



Zauberstoff Sauerstoff

oder

Wie kommt der Sauerstoff aus der Flasche zum Patienten?

*Ein Überblick über die verschiedenen Sauerstoffnotfallsysteme
von Dr. med. Claus-Martin Muth*

Teil 2:

Die intelligenteren Lösungen - sauerstoffsparende Systeme

Wie in Teil 1 mehrfach angesprochen, bieten Systeme mit konstanter Sauerstoffabgabe nur über einen sehr begrenzten Zeitraum die Möglichkeit zur Sauerstoffgabe. Dies mag in zivilisierten Gegenden mit gut ausgebautem Mobilnetz und Rettungssystem dann kein Problem sein, wenn der Tauchlehrer über ein Mobiltelefon verfügt und das Tauchgewässer nicht gerade in einem Funkloch liegt, an Auslandsbasen können sich so jedoch Probleme einstellen.

Die wesentlich intelligentere Lösung ist sicher die **Verwendung von sauerstoffsparenden Systemen**, die somit eine gewisse zeitliche und damit auch Sicherheitsreserve bieten. Zu diesem Zweck gibt es zwei grundsätzlich unterschiedliche Systeme auf dem Markt, nämlich die **Demand-Systeme** und ein **Sauerstoffkreislaufgerät**, die im folgenden vorgestellt werden sollen:

Vorbemerkung: Wie kann Sauerstoff gespart werden? Zunächst sicher dadurch, dass der Gasfluss nur dann freigegeben wird, wenn tatsächlich eine Einatmung erfolgt. Dieses Prinzip ist allen Tauchern unter der Bezeichnung Atemregler oder Lungenautomat bekannt und nach eben diesem Prinzip des zweistufigen Lungenautomaten funktionieren auch die **Demandsysteme**, die ebenfalls aus einem Druckminderer und einem Lungenautomaten bestehen. Die Zeit, in der Sauerstoff zur Verfügung steht, lässt sich damit fast um Faktor 3 steigern. Dies erklärt sich aus der Tatsache, dass das Verhältnis von Einatmung zu Ausatmung im Normalfall 1:2 beträgt, also dass nur ein Drittel eines Atemzyklus für die Einatmung gebraucht wird.

Noch wesentlich effektiver können **Kreislaufgeräte** Sauerstoff sparen, denn es ist ebenfalls bekannt, dass nur ca. 4% des eingeatmeten Sauerstoffs in der Lunge entnommen werden. Beim Atmen von reinem Sauerstoff werden also ca. 96% wieder ausgeatmet und sind im Normalfall verloren. Wird das Ausatemgas jedoch vom Kohlendioxid befreit und der verbrauchte Anteil an Sauerstoff zugefügt, kann das Gas abermals geatmet werden. Dieses Prinzip ist Tauchern ebenfalls bekannt und wird bei Sauerstoffkreislaufgeräten genutzt.

Demand-Systeme

Demand-Systeme sind Druckminderer, die bedarfsgesteuert die Möglichkeit zur Sauerstoffatmung bieten. Das grundsätzliche Funktionsprinzip ähnelt dem des allen Tauchern bekannten Lungenautomaten: Der Flaschendruck wird in einer Ersten Stufe auf einen Mitteldruck reduziert, in einer zweiten Stufe dann auf Umgebungsdruck gesenkt. Es gibt **zwei konkurrierende Systeme** auf dem deutschsprachigen Markt, die sich in ihrer Vollversion allerdings nur in Details unterscheiden. Bevor die beiden Systeme vorgestellt werden, sei jedoch ausdrücklich davor gewarnt, einen Lungenautomaten für den Zweck der bedarfsgesteuerten Sauerstoffatmung umzurüsten und somit zweckzuentfremden: Sauerstoffgeräte müssen zum einen absolut fettfrei sein, zum anderen können Atemmasken oder gar Beatmungsbeutel nicht mit Tauch-Lungenautomaten kombiniert werden.

DAN-System

Hinter dem DAN-System steckt das Prinzip 'Taucher helfen Taucher' oder 'Soforthilfe mit normobarem Sauerstoff bei Tauchunfällen'. Aus diesem Grund ist das System auch für möglichst unkomplizierte Handhabung konzipiert. Kernstück des DAN-Systems ist ein Druckminderer für Sauerstoff, der mit zwei Mitteldruckabgängen und einem weiteren, für konstante, jedoch regelbare Sauerstoffabgabe vorgesehenen Abgang versehen ist. Dieser Abgang für konstante Sauerstoffabgabe ist über einen Einstellmechanismus von 0 bis 25 Litern Sauerstoff pro Minute gestuft verstellbar. Wird nur dieser Abgang in Betrieb genommen, entspricht das Gerät den oben beschriebenen Druckminderern, kann aber wesentlich höhere Gasflüsse gewährleisten. An diesen Abgang können handelsübliche Sauerstoffverbindungsschläuche angebracht werden, so dass Sauerstoffinhalationsmasken oder auch ein Beatmungsbeutel mit diesem Gerät betrieben werden können. (Zum Lieferumfang gehört eine **Inhalationsmaske mit Reservoirbeutel**, siehe Teil 1). Diese Option ist wichtig, falls eine Wiederbelebung notwendig sein sollte. Eine Sauerstoffeinsparung findet jedoch so noch nicht statt. Soll eine **Sauerstoffvergeudung vermieden** werden, muss an einem der Mitteldruckabgänge ein Mitteldruckschlauch und ein Atemregler (= Demandventil, 2. Stufe) angeschraubt werden. Da beide Mitteldruckabgänge mit Rückschlagventilen versehen sind, kann das Gerät sowohl mit einem, als auch mit zwei Demandventilen, oder auch nur über den dritten Abgang betrieben werden, ohne dass aus den freien Abgängen Sauerstoff ausströmt. Bei Betrieb über das Demandventil funktioniert das Gerät wie ein Atemregler beim Tauchen, d.h. es gibt nur während der Einatemphase den Gasweg frei und gewährleistet so die Atmung von 100% Sauerstoff über die, im Vergleich zu den im Teil 1 genannten Geräten, fast dreifache Zeit. Wegen der zwei zur Verfügung stehenden Mitteldruckabgänge ist, nach dem Prinzip des Octopus, die gleichzeitige Sauerstoffatmung von zwei Tauchern aus einer Sauerstoffflasche möglich. Nötigenfalls kann sogar ein dritter Taucher, dann allerdings ohne Spareffekt, über den konstant abströmenden Anschluss mit versorgt werden. Leider ist der Betrieb eines Beatmungsbeckens zusammen mit dem Demandventil nicht ohne weiteres möglich und vom Vertrieber nicht vorgesehen, dennoch kann über den konstant abströmenden Abgang, wie bereits erwähnt, ein Beatmungsbeutel betrieben werden. Der Anschluss an eine Sauerstoffflasche erfolgt über einen Adapter (Pin Index Adapter), da der Druckminderer selbst einen Bügelanschluss (Pin Index) hat. Dieses Verfahren ist Tauchern auch von Druckluftflaschen mit sog 'INT'-Ventilen bekannt und stellt daher kein Problem dar. Der Adapter gehört im deutschsprachigen Raum zum Lieferumfang. Desweiteren gehören ein King-Pelikan-Case, eine Sauerstoffinhalationsmaske mit Reservoir und eine Taschenbeatmungsmaske (sie soll dem Laien den Beatmungsbeutel ersetzen) zum Lieferumfang, ebenso wie ein Video mit Anwendungshinweisen. Eine Sauerstoffflasche muss jedoch anderweitig gekauft werden, wobei sowohl eine 2-Liter, als auch eine 5-Liter-Flasche in den Koffer passt. Der Preis des kompletten Gerätes ohne Sauerstoffflasche und Beatmungsbeutel liegt bei ca. 1300,- bis 1400,- DM. DAN bietet über besonders geschulte Instrukturen Anwenderseminare für den Einsatz des Gerätes an (**DAN Oxygen Provider Seminare**), die sehr empfehlenswert sind. Über diese Instrukturen ist auch das Gerät zu beziehen. (Diese Oxygen Provider Seminare sind häufig auch unter der Rubrik 'Termine' in der Zeitschrift "Tauchen" ausgeschrieben). Weitere Informationen sind über DAN Europe, Büro Deutschland und Österreich, Eichkoppelweg 70, 24119 Kronshagen zu erhalten.

Dräger System 'Akutkoffer 2000'

Der *Akutkoffer 2000* stellt eigentlich eine Kofferserie mit verschiedenen Ausstattungsvarianten dar, wobei die Variante *Akutkoffer 2001* die umfassendste Ausstattung besitzt. Da hier jedoch nicht nur das Zubehör, sondern auch Möglichkeiten des Druckminderers gemeint sind, soll im folgenden nur der *Akutkoffer 2001* Erwähnung finden. Kernstück dieses Koffers ist ein Druckminderer, der im wesentlichen dem des DAN-Systems entspricht, da er vom gleichen Hersteller ist. Ein wesentlicher Unterschied ist, daß der Dräger-Druckminderer für DIN-Sauerstoffventile umgerüstet ist, so daß der Adapter entfällt. Ebenso wie das DAN-System verfügt der Druckminderer über einen dritten Abgang für eine regelbare konstante Sauerstoffabgabe, die jedoch nur einen Sauerstofffluß bis 15 Litern pro Minute zuläßt. Der Verbindungsschlauch zwischen dem Druckminderer und dem Demandventil ist der deutschen Kennzeichnung für Sauerstoff entsprechend blau (beim DAN-System grün, entsprechend der amerikanischen Kennzeichnung). Die übrige Funktionsbeschreibung entspricht der des DAN-Systems, es sei hier daher darauf verwiesen.

Zur Ausstattung des Koffers gehört die Kofferschale in handlichem Format und leuchtendem orange, eine 2,5-Liter-Sauerstoffflasche, der beschriebene Druckminderer (Dräger Alduk I) mit Demandventil (Dräger

Oxidem 2000), ein Beatmungsbeutel (Dräger Resutator 2000) der mit dem Demandventil kombinierbar ist und eine Absaugvorrichtung für Sekret o.ä. (Dräger Sjector 2000), die über den 2. Mitteldruckabgang mit Sauerstoff betrieben wird. Der erwähnte Beatmungsbeutel ist zwar gut mit dem Demandventil kombinierbar, nicht jedoch mit sonstigen handelsüblichen Druckminderern, so dass bei Ausfall des Gerätes nur mit Umgebungsluft beatmet werden kann. Vor der Verwendung der Absaugvorrichtung kann in diesem Zusammenhang nur **gewarnt** werden, denn zum einen ist der Auffangbehälter zu klein dimensioniert, zum anderen wird hier sehr viel Sauerstoff für den Saugvorgang vergeudet, der dem Verunfallten verloren geht. Es ist nicht einsehbar, warum ein Gerät, das entwickelt wurde, um Sauerstoff zu sparen und somit längere Behandlungszeiten zu ermöglichen, mit einem solchen Zusatzteil zur Sauerstoffverschwendung kombiniert wird. Zusätzlich wird dadurch der zweite Mitteldruckabgang blockiert, der sonst für die Verwendung eines zweiten Demandsystems und somit für die Behandlung eines zweiten Tauchers zur Verfügung stünde. Die Möglichkeit Sekret absaugen zu können ist sicher eine sinnvolle Option, aber zu diesem Zweck gibt es bei Bedarf leistungsfähige Pumpen für den Hand- oder Fußbetrieb auf dem Markt (z.B. Fa. Söhngen: Vacuped Absaugpumpe, ca. 250,- DM).

Anwenderseminare sind beim Dräger-Gerät nicht vorgesehen. Der Preis für den kompletten Koffer liegt bei ca. 3200,- DM. Weitere Informationen erhält man bei: Drägerwerk Aktiengesellschaft, Moislinger Allee 53-55, D-23542 Lübeck.

Fazit Demand-Systeme

Obwohl der Kern beider Systeme nahezu identisch ist, gibt es doch entscheidende Unterschiede. Beim DAN-System ist nachteilig, daß es nicht völlig komplett ist, d.h. Sauerstoffflasche und ggf. Beatmungsbeutel (mit Reservoir) müssen gesondert beschafft werden. Außerdem ist ein Adapter zur Verwendung mit DIN-Sauerstoffventilen nötig, der allerdings zum Lieferumfang gehört. Hervorragend hingegen ist die von DAN angebotene Schulungsmaßnahme, die auch Nichtbesitzern dieses Gerätes anempfohlen sein sollte. Auch bei Zukauf der angesprochenen Teile hat das DAN System ein gutes Preis-Leistungsverhältnis und garantiert durch einfaches Handling die Atmung von 100% Sauerstoff über eine befriedigende Zeitdauer. Obwohl das Drägersystem sehr komplett ist, stört der sehr hohe Preis. Die Verwendung sinnlosen Zubehörs verstärkt dabei noch das Missempfinden. Obwohl die maximale Abgaberate des dritten Abgangs von 15 Litern pro Minute der sonst üblichen regelbaren Druckminderern entspricht, bietet hier das DAN-System mit 25 Litern pro Minute die größeren Reserven. Aber abgesehen vom schlechten Preis-Leistungsverhältnis und den angesprochenen Schwachpunkten bietet auch dieses System einfaches Handling und die Atmung von 100% Sauerstoff über eine befriedigende Zeitdauer. Diese beiden Geräte seien Tauchern und Tauchlehrern **empfohlen**, die in "mittel-entlegenen" Gebieten tauchen, oder auf Tauchbooten, die nur kürzere bis mittlere Anfahrtszeiten zu den Tauchgebieten haben. In jedem Falle sind die Demand-Systeme für jeden Taucher die bessere, wenn auch teurere Alternative zu den in Teil 1 ausführlich besprochenen Lösungen.

Mit Hilfe der Demand-Systeme läßt sich die Zeit, in der Sauerstoff zu 100% zur Verfügung steht, etwa verdreifachen. Eine gewisse Vergeudung findet jedoch trotzdem statt, da die Ausatemluft bei Atmung von reinem Sauerstoff noch etwa 95 % Sauerstoff enthält, der ungenutzt in die Umgebung angeatmet wird. Daher würde sich eine **Rückatmung der Ausatemluft** anbieten, um auch diesen Sauerstoff noch zu nutzen. Dies ist jedoch nur nach Aufbereitung der Ausatemluft möglich, da die sie sehr viel Kohlendioxid enthält, was zu einer Kohlendioxid-Vergiftung führen würde. So eine Aufbereitung geschieht zum Beispiel bei den aus dem militärischen Bereich oder vom Technical Diving bekannten **Sauerstoffkreislaufgeräten** oder bei Narkosebeatmungsgeräten im Operationssaal. Diese Geräte standen auch bei dem Gerät Pate, welches im folgenden vorgestellt werden soll.

Das Wenoll-System

Beim Wenoll-System handelt es sich um ein transportables Sauerstoffkreislaufgerät für den Notfall. Das Gerät besteht aus zwei 'Kernstücken': einem speziellen, regelbaren Präzisionsdruckminderer mit besonders niedriger Flußrate und dem eigentlichen Wenoll-System. Dieses besteht aus einer Atemkalkpatrone und einem Atemschlauchsystem, das über verschiedene Ventilmechanismen die Atemluft zwischen Lunge, Atembeutel (= 'Gegenlunge') und Kalkpatrone zirkulieren läßt. Das alles klingt furchtbar kompliziert, ist jedoch verblüffend einfach gelöst: Sauerstoff strömt während der Einatmung in die Lunge des Verunfallten. Bei der Ausatmung wird das aus der Lunge kommende Gas in den Atembeutel geatmet, der als Reservoir dient. Bei der nächsten Einatmung wird dieses Gas durch die Kalkpatrone gesogen, wo das Kohlendioxid chemisch gebunden wird. Reiner Sauerstoff bleibt übrig und

es muss nur das an Sauerstoff ersetzt werden, was der Körper verbraucht und in Kohlendioxid umgewandelt hat. Dieses Prinzip hat jedoch auch seine Tücken: Zunächst befindet sich nämlich noch ein weiteres Gas im Kreislauf, nämlich Stickstoff, der ja einen wesentlichen Anteil der Atemluft ausmacht. Besonders bei Tauchern findet sich nach dem Tauchen sogar ein erhöhter Stickstoffgehalt in der Ausatemluft, weil ja vermehrt Stickstoff aufgenommen wurde. Dieser Stickstoff muss zunächst ausgewaschen werden. Dazu muss das ganze System (und zum ganzen System gehört auch der Verunfallte) 'gespült' werden, das heißt es kann nicht sofort im geschlossenen System geatmet werden. Außerdem muss in gewissen Abständen erneut gespült werden, da sich aus den Körpergeweben Stickstoff entsättigt hat. Auch dies klingt sehr kompliziert, ist jedoch in der Praxis völlig unproblematisch. Der "Wenoll"-Präzisionsdruckminderer ist besonders fein einstellbar und liefert sehr präzise auch niedrige Flussraten. Dies ist notwendig, da nur sehr wenig Sauerstoff pro Minute verbraucht wird, denn das meiste wird ja 'recycled'. Außerdem verfügt der Druckminderer über eine sogenannte 'Flush-Taste', also eine Drucktaste, die bis zu 30 Litern Sauerstoff pro Minute freigibt, und einen zweiten Abgang, über den regelbar 0 bis 20 Liter Sauerstoff pro Minute abzuzweigen ist. Dies kann z.B. nötig sein, wenn ein Beatmungsbeutel mit dem Gerät betrieben werden soll, oder ein zweiter Verunfallter über eine Inhalationsmaske Sauerstoff erhalten soll.

Im reinen Kreislaufbetrieb kann man einem verunfallten Taucher mit einer zwei Liter Sauerstoffflasche über **ca. 4 - 5 Stunden (!) reinen Sauerstoff** zu atmen geben. Selbst nach dieser Zeit wird in den meisten Fällen die Flasche, je nach Einstellung des Gasflusses, noch nicht leer, aber die Kalkpatrone verbraucht sein. Mit einer **Reservepatrone** wird die Zeit sogar noch länger: **bis zu 8 Stunden!** Der Bedienungsanleitung liegen entsprechend zwei Therapiepläne bei, in denen die optimale Einstellung angegeben wird. Das Wenoll-System gibt es als klassisches Wenoll-System und als sogenannte 'gelbe Serie'. Das **klassische Wenoll-System** besteht aus einem festen Koffer, in dem stoßfest eine 2-Liter-Sauerstoffflasche mit dem angesprochenen Druckminderer und ein komplettes Kreisteil untergebracht sind. Das Kreisteil ist jedoch zerlegt und muß vor dem Einsatz zusammengebaut werden. Da es aus nur wenigen Teilen besteht und die Anschlüsse im wesentlichen farblich markiert sind, ist dies jedoch auch für Ungeübte problemlos durchführbar, zumal eine anschauliche Broschüre und Piktogramme über den Zusammenbau beigelegt sind. Dennoch sollte jeder Besitzer des Gerätes den Zusammenbau einmal geübt haben. Anwenderseminare wie bei DAN gibt es leider für das Wenoll-System bisher nicht. Die **'gelbe Serie'** besteht aus drei verschiedenen großen stoßfesten Koffern (WS 100, WS 200, WS 300), die jeweils mit einem kompletten Wenoll-System bestückt sind und dann noch unterschiedlich Platz für andere Notfallutensilien bieten. Bei den Koffern WS 200 und 300 ist standardmäßig eine zweite Kalkpatrone beigelegt. Im Unterschied zum klassischen Koffer müssen hier auch die Einzelteile des Kreisteils nicht mehr zusammengebaut werden, außerdem sind die Schläuche etwas länger. Dies ist dann von Vorteil, wenn der Verunfallte beatmet werden muss. Mit beiden Kreisteilen ist nämlich eine Beatmung prinzipiell möglich, obwohl beim klassischen System dazu drei Helfer benötigt werden. Bei der Schlauchanordnung, die in der gelben Serie Verwendung findet, ist die Zweihelfer- Methode der Herz-Lungen Wiederbelebung durchführbar.

Der Preis für den klassischen Wenoll-Koffer beträgt ca. 1000,- DM, der der gelben Serie zwischen 1250,- und 1500,- DM. Da die Kreisteile auch sowohl mit allen anderen handelsüblichen Druckminderern (auch mit dem dritten Abgang der Demand-Systeme) kombinierbar, und auch einzeln erhältlich sind, sei auch auf diesen Preis hingewiesen: ca. 350,- DM. Das preiswerte Nachrüsten eines bereits vorhandenen Notfallkoffers mit herkömmlichem Druckminderer ist also problemlos möglich. Weitere Informationen und Bezugsnachweise sind erhältlich über: EMS, Elektro-Mechanische-Systeme GmbH, Waldstr. 2, D-91096 Möhrendorf.

Fazit Wenoll-System

Das Wenoll-System bietet konkurrenzlos lange die Möglichkeit der Gabe von 100% Sauerstoff zu einem konkurrenzlosen Preis-Leistungsverhältnis. Die Anwendung ist jedoch nicht ganz so einfach wie die der Demand-Systeme und es ist nicht ganz so schnell einsatzbereit. Im Gegensatz zu den Demand-Systemen gibt es einige Fehlermöglichkeiten, die zumindest die sorgfältige Lektüre der Bedienungsanleitung erforderlich macht, besser jedoch wäre eine praktische und theoretische Unterweisung. Die Einführung eines solchen Kurses wäre wünschenswert. Hervorragend sind jedoch die vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten sogar mit Konkurrenzprodukten, so daß im Prinzip für jeden Anwender die optimale Konfiguration zusammengestellt werden kann. Das Gerät ist für jeden Taucher empfehlenswert, besonders aber für Taucher, die in entlegenen Gebieten unterwegs sind oder für Tauchbasen, die sehr lange Anfahrtszeiten haben. Dann allerdings sollte an die Mitnahme von Ersatz-

Kalkpatronen gedacht werden. Besonders empfohlen sei das Gerät Veranstalter von mehrtägigen Tauchsafaris, denn mit einer 10-Liter-Sauerstoffflasche und genügend Kalkpatronen ist fast jede Druckkammer erreichbar.

Sonstige Geräte

Neben den bis hierher angesprochenen Geräten gibt es noch durch eine chemische Reaktion freisetzen. Diese Systeme haben geringe Abmessungen, sind leicht und meistens auch vergleichsweise preiswert. Von Nachteil ist jedoch, daß sie nur eine begrenzte, nicht einstellbare Abgaberate haben und für die Gabe von 100% Sauerstoff nicht geeignet sind. Dies gilt auch für die Beatmung mit 100% Sauerstoff über Beatmungsbeutel. Diese Geräte sind sicher gut für die Notfallmedizin geeignet, wenn es nur um eine Anreicherung der Atemluft mit Sauerstoff geht. Ein Einsatz ist besonders dort denkbar, wo es auf geringe Maße und geringes Gewicht ankommt. Für die Verwendung bei Tauchunfällen können diese Geräte jedoch **nicht empfohlen** werden.

Schlußfazit

Einfache Geräte zur Gabe von Sauerstoff sind schon relativ preiswert zusammenstellbar und auch bedingt empfehlenswert. **Besser** sind jedoch bedarfsgesteuerte Geräte oder Kreislaufgeräte, da sie größere Sicherheitsreserven haben. Optimal ist eine Kombination der beiden letztgenannten, also z.B. das **DAN-System in Kombination mit dem Kreisteil des Wenollsystems** am dritten Abgang des Druckminderers. Auf diese Weise ist sowohl die rasche und einfache, als auch die längerfristige Gabe von 100% Sauerstoff sicher gewährleistet.

Die Gabe von 100% normobarem Sauerstoff ist das wichtigste Mittel bei der Ersten Hilfe aller schweren Unfälle beim Tauchen, daher sollte jeder Taucher die Geräte kennen, mit denen das durchführbar ist. Wünschenswert wäre, wenn jeder Taucher ein Gerät zur Sauerstoffgabe ebenso selbstverständlich nähme, wie sein Tauchgerät. Besonders von Tauchlehrern ist dies zu fordern, oder zumindest dringend anzuraten. Dieser Artikel sollte einen Überblick über die Möglichkeiten geben und ggf. eine Auswahlhilfe sein.