

## Modellversuche zur Atmung unter Sand

**H. Maxeiner<sup>1</sup> und F. Haenel<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Institut für Rechtsmedizin und Institut für Physiologie<sup>2</sup>  
der Freien Universität Berlin, Hittorfstr. 18, 1000 Berlin 33

### Experimental Investigation on Breathing Through Sand

**Summary.** Remarkable autopsy findings in persons who had suffocated as a result of closure of the mouth and nose by sand (without the body being buried) induced us to investigate some aspects of this situation by means of a simple experiment. A barrel (diameter 36.7 cm) with a mouthpiece in the bottom was filled with sand to a depth of 15, 30, 60, or 90 cm. The subject tried to breathe as long as possible through the sand, while the amount of sand inspired was measured. Pressure and volume of the breath, as well as the O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> content were also measured. A respiratory volume of up to 3 l was possible, even when the depth was 90 cm. After about 1 min in all trials, the subject's shortness of breath forced us to stop the experiment. Measurement of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> concentrations proved that respiratory volume in and out of the sand shifts to atmospheric air without gas exchange, even when the sand depth is 15 cm. Sand aspiration depended on the moisture of the material: when the sand was dry, it was impossible to avoid aspiration. However, even a water content of only 5% prevented aspiration, although the sand seemed to be nearly dry.

**Key words:** Suffocation – Sand aspiration – Respiratory tract occlusion

**Zusammenfassung.** Ausgehend von der Untersuchung mehrerer Tötungsdelikte mit Verschluss der Atemöffnung der Opfer durch Sand wurden Modellversuche zur Atmung durch verschieden dicke Sandschichten (bis 90 cm) mit Kontrolle der Atemgase und des Druckes sowie zur Frage des Umfanges der Sandaspiration in solchen Fällen durchgeführt. Es kommt auch schon bei dünner Sandschicht (15 cm) zur Totraumventilation mit der in der Sandschicht in unmittelbarer Nähe der Atemöffnungen befindlichen Luft mit Anstieg der CO<sub>2</sub>- und Abfall der O<sub>2</sub>-Konzentration. Auch bei 90 cm dicker Schicht sind noch Atemvolumina von bis zu 3 l möglich. Das Ausmaß einer Sandaspiration hängt in erster Linie von der Feuchtigkeit des

Sandes ab: schon bei einem Wassergehalt von rund 5% kann sie fast völlig ausbleiben.

**Schlüsselwörter:** Ersticken – Atemwegsverschluß – Sandaspiration

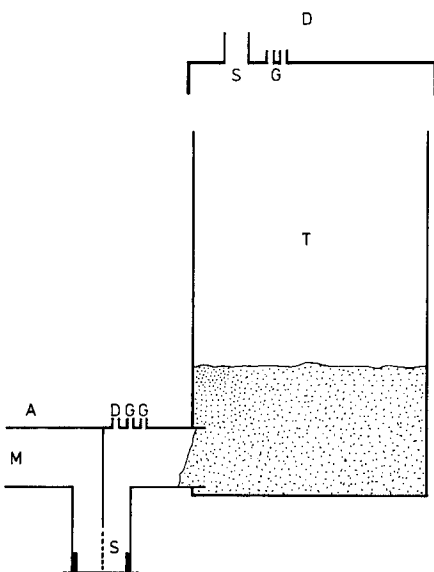
Bei der Untersuchung einiger Todesfälle, bei denen die Atemöffnungen der Getöteten durch Sand verlegt waren, ohne daß der ganze Körper verschüttet war (s. vorstehende Veröffentlichung), ergaben sich Fragen, denen in einem Modellversuch nachgegangen werden sollte. Dieser sollte klären helfen, ob und ggf. in welchem Umfang durch verschieden dicke Sandschichten bei freier Beweglichkeit des Thorax geatmet werden kann.

### Versuchsaufbau (s. Abb. 1)

Die Atmung erfolgte durch ein 3,6 cm Ø, als „Sandfalle“ modifiziertes Plastik-T-Rohr (Volumen 220 ml) in eine 103 l fassende (Durchmesser 36,7 cm, Höhe 98 cm) Kunststofftonne, die in unterschiedlicher Höhe mit Sand (locker oder festgestampft; Wassergehalt 4,5–5,5%, zum Vergleich auch höher) oder Kies gefüllt wurde.

Am Mundstück wurden kontinuierliche Messungen des Druckes (Statham Druckaufnehmer) sowie des Sauerstoff- und Kohlendioxidgehaltes (Oxytest, Uras) durchgeführt. In einer separat durchgeführten Versuchsreihe mit oben verschlossener Tonne wurden die Atemvolumina mit einem Spirometer bestimmt. Durch Auswechseln des Sandes zwischen den Versuchen wurde eine jeweils am Versuchsende festzustellende CO<sub>2</sub>-Anreicherung im Sand beseitigt.

Zunächst wurde an das System eine Starling-Atem-Pumpe angeschlossen, um bei konstanter Volumenverschiebung (0,5l) und Frequenz (28/min) die in



**Abb. 1.** Nicht maßstabsgerechte Skizze des Versuchsaufbaus. T: 98 cm hohe, 103 l fassende Kunststofftonne, mit Sandfüllung verschiedener Höhe. D: Deckel mit Anschlüssen für Spirometer (S) und O<sub>2</sub>- sowie CO<sub>2</sub>-Messung (G). A: Ansatzstück mit Mundstück (M), „Sandfalle“ (S) mit abnehmbaren Deckel und verschließbaren Anschlüssen für Druck- (D) und Gasmessung (O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>: G)

Abhängigkeit von unterschiedlich dicken Sandschichten (15, 30, 60, 90 cm) auftretenden Drucke zu messen.

Im Selbstversuch wurde sodann versucht, möglichst gleichmäßig und lange (in sitzender Position mit verschlossener Nase) in den Sand zu atmen.

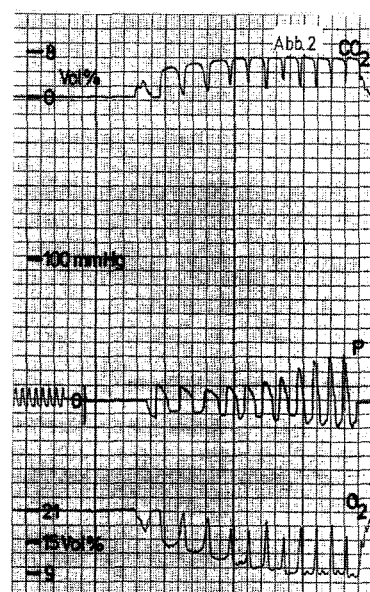
## Ergebnisse

Beim Einsatz der Starlingpumpe zeigte sich erwartungsgemäß ein von der Sandhöhe sowie Sandbeschaffenheit (locker eingefüllt, festgestampft oder zusätzlich mit Wasser versetzt) abhängiger Anstieg des Druckes (s. Abb. 3), der wegen des konstanten Pumpvolumens (0,5 l) direkt proportional zum Widerstand der Sandsäule ist. Der Widerstand ist um so größer, je höher, dichter oder nasser die vor der Pumpe liegende Sandschicht ist. Die für Kies gemessenen Druckamplituden lagen deutlich unterhalb derer für lockeren Sand.

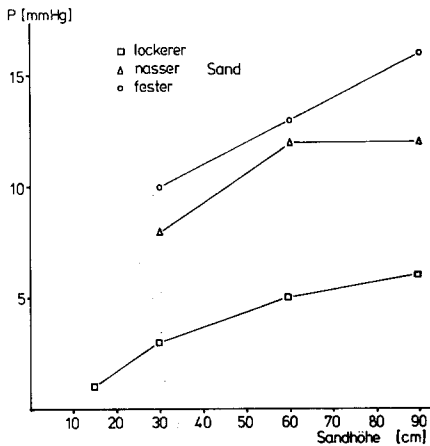
Ein Beispiel für die im Selbstversuch registrierten Druck-,  $O_2$ - und  $CO_2$ -Veränderungen gibt die Abbildung 2 wieder. Die Versuche dauerten jeweils nur etwa eine Minute, da dann Dyspnoe die Versuchsperson zum Abbruch zwang; auch bei einer Höhe der Sandschicht von nur 15 cm war dies der Fall.

Gegen Ende der Versuche stieg jedesmal unabhängig von der Höhe der Sandschicht und parallel zur subjektiv empfundenen Atemnot das Atemvolumen von 2 auf etwa 3 l. Atemfrequenz sowie Druckamplitude verdoppelten sich (Abb. 2), was auf die während der Dyspnoe der Versuchsperson verstärkte Atmung mit vergrößertem Atemminutenvolumen zurückzuführen ist. Es wurde eine maximale Druckamplitude von 125 mm Hg (+ 95/– 30) erreicht.

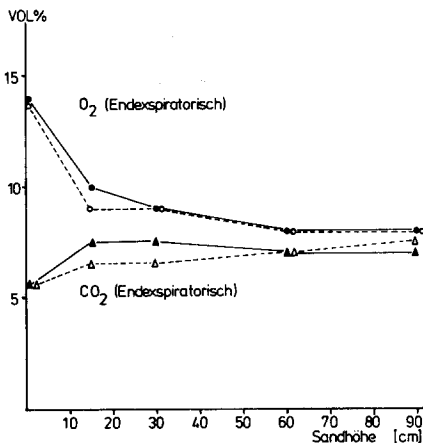
Die jeweils am Ende des Atemversuches gemessenen endexpiratorischen  $CO_2$ -Konzentrationen stiegen bei lockerem Sand mit der Sandhöhe auf 7,5



**Abb. 2.** Originalregistrierung der Verläufe der  $CO_2$ - und  $O_2$ -Konzentrationen sowie des Druckes bei einem Atemversuch; Dauer etwa 1 min; Atmung in 30 cm lockeren Sand. Am Beginn der Druckkurve (mittlere Kurve) die durch die Atempumpe erzeugten (konstanten) Druckänderungen. Im Atemversuch zunehmende Frequenz und Druckamplitude (Aussschläge nach oben: Expiration; nach unten: Inspiration). Anstieg der in- und expiratorischen  $CO_2$ -Konzentration sowie Abfall der in- und expiratorischen  $O_2$ -Konzentration



**Abb. 3.** Während der expiratorischen Phase der Starlingpumpe mit konstantem Pumpvolumen (0,5 l) gemessene Drücke (Ordinate) in Abhängigkeit von der Höhe der Sandschicht (Abszisse). Die Versuchsreihen wurden mit lockerem (□), nassem (△) und festgedrücktem (○) Sand durchgeführt. Da das Pumpvolumen konstant ist, sind die gemessenen Druckwerte zum Widerstand der Sandschicht direkt proportional.



**Abb. 4.** Am Ende jedes Atemversuches in der Expirationsluft der Versuchsperson gemessene O<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (Ordinate) in Abhängigkeit von der Höhe der Sandschicht (Abszisse) mit lockerem (△ bzw. ○) und festgedrücktem (▲ bzw. ●) Sand.

Vol% an; bei festgedrücktem Sand war dieser Wert bereits bei einer Schichtdicke von 15 cm erreicht und wurde nicht überschritten (Abb. 4). Die inspiratorischen O<sub>2</sub>-Konzentrationen sanken auf 15 Vol%, die endexpiratorischen auf 8 Vol%.

Entsprechend geringere Veränderungen der Gaskonzentrationen waren bei Versuchen mit Kies festzustellen, wobei hier eine subjektive Dyspnoe erst erheblich später einsetzte.

Während des kurzen Zeitraumes der Versuche erfolgte kein Gasaustausch zwischen der im Sand befindlichen und der darüberliegenden Luftschicht, wie O<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Messungen bei verschlossener Tonne über dem Sand ergaben; die im Sand vor den Atemöffnungen gelegene Luftschicht wird also lediglich durch die Atmung hin- und hergeschoben mit der Folge einer kontinuierlichen Sauerstoffverarmung und Kohlendioxidanreicherung. Schließlich interessierte vor allem vor dem Hintergrund der autoptischen Befunde die Frage einer Sandaspiration. In Vorversuchen hatte es sich bereits erwiesen, daß mit der einfach verwendeten „Sandfalle“ (nur ein ganz grobes Sieb, da kein größerer Wider-

stand entstehen sollte) eine erhebliche Sandaspiration bei ganz trockenem Sand und forcierter Inspiration nicht verhindert werden konnte, so daß die beschriebenen Atemversuche mit angefeuchtetem Sand (4,5–5,5% Wasser) durchgeführt wurden. Hierbei kam es trotz kräftiger Atmung gegen den Sand nicht zu einer Mitnahme von Sandpartikeln im inspiratorischen Atemstrom. Nach Trocknung wurden die Versuche mit verlängertem Mundstück und zusätzlichen Filtern wiederholt: bei tiefer Inspiration kam es (unabhängig von der Sanddicke zwischen 15 und 90 cm) schon beim ersten Atemzug zur völligen Verstopfung des Mundstückes bis zum Sieb (ca. 110 g Sand). Bei Verwendung der Atempumpe (0,5 l, 28/min) wurden dagegen (bei 10 „Atemzügen“) nur 1–3 g Sand mitgesogen; wurde die Frequenz aber auf 80/min erhöht, so war das Ansatzstück schon nach wenigen Atemzügen ebenfalls verstopft.

## Diskussion

Das bemerkenswerte und (obwohl im Schrifttum Berichte über nach stundenlanger Sandverschüttung lebend Geborgene vorliegen) zunächst so nicht erwartete Ergebnis der Untersuchung war, daß eine Atmung mit einem Atemvolumen von bis zu 3 l auch dann möglich ist, wenn unmittelbar vor den Atemöffnungen eine bis zu 90 cm dicke Sandschicht liegt. Höhere Sandschichten wurden nicht untersucht, doch ist es nach den gewonnenen Erfahrungen ganz wahrscheinlich, daß auch noch wesentlich dickere Schichten Volumenverschiebungen zulassen. Mit zunehmender Schichtdicke oder Festigkeit des Sandes steigt allerdings der Atemwiderstand beträchtlich an, so daß die (gesunde und wache) Versuchsperson erhebliche Mühe hatte, den erforderlichen Druck einige Atemzüge lang aufzubringen.

Wie die Messungen der O<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Konzentrationen jedoch ergaben, handelt es sich bei dieser Atmung um eine Totraumventilation mit der in der Sandschicht in unmittelbarer Nähe der Atemwege befindlichen Luft. Es kommt zu einer CO<sub>2</sub>-Anreicherung und O<sub>2</sub>-Abnahme in dem für die Atmung erreichbaren Totraumvolumen, was nach kurzer Zeit (schon nach einer halben bis dreiviertel Minute) zur Atemnot führte und zum Versuchsabbruch zwang. Versuche, die Sandaspiration zahlenmäßig in eine Beziehung zur Schichtdicke des Sandes oder Sandbeschaffenheit zu setzen, mißlangen. Geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchen hatten offensichtlich mehr mit der kaum reproduzierbaren Homogenität der Dichte des Sandes vor dem Ansatzrohr zu tun als mit den kontrolliert geänderten Versuchsbedingungen.

Hier dürfte auch das größte Problem bei der Übertragung der Ergebnisse auf die Beurteilung konkreter Fälle liegen: Art und Ausmaß des Atemwegsverschlusses unterscheiden sich nicht nur durch die Lage der Person (in Bauchlage mit dem Gesicht im Sand, Kopf von Sandhaufen bedeckt), sondern auch durch die im Einzelfall kaum zu erfassende Beschaffenheit der die Atmung beeinträchtigenden Sandschicht. Es kann dabei auch (wie in einigen Versuchen aufgefallen) zur Bildung weniger dichter Sandabschnitte infolge der Atmung kommen („Durchblasen“ mit der Folge einer dann plötzlich wesentlich erleichterten Ex- und Inspiration), wenn die gesamte Schicht nicht zu dick ist. Ein wei-

terer wesentlicher Unterschied dürfte es sein, daß in den Versuchen das Sandkompartiment klein und vor allem am Boden und den Seiten hermetisch abgeschlossen war. In der Realität dürfte der für die Atmung erreichbare und damit auch für einen Gasaustausch mit der Umgebung zur Verfügung stehende Raum größer sein, mit der Folge einer länger ausreichend möglichen Atmung.

Nur so ist es z. B. im vorigen Fall 1 zu erklären, daß unter dem Sandhaufen überhaupt noch eine offensichtlich nicht ganz kurzdauernde Atemtätigkeit möglich war; das Opfer muß zum Zeitpunkt der Bedeckung ja bereits bewußtlos gewesen sein (sonst hätte es sich aus der Lage befreien können); auch bei bereits abwehrgeschwächten Personen scheint also eine solche Atmung unter Sand durchaus einige Zeit möglich zu sein.

Bemerkenswert war schließlich, daß bei feuchtem Sand (wie er in unseren Breiten „draußen“ meistens vorliegen dürfte) praktisch kein Sand aspiriert wurde. Diese Beobachtung steht im Einklang mit den entsprechenden autoptischen Befunden und ist geeignet, deren Bedeutung hervorzuheben: Auch geringe Mengen Sand (nach denen man u. U. suchen muß) sind nicht ohne weiteres als Zeichen einer nur noch insuffizienten (etwa terminalen) Atmung aufzufassen, sondern sie lassen sich mit der Annahme eines tödlichen Erstickungsvorganges durch Verschuß der Atemwege vereinbaren. Da ein postmortales Eindringen von Sand in die tiefen Atemwege gewöhnlich nicht zu erwarten ist, hat ein solcher Befund erhebliches Gewicht. Nicht möglich wird es allerdings sein, hieraus allein etwa auf eine bestimmte Dauer des Erstickungsvorganges zu schließen (ob es sich also um ein finales oder allein todesursächliches Phänomen gehandelt hat): dies wird ggf. nur unter Berücksichtigung aller Umstände und Befunde zu beantworten sein. Für die Untersuchung solcher Fälle erscheint es empfehlenswert, der Frage einer auch nur geringen Sandaspiration und auch besonders der exakten Fundsituation (Beschaffenheit des Sandes?) besondere Beachtung zu schenken.

Eingegangen am 29. Januar 1985