

*Originalarbeiten / Original Works*

## **Unbekannte Gefahr bei Aderlaß mit Unterdruckflaschen: Luftembolie**

Joachim Lötterle und Burghard Schellmann

Institut für Rechtsmedizin der Universität Erlangen-Nürnberg, Universitätsstraße 22,  
D-8520 Erlangen, Bundesrepublik Deutschland

### **Unknown Danger in Phlebotomy with Vacuum Flasks: Air Embolism**

**Summary.** A case of nonfatal air embolism during a phlebotomy is reported. It was due to an incorrect procedure and a negligently nonevacuated vacuum flask.

The underlying mechanism is theoretically derived and experimentally confirmed.

The experiments show that by this mode of phlebotomy hyperbaric pressure occurs in the withdrawal flask which cause the escape of air into the venous system. This inflow of air may be enough to cause fatal air embolism.

**Key word:** Air embolism during phlebotomy with vacuum flask

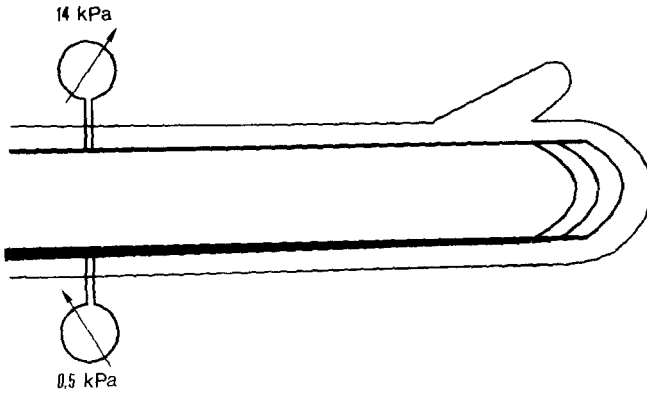
**Zusammenfassung.** Es wird über einen Fall einer nicht tödlich verlaufenen Luftembolie bei Aderlaß berichtet, welche durch unsachgemäßes Vorgehen und versehentlich nicht evakuierte Unterdruckflasche zustande kam.

Der zugrundeliegende Entstehungsmechanismus wird theoretisch abgeleitet und experimentell bestätigt.

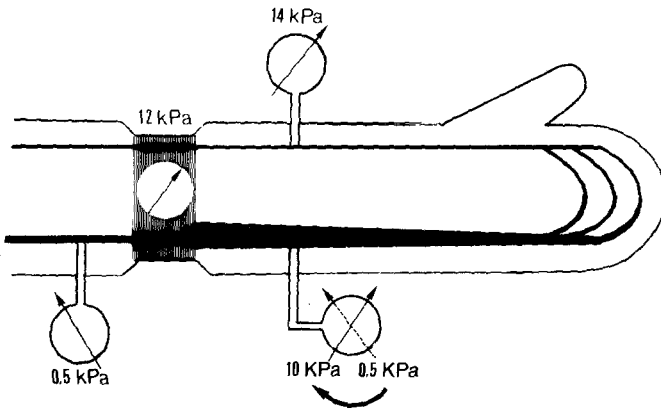
Die Versuche zeigen, daß durch diese Art des Aderlasses Überdrucke in der Blutentnahmeflasche aufgebaut werden, welche Luftmengen in das Venensystem übertreten lassen, die in der Größenordnung tödlicher Luftembolien liegen können.

**Schlüsselwort:** Luftembolie bei Aderlaß mit Unterdruckflasche

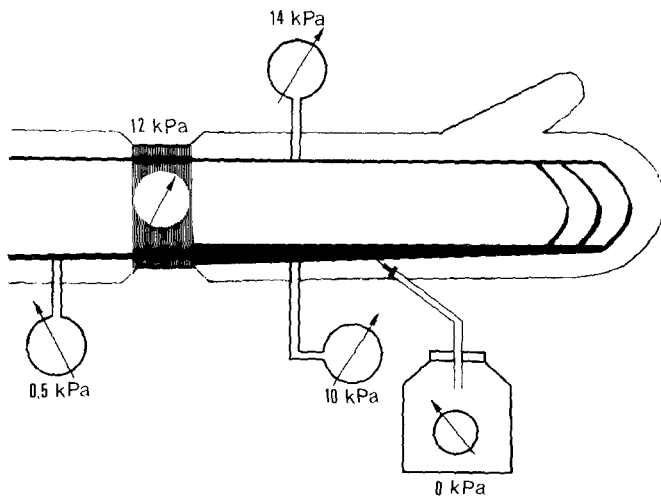
Über die Möglichkeit des Auftretens einer Luftembolie bei ärztlichen Eingriffen am Venensystem ist von zahlreichen Autoren (Peters u. Armstrong 1978; Pollack 1978; Armstrong et al. 1977; Grace 1977; Kempmann 1977; Stucki 1976; Weiler 1976; Hessov 1973; Tahir 1973; Wiebecke 1973; Maresch 1971; Thieler 1971) berichtet worden. Fälle von intravenöser Luftinjektion in suicidaler Absicht beschrieben z. B. Szabó und Engárt (1971) sowie Nitsche (1954).



**Abb. 1.** Physiologische Kreislaufverhältnisse im Arm: arterieller Mitteldruck  $14\text{ kPa}$ , venöser Druck  $0,5\text{ kPa}$



**Abb. 2.** Stauen des Oberarms mit einem Druck von  $12\text{ kPa}$ . Anstieg des venösen Drucks auf  $10\text{ kPa}$



**Abb. 3.** Punktion der gestauten Vene mit einem Blutentnahmebesteck. Die Aderlaßflasche hat atmosphärischen Druck

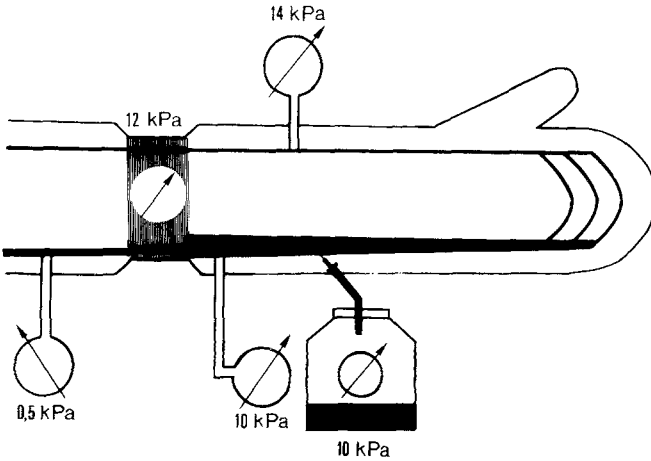


Abb. 4. Druckausgleich in den verbundenen Systemen Vene und Aderlaßflasche

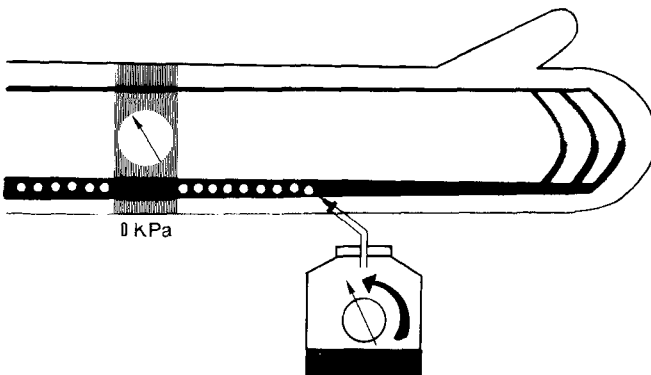


Abb. 5. Rasches Entstauen des Arms: Durch den Überdruck in der Flasche wird ein Teil der Luft in die Vene gepreßt: Luftembolie

Die Gefahr einer Luftembolie bei Aderlaß mit Unterdruckflaschen ist bislang, soweit übersehbar, unbekannt.

Der nachfolgend beschriebene Fall einer nicht tödlich verlaufenen Luftembolie veranlaßte uns, Überlegungen über den zugrundeliegenden Pathomechanismus anzustellen und diesen experimentell zu überprüfen.

Ein 78jähriger Patient mit der Diagnose „Exacerbation einer chronisch-asthmoiden Emphysebronchitis, Rechtsherzinsuffizienz, Hypertonie“ sollte wegen der Schwere des Krankheitsbildes einige Tage immobilisiert werden. Bei einem Hämoglobingehalt des Patienten von 18,7 g/100 ml sollte neben einer Thromboseprophylaxe mit Liquimin ein Aderlaß von 500 ml durchgeführt werden. Dieser wurde mit einem Blutentnahmebesteck für Bluttransfusionen<sup>1</sup> und einer 500 ml-Vakuumflasche vorgenommen. Zunächst wurde mit der Klem-

<sup>1</sup> Blutentnahmebesteck der Firma Biotest; <sup>2</sup> Kanülen von 1,5 mm Außendurchmesser, verbunden mit einem 65 cm langen Kunststoffschlauch mit 3 mm Innendurchmesser

me der Schlauch unterbunden, dann die eine der beiden Kanülen durch den Gummistopfen der Vakuumflasche gestochen. Mit der anderen Kanüle erfolgte die Punktion einer kräftig gestauten Vene in der Ellenbeuge. Anschließend wurde die Klemme geöffnet: der Blutstrahl war eine Minute lang gleichmäßig stark und wurde dann rasch schwächer. Etwa 1½ min später erfolgte der Blutübertritt nur noch tropfenweise und sistierte nach etwa 4 min völlig. Die Blutmenge in der Flasche betrug zu diesem Zeitpunkt 70 ml.

Es wurde davon ausgegangen, daß Kanüle oder Schlauch des Blutentnahmesystems durch ein Blutkoagel verlegt seien. Darum sollte die Kanüle gezogen werden. Zuvor wurde die Staubinde gelöst, ohne den Schlauch abzuklemmen. In diesem Augenblick schoß aber die im Schlauch des Blutentnahmesystems verbliebene Blutsäule in die Vene des Patienten zurück. Unmittelbar darauf war in der noch liegenden Kanüle für kurze Zeit ein zischendes Geräusch zu hören. Subjektiv gab der Patient an, ein blasiges Gefühl über dem Oberarmbeuger verspürt zu haben. In der Vena cephalica konnten Luftblasen palpirt werden.

Zweifellos war es zum Eindringen von Luft in das Venensystem gekommen, jedoch reichte ihre Menge nicht aus, um klinische Symptome einer kardialen oder pulmonalen Luftembolie hervorzurufen.

Im folgenden stellten wir theoretische Überlegungen zum Entstehungsmechanismus der oben beschriebenen Luftembolie an.

Es besteht keine Möglichkeit der Erklärung des Vorfalles, wenn Vakuum in der Aderlaßflasche angenommen wird. Bei ausgeglichenem Druck in der Flasche wird aber nachstehend beschriebener Mechanismus eintreten:

Bei physiologischen Kreislaufverhältnissen findet sich im Arm ein arterieller Mitteldruck von ca. 14 kPa, auf der venösen Seite herrscht ein Druck von etwa 0,5 kPa (Abb. 1). Staut man eine Blutdruckmanschette auf einen Druck von 12 kPa, so erreicht der Blutdruck im venösen Schenkel allmählich einen Wert, der geringfügig unterhalb des Drucks der Manschette liegt. Der arterielle Mitteldruck verändert sich nicht (Abb. 2).

Mit einem Aderlaßsystem, bei welchem die Flasche Normaldruck hat, wird nun die Vene des Patienten punktiert (Abb. 3).

Beim Einstechen wird nun entsprechend dem Überdruck in der Vene Blut in die Flasche ausfließen, in der zunächst atmosphärischer Druck herrscht. Nach kurzer Zeit kommt es zum Druckausgleich zwischen den beiden kommunizierenden Systemen Vene und Aderlaßflasche (Abb. 4), beide sind mit etwa 10 kPa hyperbar.

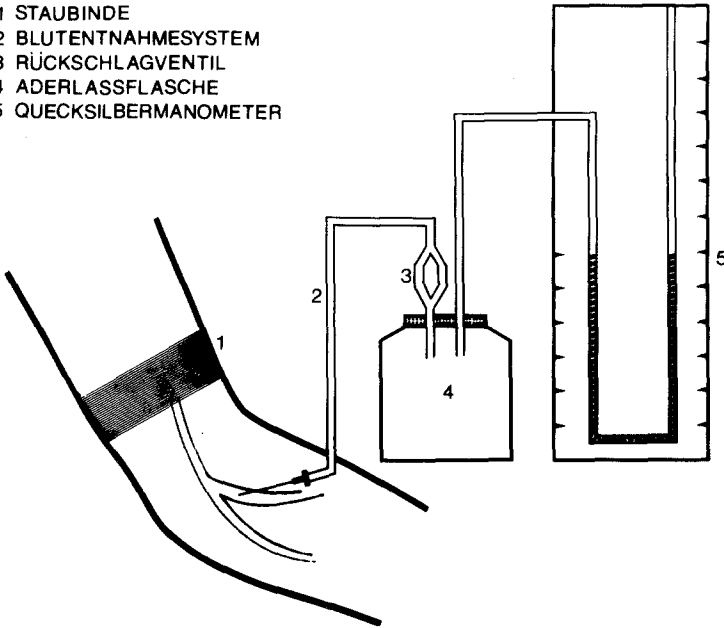
Werden nun die Blutgefäße im Arm entstaut, so nähert sich der venöse Druck sehr rasch seinem Ausgangswert. Der Druck in der Flasche wird (gegenüber dem venösen) zum Überdruck und führt dazu, daß Luft in die Vene gepreßt wird; es kommt zur Luftembolie (Abb. 5). Wir wollten diese theoretischen Überlegungen durch entsprechende Versuche bestätigen.

## Material und Methoden

Abbildung 6 zeigt schematisiert die Versuchsanordnung mit Meßvorrichtung.

Um den Oberarm der Versuchsperson wurde eine Staubinde so aufgeblasen, daß der Radialispuls des gestauten Armes deutlich schwächer als an der Gegenseite zu tasten war. Aus

- 1 STAUBBINDE
- 2 BLUTENTNAHMESYSTEM
- 3 RÜCKSCHLAGVENTIL
- 4 ADERLASSFLASCHE
- 5 QUECKSILBERMANOMETER



**Abb. 6.** Versuchsaufbau mit der Meßvorrichtung, schematisch: Gemessen wird die in die Aderlaßflasche austretende Blutmenge und der entstandene Überdruck

Sicherheitsgründen schalteten wir der 500 ml-Flasche ein Rückschlagventil vor. In der Flasche selbst herrschte Normaldruck. Der auftretende Überdruck in der Flasche wurde durch ein Quecksilbermanometer gemessen, die ausgetretene Blutmenge am Ende des Versuchs durch Wägung ermittelt.

Entsprechende Messungen wurden an 7 freiwilligen, voll aufgeklärten Versuchspersonen durchgeführt; bei 6 der 7 Probanden wurde durch eine definierte Fahrrad-Ergometerbelastung eine Blutdruckerhöhung herbeigeführt. An der linken Ellenbeuge erfolgte jeweils die Punktion, der Blutdruck wurde am rechten Arm gemessen und zusammen mit dem Druck im Blutentnahmesystem alle 30 s registriert. Jeder Versuch wurde so lange fortgeführt, bis kein Blut mehr in die Flasche tropfte. Dies war nach 3–8 min der Fall. Dann wurde das Schlauchsystem aus Sicherheitsgründen abgeklemmt.

## Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt die bei den Versuchspersonen gemessenen Blutdruckwerte und die ins Blutentnahmesystem geflossenen Blutmengen.

Abbildung 7 zeigt die gewonnene Blutmenge der Flasche in Abhängigkeit vom arteriellen Mitteldruck. Zwischen beiden Parametern ist kein Zusammenhang erkennbar.

Abbildung 8 zeigt den Anstieg des Drucks in der Flasche in Abhängigkeit von der Zeit bei Versuchsperson 5. Bereits nach 50 s wird die Hälfte des Enddrucks, hier als  $\frac{P}{2}$  bezeichnet, erreicht.

Die Druckkurven der anderen Versuchspersonen zeigten ähnliche Verläufe.

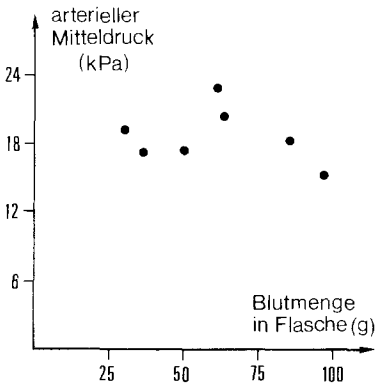


Abb. 7. Darstellung der jeweils in die Aderlaßflasche ausgetretenen Blutmengen, aufgetragen gegen den entsprechenden arteriellen Mitteldruck der Versuchspersonen

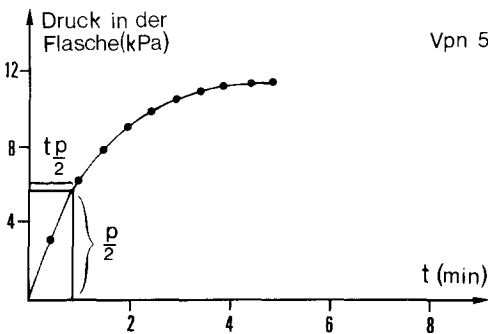


Abb. 8. Druckanstieg in der Aderlaßflasche in Abhängigkeit von der Zeit

## Diskussion

Die Ergebnisse unserer experimentellen Untersuchungen bestätigen, daß unter bestimmten Bedingungen beim Aderlaß die Gefahr einer Luftembolie besteht. Sie ist nämlich immer dann gegeben, wenn eine Entnahmeflasche ohne Vakuum benützt *und* vor dem Lösen der Druckmanschette die Schlauchverbindung zwischen Vene und Flasche nicht abgeklemmt wird.

Verschiedene Ursachen für einen vorzeitigen vollständigen oder partiellen Verlust des Vakuums in der Flasche sind denkbar: Ungeschicktes Einstechen in den Gummistopfen mit Verkanten der Nadel, zu langes Aufbewahren der evakuierten Flasche oder defekte Gummidichtung. Außerdem kann auch eine Unterdruckflasche mit einer nicht evakuierten Flasche vertauscht worden sein.

Die Untersuchungen zeigten, daß zwischen arteriellem Mitteldruck und der ausgetretenen Blutmenge bzw. dem Überdruck im Entnahmegefäß kein sicherer Zusammenhang zu bestehen scheint. Die Ergebnisse zeigen weiter, daß innerhalb der ersten Minute bei dem Aderlaß aus der Blutaustrittsgeschwindigkeit nicht geschlossen werden kann, ob in der Entnahmeflasche Vakuum oder ausgeglichener Druck herrscht.

Stucki (1976) berichtet über einen ähnlichen Fall der Luftembolie bei Aderlaß mit Normaldruckflasche. Hier kam allerdings die Luftembolie dadurch zustande, daß die zur Entlüftung vorgesehene zweite Kanüle verstopft war und dadurch ein Überdruck im Entnahmesystem aufgebaut wurde.

**Tabelle 1.** Am Arm gemessene Blutdruckwerte der Versuchspersonen und übergetretene Blutmengen in die Aderlaßflasche

Versuchs- person	Ge- schlecht	Alter	Blutdruck (kPa)			Blutmenge in der Flasche (g)
			a	b	c	
1	m	26	29/12	29/12	30/11	27
2	m	23	19/12	19/11	21/12	37
3	w	25	19/13	20/13	21/13	50
4	m	44	24/15	25/16	29/16	62
5	m	29	22/11	22/13	27/13	65
6	m	27	19/12	20/12	23/13	87
7 <sup>a</sup>	m	29	15/11	16/11	15/11	96 <sup>a</sup>

a: 1 min nach Versuchsbeginn  
b: 2 min nach Versuchsbeginn  
c: bei Versuchsende

<sup>a</sup> Ohne Fahrradergometerbelastung, kein Rückschlagventil vorgeschaltet

Die von uns experimentell erreichten Blutmengen in den Flaschen, die zu dem entsprechenden Überdruck führten, lagen in der Größenordnung zwischen 96 und 23 g, wobei davon auszugehen ist, daß das bei 6 der 7 Versuchspersonen aus Sicherheitsgründen verwendete Rückschlagventil zu einer Senkung der Drucke bzw. Blutmengen geführt hat. Der höchste Wert von 96 g Blut wurde bei einem Versuch ohne Rückschlagventil erreicht. Damit liegen die Luftmengen, die in das venöse System gelangen können, z. T. im Bereich lebensgefährlicher Luftembolien, welcher im Schrifttum mit 80–130 ml angegeben wird (Arbab-Zadeh et al. 1977; Jarosch u. Ritter 1976; Meixner 1940; Mueller 1975; Nitsche 1954; Schwerd 1975).

Die so erreichbaren Luftmengen sind als gefährlich zu betrachten, insbesondere wenn die Beibringung der Luft rasch und relativ zentral erfolgt, oder wenn es sich um ältere Patienten handelt, die wegen ihres Grundleidens bereits eine Rechtsherzbelastung aufweisen.

## Literatur

- Arbab-Zadeh A, Prokop O, Reimann W (1977) Rechtsmedizin. G Fischer, Stuttgart  
 Armstrong RF, Peters JL, Cohen SL (1977) Air embolism caused by fractured central-venous catheter (Letter). *Lancet* I:954  
 Grace DM (1977) Air embolism with neurological complications: A potential hazard of central venous catheters. *Can J Surg* 20:51–53  
 Hessov I (1973) Luftembolier via defekte infusionssaet. *Ugeskr Laeg* 135:77–79  
 Jarosch K, Rittner Ch (1976) Der Abbruch der Schwangerschaft. In: Prokop O, Göhler W (Hrsg) *Forensische Medizin*, 3. Aufl. G Fischer, Stuttgart  
 Kempmann G (1977) Die Luftembolie als Komplikation des Subclaviakatheters. *Fortschr Geb Röntgenstr Nuklearmed* 126:170–171  
 Maresch W (1961) Ungewöhnliche Ursachen der Luftembolie. *Beitr Gerichtl Med* 21:40–47  
 Meixner K (1940) Luftembolie. In: Neureiter F, Pietrusky F, Schütt E (Hrsg) *Handwörterbuch der Gerichtlichen Medizin und Naturwissenschaftlichen Kriminalistik*. Springer, Berlin

- Mueller B (1975) Luftembolie bzw. Gasembolie. In: Mueller G (Hrsg) Gerichtl Medizin, 2. Aufl. Springer, Berlin
- Nitsche, G (1954) Die Luftembolie. Dtsch Med J 5:665-669
- Peters JL, Armstrong R (1978) Air embolism occurring as a complication of central venous catheterization. Ann Surg 187:375-378
- Pollak S, Dellert P, Vycudilik W (1978) Kriminalistische Aspekte iatrogenen Luftembolien. Z Rechtsmed 82:211-223
- Schwerd W (1975) Schwangerschaftsabbruch. In: Schwerd (Hrsg) Kurzgefaßtes Lehrbuch der Rechtsmedizin. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln
- Stucki P (Redakteur) (1976) Aderlaß und Luftembolie. Schweiz Rundschau Med (Praxis) 65: 1146-1147
- Szabó M, Engárt G (1971) Selbstmordversuch durch intravenöse Luftinjektion. Z Rechtsmed 68:38-40
- Tahir AH (1973) Prevention of air embolism during subclavian venipuncture. J Am Med Assoc 223:79-80
- Thieler H (1971) Nil nocere! Möglichkeiten einer Luftembolie bei iv Infusion. Z Ärztl Fortbild 65:588
- Weiler G (1976) Zur venösen Gasembolie bei diagnostischen und therapeutischen Eingriffen unter besonderer Berücksichtigung des Pneumoperitoneums. Beitr Gerichtl Med 34:9-14
- Wiebecke D (1973) Die massive venöse Luftembolie — gefährlichster Transfusionszwischenfall. Ursachen und Art ihrer Entstehung. Referate der 5. Internationalen Tagung der Gesellschaft für forensische Blutgruppenkunde e. V., Amsterdam 1973, S 469-477

Eingegangen am 6. Februar 1980