



Tests:

Das sagen Kurven aus

Seit zwei Jahren sind neu entwickelte Prüfgeräte am Markt, auf denen sich alle Daten von Atemreglern genau und mit hoher Auflösung unter Normaldruck, aber auch unter Bedingungen, wie sie in 50 Meter Tiefe herrschen, messen und aufzeichnen lassen. Entwickelt wurden diese Geräte für den Einsatz in der Entwicklung, bei Prüfinstituten, aber auch zum Service der Atemregler bei den Fachhändlern.

Im Rahmen der verschärften Produkthaftung sind genaue Prüfgeräte gefragt, deren Meßergebnisse auch speicherfähig sind. Die Einführung dieser Prüfgeräte hat einen erfreulichen Nebeneffekt: Die Technik rückt wieder mehr ins Bewußtsein und wird auch für die Fachpresse interessant, da sich damit genaue, reproduzierbare, objektive und nicht angreifbare Ergebnisse ermitteln lassen.

Bei früheren Tests von Tauchern bei echten Tauchgängen kamen, neben subjektiven Wertungen, meist so viele unterschiedliche Umgebungsbedingungen dazu, daß die Ergebnisse mehr Zufall und nicht reproduzierbar waren. In Zweifelsfällen bestand so immer die Gefahr einer gerichtlichen Auseinandersetzung mit schwieriger Beweislage. Trotz der Begeisterung für die neue Technik sollte aber die Praxis nicht aus dem Auge verloren werden.

Subjektives Empfinden contra Prüfbankergebnisse

Bei allen Prüfungen wird die neue Euronorm EN 250 als Grundlage und „Maß aller Dinge“ herangezogen. Es gibt aber viele Erkenntnisse, die erst beim Einsatz in der Praxis gewonnen werden und über die Qualität eines Produktes mitentscheiden. Bei solchen Praxistests kann man beispielsweise immer wieder erleben, daß Atemregler, die auf der Prüfbank die Normbedingungen nicht erfüllt haben, von den Tauchern besser beurteilt werden, als Regler, die diese Prüfung bestanden. Der Grund liegt möglicherweise darin, daß je nach Belastungszustand unter Wasser der Einatemvorgang nicht mehr so sinusförmig ist, wie es die Norm vorschreibt. Auch das Atemzugvolumen wird sicher nicht immer 2,5 Liter betragen, wodurch sich die Atemarbeit mitverändert. Ausschlaggebend kann auch sein, bei welchem eingeatmeten Luftvolumen oder ab welcher Strömungsgeschwindigkeit der Injektoreffekt beginnt sich auszuwirken. Auch der Atemkomfort ist meßtechnisch nicht erfaßbar. Es ist schon ein Unterschied, ob dem Taucher die Luft über einen

Injektorstrahl scharf in den Hals geblasen oder die niedrige Atemarbeit durch eine fein abgestimmte Konstruktion erreicht wird, die ein Atmen erlaubt, wie wir es im „normalen Leben“ gewohnt sind. Falsch wäre es daher, nur den auf der Prüfbank ermittelten Atemarbeitswert als einziges Kaufkriterium heranzuziehen. Zumal Atemarbeitsunterschiede von 0,5 Joule pro Liter von einem Taucher in der Praxis nicht erkannt werden.

Die Versuchsanordnung: Eine Pumpe mit 2,5 l Inhalt simuliert die Atmung

Trotz dieser Einschränkung sind objektive Messungen von Atemreglern auf solchen Prüfbänken wichtig und aufschlußreich, zeigen sie doch wegen der hohen Auflösung der Sensoren und der Speicherkapazität Details, die dem Interessierten wichtige und aussagekräftige Informationen geben. Voraussetzung dafür ist aber, daß man die Kurven auch lesen kann. Hierzu einige Hilfen und Erläuterungen, wie sie auch schon teilweise in vorherigen Heften des *DIVEMASTER* beschrieben wurden, der Vollständigkeit halber aber hier nochmals erscheinen.

Bild 1

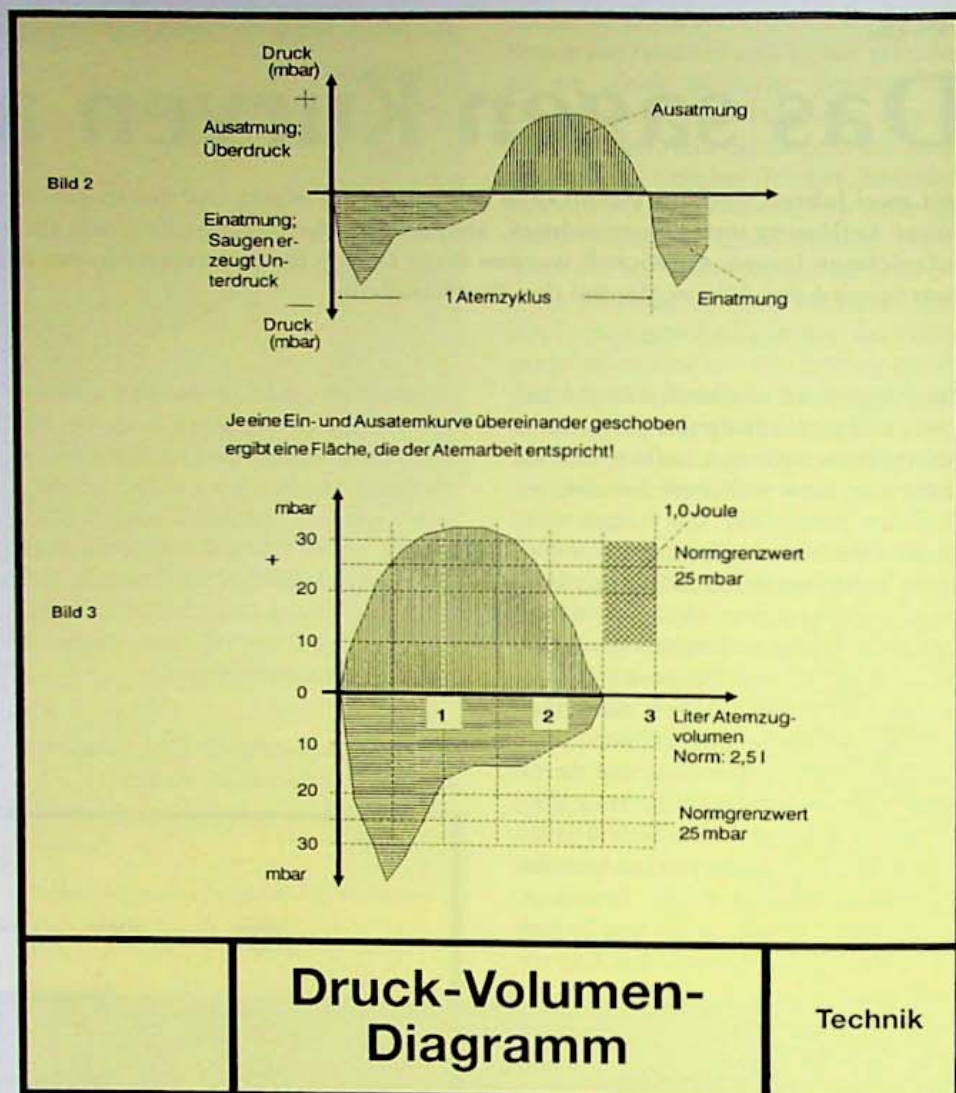
25 Hübe pro Minute mit einem Volumen von 2,5 Liter ergeben ein Atemminutenvolumen (AMV) von 62,5 Liter. Die ganze Anlage wird aber in einer Druckkammer bei einem Druck von 6 bar entsprechend 50 m Tiefe betrieben.

Für die Prüfung auf Kaltwassertauglichkeit wird der Atemregler zusätzlich in 4 Grad kaltem Wasser 5 Minuten lang betrieben, wobei die Grenzwerte nicht überschritten werden dürfen.

| | | |
|--|-------------------------------|---------|
| | Druck-Volumen-Diagramm | Technik |
|--|-------------------------------|---------|

Was sagen die Kurven aus?

In der ehemaligen deutschen Norm für Leichttauchgeräte DIN 58640 T2 gab es die Forderung einer Mindest-Luftlieferleistung von 300 Liter pro Minute bei maximalen Ansprechdrücken. Die Folge waren Werbefeldzüge einiger Firmen, die mit immer höheren und teilweise unsinnigen Luftlieferleistungen warben. Arbeitsmediziner wissen aber schon lange, daß der Ausatemwiderstand eine größere Rolle spielt als der Einatemwiderstand und daher keinesfalls vernachlässigt werden darf. In der neuen Euronorm EN 250 wurde anstelle der Luftlieferleistung die Atemarbeit definiert, die sowohl die Ein- wie auch die Ausatemarbeit beinhaltet, also genau das, was der Taucher während des Tauchgangs an Arbeit aufbringen muß. Mit den Angaben der alten DIN waren Vergleiche zwischen Atemreglern verschiedener Hersteller durch den Anwender kaum möglich, da jeder Hersteller sich für seine Werbung den Wert herausuchte, der für ihn am günstigsten lag. Das ist jetzt, nach Einführung der Euronorm EN 250 besser geworden. Eine Firma, die heute noch mit Luftlieferleistungen wirbt, liegt möglicherweise mit den Atemarbeitswerten ihrer Atemregler sehr knapp an der oberen Grenze der so wieso schon recht großzügigen EN 250, die drei Joule pro Liter als Grenzwert zuläßt. Die Messung der Atemarbeit erfolgt auf einer Prüfeinrichtung, die aus einem Antrieb sowie einer Kolbenpumpe besteht (Bild 1). Die Drehzahl des Antriebes beträgt 25 Umdrehungen pro Minute, was am Kolben einer Atemfrequenz von 25 Atemzügen pro Minute entspricht. Der Hubraum ist gemäß der Forderung der Norm auf 2,5 Liter eingestellt, dadurch errechnet sich ein Atemminutenvolumen von 62,5 l/min. Allerdings erfolgt diese Messung nicht an der Oberfläche, sondern in einer Druckkammer bei sechs bar. Der aus einer Druckluftflasche gespeiste Atemregler wird mit dieser Prüfeinrichtung verbunden und durch die Kolbenbewegung beatmet, die am Mundstück dabei entstehenden Unter- und Überdrücke werden am Druckmesser angezeigt und zusätzlich aufgezeichnet und gespeichert. Die Einatmung entspricht dabei einem Unterdruck (Saugen am Mundstück, negativer Druck), die Ausatmung einem Überdruck, gemessen in mbar. Entsprechend erfolgt die Aufzeichnung als durchlaufende negative bzw. positive Kurve (Bild 2). Die hier dargestellten Kurven sind glatt und idealisiert, die echten, auf der Prüfbank ermittelten Kurven sind wegen der hohen Auflösung mit vielen kleinen Spitzen versehen.



Druck-Volumen-Diagramm

Technik

Ein Atemzyklus entspricht einer Ein- und einer Ausatmung. Der Ausdruck symbolisiert dies durch schraffierte Flächen. Beide Flächen übereinander geschoben, ergeben die gesamte Atemarbeit während eines Atemzyklus'

Ein- und Ausatemarbeit

Da die Fläche unter der jeweiligen Halbwellen der Atemarbeit für die Ein- bzw. Ausatmung entspricht, kann aus dieser Kurve bereits abgelesen werden, ob bei der Ein- oder der Ausatmung mehr Arbeit erforderlich ist. Eine größere Fläche entspricht mehr Arbeit. Die Grenzen der Norm für jede Richtung beträgt 25 mbar für den Atemwegsdruck. Die jeweilige Atemarbeitsgrenze sollte dabei 1,5 J/l nach jeder Seite nicht überschreiten, dieser Wert ist aber in der Norm noch nicht festgelegt.

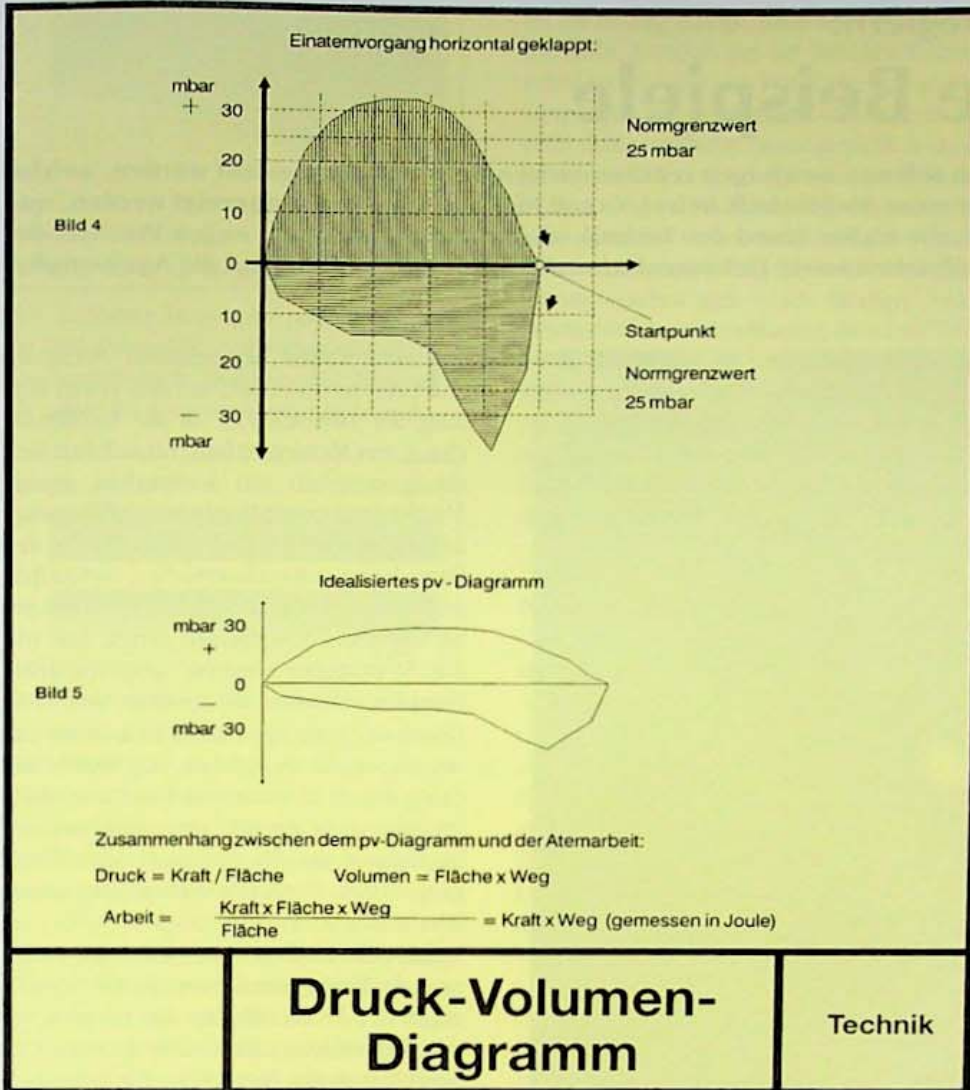
Injektor

Auch der Einfluß eines Injektors ist hier bereits gut zu erkennen. Die Einatemkurve (negativ) geht erst sehr weit nach unten, bis der

Injektoreffekt einsetzt, dann flacht sie ab, der Injektor erspart also Atemarbeit bei der Einatmung. Bei sehr stark wirkenden Injektoren kann die Einatemkurve sogar in den positiven Bereich gehen (Automat bläst ab), das wird bei der Berechnung der Atemarbeit aber nicht gewertet. Im neuen Normentwurf ist dieser positive Injektoreffekt sogar auf maximal 0,3 J/l begrenzt, sehr kurze positive Druckspitzen dürfen 10 mbar, breitere Druckspitzen, aus denen sich eine Atemarbeit errechnen läßt, 5 mbar nicht überschreiten.

Berechnung der Atemarbeit aus dem Druck-Volumen-Diagramm

Zur Ermittlung der gesamten Atemarbeit wird ein voller Atemzyklus ausgewertet.



Die Kurve wird in einem Zug geschrieben, sie startet deshalb auf der rechten Seite. Der Einatemvorgang ist horizontal umgeklappt (oben). Durch Streckung der waagerechten Achse wirkt die Kurve flacher (unten)

Dazu wird eine Ausatemkurve über eine Einatemkurve geschoben (Bild 3). Es entsteht eine Fläche, die der Atemarbeit während eines Atemzugs entspricht, das Druck-Volumen-Diagramm (pv Diagramm, engl. „pv loop“). Weil diese Kurve in einem Zug geschrieben wird, startet sie auf der rechten Seite, der Einatemvorgang ist horizontal umgeklappt, ein eventueller Injektoreffekt auf der rechten Seite nach dem Startpunkt zu erkennen (Bild 4).

Beschriftungsrichtung der Volumenskala

So ist auch die unübliche, in manchen Darstellungen aber gewählte Beschriftungsrichtung der Volumenskala von rechts nach links nicht falsch. Meist ist die Darstellung in der waagerechten Achse gestreckt, wodurch die Kurve

flacher wirkt (Bild 5). Die Atemarbeit läßt sich aus dem gemessenen Atemwegsdruck und dem bewegten Luftvolumen ermitteln. Die Definition der Arbeit ist Kraft x Weg, gemessen in Joule. Der Druck (an der senkrechten Achse in mbar aufgetragen) ist definiert:

$$\text{Druck} = \text{Kraft} / \text{Fläche}$$

Das Volumen (an der waagerechten Achse in Liter aufgetragen):

$$\text{Volumen} = \text{Fläche} \times \text{Weg}$$

Die Arbeit aus der Multiplikation von Druck und Volumen:

$$\text{Arbeit} = \frac{\text{Kraft} \times \text{Fläche} \times \text{Weg}}{\text{Fläche}} = \text{Kraft} \times \text{Weg} (\text{J})$$

Wählt man entsprechende Zahlenwerte, ergibt sich ein Wert von 1 Joule, wenn 20 mbar

Druck und 0,5 l Volumen eingesetzt werden. Der Normgrenzwert von 3 J/l bedeutet, daß pro einem Normatemzug, von 2,5 Liter eine maximale Arbeit von 7,5 Joule zulässig sind.

Mitteldruck

Mit einem getrennten Sensor wird während der Beatmung auch der von der ersten Stufe abgegebene Mitteldruck gemessen und aufgezeichnet. Er liegt in der Ruhelage bei den meisten Atemreglern zwischen 8 und 11 bar. Mit Beginn des Atemzugs muß er abfallen, erst dadurch entsteht am Kolben oder an der Membran der ersten Stufe eine Druckdifferenz die den Druckminderer öffnet, sodaß Luft aus der Druckluftflasche nachströmen kann.

Veränderungen des Mitteldrucks: Ursachen und Auswirkungen

Nach dem Ende des Einatemvorgangs stellt sich der Mitteldruck wieder auf den Anfangswert ein, steigt er weiter an, ist die Stufe undicht, ein Fall für den Service. Ein während der Einatmung stark abfallender Mitteldruck kann ein Hinweis sein für ein ungenügend sich öffnendes Ventil in der ersten Stufe. Er könnte auch einen Einfluß auf die Atemarbeit haben, muß aber nicht. Beispielsweise würde eine Kompensation in der zweiten Stufe diese Druckabsenkung ausgleichen. Die Auflösung der Sensoren ist so groß, daß sich bei entsprechender Dehnung der Aufzeichnung die Zeit zwischen dem Beginn der Einatmung an der zweiten Stufe und dem Öffnen der ersten Stufe genau messen läßt.

Temperatur

Weitere Meßmöglichkeiten betreffen die Temperaturen in der ersten und der zweiten Stufe, mögliche Hinweise auf eine Vereisungsanfälligkeit des Atemreglers. Nachdem die Messungen des DIVEMASTER gezeigt haben, daß die Vereisungen der Regler auf der Prüfbank nicht im entferntesten mit den Vereisungseffekten der Regler bei praktischen Einsätzen übereinstimmen, wurde in dem neuen Normentwurf der EN 250 eine Erwärmung und Befeuchtung der Ausatemluft gefordert. Dadurch wird die Temperatur in der zweiten Stufe sehr stark schwanken, da sich dort der dauernde Wechsel zwischen warmer und feuchter Ausatemluft und der Entspannungskälte bei der Einatmung auswirkt.

Leistungsmessung von Atemreglern:

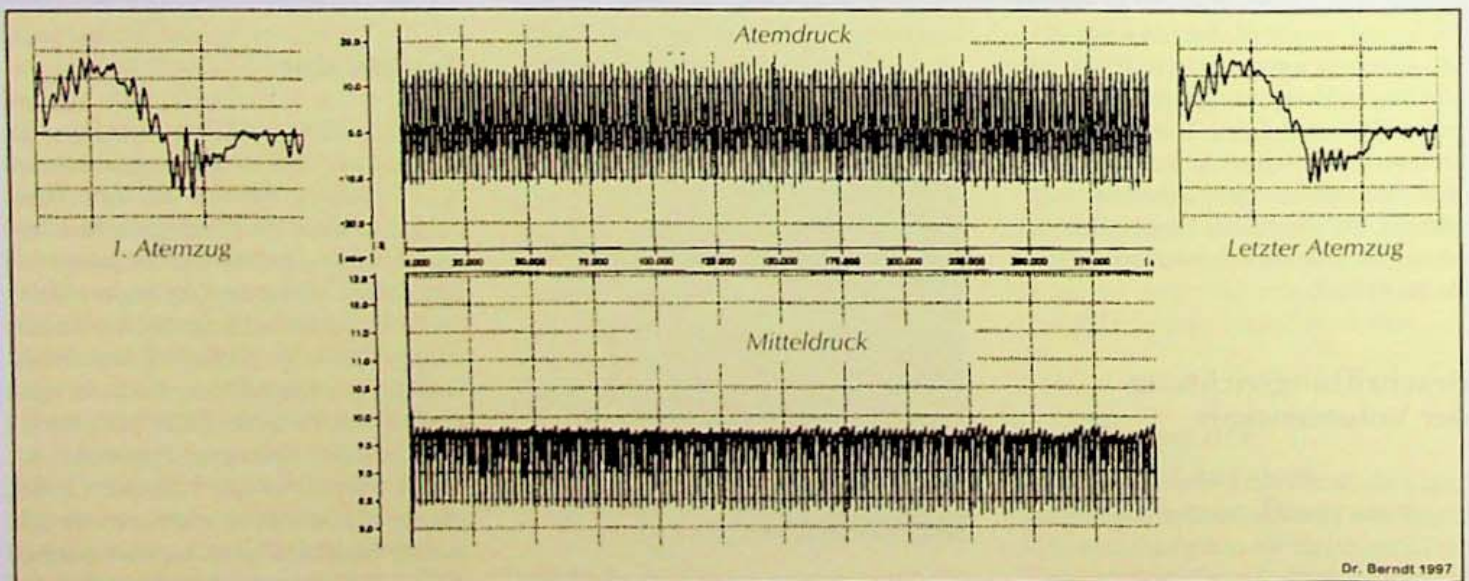
Repräsentative Beispiele

Nach diesen grundlegenden Betrachtungen soll nun an einigen repräsentativen Beispielen dargestellt werden, welche konkreten Resultate und Erkenntnisse diese neue Meßtechnik liefert. Es soll hier auch deutlich aufgezeigt werden, was diese Messungen von jenen unterscheidet, die bisher Stand der Technik waren und die in einem engen Wechselwirkungsprozeß hinsichtlich Meß- und Darstellbarkeit sowie Dokumentationsfähigkeit Rückwirkung auf die Ausformulierung der Norm hatten.



Gerade in extremen Situationen muß sich der Taucher auf seinen Atemregler verlassen können
Foto: Andreas Koffka/MTi Press

Hierzu wollen wir zunächst nochmals kurz zurückblicken auf den ersten Einstieg des *DIVEMASTER* in die Veröffentlichung von Meßergebnissen hinsichtlich Vereisungssicherheit von Atemreglern gemäß EN 250. Jene ersten Ergebnisse der Atemreglertests, die wir an der Prüfeinrichtung der Firma mares in Rapallo erhielten, verblüfften und verunsicherten uns durch ihr unerwartet schlechtes Abschneiden derart, daß wir uns - entgegen unserem ursprünglichen Plan - entschlossen, die Resultate zwar individuell den jeweiligen Herstellern/Importeuren zugänglich zu machen, zur Veröffentlichung jedoch zu anonymisieren. Diese Veröffentlichung, ca. ein Jahr vor endgültiger Verbindlichkeit der EN 250 nach allen Übergangsfristen, löste eine heftige Diskussion über solche Atemreglertests aus. Dreh- und Angelpunkt der Diskussion wurde die Frage nach der Praxisnähe des von der EN 250 vorgegebenen Prüfverfahrens. Die hauptsächlichen Diskussionspunkte waren dabei die Unterschiede in der Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Atemreglers bei einem realen Tauchgang verglichen mit den meßtechnisch erhobenen Leistungsdaten sowie der deutliche Unterschied bei Vereisung eines Atemreglers beim Tauchgang oder im Test gemäß EN 250. So vereisen Atemregler bei realen



Dr. Berndt 1997

Abb. 1: Die Charakteristik des idealen Atemreglers. Erster und letzter Atemzug sind vollkommen identisch

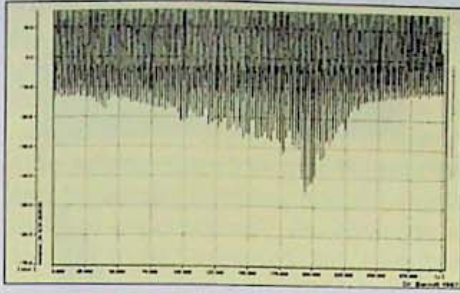


Abb. 2: Dieser Atemregler verläßt im zweiten Drittel der Meßzeit für etwa eine Minute den Normbereich. Er kann ohne Bedenken als „nicht EN-konform“ eingestuft werden

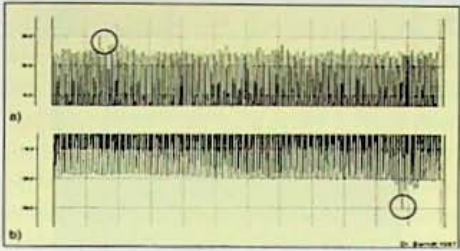


Abb. 3a und 3b: Schwieriger sind diese beiden Atemregler zu bewerten. Sie liegen beide innerhalb der Norm. Einzelne Spitzen verlassen den Normbereich jedoch. Der Normtext schweigt sich zu solchen geringen „Ausrutschern“ aus

Tauchgängen fast immer in der ersten Stufe, während die Vereisung beim EN-Kaltwassertest praktisch ausschließlich in der 2. Stufe stattfindet. Beides deutliche Hinweise auf grundlegende Unterschiede zwischen Tauchpraxis und Meßbedingungen. Dennoch, die Hoffnung und Vermutung, daß nach unserem Vorstoß nun die Hersteller konsequent an der Beseitigung der Mängel an den Atemreglern arbeiten würden, hat sich, zumindest zum Teil, erfüllt. Eine Nachmessung, etwas über ein Jahr später, ergab ein zwar nicht drastisch, aber in der Tendenz deutlich erfreulicheres Bild. In der Zwischenzeit hat sich aber auch das normgebende Gremium Gedanken darüber gemacht, wie die bisherigen Erkenntnisse zumindest in Teilen in ein praxisnäheres Prüfverfahren umgesetzt werden könnten. So ist derzeit eine Revision der EN 250 in Arbeit, die einige der neuen Erkenntnisse berücksichtigt. Hier seien beispielhaft nur folgende Änderungen bzw. Ergänzungen erwähnt: Positive Druckspitzen während der Einatmungsphase (durch Injektoreffekt) dürfen in ihrer Höhe und/oder Dauer bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten – bisher beschränkt die Normvorgabe nur die Höhe solcher positiven Druckspitzen. Die Ausatemluft soll beim Test künftig befeuchtet und erwärmt werden. Dies ist sicherlich eine realitätsnähere Testbedingung

als die bislang gültige, nach der die trockene und kalte Atemluft aus der Druckluftflasche unbehindert über die künstliche Lunge am Atemregler ausgeatmet wird. Gleichwohl ist auch diese revidierte Fassung nicht zeitnah genug, um allen neuen Erkenntnissen Rechnung zu tragen. Beide Fassungen gehen nämlich von der bis vor ca. eineinhalb Jahren einzig zur Verfügung stehenden Meßtechnik aus. Daraus ergeben sich – aus heutiger Sicht zwangsläufig – einige Mängel, da sie auf Fragestellungen, wie die nunmehr anfallenden Meßergebnisse sie aufwerfen, keine Antwort parat hält. So wissen wir heute z. B. daß die alleinige Betrachtung der Automatenparameter zu Beginn und am Ende der Messung nicht die ganze Wahrheit aufzeigt.

Neuere Resultate

Mit neu entwickelter Meßtechnik sowie der Anwendung moderner Hard- und Softwarelösungen ist es nunmehr möglich, eine fünfminütige oder auch längere Messung über die gesamte Zeit lückenlos als Kurvenzug aufzuzeichnen und dabei selbst sehr schnelle Spitzen sicher zu erfassen um sie später – gespreizt – zur Analyse wiederzugeben. So ist es also erstmals möglich, im Detail zu sehen, was zwischen Anfang und Ende einer Messung passiert. Tatsächlich zeigt sich bei verschiedenen Atemreglern eine Reihe interessanter Effekte im Verlauf der Messung. Diese lassen einerseits interessante Schlüsse über das Verhalten von Automaten zu (z. B. „Einarbeiten“ von Dichtsitzen, Hinweise auf beginnende Vereisungen, Losbrechen von Vereisungen, etc.), zugleich wird aber die Fragestellung aufgeworfen, wie der Automat bei kurzzeitiger Überschreitung der Normgrenzen einzuordnen ist. Dies gilt besonders für schnelle vereinzelt Druckspitzen während der fünfminütigen Messung (z. B. erhöhter Ausatemwiderstand bei nur einem einzigen Atemzug), die bisher gar nicht wahrgenommen und schon gar nicht dokumentiert werden konnten. Natürlich bedarf es einer breiten Datenbasis, um gesicherte und seriöse Erkenntnisse darüber zu gewinnen, daß solche Effekte nicht etwa meßtechnisch bedingt sind und daß es sich dabei um systematische Verhaltensweisen von vielen Atemreglern und nicht um vereinzelt Phänomene handelt. Dieses umfangreiche Datenarchiv haben wir im Laufe der letzten eineinhalb Jahre mit der Druckkammerversion des regulator control (der Firma Tauchertechnik Brandenburg GmbH) in Brandenburg in enger Zusammenarbeit aufgebaut. Dabei ist der Tatsache besondere Bedeutung zuzumessen, daß

es sich hier um ein hersteller- und marken-unabhängiges Prüflabor handelt. Einige dieser interessanten Effekte und Besonderheiten möchte ich nun an Beispielen darstellen und diskutieren, welcher Nutzen aus diesen Erkenntnissen zu ziehen ist und welche möglichen Auswirkungen sie auf die EN 250 haben könnten.

Gut oder schlecht?

Um uns dem Themenkomplex zu nähern, gehen wir zunächst von einem quasi idealen Atemregler aus. Dies ist ein Atemregler, bei dem die Atemcharakteristik weit innerhalb der Normvorgaben liegt und diese sich während der gesamten Meßdauer von fünf Minuten nicht ändert. Ein solcher Atemregler ist in der Abb. 1 dargestellt. Hier sieht der letzte Atemzug genau so aus wie der erste zu Beginn der Meßphase. Es gibt kein Problem mit der Norm in welcher Fassung auch immer. Vor allem gibt es keinerlei Interpretationsschwierigkeiten. Ganz anders aber sieht es aus, wenn ein Atemregler zu Beginn und

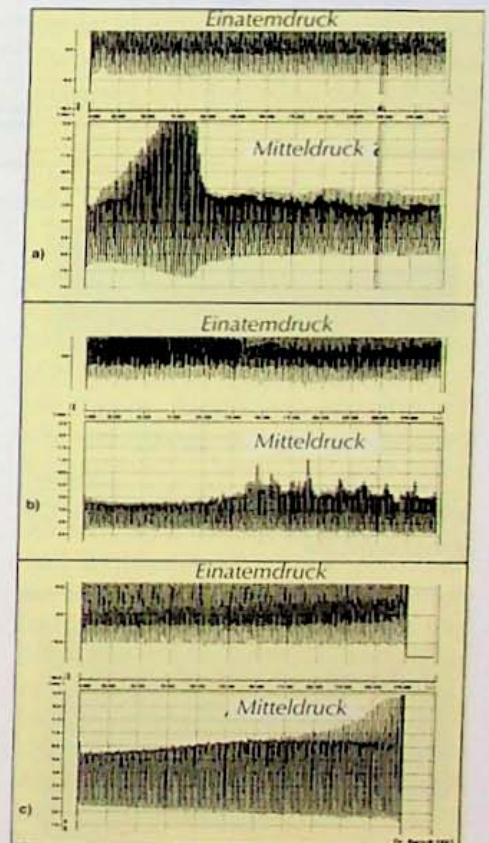


Abb. 4a bis 4c: Messungen des Mitteldrucks: Alle drei Automaten zeigen Instabilität des mechanischen Funktionsablaufes. Die Mitteldrücke der Automaten in 4b und 4c weisen vermutlich auf beginnende Vereisung hin. Die Erfüllung der Norm wird dadurch nicht berührt

am Ende der Messung mit Werten aufwartet, die weit innerhalb der Normvorgaben liegen, der aber für einen Teil der Meßdauer die Grenzen deutlich überschreitet. Der in Abb. 2 dargestellte Atemregler weist ein solches Verhalten auf. Er verletzt im zweiten Drittel der Meßzeit für ca. eine Minute das Toleranzband. Diese vorübergehende Überschreitung ist mit der herkömmlich zur Verfügung stehenden Meßtechnik nicht sauber zu erfassen und schon gar nicht zu dokumentieren gewesen. Daher geht die Norm auf solche Effekte gar nicht ein. Obgleich also hier die Norm nicht ausdrücklich eine Aussage trifft, bin ich gleichwohl der Ansicht, daß bei einer so massiven Überschreitung der Atemregler als nicht EN-konform zu klassifizieren wäre. Anders, so meine ich, sieht es mit Atemreglern aus, bei denen im Verlauf der Messung völlig vereinzelte Druckspitzen, im Extremfall gar nur eine einzige die Grenzwerte überschreitet. Zwei Beispiele hierfür zeigen die Abbildungen 3a und 3b. In Abb. 3a überschreiten eine Spitze deutlich und einige wenige benachbarte Spitzen ganz marginal den Grenzwert. Abb. 3b zeigt ein Beispiel, bei dem gar nur eine einzige Spitze den Grenzwert überschreitet. Hier gilt der Hinweis auf die Beschränkungen der bisherigen Technik verstärkt. Wie aber sind diese beiden Atemregler

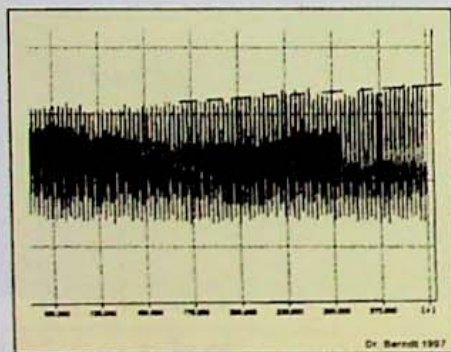


Abb. 5: Nur der Ausatemweg ist von der Vereisung betroffen

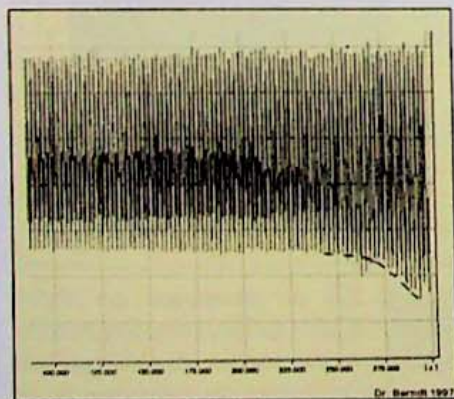


Abb. 6: Nur der Einatemweg ist von der Vereisung betroffen. Diese beiden Phänomene sind selten

einzuordnen? Die Norm läßt uns hier im Stich. Es muß mithin auf die Problematik hingewiesen werden, daß die EN 250 diese Phänomene nicht abdeckt und die Zertifizierung mit Meßsystemen erfolgte, die technisch nicht in der Lage sind, solche Details zu erfassen und zu dokumentieren. Hier scheint mir dringender Handlungsbedarf seitens des Normenausschusses geboten. Verlassen wir nun dieses etwas schwierige Terrain und betrachten einige weitere interessante Ergebnisse, die zwar keine Auswirkungen auf die EN 250 haben, die aber für Hersteller/Importeure, Servicestellen und Taucher interessant sein dürften. Obgleich hinsichtlich des Mitteldrucks in der EN 250 keine Vorgaben gelten, ist es von Interesse, den Mitteldruck in seinem Verlauf bei der Atmung mit zu messen und aufzuzeichnen. Aus diesem Verlauf lassen sich für den Fachmann Schlüsse über das Verhalten der ersten Stufe bei unterschiedlichen Leistungsanforderungen ziehen. Bei der Betrachtung des Mitteldruckverlaufs einiger Atemregler verblüfft, wie stark der Mitteldruck Schwankungen unterworfen sein kann, ohne daß diese sich nennenswert auf den Einatemdruck an der 2. Stufe auswirken. Die folgenden drei Abbildungen 4a, 4b und 4c belegen dies auf eindrucksvolle Weise – selbst bei Schwankungen des Mitteldruckabfalls zwischen etwa zwei und geradezu sagenhaften über sechs bar!

Solche Schwankungen in den statischen Mitteldrücken und in den Mitteldruckabfällen führen offenbar nicht sogleich zum Ausfall des Atemreglers, sie führen nicht einmal zum Verlassen irgendwelcher Normgrenzwerte. Gleichwohl geben sie einen Hinweis darauf, daß hier Instabilitäten des mechanischen Funktionsablaufs vorliegen, die durch konstruktive Mängel bedingt sein können. Ohne an dieser Stelle auf die Phänomene der inneren und äußeren Vereisung einzugehen, dürfen die Mitteldruckanstiege in den Abb. 4b und 4c als beginnende Vereisung in der ersten Stufe interpretiert werden. Die beobachtbaren Spitzen in Abb. 4b mögen durch Eiskristalle zustande kommen, die aber bei den folgenden Atemzügen durch die Membran-/Kolbenbewegungen wieder weggebrochen werden. Der Anstieg in Abb. 4c ist dagegen der Beginn einer irreversiblen Vereisung in der ersten Stufe (der Atemregler ist in der weiteren Folge vereist). Was die Würdigung solcher Phänomene bei der Beurteilung eines Atemreglers hinsichtlich seiner Tauglichkeit als Kaltwasserautomat anlangt, sagt die EN 250 hierzu nichts aus, mithin sind sie für die Beurteilung ohne Belang – für die Techniker in den Entwicklungslabors der Hersteller sollten sie das dagegen nicht sein.

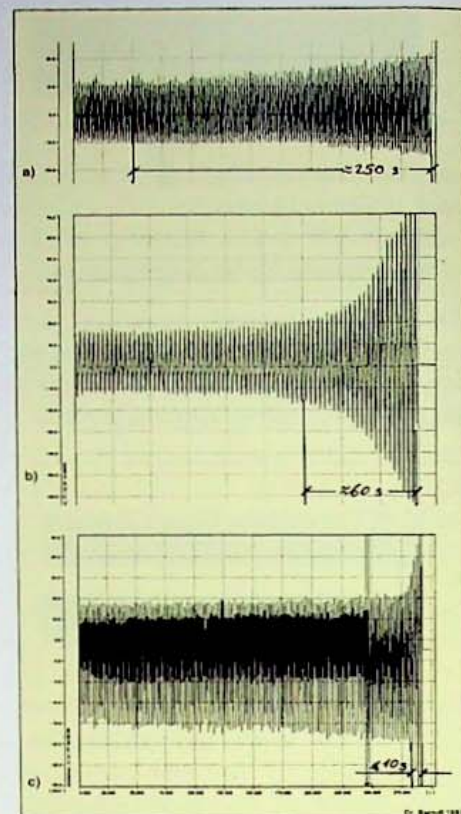


Abb. 7a: Langsame Vereisung über etwa vier Minuten

Abb. 7b: Etwa eine Minute nach Beginn der Meßzeit fiel dieser Regler wegen Vereisung aus

Abb. 7c: Dramatisch schneller Ausfall des Atemreglers, bereits zehn Sekunden nach den ersten Anzeichen einer Vereisung

Vereisung

Darauf, daß, anderes als bei realen Tauchgängen, die dramatische Vereisung bei den Tests zumeist in der 2. Stufe stattfindet – bin ich oben schon kurz eingegangen und möchte dies auch nicht weiter vertiefen. Wir werden sehen, ob in diesem Punkt die künftig gültigen Meßvorschriften eine größere Nähe zur praktischen Erfahrung bringen. Ich möchte nun anhand einiger Beispiele darstellen, wie sich Vereisungen bei den Testmessungen in der Druckkammer entwickeln. Recht selten kommt es bei den Messungen nach EN 250 vor, daß nur der Ausatemweg wie in Abb. 5 oder nur die Einatmung wie in Abb. 6 von der Vereisung betroffen ist. Zumeist, so konnten wir feststellen, findet eine Vereisung bzw. deren Beginn derart statt, daß Ein- und Ausatmung gleichermaßen betroffen sind. In den Abbildungen 7a-c ist dies deutlich zu erkennen. In den drei Abbildungen ist auch dargestellt, wie unterschiedlich



schnell eine Vereisung sich entwickeln kann. Führt die langsame, über mehr als vier Minuten gehende Vereisung in Abb. 7a nicht zu einer Überschreitung der Normvorgaben innerhalb der fünfminütigen Meßzeit, fällt der Atemregler in Abb. 7b ca. eine Minute nach dem Beginn der Vereisung aus. Am dramatischsten entwickelt sich die Vereisung in Abb. 7c, wo die Vereisung bereits etwa zehn Sekunden nach den ersten Anzeichen in den Atemdruckspitzen zum Ausfall führt. Eine beginnende Vereisung in der 2. Stufe zeigt sich nicht nur durch Ansteigen der Atemdruckspitzen. Es gibt auch andere Vorboten auf eine beginnende Vereisung, die erkennbar sind, lange bevor sich die Vereisung auf die Atemdruckspitzen auswirkt: So ist es anhand des Injektoreffekts sehr schön zu beobachten, wann eine Vereisung in der 2. Stufe eines Atemreglers ihren Anfang nimmt. Über den physikalischen Hintergrund, das Zustandekommen eines Injektoreffektes, ist an verschiedensten Stellen schon ausführlich berichtet worden. Daher möchte ich an dieser Stelle nur noch einmal das Grundprinzip erwähnen, daß ein Injektoreffekt von einer ganz bestimmten idealen Strömungsführung „lebt“. Das bedeutet umgekehrt, daß Störungen dieses idealen Strömungsverlaufs den Injektoreffekt beeinflussen oder gar zunichte machen. Zunächst ist in den Abb. 8a-c dargestellt, wie Injektoreffekte unterschiedlich starker Ausprägung sich im Verlauf einer Atemdruckkurve darstellen. So ist in Abb. 8a kein, in Abb. 8b ein moderater und in Abb. 8c ein starker Injektoreffekt zu verzeichnen. Beginnt nun eine 2. Stufe mit zunächst deutlicher Injektorwirkung im Umfeld des Ein-

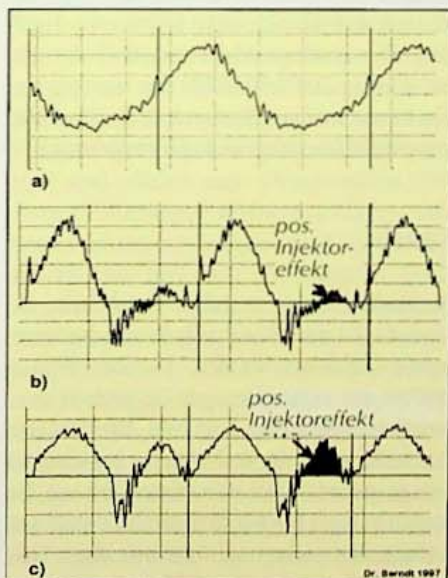


Abb. 8a bis 8c: Darstellung des Injektoreffekts; a=kein Effekt, b=moderater Effekt, c=starker Effekt

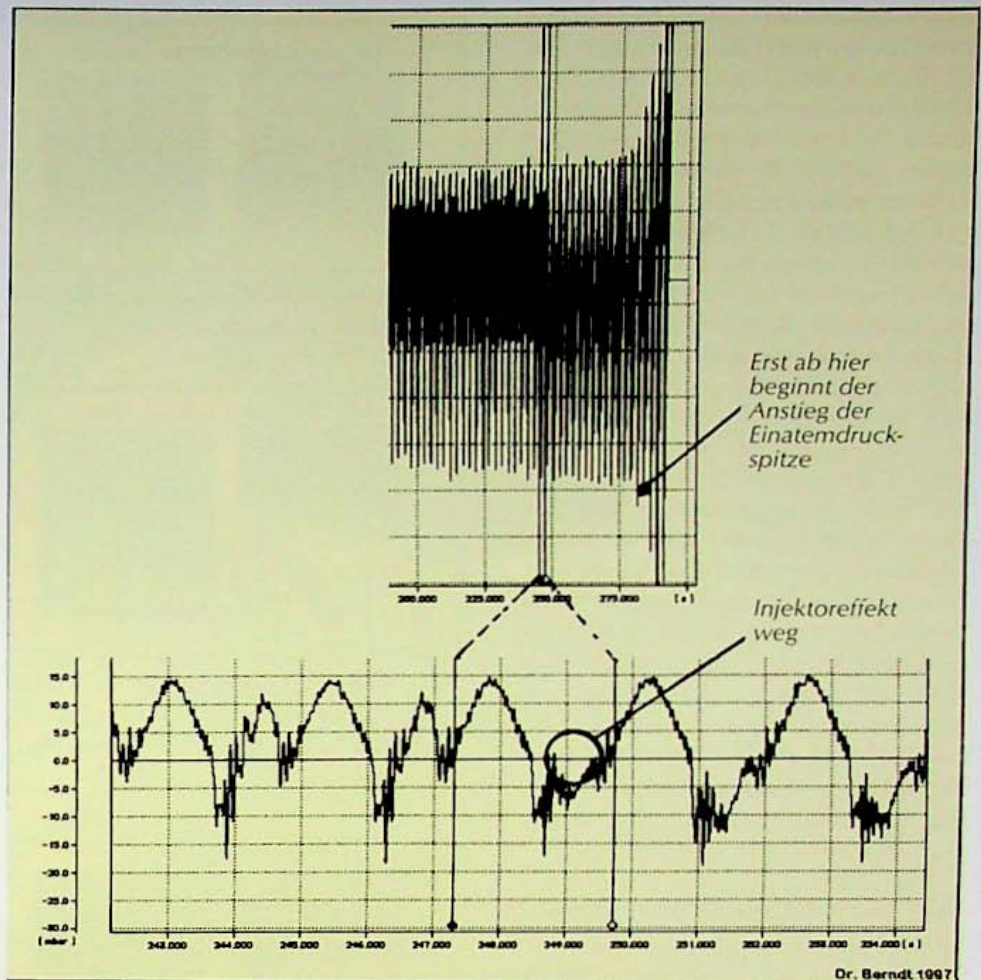


Abb. 9: Nachlassender Injektoreffekt durch gestörten Luftstrom

atemventils zu vereisen, so wird durch die Eiskristalle der Luftstrom gestört, was am nachlassenden Injektoreffekt erkennbar ist, wie Abb. 9 zeigt. Interessant dabei ist, daß der Injektoreffekt praktisch von einem Atemzug auf den anderen wegbleibt und daß dies geschieht, lange bevor an den Atemdruckspitzen etwas Wesentliches spürbar ist. Erst im weiteren Verlauf (im vorliegenden Fall ca. eine halbe Minute später) führt die fortschreitende Vereisung zu einem dramatischen Anstieg von Ein- und Ausatemdruck und zum Ausfall des Atemreglers.

„Einstellungssache“

Im Rahmen des Themas Strömungsführung möchte ich eine weitere wichtige Erkenntnis vermitteln. So sind in manchen 2. Stufen von Atemreglern mehr oder minder kompliziert gebogene Luftleitbleche eingebaut, denen die Hersteller unterschiedliche Eigenschaften wie z. B. optimale Luftführung zur Reduzierung der Atemarbeit, Erwärmung der Hebelmechanik durch die vorbeistreichende Aus-

atemluft u. a. zuschreiben. Wir haben im Rahmen unserer Untersuchungen auch den Einfluß der korrekten Lage solch eines Luftleitbleches auf die Atemcharakteristik untersucht. Dabei konnten wir feststellen, daß eine geringfügige, mit nicht übermäßigem Kraftaufwand zu bewerkstellende Verbiegung dieses Bleches die Ausatemcharakteristik verbesserte (!). Den Vergleich „vor und nach der Behandlung“ zeigt die Abb. 10. Auf die Einatemcharakteristik blieb die Manipulation ohne jeden Einfluß. Bedenklich hierbei ist, daß eine solche Manipulation, die einen Atemregler zu einem nicht mehr EN-konformen Atemregler machen könnte, durch „Forscherdrang“ oder unabsichtlich leicht durchgeführt werden kann und daß solch eine Änderung mit der heute noch verbreitet üblichen meßtechnischen Ausstattung von Servicestellen weder erfaßbar noch zu beseitigen ist.

Kommen wir abschließend noch zu den möglichen Hebelchen und Schraubchen zum Verändern der Atemcharakteristik. Ohne auf die bereits wiederholt diskutierte Frage nach Sinn und Unsinn solcher Verstellmöglichkei-

ten einzugehen, möchte ich anhand von zwei konkreten Beispielen den Nutzen hinterfragen. So ist in Abb. 11a und b ein Atemregler mit seinen beiden Extremeinstellungen dargestellt. Es ist zu erkennen, daß bei der Einstellung „schwer“ die Normgrenzwerte für die Einatemdrücke gerade überschritten werden. Damit ist der Atemregler in dieser Einstellung und gemäß Normtext insgesamt nicht EN-konform. Dies müßte nicht sein – der Atemregler „kann es ja“ – was die „leichte“ Einstellung beweist. Abb. 12a und 12b zeigen dagegen einen Atemregler, bei dem der Regelbereich durch begrenzende mechanische Maßnahmen so eingeengt wurde, daß er in allen Stellungen sicher innerhalb der Norm-Vorgaben lag. Das ist so korrekt. Nur was soll das – ganze vier Millibar Regelbereich? Die Gefahr, durch Einstellmöglichkeiten – gleiches gilt sinngemäß für die Venturiklappen, die die Injektorwirkung beeinflussen – entweder nur einen marginalen Effekt zu erreichen oder die Normgrenzwerte zu überschreiten sowie die zusätzliche Mechanik, die dafür nötig ist, sollte die Hersteller über die Unabdingbarkeit solcher Einrichtungen nachdenklich machen.

Was nutzen diese Erkenntnisse?

Ich habe nun also dargestellt, welche Erkenntnisse sich heute mit Meßsystemen nach dem Stand der Technik erlangen lassen. Was wir hier bisher gelernt haben und fortwährend verfeinern, gibt nicht nur Antworten, sondern es wirft auch neue Fragen auf und stellt Aufgaben neu. So sind diese Erkenntnisse für sich allein also nur bedingt wertvoll. Sie werden es erst, wenn die Konsequenzen, die sich daraus ableiten, zu Maßnahmen führen. So möchte ich in diesem Sinne nur einige wichtige Punkte benennen: Es muß eine weitere Annäherung der Prüfvorschriften an die Praxis geben. Ein Teilschritt in diese Richtung ist sicher die künftige Forderung nach Erwärmung und Befeuchtung der Ausatemluft. Es ist zu prüfen, wie der auffallende Unterschied zwischen subjektivem Empfinden eines Atemreglerverhaltens und den Meßergebnissen in der Druckkammer zu überwinden ist. Es ist zu prüfen, in wie weit die EN 250 konkretere Aussagen über die Bereiche einer Messung machen sollte, die bisher der meßtechnischen Erfassung nicht zugänglich waren. Es ist zu prüfen, in wie weit – gemessen am Stand der Technik – die EN 250 einen Mindeststandard der zum Einsatz kommenden Meßsysteme festschreiben sollte. Es ist zu prüfen, in wie weit die EN 250 Randbedin-

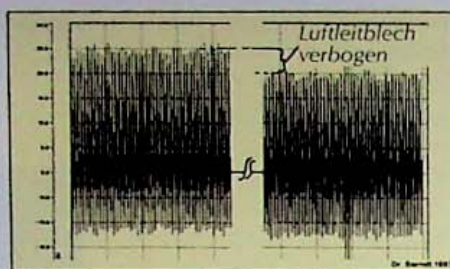


Abb. 10: Manipulation durch verbogene Luftleitbleche in der zweiten Stufe

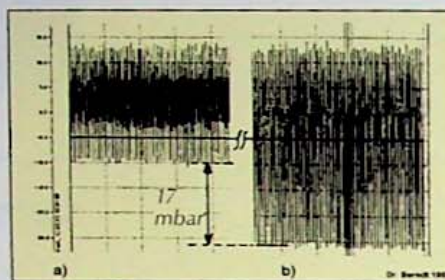


Abb. 11a und 11b: Meßcharakteristik eines verstellbaren Atemreglers. In der Extremposition „schwer“ erfüllt er die Normvorgaben nicht mehr

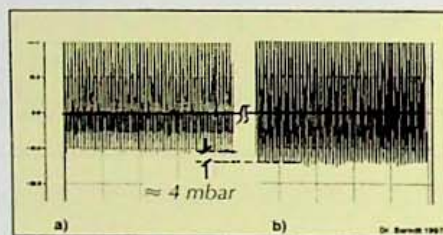


Abb. 12a und 12b: Norm erfüllt: Dieser Atemregler erfüllt die Norm in beiden Extrempositionen – bei ganzen vier Millibar Regelbereich

gungen, die durchaus Einfluß auf das Ergebnis haben können, die aber heute nicht festgelegt sind, klarer zu definieren sind. So ist es beispielsweise nicht festgelegt, ob zur Messung auf der 50-Meter-Stufe der Automat bereits während des „Abtauchens“ arbeiten soll, oder ob er erst nach Erreichen der Tauchtiefe zu atmen beginnt. Diese Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sie soll nur beispielhaft aufzeigen, daß hier noch viel zu tun ist. Darüber hinaus bietet die heute zur Verfügung stehende Technik auch Möglichkeiten, an die bis vor kurzem niemand denken konnte: Es ist nicht mehr nur möglich, ein starres Volumen von 2,5 l AZV sinusförmig mit 25 Atemzügen pro Minute durch die künstliche Lunge zu atmen, sondern AZV von <0,5 l bis zu 3 l stufenlos, Atemfrequenzen stufenlos von <1 bis >30 Atemzügen pro Minute und nahezu beliebige Atemkurvenformen zu programmieren. Hier

kann vielleicht die Lücke zwischen Meßtechnik und Tauchpraxis geschlossen werden. Aber bereits heute haben die Resultate einen unmittelbaren Nutzen.

Für den Verbraucher: Erst eine an unabhängiger Stelle verfügbare und hochmoderne Meßtechnik, gepaart mit journalistischem Mut, hat die breite Publikation von Meßergebnissen ermöglicht. So hat der Verbraucher heute die Möglichkeit, von objektiven, reproduzierbaren und dokumentierten Ergebnissen zu profitieren und diese Erkenntnisse in seine Entscheidungen einfließen zu lassen. Es kann ihm so aber auch klar gemacht werden, daß geringe Änderungen den Atemregler außerhalb der Normwerte bringen können, d. h. es kann ihm so nachvollziehbar dargestellt werden, daß er nicht selbst am Gerät manipulieren darf.

Für den Importeur/Hersteller: Ihm wird nun zunehmend klarer werden, daß er sicherzustellen hat, daß sein Vertragsservice, den er ja besonders hervorhebt und schützt, mit dem geeigneten technischen Wissen und Gerät ausgestattet ist, das ihn in die Lage versetzt, seinen, im Ernstfalle haftungsrechtlichen, Verpflichtungen gerecht zu werden. Ein Zwischendruckmesser und ein Zeigerinstrument für die Ein- und Ausatemdrücke, die Überprüfung des statischen Mitteldrucks und einige Atemzüge aus dem Atemregler nach dem Service tun es heute nicht mehr. Vielmehr sind die Leistungswerte eines Atemreglers vor und nach Service möglichst inklusive Dokumentation gefragt. Für den Produktentwickler: Er muß erkennen, daß er bei der Entwicklung darauf zu achten hat, daß Konstruktionselemente, die kritisch auf die Leistung eines Reglers einwirken, derart gestaltet sind, daß sie sich nicht selbst oder durch Eingriff verändern. Also beispielsweise nicht ein dünnes „Luftleitblech“, das man verbiegen kann, sondern die Struktur in das Automatengehäuse integrieren (Formgebung).

Fazit

In diesem Bericht sollten nochmals die Grundlagen und Hintergründe von Atemreglertests erläutert werden. Darüber hinaus wollten wir anhand einiger Beispiele zeigen, welche interessanten Resultate die intensive Beschäftigung mit der Materie inzwischen zutage gefördert hat. Die Diskussion um die Auswirkungen solcher Erkenntnisse steht am Anfang. Mit Sicherheit wird uns diese Thematik auch künftig beschäftigen. Wir werden von neuen Entwicklungen berichten.

Dr. Dietmar Berndt