

# Sandvulkane in rezenten Sedimenten der Mur

Von A. FENNINGER und R. SCHOLGER  
Mit 6 Abbildungen

Angenommen am 20. Jänner 1994

**Zusammenfassung:** Wie bereits GILL & KUENEN 1958 experimentell zeigen konnten, kommt es im Zusammenhang mit syndimentären Rutschungen und Gleitungen zur Bildung eines aufsteigenden Wasserpartikelgemisches, wodurch dieses in Form eines Conus an die Sedimentoberfläche gelangt (REINECK & SINGH 1986). Dieser Entwässerungsvorgang ist sowohl rezent als auch fossil bekannt. Eng aneinander gereihete Sandvulkane vereinigen sich und bilden sedimentär entstandene Gänge (sedimentary sand dykes).

Im Rahmen der derzeit laufenden Untersuchungen über Sedimentanlagerung, -umlagerung und -kontamination in steirischen Fließgewässern wurde die Bearbeitung der Mur zwischen Judenburg und Spielfeld abgeschlossen (MANSER 1991, PLASS 1990, SCHOLGER 1990). Im Stauraum Pernegg konnten postsedimentäre Sedimentstrukturen – Sandvulkane – beobachtet werden, die im folgenden beschrieben werden und deren Genese diskutiert wird.

Sandvulkane sind, wenn auch kein „alltägliches“, so doch ein rezent (NEUMANN-MAHLKAU 1976, PRIOR & SUHAYDA 1979, FIELD et al. 1982) wie auch seit dem Präkambrium (JOHNSON 1977) oft erkanntes Phänomen. Es ist aus verschiedenen Ablagerungsräumen bekannt, vor allem aber aus fluviatilen und Delta-Entwicklungen.

PETIJOHN & POTTER 1964 stellen Sandvulkane in die Gruppe der Injektionsstrukturen und definieren sie als „senkrechte, wenige cm bis etliche dm breite und einige bis viele dm lange Strukturen, ohne inneres Gefüge“ und werden „steigenden Wassersäulen oder Quellkanälen zugeschrieben“. Sie führen weiter aus, daß unter gewissen Bedingungen wassergesättigte Sande und Silte in einen Zustand versetzt werden, in dem sie sich wie Flüssigkeiten verhalten und in umgebende Sedimente injiziert werden können.

Deformationsstrukturen entstehen durch Deformation primärer Sedimentstrukturen durch duktile Prozesse, die durch Fließprozesse ausgelöst werden und sich über dem elastisch-plastischen Grenzbereich wie viskose Flüssigkeiten verhalten.

Wie OWEN 1987 ausführt, wird eine Zustandsveränderung von Lockersedimenten vor allem durch verschiedene Arten der Sedimentverflüssigung erreicht; er zählt dazu das Thixotropieverhalten, die Sensitivität, wie sie z.B. für „Quicksande“ typisch ist, sowie Liquefaction und Fluidisation. Bei den letztgenannten Fällen übersteigt der Porenwasserdruck den „Überlagerungsdruck“, der Scherwiderstand erreicht den Wert Null, sodaß Wasser oder ein Wassersedimentgemisch nach oben aufsteigen (FÜCHTBAUER 1988).

Kohäsionslose Materialien, wie trockene oder gänzlich wassergesättigte Sande, sind für Sedimentverflüssigung besonders geeignet.

Liquifactions- bzw. Fluidisationsvorgänge sind für die Genese von Sandvulkanen verantwortlich (vgl. auch ELLIOTT 1965, DIONNE 1973, NARDIN et al. 1979, OWEN 1987). Liquefaction und Fluidisation beschreiben sehr ähnliche Entwässerungsvorgänge. Sie unterscheiden sich im wesentlichen darin, daß Liquefaction ein unstetiges Stadium der Fluidisation darstellt (PETIJOHN et al. 1987).

Fluidisation tritt in einem offenen System kohäsionsloser granularer Materialien auf und verlangt ein kontinuierliches durch das Sediment fließendes Medium. Sie beschreibt Bedingungen, in denen die aufwärts gerichtete Komponente eines fließenden Mediums größer ist als die gravitative Wirkung der Partikel (LOWE 1985, ALLEN 1982, 1985, OWEN 1987).

Ereignisse, die direkt den Porenwasserdruck beeinflussen und zum Porenwasserverlust von unterlagerndem Sediment führen, wodurch es zur Verflüssigung des Sediments kommen kann, werden als Auslöserphänomene bezeichnet. Dazu gehören u.a. hohe Sedimentationsrate, Hangübersteilung, Unterspülung des Hangfußes, Wellenbrecher oder Flutwellenwirkungen auf das Sediment, Erdbeben und verschiedene glaziale Phänomene.

Wird der Scherwiderstand eines Sedimentkörpers durch eines dieser Phänomene stark reduziert, kommt es zur duktilen Deformation, wie es z.B. bei subaquatischen Rutschungen und Gleitungen der Fall ist. Dies kann zu einer Erhöhung der Kompaktion in den von der Rutschung/Gleitung betroffenen Horizonten führen, der Porenwasserdruck wird erhöht und weicht nach oben aus, wodurch vor allem in den durch die Rutschung verursachten Inhomogenitätsbereichen ein Sedimentwassergemisch hochsteigen kann.

Experimentelle Untersuchungen zur Genese von Sandvulkanen gehen auf die klassischen Arbeiten von GILL & KUENEN 1958 zurück. Theoretische Überlegungen stützen sich auf Vorstellungen von ALLEN 1982, 1985, der für die Genese von Sandvulkanen das Modell eines steten „axisymmetrischen turbulenten Jets“ anwendete.

ALLEN definiert Sandvulkane als flachkonische Krater aus Sand und Silt, die konzentrisch um eine zentrale Austrittsstelle angeordnet sind, aus der ein Wasser-Sediment-Gemisch in einen stagnierenden oder langsam fließenden Wasserkörper ausgepreßt wird; Sandvulkane bilden sich also unter Wasserbedeckung. Häufig bilden sich Sandvulkane im Zusammenhang mit aquatischen Rutschungen.

Die Bildung der Sandvulkane im Stauraum Pernegg (Abb. 1) hängt zeitlich mit der mit 2. 7. 1989 begonnenen Stauraumentleerung im Zuge von Sanierungsarbeiten zusammen. Die Stauraumentleerung führte dazu, daß der gesamte Gleithangbereich ca. 700 m flußaufwärts vom Wehr trockenfiel, wobei der Gleithang im Bereich bis 250 m flußaufwärts treppenförmig mit Versatzhöhen von  $\pm 20$  cm um annähernd 2 m abrutschte (Abb. 2). Die Rutschung erfolgte subaquatisch und ist einerseits auf die Entlastung durch die Wassersäule, andererseits durch die Unterspülung des Gleithanges durch Vertiefung der Rinne im Bereich des Flußstriches zurückzuführen (MANSER 1991). Der Gleithang war am 12. 7. 1989 bereits abgesackt, die Wassertiefe über den bereits gebildeten Sandvulkanen betrug zu diesem Zeitpunkt noch etwa 30 cm.

Der Aufbau des Gleithanges zeigt eine ca. 4 m mächtige basale, tonig-siltige Lage, die von einer geschlossenen Grobsedimentschicht überlagert wird. Diese keilt gegen das Ufer aus und erreicht etwa 50 m vom Ufer entfernt eine Mächtigkeit von 40 cm. Die Grobsedimentlage kann mit großer Wahrscheinlichkeit dem kurz vor sowie am Beginn der Stauraumentleerung mehrere Tage andauernden Hochwasser zugeordnet werden. Den hangenden Abschluß des Profils bildet eine flächig sortierte Müllschicht, bestehend aus Gummistiefeln, Schuhwerk, LKW-Reifenschläuchen, Porzell, 2-Liter-Einwegflaschen, Autoreifen, Fußbällen und Eimern. Letztere, die mit der Öffnung gegen die Strömungsrichtung liegen, sowie auch die Autoreifen fungieren als Sedimentfallen.

Im abgerutschten 250 m langen Bereich nördlich des Wehrs treten längs der Staffelbrüche, linear angeordnet, Sandvulkane auf (vgl. auch LOWE 1975, cum lit.) (Abb. 3–5). Sie sind nahe dem Wehr häufiger und größer, die Kraterflanken sind steiler als flußaufwärts. Das Innere der Krater ist teilweise mit Grobsedimenten bis zur Kies-



Abb. 1: Der Stauraum Pernegg im abgelassenen Zustand. Beachte die Müllschicht im Bereich der longitudinalen Kiesbarre.



Abb. 2: Abgerutschter Gleithang mit treppenförmigen Versätzen.

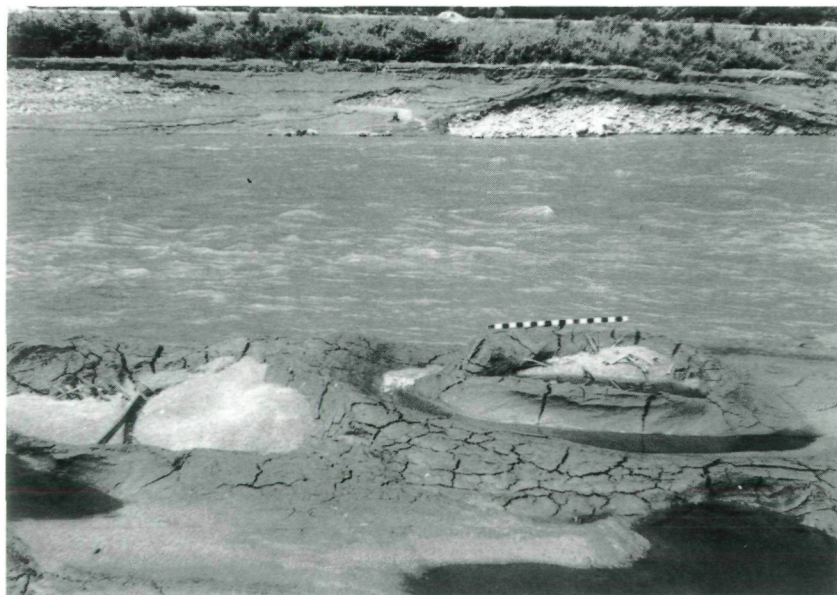
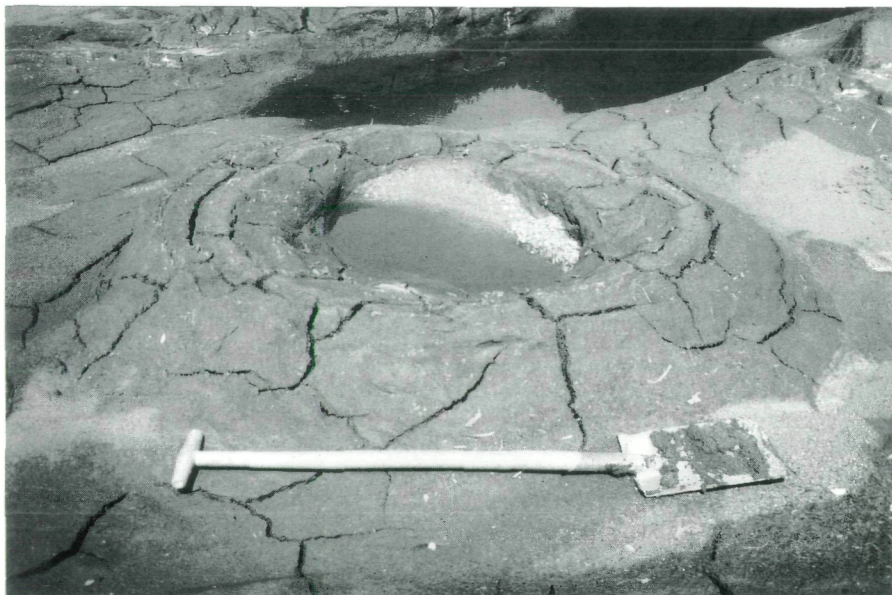


Abb. 3, 4: Typische Sandvulkane aus dem Stauraum Pernegg.



Abb. 5 (oben):  
Linear angeordnete  
Sandvulkane,  
Trockenrisse.



Abb. 6:  
Synsedimentäre Gänge,  
durch Amalgamation  
einzelner Sandvulkane  
entstanden.

größe gefüllt. Neben den Sandvulkanen sind an Sedimentstrukturen vor allem sigmoidale Großrippeln mit Höhen um 30 cm und einer Länge bis zu 50 cm zu beobachten. In ihren Rippeltälern sind bisweilen Silt und Sand eingeschwemmt.

Bei der Trockenlegung des Gleithanges bildeten sich Trocknungsrisse in paralleler und polygonaler Ausbildung aus (Abb. 5). Teilweise sind die Schlammvulkane asymmetrisch ausgebildet und zeigen eine strömungsbedingte Form mit steiler Luv- und flacher Leeseite.

Die Sandvulkane zeigen vom Kraterzentrum zum Kratertrand eine deutliche Abnahme der Korngröße vom Sand/Silt bis zum Siltbereich. Die saiger gestellten Schichten der Sandvulkane werden peripher von den „leichtesten“ Partikeln (Holz- und Kohlepartikel) vom „Normalsediment“ deutlich abgegrenzt.

Die an die Staffelbrüche gebundenen Sandvulkane stehen teilweise so eng, daß sie sich miteinander vereinigen. Damit ist auch der Nachweis erbracht, daß durch Amalgamation von Sandvulkanen synsedimentär gebildete Gänge entstehen (Abb. 6).

## Literatur

- ALLEN, J.R.L. (1982): *Sedimentary Structures - Their Character and Physical Basis*, II. Developm.Sediment. 30B, 663 S. – Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York.
- ALLEN, J.R.L. (1985): *Principles of physical Sedimentology*. 272 S. – Allen & Unwin, London.
- DIONNE, J.C. (1973): Monroes: A type of so-called mud volcanoes in tidal flats. – *J.Sed.Petrol.* 43: 848–856.
- ELLIOTT, R.E. (1965): A Classification of Subaqueous Sedimentary Structures Based on Rheological and Kinematical Parameters. – *Sedimentology* 5: 193–209.
- FIELD, M.E., GARDINER, J.V., JENNINGS, A.E. & EDWARDS, B.D. (1982): Earthquake-induced sediment failers on a 0.25° Slope, Klamath River Delta, California. – *Geology* 10: 542–560.
- FÜCHTBAUER, H. (1988): *Sedimente und Sedimentgesteine*. 4. Aufl., 1141 S. – Schweizerbart, Stuttgart.
- GILL, W.D. & KUENEN, P.H. (1958): Sand Volcanoes on Slumps in the Carboniferous of Country Clore, Ireland. – *Quart.J.Geol.Soc.London* 113: 441–460.
- JOHNSON, H.D. (1975): Tide- and Wave-dominated Inshore and Shoreline Sequences from the Late Precambrian, Finmark, North Norway. – *Sedimentology* 22: 45–74.
- LOWE, D.R. (1976): Subaqueous liquefied and fluidized sediment flows and their deposits. – *Sedimentology* 23: 285–308.
- MANSER, P. (1991): *Untersuchung der Schwermetallgehalte in den Sedimenten der Mur (Steiermark)*. 304 S. – Unveröff.Diss.Univ.Graz.
- NARDIN, T.R., HEIN, F.J., GORSLINE, D.S. & EDWARDS, B.D. (1979): A Review of Mass Movement Processes, Sediment and Acoustic Characteristics, and Contrasts in Slope and Base-of-Slope Systems Versus Canyon-Fan-Basin-Floor-Systems. – In: DOYLE, L.J. & PILKEY, O.H. (Eds.): *Geology of Continental Slopes*. – Soc. Econom.Paleont.Mineralog.-Spec.Publ. 27: 61–73.
- NEUMANN-MAHLKAU, P. (1976): Recent Sand Volcanoes in the Sand of a Dike under Construction. – *Sedimentology* 23: 421–425.
- OWEN, G. (1987): Deformation Processes in unconsolidated sands. – In: JONES, M.E. & PRESTON, R.M.F. (Eds.): *Deformation of Sediments and Sedimentary Rocks*, 11–24. – Blackwell, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Palo Alto, Melbourne.
- PETTIJOHN, F.J. & POTTER, P.E. (1964): *Atlas and Glossary of Primary Sedimentary Structures*. 370 S. – Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg, New York.

- PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E. & SIEVER, R. (1987): Sand and Sandstone. 2.Aufl., 553 S. – Springer, New York, Berlin, Heidelberg, London, Paris, Tokyo.
- PLASS, N. (1990): Sedimente und Sedimentationsdynamik im Stauraum Mellach südlich Graz (Steiermark). 139 S. – Unveröff.Diss.Univ.Graz.
- PRIOR, D.B. & SUHAYADA, J.N. (1979): Application of Infinite-Slope Analysis to Subaqueous Sediment Instability, Mississippi Delta. – Eng.Geol. 14: 1–10.
- REINECK, W.-E. & SINGH, J.P. (1986): Depositional Sedimentary Environments. 2.Aufl., 551 S. – Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- SCHOLGER, R. (1990): Sedimentation und Gefüge rezenter Flußsedimente der Mur (Steiermark). 129 S. – Unveröff.Diss.Univ.Graz.

Anschriften der Verfasser: Dr. A. FENNINGER, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Graz, Heinrichstraße 26, A-8010 Graz,  
R. SCHOLGER, Institut für Geophysik, Montanuniversität Leoben, Erzherzog-Johann-Straße 10, A-8700 Leoben