

Technik der Lungenautomaten

Aus DYKKEHISTORISK TIDSSKRIFT Nr. 70, S. 24
Von Sven Erik Jørgensen

Aus dem Dänischen von DeepL & Dr. L: Seveke

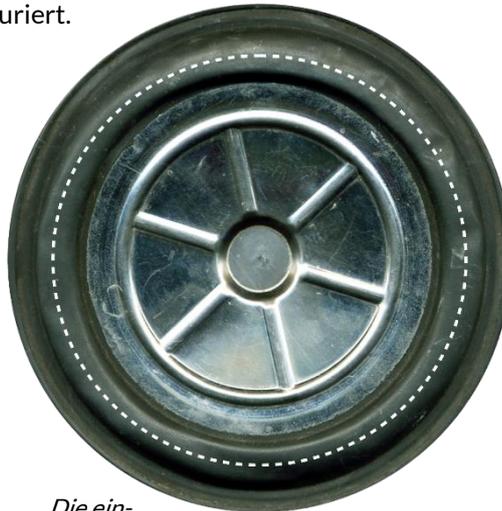
In der DHT 68 (siehe Archiv der HTG) habe ich Begriffe wie Downstream- (öffnet mit der Strömung), Upstream- (mit dem Druck dichtend) oder unbalanciertes Ventil und andere erwähnt. Diese Begriffe beziehen sich auf mechanische Geräte und ihre Funktion, z. B. in Lungenautomaten. Vielleicht ist nicht jedem klar, was hier gemeint ist. Um hier Abhilfe zu schaffen, werden die gebräuchlichsten mechanischen Vorrichtungen, die zur Steuerung des Luftstroms in Lungenautomaten verwendet werden, hier vorgestellt, siehe auch [01]. Soweit möglich, wird die Übersicht in einer historischen Perspektive strukturiert.

Der Bedarfsregler

Bei den klassischen Helmtauchern strömt die Luft, die zum Taucher gepumpt wird, ständig durch den Helm. Dieses Prinzip wird als „freier Durchfluss“ (free flow) bezeichnet. Ein anderes, heute gebräuchlicheres Prinzip ist das „Bedarfsprinzip“ des Atemreglers, der direkt an Druckluftflaschen angeschlossen ist oder über einen Schlauch von der Oberfläche mit Luft versorgt wird.

Dieser Atemregler gibt nur dann Luft ab, wenn der Taucher einatmet, wodurch im Atemregler ein geringer Unterdruck entsteht. Die Luftabgabe wird über eine Membrane gesteuert, die auf der einen Seite durch den Wasserdruck und auf der anderen Seite durch den Luftdruck im Atemregler belastet wird. Wenn sich der Atemregler in gleichbleibender Tiefe befindet und der Taucher nicht am Atemregler saugt, befindet sich die Membran in der Ruheposition, in der ein Gleichgewicht zwischen dem Wasserdruck und dem Luftdruck auf der Membran besteht. Durch das Ansaugen des Tauchers aus dem Raum unter der Membran wird die Membran in das Reglergehäuse bewegt. Dadurch werden ein oder mehrere Ventile aktiviert, die Luft abgeben (Dispenser), solange der Taucher einen Unterdruck aufrechterhält. Wenn sich der Taucher in tieferes Wasser begibt, ohne unbedingt zu atmen, drückt der Wasserdruck die Membran auch in das Gehäuse und veranlasst das Ventilsystem, Luft abzugeben, bis der Druck im Gehäuse dem Wasserdruck wieder entspricht und die Membran erneut in Ruhe ist.

Die Membrane besteht aus einem flexiblen Material, in der Regel Gummi oder Silikon, und hat in der Mitte eine nicht biegsame Platte.



Die eingekreiste Fläche ist die Fläche der Membrane, von der aus die Last aus Wasserdruck und Tauchersog auf das Ventil einwirkt.

Die Größe der Membran bestimmt die Kraft, die der Wasserdruck oder der Sog des Tauchers im Regler auf das Ventil ausübt. Der Druck, der auf die Platte wirkt, wird direkt auf das Ventil übertragen, während

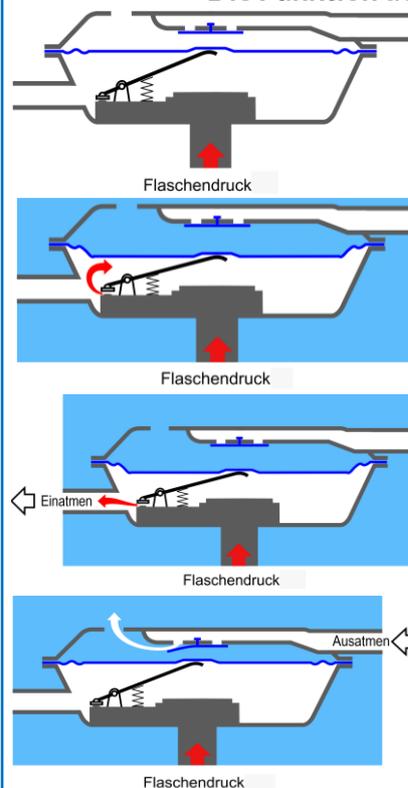
der Druck, der auf das Gummiteil zwischen der Platte und dem Gehäuserand wirkt, fast gleichmäßig zwischen dem Druck auf das Ventil und dem Druck auf den Gehäuserand verteilt wird.

Die ausgeatmete Luft des Tauchers wird zurück zum Gehäuse zur Wasserseite der Membran geleitet, wo sie über ein Ventil, das nur Luft durchlässt und den Eintritt von Wasser in den Regler verhindert, ins Wasser abgegeben wird.

Der erste Lungenautomat

Der Bedarfsregler, den wir heute als den ersten anerkennen, ist das Gerät des Franzosen *Manuel Théodore Guillaumet* aus dem Jahr 1838 (siehe DHT 07) [02]. Das Gerät wurde über einen Schlauch von der Oberfläche aus mit Luft versorgt und war daher kein autonomes Gerät.

Die Funktion der Lungenautomaten



Der Automat ist außerhalb des Wassers.
Er wird von der Flasche unter Druck gesetzt, das Ventilsystem des Automaten blockiert die Druckluft.

Untertauchen des Reglers

Der Wasserdruck drückt die Membran in das Gehäuse und wirkt so auf das Ventilsystem, so dass es sich öffnet und Luft einströmen lässt.

Wenn der Druck unter der Membran gleich dem des Wassers ist, befindet sich die Membran wieder in Ruheposition, und das Ventil schließt.

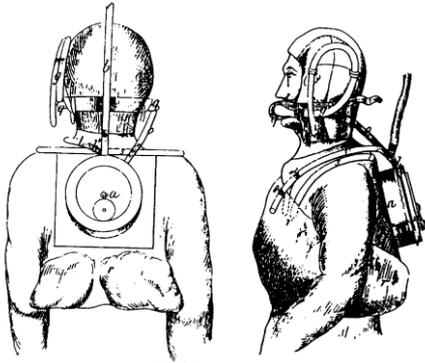
Der Taucher atmet aus dem Regler

Der Unterdruck durch das Ansaugen bewirkt, dass der Wasserdruck die Membran in das Gehäuse drückt, das Ventil sich öffnet und Luft in das Gehäuse und das Mundstück strömen lässt. Das Ventil ist so lange geöffnet, wie der Taucher saugt.

Der Taucher atmet in den Regler aus.

Das Ausatemgas wird vom Mundstück zum Ausblasventil geleitet, das sich öffnet und die Abgase ins Wasser abgibt.

Guillaumets Automat



und die Löcher im Ventil wieder durch die Sitze verschlossen werden und die Luftzufuhr unterbrochen wird.

Der Taucher hatte ein Bissstück im Mund, und der Auslass erfolgte durch eine „Wasserfalle“ an der Seite des Kopfes des Tauchers.

Bei dieser Konstruktion hatte der Automat keine Ausbuchtung, aus dem der Taucher einen Teil seiner eigenen ausgeatmeten Luft hätte einatmen können.

Die Membrane in Guillaumets Automat war mit einem Scharnier F versehen, und Guillaumet befestigte einen Arm L an der Membrane in der Nähe des Scharniers. Der Arm wurde durch eine Feder gehalten, die durch eine Schraube außen am Gehäuse gespannt und gelöst werden konnte. So konnte der zum Öffnen des Ventils erforderliche Wasserdruck und damit die Empfindlichkeit des Luftspenders eingestellt werden.

Bei einem auf dem Rücken getragenen Atemregler wie dem von Guillaumet erfährt der Taucher in Bauchlage

Wenn der Taucher auf dem Rücken lag, versuchte das Bleigewicht, die Membrane vom Ventil wegzuziehen, um den erhöhten Wasserdruck zu kompensieren. Wenn der Taucher aufstand, hing das Bleigewicht im Membranscharnier und belastete das Ventil nicht.

Am Lufteinlass B des Reglers befand sich ein Luftauslass D, von dem ein Schlauch zu einer aufblasbaren Weste führte, die der Taucher trug. Indem der Taucher einen Hahn am Schlauch öffnete und Luft in die Weste füllte, konnte er seinen Auftrieb erhöhen und schließlich an die Oberfläche aufsteigen.

(Quelle: *The London Journal of Arts and Sciences and Repertory of Patent Inventions Vol. XIV 1839*)

Es ist keine Übertreibung zu sagen, dass Guillaumet mit diesem Entwurf seiner Zeit weit voraus war. Vielleicht ist das der Grund, warum das Tauchgerät sich nicht weit verbreitete und in Vergessenheit geriet. Guillaumets Ventilsystem wurde auch später nicht verwendet, und es sollte noch mehr als 100 Jahre dauern, bis die Forschungs- und Entwicklungsabteilung der französischen Marine G. E. R. S. die Gelenkmembran mit Ausgleichsgewicht für einen Prototyp eines Mischgasgeräts verwendete, das der Vorläufer des DC55-Geräts war. Ebenso sollte es mehr als 100 Jahre dauern, bis eine BCD-Weste und ein von außen einstellbarer Lungenautomat auf den Markt kamen. Aber vielleicht waren das nach 100 Jahren Neuerfindungen. Ich weiß nicht, wie gut dieses Ventilprinzip in der Praxis funktionierte. Ein Nachbau des Guillaumet-Automaten durch einen Handwerker von heute könnte dies klären...

Der Apparat von Rouquayrol & Denayrouze

Der erste bedarfsgesteuerte Tauchapparat, der das Tauchen wirklich beeinflusste, war der Apparat von *Rouquayrol & Denayrouze*, den die beiden Franzosen 1864 patentierten [04]. Der Apparat besteht aus einem Druckbehälter, der Atemluft mit einem höheren Druck als dem des Wassers enthält, und einem auf dem Behälter montierten Regler.



Das Reglerventil in Guillaumets Vorrichtung war ein hohler Kolben J mit zwei Reihen von Löchern. Der Kolben wurde in zwei Sitzen I in einem flachen ovalen Rohr H verschoben, das die Luft aus dem Schlauch B zum Ventil leitete. Eine Blattfeder K unter dem Ventil hielt den Kolben in einer Endstellung, in der die beiden Sitze die Löcher im Hohlkolben blockierten. Wenn sich die Membran aufgrund des steigenden Wasserdrucks oder der Ansaugung des Tauchers bewegte, drückte sie das Ventil gegen die Feder K, bis die Löcher im Hohlkolben die Sitze freigaben und Luft aus dem Schlauch in die Kammer und zum Taucher C strömen konnte. Wenn der Taucher nicht mehr saugt und er sich in gleichbleibender Tiefe befindet, bewegt sich die Membran zurück in ihre Ruhelage. Die Blattfeder K sorgt dafür, dass das Ventil der Membrane folgt

normalerweise einen erhöhten Atemwiderstand, weil er die Luft aus dem Atemregler ansaugen muss, der höher liegt und somit einem geringeren Wasserdruck ausgesetzt ist als die Lungen des Tauchers. Liegt der Taucher auf dem Rücken, steht der Atemregler unter einem höheren Druck als die Lungen des Tauchers, was dazu führen kann, dass der Atemregler „abbläst“, d. h. Luft abgibt, ohne dass der Taucher sie ansaugt. Guillaumet hatte an dieses Problem gedacht, indem er ein Bleigewicht G an der Membran anbrachte, die am weitesten vom Gelenk entfernt war. Wenn der Taucher auf dem Bauch lag, übte das Bleigewicht einen zusätzlichen Druck auf die Membran aus. Der erhöhte Druck glich den niedrigeren Wasserdruck aus und verringerte den Atemwiderstand.

In der Mitte der Membrane befindet sich eine Kolbenstange, die bei Druck auf die Membrane ein Kegelventil aktiviert und öffnet, das Luft aus dem Druckbehälter in den Raum A und damit zum Taucher D lässt.

Der Rouquayrol & Denayrouze Dispenser ist einstufig, bei dem der Druck im Druckbehälter über eine Stufe (ein Ventil) auf den Druck im Dispenserraum reduziert wird.

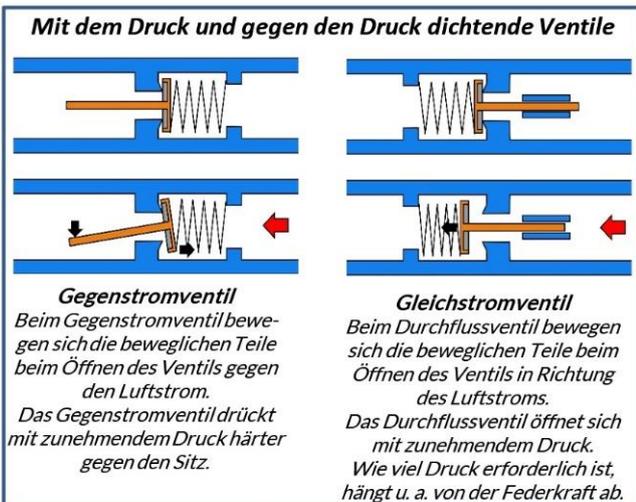
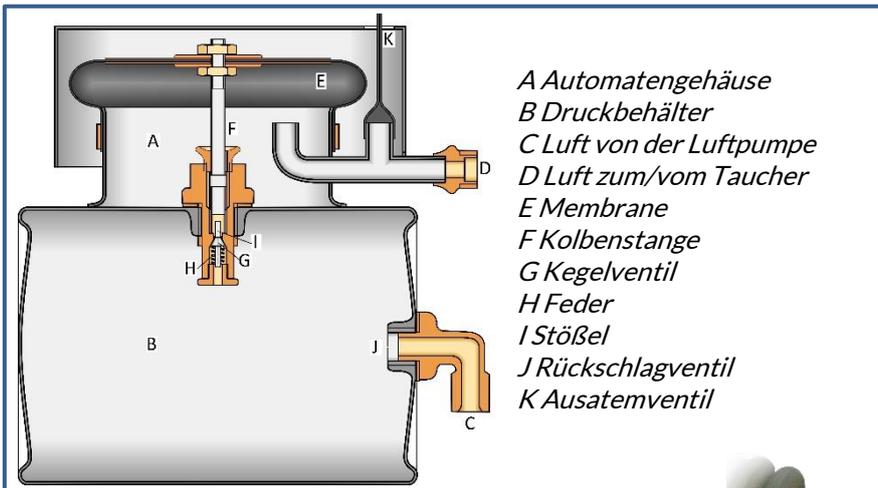
Diving Service nachbaute, war es notwendig, die Feder einzubauen, damit der Automat richtig funktioniert. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass der Automat auch ohne die Feder funktioniert, wenn das Ventil mit so engen Toleranzen arbeitet, dass der Luftdruck das Kegelventil bis zum Kontakt und Abdichtung mit dem Sitz hochdrückt. Wenn man die Durchmesser für das Durchströmen der Luft

Für den Komfort des Tauchers sollte der Atemwiderstand so gering wie möglich sein.

Die Entwicklung

Nachdem Guillaumet 1838 und Rouquayrol und Denayrouze 1864 die Entwicklung von Atemreglern vorantrieben hatten, dauerte es bis zum Ende der 1930-er bzw. dem Anfang der 1940-er Jahre, bis solche Erfinder wie Commeinhes [08], LePrieur [09] oder Victor Berge [10] praxistaugliche bedarfsgesteuerte Atemregler für Taucher patentierten, und von da an ging die technische Entwicklung der Atemregler rasant voran. Die Entwicklung zielte in erster Linie auf die Konstruktion von Geräten mit:

- geringem Atemwiderstand,
- großer Luftkapazität.
- geringer Empfindlichkeit gegenüber sinkendem Flaschendruck,
- gleichmäßigem Luftstrom.



Wenn das Ventil geschlossen ist, besteht ein Gleichgewicht zwischen dem Wasserdruck und dem Luftdruck auf der Membran, und das Ventil wird durch den Luftdruck im Druckbehälter und wahrscheinlich durch eine kleine schwache Feder H beeinflusst und geschlossen gehalten, um sicherzustellen, dass das Kegelventil G in Kontakt mit dem Sitz I ist.

Diese Feder H taucht in den alten Zeichnungen des Automaten nicht auf, und es ist fraglich, ob die Feder Teil der ursprünglichen Automaten war. Als Rob Krull einen Automaten nach dem Vorbild des Rouquayrol & Denayrouze-Geräts in der historischen Sammlung des Navy

was größere Kraft auf die Kolbenstange F ausübt als die Kraft, die das Ventil geschlossen hält. Zusätzlich zu der schwachen Kraft einer Feder wird das Ventil, das ein Upstream-Ventil ist, durch den Luftdruck im Behälter geschlossen gehalten. Die erforderliche Saugkraft wird als Atemwiderstand bezeichnet.

Der Atemwiderstand wird also durch den Druck im Druckbehälter, die Sitzfläche des Kegelventils und die Fläche der Membran, die die Last auf die Kolbenstange überträgt, bestimmt und variiert somit mit dem Flaschendruck.

jedoch zu weit verengen würde, könnte sich die Luftkapazität des Reglers zu stark verringern.

Wenn der Taucher Luft aus dem Regler benötigt, muss er mit einer Kraft an D saugen, die eine et-



Der obere Kipphebel der PA61 ist ganz links befestigt. Direkt daneben drückt der obere Kipphebel auf den unteren, der am rechten Ende eingespannt ist, wo er auf das Luft spendende Ventil drückt.

1-stufiger Regler mit Upstreamventil

Das Prinzip von Rouquayrol & Denayrouze wurde in späteren einstufigen Atemreglern mit Upstreamventil wie dem PA61 von Dräger (1956) verwendet. Hier lag der Druck, gegen den das Kegelventil öffnen musste, bei bis zu 200 bar und damit deutlich höher als der maximale Druck, auf den der Druckbehälter der Rouquayrol & Denayrouze-Geräte gepumpt werden konnte. Dieser Druck betrug bei den ersten Geräten aus Stahl 40 - 50 bar und bei den späteren Geräten aus Kupfer 5 - 7 bar (Quelle: Philippe Rosseau).

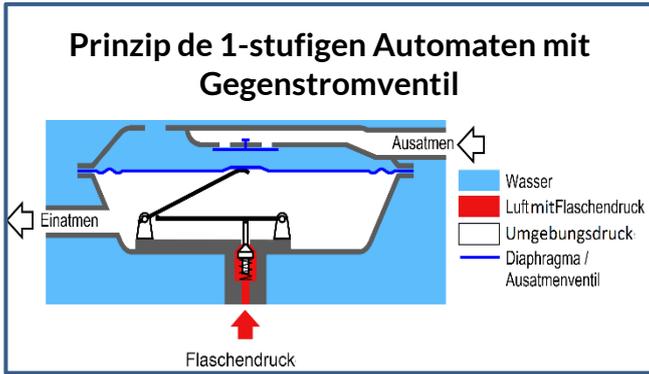
Die Membranfläche hätte vergrößert werden können, wurde aber stattdessen verkleinert.

1-stufiger Regler mit Downstream-Ventil

Bevor Dräger 1956 den PA61-Atemregler auf den Markt brachte, entwickelte und produzierte das Unternehmen in Zusammenarbeit mit dem deutschen Unternehmen Barakuda einen einstufigen Atemregler mit einem Downstream-



Bei Orliks Automat ist das Ventil in der Mitte unter dem unteren Kipphebel. Am linken Ende des Arms befindet sich der obere Kipphebel. Der Block am rechten Ende des unteren Kipphebels enthält das Gelenk, die Feder und den Ausgleichskolben.

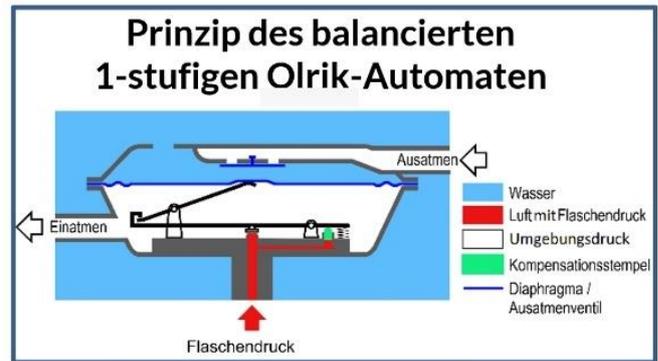


Die Lösung zur Gewährleistung des Taucherkomforts bestand darin, die Sitzfläche des Kegelventils zu verkleinern und ein Kipphebelsystem mit einer Hebelwirkung zu schaffen, die die Kraft, mit der die Membran auf das Ventilsystem einwirkt, erhöht. Im PA61 hilft eine Feder, das Kegelventil geschlossen zu halten.

Wie bereits erwähnt, besteht die Schwäche von einstufigen Reglern mit Gegenstrom- (Upstream-)Ventilen darin, dass die Belastung des Kegelventils mit dem Flaschendruck variiert, d. h., wenn die Flaschen voll sind, versucht der Flaschendruck, das Ventil mit der maximalen Kraft zu schließen.

Ventil. Dies war der Delphin II, der 1953 auf den Markt kam [11]. Beim Downstream-Prinzip drückt eine Feder den Ventilteller mit einer Kraft gegen den Sitz, die ausreicht, um das Ventil bei maximalem Flaschendruck geschlossen zu halten. Der vom Taucher auf die Membran ausgeübte Unterdruck wird über ein Kipphebelsystem in eine Druckkraft auf die Feder übertragen und verstärkt, dass sie so stark zusammengedrückt wird, dass sich das Ventil öffnet.

Bei diesem Prinzip hilft der Flaschendruck nicht, das Ventil geschlossen zu halten, sondern im Gegenteil, der Flaschendruck hilft, das Ventil zu öffnen.



In Dänemark können wir stolz darauf sein, dass es ein Däne, *Henrik Gerner Orlík*, war, der 1957 den ersten 1-stufigen Atemregler mit einem balancierten Downstream-Ventil entwickelte [12].

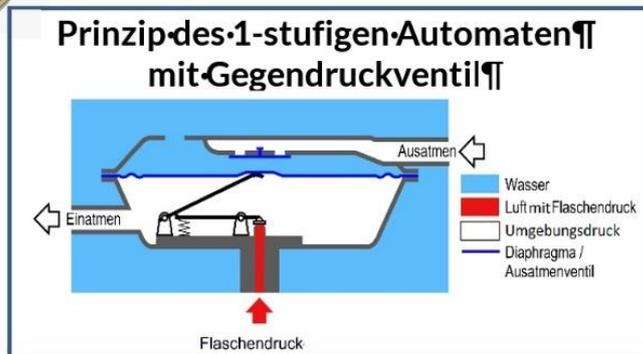
Balanciert bedeutet, dass das Ventil so konstruiert ist, dass es unempfindlich gegenüber schwankendem Flaschendruck ist. In der Praxis wurde das Ventil durch eine Feder und einen Kolben geschlossen gehalten, der vom Flaschendruck beeinflusst wurde. Dadurch war die auf den Ventilteller ausgeübte Kraft proportional zum Zylinderdruck.

Das Prinzip ist genial, und der Automat von Orlík ist einzigartig. Allerdings kamen nur dänische Taucher in den Genuss dieses Prinzips, was zum Teil daran lag, dass die Globalisierung zu jener Zeit im Vergleich zu heute schlecht war.



Das Gegendruckventil des Delphin II befindet sich unter dem linken Ende des unteren Kipphebels. Rechts daneben ist die eine Achse des Hebelsystems und ganz rechts unter dem unteren Kipphebel die Feder. Der obere Kipphebel ist ganz rechts angelenkt und drückt somit recht dicht auf den unteren Kipphebel.

Das bedeutet, dass der Taucher zu Beginn des Tauchgangs einen maximalen Atemwiderstand erfährt, der dann abnimmt, wenn der Taucher die Luft verbraucht und der Flaschendruck sinkt.



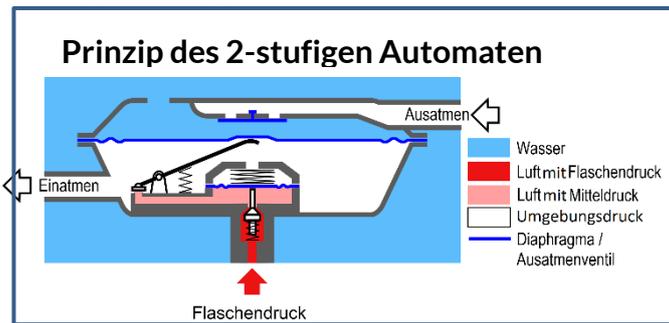
Die Verwendung eines Downstream-Ventils in einem einstufigen Atemregler bedeutet, dass der Taucher zu Beginn des Tauchgangs den geringsten Atemwiderstand erfährt und dass der Atemwiderstand zunimmt, wenn der Flaschendruck sinkt.



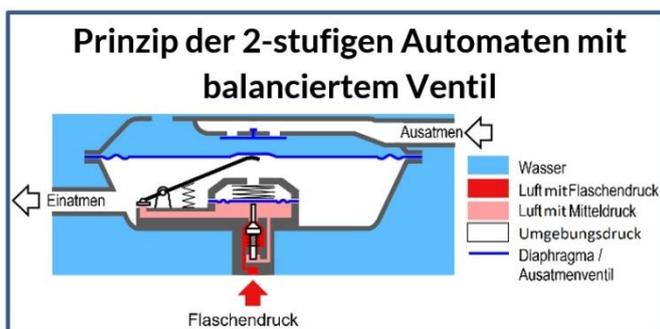
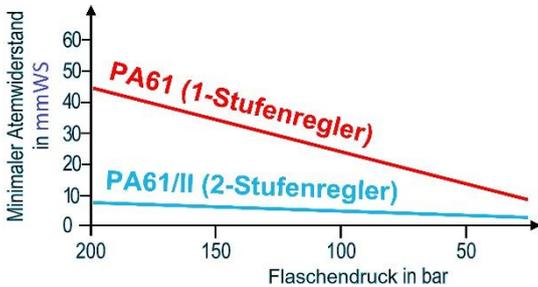
Das Durchflussventil der 2. Stufe des zweistufigen Reglers PA61/II befindet sich unter dem rechten Ende des Kipphebels. In der Nähe davon befindet sich die Achse. Die Feder ist unter dem Kipphebel. Die 1. Stufe befindet sich in der Mitte des Spenders unter dem Kipphebel.

Der 2-stufige Atemregler

Der unterschiedliche Atemwiderstand des einstufigen Atemreglers wurde durch die Einführung eines Reduzierventils erheblich gemildert, das den Druck, dem das Ventil ausgesetzt war und gegen den es sich öffnen musste, reduzierte und stabilisierte.



Das Reduzierventil, auch als 1. Stufe bezeichnet, ist in der Regel als Gegenstromventil ausgeführt. Das nachfolgende Ventil, das der Taucher während der Atmung



öffnet und das die Luft in die Maschine und zum Taucher abgibt, wird als 2. Stufe bezeichnet.

Das Prinzip des zweistufigen Atemreglers besteht darin, dass die erste Stufe einen reduzierten Luftdruck (den so genannten Zwischendruck) an die zweite Stufe abgibt und dass der Zwischendruck mit der Tiefe zunimmt, so dass der Differenzdruck (die Druckdifferenz zwischen Wasser- und Luftdruck), unter dem die erste Stufe arbeiten muss, konstant bleibt. Der Druck, der das Ventil der 1. Stufe öffnet, wird über eine Membrane auf das Ventil übertragen, die zum Teil vom Umgebungsdruck und zum Teil von einem Federdruck beeinflusst wird. Die Höhe des Federdrucks bestimmt den Überdruck des Zwischendrucks im Verhältnis zum Umgebungsdruck.

Die 2. Stufe ist in der Regel ein vorgeschaltetes Ventil (eine Ventilplatte, die gegen ein Kraterventil schließt), kann aber auch ein Gegenstromventil in Form eines Wippenventils sein, wie beim PA37-Regler von Dräger. Ein anderes, sehr unterschiedliches Prinzip ist das Servoventil, das im Jetstream-Dispenser von Poseidon einge-

setzt wird. Das 2-Stufen-Prinzip stabilisiert den Atemwiderstand, und mit einem stabileren Atemwiderstand kann auch der Atemwiderstand gesenkt werden, da das Ventil nun in einem deutlich engeren Druckspiel dicht sein muss.

Der Atemwiderstand schwankt jedoch immer noch leicht, da das Kegelventil der 1. Stufe immer noch durch den Flaschendruck belastet wird, was dazu beiträgt, das Ventil geschlossen zu halten. Wenn der Flaschendruck sinkt, steigt der Zwischendruck an.

Die Schwankungen sind jedoch im Vergleich zum 1-stufigen Dispenser gering. Das obige Diagramm zeigt den

Unterdruck in cm Wassersäule, den der Taucher aufbringen muss, um das Ventil eines PA61 und eines PA61/II Atemreglers zu öffnen. Je mehr Luft der Taucher aus den Atemreglern zieht, desto höher ist der Atemwiderstand.

Unbalancierte vs. balancierte 1. Stufe

Die eben beschriebene 1. Stufe wird als unbalanciert bezeichnet. Der nächste Schritt in der Entwicklung bestand darin, die 1. Stufe so zu modifizieren, dass der Zwischendruck unabhängig vom Flaschendruck ist und sich nur proportional mit der Tiefe ändert. Diese 1. Stufe wird balanciert genannt und sorgt dafür, dass der Atemwiderstand unabhängig oder nahezu unabhängig vom Flaschendruck ist. Schauen wir uns diese Beziehung für eine 1. Stufe mit einem Kegelventil genauer an.

Balancierung Kegelventil

Rot steht für den Flaschendruck und Rosa für den Zwischendruck.

Auf 1 sind alle Drücke dargestellt, die auf das unbalancierte Ventil wirken. Bei 2 wurden die entgegengesetzten Drücke gleicher Größe, die sich gegenseitig „aufheben“, entfernt. Es ist zu erkennen, dass die resultierende Kraft auf das Ventil die Differenz zwischen dem Zwischendruck und dem auf die Sitzöffnungsfläche wirkenden Zylinderdruck ist.

In 3 des balancierten Ventils wird es um ein Stück mit der gleichen Fläche wie die Sitzfläche verlängert. Der verlängerte Teil wird in eine Kammer geführt, zu der eine Verbindung zum Zwischendruck besteht. In 4 werden die entgegengesetzten Drücke gleicher Größe entfernt, mit Ausnahme der Drücke, die das Ungleichgewicht des nicht ausgeglichenen Ventils verursacht haben. Es zeigt sich, dass die Drücke, die zuvor die Unwucht verursacht haben, nun gleich groß sind und das Ventil im Gleichgewicht ist.

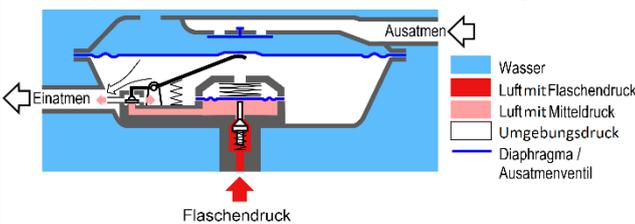
Die Tatsache, dass das Ventil am Sitz durch den Zwischendruck beeinflusst wird, zerstört das Gleichgewicht.

Wäre das Kegelventil über die gesamte Fläche dem Flaschendruck ausgesetzt, wäre die resultierende Kraft des Flaschendrucks auf das Ventil gleich Null und der Flaschendruck würde nicht versuchen, das Ventil zu bewegen.

Das Gleichgewicht kann sichergestellt werden, indem auf das Kegelventil eine Kraft ausgeübt wird, die gleich groß ist wie die Kraft, die der Zwischendruck auf das Kegelventil am Sitz ausübt, aber entgegengesetzt gerichtet. Dies kann erreicht werden, indem das dem Sitz gegenüberliegende Ende des Kegelventils in einer Kammer endet, in der eine Fläche des Kegelventils, die der Sitzfläche entspricht, vom Zwischendruck beaufschlagt wird.

Injektor

Prinzip des 2-stuf. Automaten mit Injektor



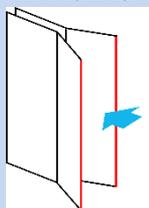
Der Injektor-Effekt

Das Gesetz von Bernoulli

Bereits 1738 stellte der Schweizer Wissenschaftler Daniel Bernoulli in seinem Werk „Hydrodynamica“ fest, dass „das Verhältnis zwischen statischem und dynamischem Druck in einem strömenden Gas konstant ist“.

Das bedeutet, dass der statische Druck im Gas abnimmt, wenn die Geschwindigkeit des Gases und damit der dynamische Druck aufgrund einer Verengung des Rohrs, in dem das Gas strömt, zunimmt. Dies ist genau der Effekt, der durch den Injektor der Lungenmaschine erzeugt wird. Es ist auch der Effekt, der das Flugzeug zum Schweben bringt, indem er auf der Oberseite des Flügels einen geringeren Druck erzeugt als auf der Unterseite.

Der Effekt kann demonstriert werden, indem man zwei Blätter wie unten gezeigt faltet, die Blätter an die rote Markierung hält und zwischen die Blätter bläst. Sie werden feststellen, dass die Blätter aufgrund des geringeren statischen Drucks im Luftstrom „zusammenfallen“.



Die Entwicklung der Lungenautomaten zielte unter anderem darauf ab, den Atemwiderstand zu verringern.

Eine der technischen Lösungen hierfür ist der Einbau eines Injektors in den Regler. Der Injektor ist eine Düse, die die dosierte Luft oder einen Teil davon in einem Strahl mit hoher Geschwindigkeit in den Dispenser schickt. Der Strahl ist meist auf den Inhalationsanschluss gerichtet. Der Luftstrahl erzeugt im Dispenser einen leichten Unterdruck, der die Membrane nach unten saugt und damit die Dosierung erhöht, ohne dass der Taucher entsprechend stärker im Dispenser saugt. Der Injektor erhöht den Luftstrom, ohne den Atemwiderstand entsprechend zu erhöhen.

Der dänische Gerätehersteller Villy Arp verwendete das Injektorprinzip in seinen in den 50er und 60er Jahren hergestellten Automaten, darunter ein einstufiger Automat.

Luftkapazität

Für den Komfort des Tauchers und um größere Tiefen zu erreichen, muss der Atemregler über eine große Luftkapazität verfügen, d. h. eine hohe maximale Luftmenge abgeben können. Die Luftkapazität wird durch den Strömungswiderstand des Geräts begrenzt, der typischerweise auftritt, wenn die Luft durch Filter, Kurven und enge Passagen wie Ventile geleitet werden muss. In tieferen Gewässern, wo die Luftdichte zunimmt, steigt auch der Strömungswiderstand. Mit zunehmender Tiefe steigt also der Atemwiderstand des Tauchers.

Das Ausatemventil

Die Funktion des Ausatemventils besteht darin, die Ausatmung des Tauchers ins Wasser auszuführen, ohne dass Wasser in den Atemregler eindringt. Das Auslassventil des Rouquayrol & Denayrouze-Geräts war ein Entenschnabel. Der Entenschnabel ist ein Gummischlauch, der an einem Ende abgeflacht ist. Das Prinzip war bei den Doppelschlauch Automaten, d. h. den Automaten mit einem Einatmungs-

und einem Ausatemungsschlauch, weit verbreitet.



Bei den Einschlauchautomaten wird meist ein Tellerventil verwendet, das aus einer Gummiplatte besteht, die die Auslassöffnung abdeckt und sich beim Ausatmen zurückbiegt.

Es wurden auch Glimmerplattenventile eingesetzt. Dabei handelt es sich um federbelastete Glimmer-



scheiben oder ähnliche flache Platten, die gegen eine kreisförmige scharfe Kante abdichten.

Weitere Informationen:

- [01] L. Seveke, t1p.de/qhdw5
- [02] Manuel Théodore Guillaumet, Pat. 1ba6897, Appareil Plongeur, 1838, t1p.de/wt3en
- [03] M. Jung, Guillaumets Versuche mit seinem bedarfsgesteuerten Atemregler, t1p.de/8c1ey
- [04] B. Rouquayrol, Pat. 63606, Tauchgerät, 1864, t1p.de/lhzub
- [05] Denayrouze, Pat., Aerophore Portatif, 1875, t1p.de/by91r
- [06] S. E. Jørgensen, Das Rouquayrol-Denayrouze-Gerät, t1p.de/5jh3p
- [07] Ph. Damon, Das Tauchgerät von Rouquayrol, t1p.de/okptt
- [08] Commeinhes, Pat. fr0046841, Atemgeraet, 1935, t1p.de/ezxci
- [09] Yves LePrieur, Pat. fr922 872, Economiseur d'air pour masques de plongee, 1947, t1p.de/b8pei
- [10] V. Berge, Pat. us2303155, DIVING MASK AND APPARATUS 1941, t1p.de/t5115
- [11] F. Rothbrust, Delphin und Träger-Barakuda-Kleintauchgeräte, t1p.de/6j3gu
- [12] S.E. Jørgensen, Der Olrik-Regler, TH10, S. 53, 2018, t1p.de/a2ob8