

Titel: Funktionsanalyse von Beatmungsgeräten unter hypobaren Bedingungen.

Autoren: Schedler O¹, Stein E²

Institutionen:¹ ADAC Luftrettung, Ackerstraße 11, 01968 Senftenberg (ÄL OMR Dr. med. H. Handschak)

² Fachhochschule Lausitz, Fachbereich Informatik, Elektrotechnik, Maschinenbau (Dekan Prof. Dr. Ing. Biegel)

Ausmaß und Bedeutung

Die Wissenschaftstage der Fachhochschule Lausitz in Senftenberg haben die Aufgabe den Wissenstransfer zwischen Lehre, Studium und Forschung mit der Industrie und Praxis zu initiieren, aufrechtzuerhalten und zu fördern. Wir möchten Ihnen eine praxisnahe und -relevante Ergebnis aus der Zusammenarbeit der Medizin, vertreten durch die ADAC Luftrettung und der Hochschule unter dem Motto: "Aus der Praxis, für die Praxis." vorstellen.

In Senftenberg unterhält die ADAC Luftrettung einen Luftrettungsdoppelstützpunkt. Das bedeutet, dass neben einem Rettungstransporthubschrauber (RTH) Christoph 33 auch ein Intensivtransporthubschrauber (ITH) Christoph 71 stationiert ist. Beide Hubschrauber entstammen der neusten Generation des Herstellers Eurocopter und sind mit modernen medizintechnischen Geräten ausgestattet. Insgesamt bestehen zurzeit 31 ADAC Luftrettungsstationen, an welchen im Jahr 38553 Luftrettungseinsätze geflogen werden. 16,5 % (n=6347) Einsätze betreffen davon Störungen der Atemfunktion, wie zum Beispiel die akute Luftnot. 5,7% der Rettungseinsätze (n=1924) werden speziell wegen Krankheiten der Lungen durchgeführt. In insgesamt 3560 Behandlungsfällen (9,2%) kommt es zur Durchführung einer maschinellen Beatmungstherapie im Luftrettungsdienst.

Diese Therapie mit Beatmungsgeräten erfolgt während des Hubschrauberflugs in 28,8% mit Notfallrespiratoren und in 71,3% mit Beatmungsgeräten aus der Intensivtherapie. Notfallrespiratoren sind transportable Beatmungsgeräte mit einem eingeschränkten Funktionsmodus. Werden Beatmungen durchgeführt, finden sie in 16,6 % als volumenkontrollierte Beatmung und in 14,6% als druckkontrollierte Beatmung statt. Nur in 2,5% der Behandlungsfälle wird eine assistierte Beatmung durchgeführt. In 66,3% erfolgte keine Differenzierung der maschinellen Beatmungstherapie.

Problemidentifikation

Die Unterscheidung der Beatmungsformen spielt im Zusammenhang der Problemidentifikation eine wesentliche Rolle. Während in der volumenkontrollierte Beatmung das zu applizierende Atemhubvolumen konstant und der dadurch entstehende Beatmungsdruck variabel ist, wird während der druckkontrollierten Beatmung der maximal zu erreichende Atemwegsdruck vorgegeben. Das applizierte Atemvolumen ist dabei variabel. Eine assistierte Beatmung bedeutet, dass der Patient eigene Atembemühungen hat, welche in der Regel druckunterstützte Beatmungshilfe erfährt. Die voreingestellten Beatmungsmöglichkeiten unterscheiden sich jedoch im Wesentlichen durch den Atemgasstrom (Flow). Die damit verbundene Problemidentifikation betreffen die Veränderungen des Flow durch Barometerdruckveränderungen, Vibrationen der Hubschrauberkabine sowie höhenbedingten Temperaturänderungen. [Literatur]

Da diese in der Luftrettung auftretenden physikalischer Veränderungen erheblichen Einfluss auf den Flow und damit auf die Beatmungstherapie haben, wurden in Simulationsstudien, Beatmungsanalysen und gemeinsamen Datenberechnungen deren medizinische Bedeutung und Auswirkung analysiert.

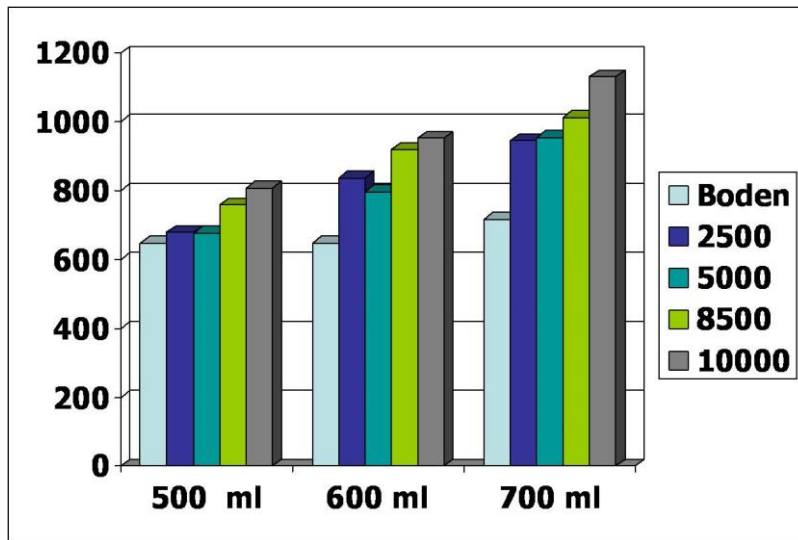
Aus Untersuchungen während Bergexpeditionen oder Unterdruckkammerexperimenten ist bekannt, dass sich mit zunehmender Höhe die Atemwegsparameter und Atemvolumina verändern. So kommt es in 8000 Fuss (2600 m) zur Zunahme des Residualvolumens, des maximal expiratorischen Atemwegsfluss (PEF) mit höhenbedingten Abnahme des Strömungswiderstandes (W_{turb}) und der Atemgasdichte.

Studienergebnisse

Die Simulationsstudien fanden in der Unterdruckkammer der Luftwaffe im flugphysiologischen Institut in Königsbrück statt. In diesen Untersuchungen wurden Notfallbeatmungsgeräte und Beatmungsgeräte aus der Intensivmedizin einer Funktionsanalyse in einen Höhenprofil von 2500 Fuss (750 m) bis 10000 Fuss (3500 m) unterzogen. Dazu wurde ein computergestützter Lungensimulator (ASL 5000) verwendet. Die Steuerungs- und Auswertungssoftware beruhte auf LabView Programm.

Anhand dieser Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass während der Beatmung in hypobare Umgebungsbedingungen mehr Volumen appliziert wurde als vom Anwender vorgesehen. Diese Volumenbelastung wird jedoch nicht vom Beatmungsgerät erkannt. In der Gruppe der Notfallbeatmungsgeräte wurden bis zu 400 ml pro Atemzug mehr Volumen verabreicht. In der Graphik 1 sind die Volumenabweichungen dargestellt.

Grafik 1: Volumenveränderungen



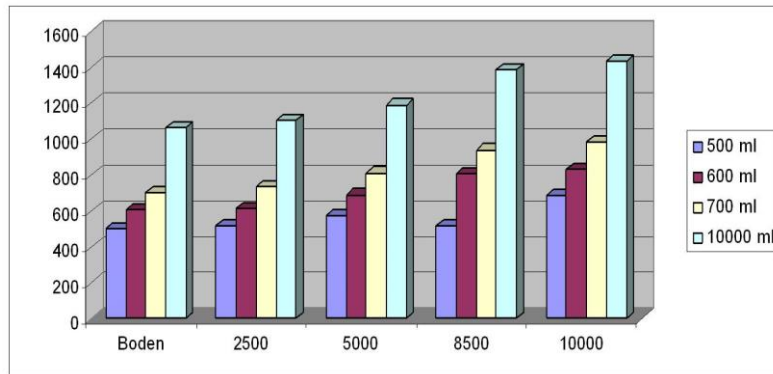
Je nach Hersteller werden Abweichungen von 15 bis 20 % des Atemminuten- bzw. Atemhubvolumen als Referenzwertbereich toleriert. In der Abszisse befinden sich die applizierten Volumina in Milliliter. Auf der Ordinate sind die gewählten Atemhubparameter (z.B. 500 ml) in den jeweiligen Druckhöhen in Fuß dargestellt. Die Tabelle 1 zeigt die Meßergebnisse in Milliliter. (Siehe Bild/ Tabelle 1).

Tabelle 1: Volumenänderungen in Milliliter

	500 ml	600 ml	700 ml
Boden	648	647	717
2500	678	836	945
5000	676	797	953
8500	758	919	1011
10000	807	952	1131

Auch in der Gruppe der Beatmungsgeräte aus der Intensivmedizin sind Atemvolumenzunahmen nachgewiesen wurden. Diese übersteigen mit zunehmender Höhe ihre von Hersteller angegebenen Referenzwerte, so dass ab 10000 Fuss (3500 m) alle Beatmungsparameter außerhalb ihrer Referenzwerte lagen.

Grafik 2:



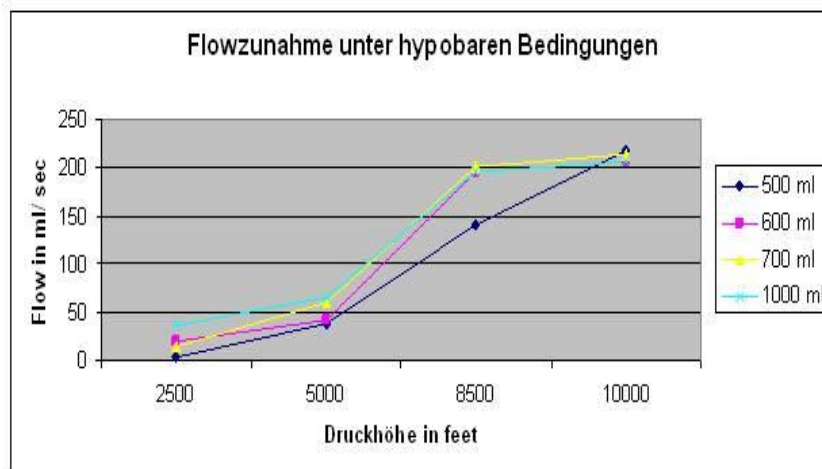
In der Graphik 2 kommen auf der Ordinate die gemessenen Atemvolumina in ml zur Abbildung. Auf der Abszisse sind die Druckhöhen in Fuß und als Säulendiagramme die gewählten Atemparameter abgebildet.

Tabelle 2:

	500 ml	600 ml	700 ml	10000 ml
Boden	502	604	706	1065
2500	520	615	732	1107
5000	572	691	812	1190
8500	516	808	941	1386
10000	689	832	983	1438

Die Tabelle 2 zeigt die Meßergebnisse aus der Messung mit dem Intensivrespirator in ml auf. (Bild/ Tabelle 2) Da die verabreichten Atemhubvolumen eine Funktion des Atemgasflusses ist ($\text{Flow} = \text{Volumen} / \text{Zeit}$ in ml/sec), konnte eine konstant ansteigende Funktion des Atemgasflusses nachgewiesen werden. Im Bild 3 werden die maximalen Atemgasströmungen (Peak flow) in ml/sec und die entsprechende Druckhöhe in Fuß aufgezeigt. Dabei sind die eingestellten Atemhubvolumen als Linie aufgezeigt. In der Tabelle 3 sind die Meßergebnisse in ml/sec in den verschiedenen Messhöhen dargestellt. (Bild/ Tabelle 3).

Grafik 3:



Somit wurden von 7 Beatmungsgeräten in 5 Höhenprofilen und 7 Messreihen pro Gerät etwa 10000

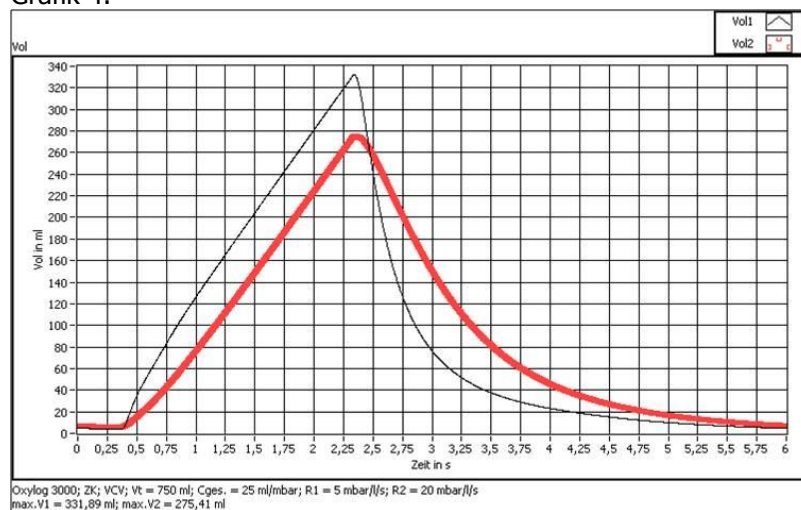
Einzelmessungen durchgeführt. Dadurch konnten die physikalischen Gesetzmäßigkeit auch für die Beatmung im Luftrettungsdienst nachgewiesen werden.

Es blieb jedoch ungeklärt, wie diese Atemwegsdruckunterschiede und Atemvolumenschwankungen die intraalveoläre Gasverteilung beeinflussen. Weiterhin bestand keine Möglichkeit den Betrag der Gasverteilungen zu berechnen. In dieser ausweglosen Situationen suchten wir den Kontakt zur Fachhochschule Lausitz und konnten im Bereich Informatik, Elektrotechnik und Maschinenbau, speziell in der Sensor- und Messtechnik Hilfe finden.

Praktische Relevanz

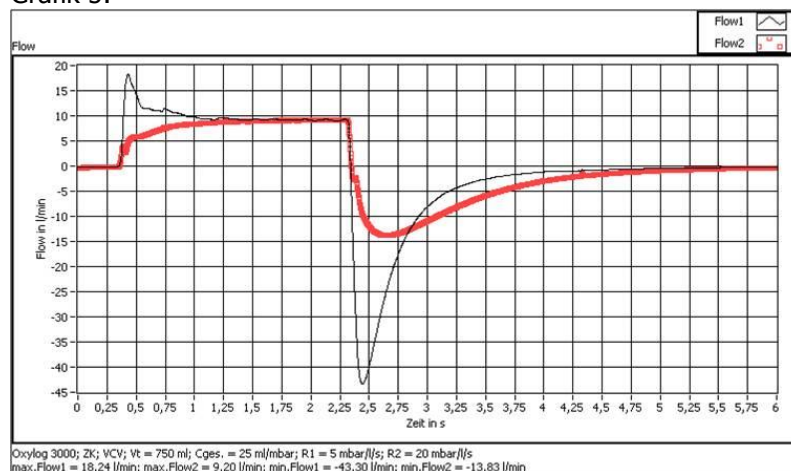
Aus den LabView basierenden Kompartimentversuchen für Atemvolumen und Atemgasfluss (Bild 4/ Bild 5) gelang es Prof. Dr. Ing. Erhard Stein ein Programm zur Berechnung der intraalveolären Gasverteilung zu erstellen, mit deren Hilfe nicht nur der Betrag der strömenden Gasvolumina in ml/sec errechnet werden kann, sondern auch Aussagen darüber möglich sind wohin sich das Gasvolumen verteilt.

Grafik 4:



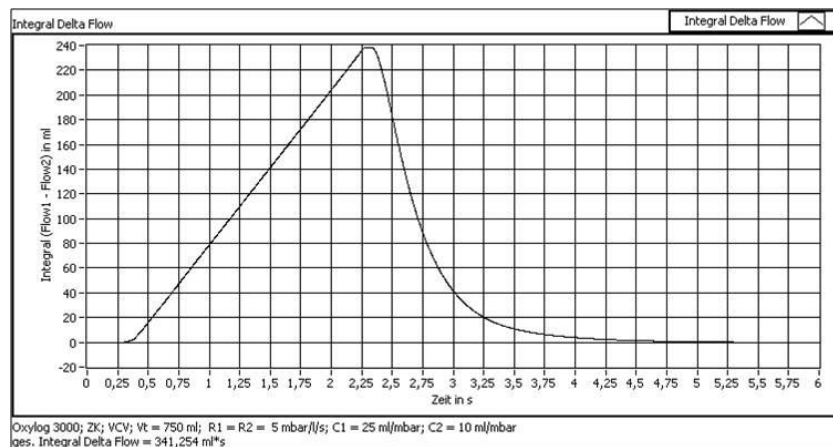
In der Graphik 4 sind die Beatmungskurven für das Volumen im Zweikompartimentmodell aufgezeigt. In einem Zweikompartimentmodell werden den Bereichen unterschiedlich Dehnbarkeitswerte (Compliance) und Widerstandswerte (Resistance) zugeordnet. Aus der inspiratorischen- und expiratorischen Volumendifferenz ergibt sich die intrapulmonale Gasvolumenverteilungsstörung. In der Graphik 5 sind die im Zweikompartimentmodell zugehörigen Atemgasflusskurven abgebildet. Aus der Differenz des durch Widerstand veränderten Strömungskanal ergeben sich die intraalveolären Gasverteilungsstörungen.

Grafik 5:



Die Bedeutung dieser Entwicklung ist in ihrer Größe und Relevanz für die Beatmungstherapie noch nicht abschätzbar. Sicher ist, dass niemand die Atemgasverteilung des Kompaktrespirator Oxylog 3000 im Zweikompartmentmodell im volumenkontrollierte Modus für 750 ml mit 341,254 ml*s angeben kann.

Grafik 6:



In Abbildung 6 wird das Integral des Atemgasflusses als intraalveoläre Gasverteilungsstörung aufgezeigt. Eine Publikation der gemeinsam gewonnenen Ergebnisse ist nun geplant.