von Portlandit auf jeden Fall spielen. Dies erscheint besonders gut möglich, wenn bei der Einleitung feinkörniger Portlandit als Suspension über einige Zeit mit CO_2 -haltigem Seewasser in Kontakt bleibt.

Ein Beitrag zur Kalzitbildung durch die Lösung der eingeleiteten Gipsphase ist nur dann wahrscheinlich, wenn ausreichend CO_2 zur Verfügung steht. Die beobachteten Gipskristalle sind jedoch relativ grob (bis mm) und zeigen keine Anzeichen von Lösungskorrosion.

Wie die raster-elektronischen Untersuchungen zeigen und auch schon aufgrund der plastischen Konsistenz des Probenmaterials erwartet werden konnte, spielen verfestigende Zementationsprozesse, die geotechnisch wirksam sein könnten, keine Rolle. Es treten des weiteren auch keine Mineralformen auf, die aufgrund ihrer Morphologie in berücksichtigungswerter Weise verfestigend („vernadelnd“) wirken könnten.

Eine weitere Fragestellung war, inwieweit klastisches, von der Traun zugeführtes Material eine Rolle spielen kann. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen eindeutig, dass natürliches klastisches Material quantitativ ohne Bedeutung ist. Allerdings ist die nähere Erfassung des größeren, aus Industrieprozessen stammenden, künstlichen sandigen Materials von Interesse, da Körner dieses Materials für die Frage nach echtem turbiditischen Transport aus dem Bereich der Einleitung in das weiter entfernte Profundal als Leitkomponenten verwendet werden können.

In Bezug auf das hydrodynamische Gefährdungspotential der Industrieschlammablagerung ist die zentrale Frage, ob Massenbewegungen (Rutschungen größeren Umfangs) und von diesen ausgehend größere Turbiditereignisse stattfinden können. Es wurde aufgrund einer graphischen Darstellung des Industrieschlammkörpers (Schmidt 2000) befürchtet, dass Ereignisse der obgenannten Art zu Seiches, d. h. Tsunami-ähnlichen Erscheinungen der Binnenseen, führen könnten. Ein entzerrtes Bild der Industrieschlammablagerung zeigt jedoch einen extrem flachen langgestreckten Körper mit einer im Verhältnis zu seiner Länge recht geringen Mächtigkeit (aus Bohrungen ca. 50 m). Aus dessen Gesamtform, soweit rekonstruierbar, lässt sich kein erhebliches Rutschungsrisiko ableiten.

Eine eventuell rutschungsgefährdete Steilstufe tritt nur nahe der Bohrung Sov-1 im Bereich der Einleitstelle auf. Diese Steilstufe ist durch den stärker sandigen Charakter des hier eingeleiteten Materials erklärbar. Die langgestreckte geringmächtige Form der gesamten Industrieschlammablagerung ist durch einen fortlaufenden, über eine große Fläche verteilten kontinuierlichen Eintrag feinkörniger Suspension gut interpretierbar, welche entsprechend Korngrößenverhältnis und Strömungsgeschwindigkeit nach und nach absedimentiert. Durch die Einleitung wird Suspension fortlaufend angeliefert und diese folgt aufgrund des Dichteunterschiedes gegenüber dem normalen Seewasser dem Relief des Seebodens bis in den tiefsten Bereich des Profundals. Diese Art von Suspensionstransport feinkörnigen Materials entspricht physikalisch dem Transportmechanismus distaler Turbidite. Geologisch ist dieser Vorgang jedoch mit einem echten Turbiditereignis, wie es verbreitet an Kontinentalhängen oder in kleinerem Rahmen, bei entsprechender topographischer Situation, in Seen auftritt, nicht vergleichbar. Das überwiegend schluffige Material, das in der Bohrung Sov-2 gefunden wurde, weist auf dieses Modell hin. Echter Turbiditransport aus dem Steilbereich der Industrieschlammablagerung müsste schon bei mäßiger Intensität auch die gröberen, im mittel bis grobsandigen Bereich liegenden Komponenten, wenigstens auf diese geringe Entfernung mitgeführt haben. Es müssten zumindest in solchen Oberflächenproben, die reliefmäßig genau zur Bewegungsrichtung von einem im Bereich der Steilstufe nahe der Bohrung Sov-1 ausgelösten Turbidit passen, im Sandbereich liegende Komponenten gefunden werden. Hierzu passt auch sehr gut die kartenmäßige Darstellung der mittleren Korngröße der Oberflächensedimente im Südteil des Traunsees von Claes und Kersting (1981).

Die im Bereich der Industrieschlammereinleitung wiedergegebenen mittleren Korngrößen liegen bei Feinsand bis Grobschluff (Φ 3-5), wo hingegen die Oberflächenproben des sich vom Einleitungsbereich nach NE erstreckenden, flachen Industrieschlammkörpers überwiegend im Grobschluff- bis Mittelschluffbereich (Φ 5-7) liegen, also erheblich feinkörniger sind als in der näheren Umgebung der Einleitstelle. Der in der zitierten Karte am Westrand des südlichen Traunsees (Bereich Traunneck - Bartelkreuz - Löwendenkmal) dargestellte, verhältnismäßig schmale Bereich mit Feinsand bis Grobschluff, lässt sich aus dem Einfluss der steilen topographischen Verhältnisse an dieser Seite des Sees erklären.

Dieses Modell schließt selbstverständlich kleinere, durch geringere Massenbewegungen ausgelöste Verlagerungen nicht aus. Es ist denkbar, dass solche Transportmechanismen zu den beobachtbaren Transportweiten bis in das Profundal beigetragen haben. Eine nähere petrographisch-sedimentologische Untersuchung von Industrieschlammproben aus dem Profundal könnte hierüber Auskunft geben. Von besonderer Aussagekraft wären in diesem Zusammenhang die beschriebenen Leitkomponenten industrieller Herkunft, da diese eindeutig zugeordnet werden können. Turbidite dieser Größenordnungen spielen für die Oberflächenverhältnisse des Seewasserkörpers jedoch keine Rolle.



Abb. 7: Wasseraustritt infolge eines „Gas Lifts“ im Zuge der Bohrung.

LITERATUR

- Aloisi G., Pierre C., Rouchy J.-M., Foucher J.-P., Woodside J. 2000. Methane-related authigenic carbonates of eastern Mediterranean Sea mud volcanoes and their possible relation to gas hydrate destabilisation. *Earth and Planet. Sci. Let.* **184**, 321-338, Toronto
- Baumgartner P. 1997. Geologische und bodenmechanische Stabilität der Industriesedimente im Traunsee. Unveröff. Projektbericht GZ 97025201.
- Claes M., Kersting G. 1981. Die Sedimente des Traunsees. (Österr. Kte. 1:25000, Bl. 66/2 Gmunden und Bl. 66/4 Ebensee, Salzkammergut, Oberösterreich). Unveröff. Dipl. Arbeit am Geol. Paläont. Inst. d. Univ. Göttingen, 205p., Göttingen.
- Müller J. 2000a. Die Industrieschlamm-Anhäufung in der Bucht von Ebensee. Zustand 1999 und Gefährdungspotential. Unveröff. Projektbericht.
- Müller J. 2000b. Konzept zur Untersuchung der Standfestigkeit der Industrieschlammhalde im Traunsee bei Ebensee. Unveröff. Konzept zur weiteren Bearbeitung hinsichtlich Abschätzung Gefährdungspotential, TU München.
- Müller J., Sossau C., Zeh U. 1983. Die Schwebstoffe der Traun und des Traunsees. In: Limnologische Untersuchung Traunsee-Traun, Unveröff. Projektbericht, Nr. 11, 1-50.
- Müller J., Schneider J. 1984. Die Industrieschlammablagerungen in der Bucht von Ebensee und im Profundal des Traunsees (Oberösterreich), Unveröff. Projektbericht, Nr. 12a, 1-100.
- Schmidt R. 2000. Auswirkung der Solvay-Emission auf die ökologische Funktionsfähigkeit des Traunsees. Unveröff. Projektstudie der O.Ö. Landesregierung.
- Schmid Ch., Schön J., Gratzner R., Vortisch W. 2001. Projekt SOLVAY - Untersuchung des Stabilitätszustandes der Industrieschlammablagerung. Unveröff. Projektbericht (GZ284-02/2001 ZT-Büro Schmid, Gmunden).
- Schneider J., Claes M., Kersting G. 1984. Die Sedimente des Traunsees. In: Limnologische Untersuchungen Traunsee-Traun, Unveröff. Projektbericht, Nr. 12, 11-52.
- Sturm M., Müller J. 1984. Die Untersuchung langer Sedimentprofile und die Verbreitung von Turbiditen im Traunsee. In: Limnologische Untersuchungen Traunsee-Traun, Unveröff. Projektbericht, Nr. 12, 97-131.
- Vortisch W. 1982. Clay mineralogical studies of some tills in Northern Germany. *Geologica et Palaeontologica* **15**, 167-192, Marburg.