



U O S S T E R C

Albert Alois BÜHLMANN - Gedächtnis-Symposium
Teil 1 - TIEF- & SÄTTIGUNGSTAUCHEN
TAUCHAUSRÜSTUNG - Wartung? Service? Gefahren?
APNOE-TAUCHEN - von Kindern und Jugendlichen

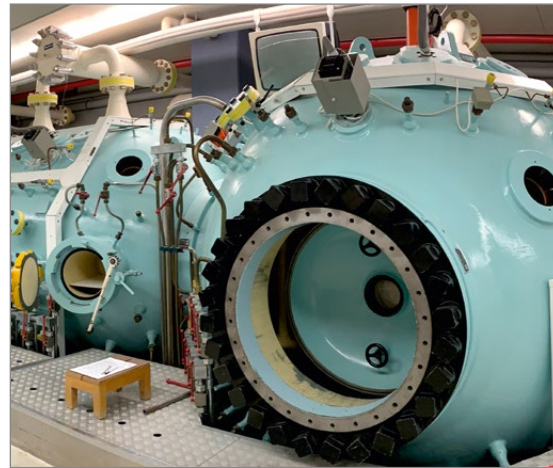


06
Titelthema

A. A. Bühlmann
Gedächtnis-
Symposium



08
Diving Medical
Research



28
Meilensteine...



46
Interview



50
Tauchausrüstung

Zum Titelbild:

Das Titelbild zeigt Prof. Dr. Albert A. Bühlmann, eine der herausragenden Persönlichkeiten der tauchmedizinischen Forschung des letzten Jahrhunderts. Im Frühjahr 2019 fand anlässlich des 25. Todestages von A.A. Bühlmann in Zürich ein Gedächtnissymposium unter Beteiligung zahlreicher Zeitzeugen und Weggefährten seines Wirkens statt. Caisson berichtet in dieser und der nächsten Ausgabe über dieses Symposium (Foto: Archiv A. Bühlmann).

Inhalt

03 **EDITORIAL**
Wilhelm Welslau

05 **Impressum & Hinweise für Autoren**

TAUCHMEDIZIN

06 **A. A. Bühlmann Gedächtnissymposium in Zürich**
Christian Wölfel

08 **Diving Medical Research in Zürich 1959 to 1994**
Thomas A. Bühlmann

27 **Albert A. Bühlmann - Beyond Diving Physiology**
Erich W. Russi

28 **Meilensteine des Tieftauchforschungslabor Zürich**
Jürg Wendling

38 **Verein Historisches Druckkammerlabor Universitätsspital Zürich (DKL-USZ)**
Christian Wölfel

42 **500 m Tieftauchsimulationen im Druckkammerlabor Zürich**
Christian Wölfel

46 **Interview mit Livio de Toffol**
Christian Wölfel und Livio de Toffol

50 **Tauchausrüstung – Wartung? Service? Gefahren?**
Ralf Krause

AKTUELLES

64 **Stellungnahme der GTÜM-AG Tauchmedizin im Kindes-Jugendalter**
Christian Beyer, Peter Ahrens, Heike Gatermann, Andreas Glowania, Uwe Hoffmann, Anette Meidert, Else Schirber, Karsten Theiß

66 **Bericht 2. Symposium Tauchen von Kindern & Jugendlichen**
Lars Eichhorn

71 **Leserbrief**
Ullrich Siekmann

72 **Kongress-Ankündigungen**

74 **Kursangebote**

76 **GTÜM-zertifizierte Veranstaltungen**

78 **GTÜM-Adressen**

Impressum & Hinweise für Autoren

caisson | Organ der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e.V. | ISSN 0933-3991

redaktion: Dr. Wilhelm Welslau, Seeböckgasse 17/2, A-1160 Wien, Tel.: +43 (0)699 1844 2390, caisson@gmx.net

herausgeber: Dr. Karin Hasmler (Vorstand der GTÜM), c/o BG-Unfallklinik Murnau, Prof. Küntscher-Straße 8, D-82418 Murnau
Tel.: +49 (0)8841 48 2709, k.hasmler@gtuem.org

Geschäftsstelle: GTÜM e.V., Susanne Keller, c/o BG-Unfallklinik Murnau, Prof.-Küntscher-Straße 8, D-82418 Murnau
Tel. +49 (0)8841 48 2167, Fax +49 (0)8841 48 2166, gtuem@gtuem.org

Satz, Layout: medien@19, Paderborn, dagmar.venus@gmx.de, www.dvenus.de, **Lektorat:** taucherarzt.at, Wien, **Druck & Versand:** Druckerei Marquart GmbH, Aulendorf, Auflage 1.600

caisson erscheint viermal jährlich, et9 wa zur Mitte der Monate Januar, April, Juli und Oktober. Redaktionsschluss: 15. Feb., 15. Mai, 15. Aug. und 15. Nov.

Der Bezugspreis ist im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Alle Zuschriften an die Redaktionsadresse. Kürzungen vorbehalten. Namentlich gekennzeichnete Beiträge stellen die Meinung des Autors dar und sind nicht als offizielle Stellungnahme der Gesellschaft aufzufassen.

- Einsendeschluss ist jeweils der 15. Tag im ersten Monat des Quartals.
- Es können nur solche Arbeiten und Zuschriften veröffentlicht werden, die per E-Mail oder CD bei der Redaktion eingehen.
- Datenformat: Microsoft Word, Silbentrennung: keine, Literaturverzeichnis: Nummerieren.
- Die Autoren werden gebeten, nach Möglichkeit Artikel aus früheren caisson-Heften zu zitieren.
- E-Mail: caisson@gmx.net

Tauchausrüstung – Wartung? Service? Gefahren?



Autor

Dipl.-Ing. Ralf Krause
AtemReglerService

Bahnhofstraße 34
D-91154 Roth
Tel. 09171-8949430
Fax 09171-8949431
www.ars-krause.de

e-mail@ars-krause.de

unterlassener bzw. nicht ordentlich durchgeführter Wartung bzw. Service vorkommen können.

Der Tauchmediziner sollte über die möglichen Auslöser einer Fehlerkette auf Grund von Funktionsproblemen bei der Tauchausrüstung Bescheid wissen. Ein Hinweis, dass die nach erfolgreicher Untersuchung ausgestellte Tauchtauglichkeit nicht vor Gesundheitsschäden z.B. Lungenüberdruckverletzungen bei unkontrolliertem Aufstieg etc. schützt, sollte jedem Taucher mit auf den Weg gegeben werden. Die Gesundheit des Tauchers als Grundlage für sein Hobby bzw. seine Tätigkeit ist durch Funktionsmängel an der Tauchausrüstung gefährdet. Die Ausrüstung nur in einwandfreiem Zustand zu verwenden ist immer einfacher, wie seine Gesundheit wieder zu erlangen (wenn die Möglichkeit dann überhaupt noch gegeben ist). Die Vorbildfunktion des Taucherarztes, und ein entsprechender Hinweis an seine Patienten, ist hier sehr wichtig. Viele Taucher hören eher auf den Arzt als auf die Techniker.

Einleitung

Wir haben seit 1990 Erfahrungen mit der Tauchtechnik. Als gelernter Werkzeugmacher, Maschinenbauingenieur und leidenschaftlicher Taucher habe ich 1999 die Firma AtemReglerService, von Eberhard Stark Ende der 1980er gegründet, in Nürnberg übernommen. Wir haben unser Serviceangebot ständig erweitert und jetzt nutzen Hobbytaucher, Tauchlehrer, Vereine, verschiedene Rettungsorganisationen, Feuerwehren, Polizei, Zoll, einige Ausrüstungshersteller, Berufstaucher etc. unsere Leistungen und Serviceangebote. Die jahrelange Erfahrung beim Service der einzelnen Ausrüstungskomponenten, welche dann wieder in der Kombination einwandfrei funktionieren müssen, hat diverse Auffälligkeiten hervorgebracht. Wir möchten mit diesem Beitrag zur Tauchsicherheit beitragen, indem wir aufzeigen, welche Probleme, Gefahren, Funktionsstörungen bei

Nur die Kombination von medizinischer Tauchtauglichkeit, entsprechendem Trainingszustand, funktionierender Ausrüstung und sicherer Tauchgangsplanung und -durchführung schafft die Grundlage für erfolgreiche und sichere Tauchgänge!

Wir „beobachten“ das Atemgas (Atemluft) auf seinem Weg aus dem Druckbehälter (Tauchflasche) bis der Taucher es wieder an die Umgebung abgibt. Anschließend geben wir noch ein paar Tipps und Tricks für weitere Teile der Ausrüstung – Pflege – Lagerung. Alle Belange der Füllanlagen (Kompressoren) und Filterung des Atemgases betrachten wir in diesem Beitrag nicht. Dieses komplexe Thema sollte in der Zukunft gesondert betrachtet werden.

1. Tauchflasche mit Ventil

Das Atemgas bzw. die Atemluft muss die Anforderungen der DIN/EN 12021 erfüllen. Leider befindet sich immer wieder Feuchtigkeit bzw. Öl in den Flaschen. Eindringen von Wasser bei vollständiger Entleerung, fehlerhafte Filterung bzw. Reinigung nach der Verdichtung der Luft, Kondenswasser, Fehler beim Füllvorgang etc. sind hier die Gründe. Eine Innenkorrosion ist die Folge und die entstandenen Oxidationsprodukte / Partikel verhindern die einwandfreie Funktion der für Gase bestimmten Ausrüstungsteile. Die Druckbehälter sind daher entsprechend zu kont-

rollieren und fachgerecht zu reinigen. In den meisten Fällen geschieht es bei der vorgeschriebenen TÜV-Prüfung. Die Kombination von Flasche und Ventil erfolgt mit einem Gewinde. Hier gibt es konische (groß und klein konische) und zylindrische Verbindungen. Bei den konischen Verbindungen wird ein spezielles Dichtband für die Abdichtung verwendet und bei zylindrischen Verbindungen erfüllen O-Ringe diese Aufgabe. Das Dichtmittel muss auf alle Fälle für das verwendete Gas im Tauchbereich zugelassen sein.



Abbildungen 1-3

links: Rost in der Flasche, Mitte: kleinkonische Ventile, rechts: zylindrische Ventile (Fotos Ralf Krause)

Bei den zylindrischen Verbindungen kommen Gewinde M18x1,5, M25x2 und G3/4" zum Einsatz. Der Flaschenhals hat entweder einen Konus (DIN 477 T6) oder einen zylindrischen Einstich (DIN EN 144 T1).

Hier werden in der Kombination nicht nur von Laien immer wieder Fehler gemacht. Ein falscher O-Ring ist da noch das kleinste Übel, auch wenn die Flasche dann nicht dicht ist bzw. es den O-Ring herausdrückt.



Abbildungen 4-6

links: Flasche mit konischer Senkung, Mitte: Flasche mit zylindrischem Einstich, rechts: Ventile mit Ansatz bzw. plan (Fotos Ralf Krause)

Welche Kräfte und Reaktionen beim Ausreißen eines Ventils entstehen, kann in einem YouTube-Video gut erkennen. Direkter Link: <https://www.youtube.com/watch?v=tyINNUaXa8Q>, alternativ bei YouTube die Suchbegriffe „Scuba Tank - Valve Cut“ eingeben.



Eine große Gefahr entsteht immer wieder wenn ein Ventil mit einem M25x2 Gewinde in eine Flasche mit einem G3/4" Innengewinde geschraubt wird. Im Zuge der Normungen und „Vereinfachungen“ muss die Gewindebezeichnung nicht mehr auf dem Flaschenkörper bzw. dem Ventil angegeben werden. Diese ist jetzt in der CE-Kennzeichnung verschlüsselt. Ohne Kontrolle der beiden Gewinde für die Kombination wird bei der Montage von einem Ventil mit M25x2 Gewinde in einen Flaschenhals mit G3/4" Gewinde eine äußerst gefährliche Kombination geschaffen. Diese Verbindung hält nur augenscheinlich und leider kann man die Flaschen auch füllen. Bei den zwangsläufig folgenden Unfällen, das Ventil reißt aus dem Gewinde und fliegt weg, kommt es immer wieder zu schweren Verletzungen und zu Sachschäden.

Das Flaschenventil hat die Aufgabe das unter Hochdruck stehende Atemgas im Druckbehälter bis zu seiner Verwendung zurückzuhalten. In der historischen Entwicklung hat sich die Kombination Oberspindel mit O-Ring-Dichtung mit einer formschlüssigen Verbindung zur Unterspindel mit Gewinde etabliert. Die Oberspindel wird mit einem Handrad gedreht und die Unterspindel dichtet auf dem Dichtsitz des Ventils mit der Dichtfläche ab. Beim Schließen des Ventils entsteht somit eine Kombination der Axial- und Rotationsbewegung bei gleichzeitigem Kraftanstieg zur Erreichung der Abdichtung.

Auf dem Dichtplättchen der Unterspindel ergeben sich so drei verschiedene Bereiche für die Materialbelastung. In der Mitte steht der Gasdruck an. In der Kreisringfläche des Dichtbereiches presst bei geschlossenem Ventil der Dichtsitz des Ventils das Material zusammen und verformt es mit der Zeit. Im Außenbereich befindet sich der Restdruck des Füllgases. Die O-Ringe und das Dichtplättchen der Unterspindel altern und die Materialeigenschaften verändern sich. Sind die O-Ringe zu alt, dichten diese nicht mehr und Gas strömt in die Umgebung ab (unvorhergesehener Gasverlust beim Tauchen). Die für das Dichtplättchen verwendeten Materialien verändern ihre Eigenschaften je nach Gasart bzw. Gasgemisch und welcher Druck auf es einwirkt. Hier lauert eine weitere Gefahr. Das genannte Dichtplättchen muss für die Drücke und Gase geeignet sein. Es kommt hier immer wieder zu Unfällen, z.B. beim Befüllen der Tauchflaschen mittels Partialdruckmethode zur Herstellung von Nitrox. Beim Schließen des Ventils kommt es zum Abrieb vom Dichtmaterial bei gleichzeitiger Krafterhöhung (Reibung mit Wärmebildung) und einem entsprechend hohem anstehenden Sauerstoffpartialdruck kann eine Zündung erfolgen. Dann zeigt die chemische Reaktion in der Kombination mit der physikalischen Druckfreisetzung eine plötzliche Einwirkung auf die Umgebung. Schäden an der Ausrüstung, Gebäuden und sich im Gefahrenbereich befindende Menschen sind zu beklagen.



Abbildungen 7 und 8
links: Ventil in Einzelteile zerlegt, rechts: Unterspindel (Fotos Ralf Krause)



Abbildungen 9 und 10

links: Füllarmatur nach Sauerstoffbrand, rechts: ausgebranntes Überströmventil
(Fotos: BAM, Wir bedanken uns bei Dipl.-Ing. Marko Szykowski von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Fachbereich Gase, Gasanlagen für die Bereitstellung der Bilder und die fachlichen Unterstützung).

Einen Schutz hiervoor gibt es nur bei der Verwendung von zugelassenen und geprüften Ventilen (BAM). Die Ventile müssen nach den Vorschriften des Herstellers gewartet werden. Bei der Ventilrevision werden alle Dichtungen, die komplette Unterspindel (incl. Dichtplättchen), Stützringe etc. ersetzt und die neuen Teile mit dem vorgeschriebenen Fett benetzt montiert. Das verwendete Fett ist ein weiterer Gefahrenpunkt, da es für die entsprechende Gas- & Druckkombination bei der Prüfung des Ventils (z.B. durch die BAM) vor dem Verkauf des jeweiligen Produktes für den Verwendungszweck freigegeben sein muss. Ein entsprechender Bericht über die Prüfung von Ventilen und Armaturen für Sauerstoff bei der BAM kann gern folgen. Falsche Kombination von Schmiermittel und Dichtungen führen immer wieder zu Materialveränderungen (Aufquellen von O-Ringen...). Vor allem zu viel und ungeeignetes Fett, welches über Jahre in den Ventilen altert bringt immer wieder Geruch bzw. Geschmack in die Luft (das Gas), egal wie sauber die Füllstelle es abgibt, wenn im Ventil dann der Dreck sitzt.

2. Atemregler

Der Atemregler / Lungenautomat hat die Aufgabe den Taucher in der jeweiligen Tiefe mit dem Atemgas / Luft unter Umgebungsdruck sicher für die Dauer des Tauchganges zu versorgen. Das Ergebnis der historischen Entwicklung sind Atemregler mit zwei Reglerstufen, welche mit einem Schlauch verbunden sind. Die 1. Stufe des Atemreglers wird am Flaschenventil angeschlossen (DIN- bzw. INT-Anschluss)

und regelt den Flaschendruck / Hochdruck auf einen Mitteldruck (je nach Hersteller ca. 6 bis 12 bar über Umgebungsdruck) herunter. Die 2. Stufe regelt diesen Mitteldruck auf Umgebungsdruck und versorgt den Taucher bei der Einatmung mit Atemgas / Luft, die Ausatmung erfolgt über das Ausatemventil in die Umgebung. Die Regler werden aktuell nach der DIN EN 250:2014-07 vor dem Inverkehrbringen geprüft und zertifiziert. Eine Kombination der Reglerstufen von verschiedenen Herstellern ist somit nicht zulässig. Diese Norm enthält eine spezielle Kaltwasserprüfung und nur die Regler, welche diesen Test bestanden haben, dürfen auch im Kaltwasser verwendet werden. Die aktuell von den Standards für die Tauchausbildung geforderten Schlauchlängen müssen in der verwendeten Kombination nach dieser EN 250 geprüft und zertifiziert sein. Es muss der vom Hersteller vorgeschriebene Schlauch verwendet werden. Wird ein eventuell kostengünstigeres Alternativprodukt verwendet, erlischt die Produkthaftung und der Versicherungsschutz ist in Frage gestellt!

Die Bilder zeigen exemplarisch, wie hier die mechanischen Komponenten miteinander funktionieren sollen. Eine fehlerfreie Funktion ist nur bei einer den Herstellerangaben entsprechenden Revision mit anschließender Funktionsprüfung z.B. mit einer elektronischen Prüfbank mit Beatmungsmöglichkeit gegeben. Der Regler wird in alle Einzelteile zerlegt, die Verschleißteile entfernt, im Ultraschallbad bzw. von Hand gereinigt, getrocknet, die Einzelteile, Dicht- und Gleitflächen begutachtet, mit den neuen Verschleißteilen ergänzt, montiert und nach



Abbildungen 11 - 13

links: 1. Stufen kolbengesteuert, Mitte: 1. Stufen membran gesteuert, rechts: 2. Stufe balanciert (Fotos: Ralf Krause)

den Vorgaben eingestellt, geprüft und dokumentiert. Dazu muss der Techniker die vom Hersteller für das jeweilige Produkt angebotenen Lehrgänge und Unterweisungen belegt haben. Verunreinigungen jeder Art, Rost bzw. Aluminiumoxid aus den Flaschen, Salz, Sand, Schlamm etc. führen hier zu Fehlfunktionen und Gefahren. Der im Anschlussbereich verbaute Sinterfilter kann nur bedingt reinigen und sogar bei zu viel Dreck dicht zugesetzt werden. Ist Salzwasser, auch nur in kleinen Mengen, in das Reglersystem eingedrungen, wird das Wasser verdunsten und Salz als „Sand im Getriebe“ zurücklassen. Die folgende Übersicht erklärt die Messung bei der Beatmung eines Atemregler und die Berechnung der Atemarbeit aus den Messkurven.

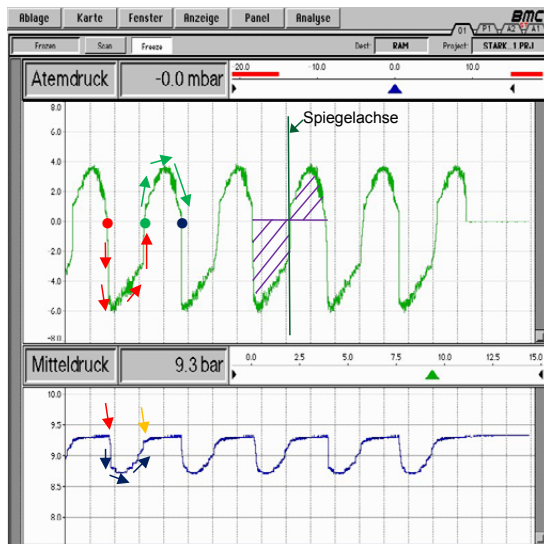
Der Regler wird bei dem vom Hersteller vorgegebenen Flaschendruck beatmet und alle Messwerte müssen innerhalb der vorgegeben Toleranzen liegen. Der C-Point / Cracking Point gibt den Unterdruck in der 2. Stufe an, bei welchem diese 2. Stufe bei der Einatmung öffnet und die Atemgasversorgung des Tauchers beginnt. Nach der erfolgten Revision erstellen wir für jede Kombination aus 1. und 2. Stufe diese Dokumentation als Funktionsnachweis:

Wir stellen bei unserem Serviceablauf sehr hohe Ansprüche an die Sauberkeit, Ordnung, Übersichtlichkeit und Einhaltung aller betriebsinternen Zwischenschritte und -prüfungen auf dem Weg zur erfolgreichen Revision. Wir dokumentieren das vorliegende Equipment und die Demontage mit Bildern. Ein Revisionsbeleg zu jedem Regler nennt alle durchgeführten Arbeiten und listet die bei der Montage verwendeten neuen Teile auf. Die Einbringung

unserer Erfahrung mehrerer Jahrzehnte und die gute Zusammenarbeit mit den Herstellern ergeben nur sehr selten Funktionsmängel. Hilfesuchende Taucher – „Nach der letzte Revision bei ??? hat mein Regler“ – abgeblasen, gepiffen, zu schwer Luft gegeben etc. – kontaktieren uns jede Woche. Bei unserer Fehlerfeststellung sind oft Montagefehler, falsche Teile, nicht eingehaltene Herstellerhinweise, falsche Einstellung der Werte (Mitteldruck, Federvorspannung, Kipphebelspiel) etc. als Ursache zu nennen. In wie weit ein Experte für den Service der Tauchrüstung nur selbsternannt ist, bleibt oft im Verborgenen und wird zu spät erkannt. Hier hilft nur die Erfahrung anderer Taucher um nicht wiederholt Lehrgeld zu bezahlen. Auch Tauchbasen kennen nicht die gesamte Produktpalette der Tauchrüstungen und hier wird oft bei einer angebotenen Hilfe vor Ort aus „gut gemeint“ ein „endgültig Schrott“.

Im Dichtbereich der Hochdruckdichtung der 1. Stufe ergeben sich Strömungsgeschwindigkeiten im Überschallbereich bei gleichzeitiger Abkühlung des Gases durch die Entspannung.

Erklärung Prüfkurve – PV-Diagramm – Atemarbeit



- Grüne Kurve, Darstellung von Einatem - Unterdruck (red arrow) and Ausatem - Überdruck (green arrow)
- Der Umgebungsdruck wird hier mit 0 bar angegeben, sonst ist eine Unterdruckmessung nicht möglich
- Blaue Kurve, Darstellung Mitteldruck bei der Beatmung
- Mit Beginn der Einatmung fällt der Mitteldruck ab
- Während der Einatmung steuert die 1. Stufe den Mitteldruck nach
- Mit Beginn der Ausatmung stellt sich der statische Mitteldruck ein
- Auf der senkrechten Achse sind die Drücke aufgetragen
- Auf der waagrechten Achse der Verlauf der Beatmung (Volumen)

- Die DIN EN 250 schreibt eine Beatmung von 25 Atemzügen in der Minute mit je 2,5 Liter vor.
- Daraus ergibt sich ein AMV (Atem-MinutenVolumen) von 62,5l/min.
- Die schraffierte Fläche stellt somit die Atemarbeit in Joule (Druck x Volumen) dar, hier ein Atemzug.
- Die Berechnung für 20mbar und 0,5l ergibt somit 1J Arbeit.

Druck:

$$20 \text{ mbar} \triangleq 2\text{kPa} \triangleq 2\text{k} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \triangleq 2 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Volumen:

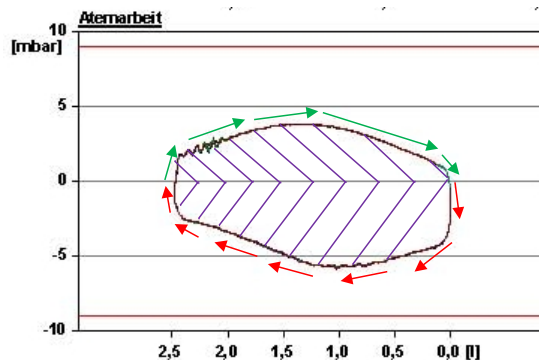
$$0,5\text{l} \triangleq 0,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Berechnung Druck x Volumen:

$$2 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 1\text{Nm}$$

Ergebnis:

$$\text{Arbeit } 1\text{Nm} \triangleq 1\text{Ws} \triangleq 1\text{J}$$



- Die Fläche der Ausatmung wird an der Linie gespiegelt und über der Fläche der Einatmung dargestellt
- Daraus ergibt sich das geschlossene Druck – Volumen Diagramm PV-Loop
- In diesem Beispiel betragen:

$$\text{Einatemarbeit} \quad 0,49 \frac{\text{J}}{\text{l}}$$

$$\text{Ausatemarbeit} \quad 0,32 \frac{\text{J}}{\text{l}}$$

$$\text{Summe} \quad 0,81 \frac{\text{J}}{\text{l}}$$

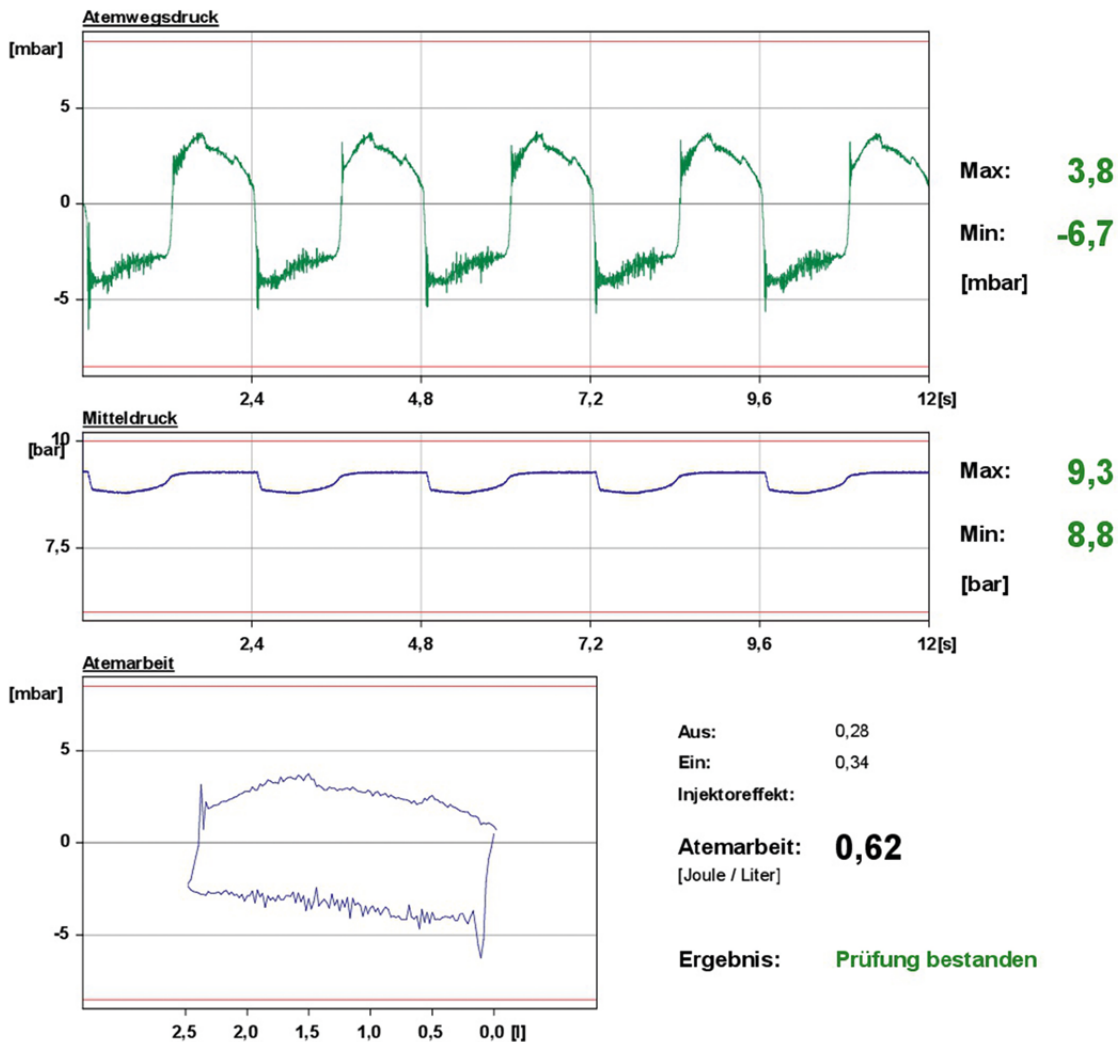
- Die Reglerstufen werden laut Herstellerangaben eingestellt und justiert.
- Die Beatmung des Reglers mit der Prüfbank dokumentiert so den Istzustand des Reglers nach der Revision.
- Nach dem Dichttest erfüllt der Regler wieder zuverlässig seine Aufgabe.

Abbildung 12



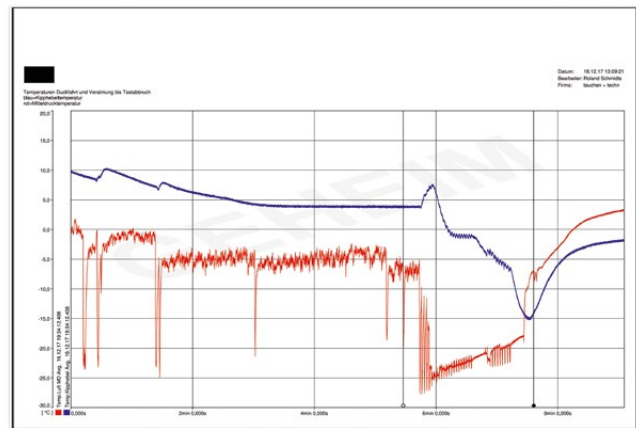
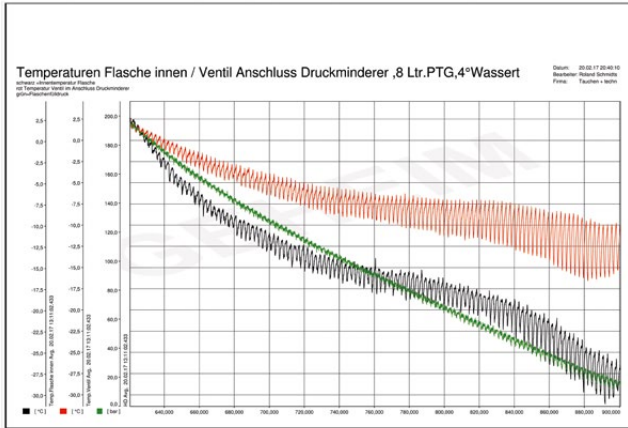
Dynamische Messung

C-Point: -4,7 mbar
 Flaschendruck: 199,8 bar



Bemerkungen: Die Messung Dokumentiert den Zustand des AtemReglerSystems nach den genannten Arbeiten!

Abbildung 13
 Beispiel der Dokumentation einer dynamischen Messung eines Atemreglers



Abbildungen 14 und 15

links: Temperatur in der Tauchflasche, rechts: 2. Stufe, Temperaturen am Kipphebel (blau) und Mitteldruck (rot) (Wir bedanken uns bei Roland Schmidts, Tauchen & Technik, Stadtdoldendorf für die fachliche Unterstützung und Bereitstellung der Grafiken seiner Messungen).

Bei diesen Bedingungen reicht schon geringe Feuchtigkeit in der Flasche um Eiskristalle im Gasstrom zu haben. Alle Partikel im Atemgas zerstören durch die hohen Geschwindigkeiten beim Aufprall auf z.B. auf die Hochdruckdichtung der 1. Stufe das Material. Die Dichtfunktion ist nicht mehr einwandfrei gegeben und der Mitteldruck steigt über den vorgegebenen Grenzwert. Ein zu hoher Mitteldruck bringt in der 2. Stufe des Atemreglers einen höheren Druckunterschied, leichteres Abblasen bei erhöhter Vereisungsgefahr ist die Folge. Die Verbindung zwischen Technik und Mensch erfolgt über das Mundstück bzw. eine Vollgesichtsmaske. Die Mundstücke sind Bestandteil der Prüfung und Zertifizierung des Reglersystems und es dürfen nur vom Hersteller für den entsprechenden Regler freigegebene Mundstücke verwendet werden.

Durch Verringerung der Fläche des Mundstückrohrs oder falsche Ab- bzw. -Umleitung der Strömung kann es zu Funktionsstörungen der 2. Stufe kommen, z.B. unterdrückter oder zu stark ausgeprägter Venturi-Effekt. Für die individuelle Anpassung an die eigene Zahnstellung gibt es Mundstücke zur Selbstanpassung. Der Kunststoff wird im Wasserbad erhitzt, damit plastisch verformbar und der individuelle Bissdruck kann erfolgen. Leider fehlt hier die Aufklärung, dass diese Anpassung nur beim Zahnarzt mit Kieferführung zum optimalen Ergebnis führt. Der unkontrollierte Eigenbiss bringt oft eine Kieferfehlstellung, Kopfschmerzen, verkrampftes und einseitiges Halten des Reglers im Mund, Unwohlsein, etc. hervor und an das extra angepasste Mundstück als Ursache denkt dann keiner mehr.



Abbildungen 16 - 18

links: Sinterfilter mit Dreck, Mitte: Sinterfilter korrodiert, rechts: Flugrost im Mitteldruckschlauch



Abbildungen 19 - 21

links: 2. Stufe "leicht verschmutzt", Mitte: 2. Stufe verdreht, rechts: gealterte Steuermembrane



Abbildungen 22 - 24

links: Ausatemmembrane blockiert durch Kieselsteine, Mitte: Salz und Dreck in der 1. Stufe, Hochdruckwelle vor dem Sinterfilter voll Sand



Abbildungen 25 - 27

links: Hochdrucksteuerung, Mitte: Aluminiumstaub in 2. Stufe, rechts: Mundstück, gealtert (Fotos 16-27: Ralf Krause. Alle Abbildungen wurden bei Wartungsarbeiten aufgenommen. Nicht nur Fehlfunktionen sondern auch hygienische Bedenken sind für jeden sofort erkennbar).

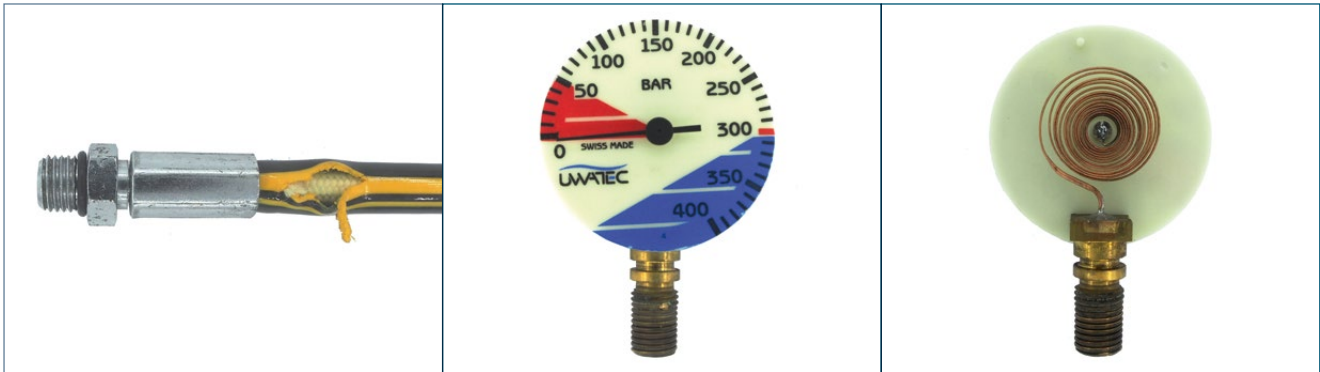
**Abbildung 28**

Verschlossener Hochdruckanschluss. Hier wurde eine Staub- und Gewindegewindeschutzkappe eines anderen Herstellers verwendet. Ein Teil des Zapfens für die Bohrung steckt abgetrennt im Hochdruckanschluss. Dieser Fehler ist zum Glück unmittelbar vor der Revision eingetreten... (Foto: Ralf Krause)

Am Atemregler wird der Hochdruckschlauch zum Finimeter bzw. Tauchcomputer mit Luftintegration angeschlossen. Diese Schläuche werden nach einiger Zeit entweder leicht undicht oder verabschieden sich mit einem lauten Knall von ihrer Funktion. Ein schnelles Entleeren der Flaschen wird durch die im HD-Anschluss des Reglers vorhandene Drosselbohrung verhindert. Bei Verschmutzungen im Drosselbereich ist es möglich, dass kein, bzw. ein falscher Druck angezeigt wird. Der Dreck kann auch als Rückschlagventil fungieren, lässt den Druck nicht wieder raus und dem Taucher wird mehr Gasvorrat angezeigt als er tatsächlich noch hat. Wir prüfen die Hochdruckschläuche im Serviceablauf bei 300bar für 10 min auf Dichtheit, über die weitere Haltbarkeit kann jedoch keine Aussage getroffen werden. Feuchtigkeit im Finimeter ist nur schwierig wieder zu

entfernen, da auf Grund der kleinen Abmessungen ein Ausblasen nicht erfolgreich ist. Korrosion der U-Rohrfeder und eine falsche Druckanzeige bzw. Leckage sind die Folgen.

Der Inflatorschlauch für die Befüllung von Jacket, Trockentauchanzug bzw. Markierungsboje wird mit dem Mitteldruckbereich der 1. Stufe verschraubt. An der anderen Seite befindet sich die Kupplung für eine lösbare Verbindung zum Gegenstück. Bei Jackets und Einlassventilen von Trockentauchanzügen lässt sich diese Kupplung bei Funktionsstörungen (ständiges Aufblasen von Jacket bzw. Trockentauchanzug) mit einer Hand leicht entfernen und ist selbstschließend. Diese Kupplungen, obwohl oft als Zubehör angeboten, dürfen nicht in der Verbindung zu einer 2. Stufe verwendet werden, da



Abbildungen 29 - 31

links: Finischlauch geplatzt. Mitte: Finimeter, rechts: Finimeter Rückansicht (Fotos: Ralf Krause).

hier versehentlich der Regler abgekoppelt werden könnte. Die Kombinationen von Kupplung, Ventil in der Kupplung und Nippel waren lange Zeit nicht genormt. Es gab hier Fälle, da konnte der Schlauch nicht angekuppelt werden, oder das Ventil wurde beim Kuppelvorgang nicht geöffnet und der Inflator hatte keine Funktion (falsches Ventil in der Kupplung bzw. Montagefehler). Sonneneinstrahlung auf den Gummi der im Tauchbereich verwendeten Schläuche ist besonders schädlich, da die Außenhülle des Schlauches schnell porös wird. Die Flex-Schläuche sind hier widerstandsfähiger, haben jedoch andere Nachteile, wie z.B. Schäden durch scheuern an der Ausrüstung, Aufplatzen des Gewebes.

3. Tariereinheit / Jacket

Der Auftriebskörper des Jackets ermöglicht dem Taucher in jeder Tiefe das hydrostatische Gleichgewicht einzustellen. Hierzu muss der Inflator tadellos funktionieren, die Ablässe / Schnellablässe zuverlässig öffnen und schließen. Bei der Revision an einem Jacket werden alle Ventile und der Inflator zerlegt, gereinigt und mit den Neuteilen laut Herstellervorschrift wieder montiert und die jeweilige Funktion und die Dichtheit geprüft. Die Begurtung, Schnallen und Schließen müssen funktionieren und im Bedarfsfall mit Handschuhen bedienbar sein. Jeder Taucher und sein Buddy müssen beide Jackets ohne Überlegungen sicher bedienen können. Je nach Modell und Ausführung hält das Jacket die Tauchflasche(n) auf dem Rücken des Tauchers. Neuere Entwicklungen wie z.B. das Sidemount-Tauchen weichen hiervon ab. Im Bereich des technischen Tauchens gibt es diverse Möglichkeiten die Tauchgeräte um sich herum zu be-

festigen. Salzurückstände im inneren der Dichtblase können diese zerstören und die Blase bzw. das gesamte Jacket ist damit zerstört und kann nicht wieder repariert werden.

4. Trockentauchanzüge

Trockentauchanzüge sind Schutzhüllen vor kaltem bzw. kontaminiertem Wasser. Die regelmäßige Wartung verhindert Fehlfunktionen der Ventile. Schließt das Einlassventil nicht mehr wird der Anzug immer weiter gefüllt. Im Auslassventil verfangen sich gern Fäden, Fusseln etc. vom Unterzieher und es entweicht ungewollt die Luft bzw. es dringt Wasser ein. Das heikelste Teil ist der Trockenreißverschluss. Dieser sollte nicht mit Silicon gefettet werden, da es sich auf der umgebenden Oberfläche ausbreitet und bei einer Reparatur z.B. die Haftung von Klebstoff dann dauerhaft verhindert. Wie empfehlen hier z.B. Labello® oder ähnliche Produkte welche sich mit Wasser und Seife wieder entfernen lassen. Die Manschetten sind regelmäßig zu überprüfen und im Bedarfsfall zu ersetzen. Achtung, die Manschetten müssen individuell angepasst werden. Liegen sie zu eng an, wird das Blut gestaut, sind sie zu weit dringt Wasser ein. Die Verwendung von Talkum zur Erleichterung beim Schlupfen ist inzwischen umstritten (Hier werden Vergleiche mit Asbest gezogen, siehe Informationen im Internet: z.B.

<http://www.schattenblick.de/infopool/natur/chemie/chera326.html>). Der Heizungskeller ist oft die falsche Wahl für die Lagerung bzw. Trocknung der Anzüge bzw. des Equipments. Hier befinden sich Elektromotoren, diese erzeugen im Betrieb geringen Mengen Ozon, und dieses reicht bereits aus, ernsthafte Schäden zu



Abbildung 32
Salzkristalle in einer Jacketblase (Foto: Ralf Krause).

verursachen. Bei der Verwendung von Handschuhsystemen für trockene Hände muss unbedingt die Arm-manschette als Dichtelement erhalten bleiben. Bei einer Zerstörung des Handschuh läuft sonst schnell der gesamte Trockentuchanzug voll.

5. Zusatzequipment

Tauchcomputer
benötigen regelmäßig einen Batteriewechsel bzw. die Aufladung des Akkus. Die Hersteller stellen inzwischen Updates, Erweiterungen etc. zur Verfügung. Jeder Taucher sollte genau (!!!) wissen wie sein Tauchcomputer funktioniert und konfiguriert ist. Bitte auch immer regelmäßig im Internet beim Hersteller zum entsprechenden Produkt auf Hinweise achten.

Lampen und Scooter
benötigen elektrische Energie, aus Batterien oder

Akkus. Hier sind die Hinweise für die Verwendung, Transport etc. des Herstellers und die Vorschriften z.B. der Flugsicherheit einzuhalten. Nur als Beispiel: Ein einmal entzündeter Lithium-Ionen-Akku kann kaum mehr gelöscht werden und es entstehen sehr giftige Verbrennungsprodukte. Direkter Link zu einem YouTube-Video: <https://www.youtube.com/watch?v=dYq75w9WBJM>, alternativ bei YouTube den Suchbegriff „Brennende Akkus“ eingeben.

Foto, Video etc.

Die Hinweise für die Batterien bzw. Akkus gelten auch hier. Bei allen Dichtungen und O-Ringen gilt der Grundsatz: „Wo viel Fett ist, ist auch viel Dreck!“ Bei dieser Ausrüstung sollten nur die originalen Kombinationen von Fett + O-Ringen / Dichtungen verwendet werden. Hier ein Beispiel, die zwei O-Ringe waren einmal gleich groß und der jetzt größere ist durch falsches Fett aufgequollen.



Abbildung 33
Aufgequollene O-Ringe durch falsches Fett (Foto: Ralf Krause).

Eine einwandfreie Funktion und Abdichtung der oft teuren Ausrüstung ist dann nicht gegeben. Die Folgen reichen nicht selten bis zur teilweisen Zerstörung, welche dann nur teuer oder gar nicht mehr zu reparieren ist. Der somit entstandene Ärger kann da schnell den Erholungseffekt im langersehnten Urlaub mindern.

6. Neopren

Die Produkte aus Neopren sollten gelegentlich auf kleine Schäden, auftrennende Nähte, kleine Löcher und Beschädigungen etc. kontrolliert werden und gegebenenfalls dann das Problem sofort behoben werden. Klebstoffe, welche nicht elastisch bleiben, können unter Umständen den Problembereich vergrößern, da sich dann die gesamte Flickstelle aus dem Neopren löst. Eine Reinigung bzw. Desinfektion mit anschließender ordentlicher Trocknung ist hier sicher sehr sinnvoll. Hautpilze und andere „Leckereien“ keimen im „Feuchtgebiet“ vor sich hin und werden dann wieder auf die Haut zurück übertragen. Sicher wird jetzt der Eine oder Andere Leser lächeln, aber schauen Sie doch einmal unter dem folgenden direkten Link nach: <https://www.yumpu.com/de/tauchhygien> oder suchen Sie im Internet nach „Projektarbeit Tauchhygiene - Feuerwehr Frankfurt“.

7. Allgemeine Betrachtungen bei der Haftung / Tauchausrüstung

Vom Hobbytaucher bis zu den Berufstauchern ist es

ein sehr weit gefächertes Feld. Die private Tauchausrüstung in der Eigennutzung bringt wenig Haftung mit sich. Jeder hat jedoch die Verantwortung für sich selber und seinen Tauchpartner. Bei Unfällen wird auch hier die Ausrüstung auf der Grundlage der Normen und Herstellervorgaben untersucht. Bei Abweichungen beginnt eine Diskussion mit z.B. einer Versicherung, da der kausale Zusammenhang dieser Abweichung (-en) im Gesamtbild des Unfallherganges nur schwierig zu entkoppeln ist. Warum auch immer etwas selber besser machen wollen, was das Ergebnis von Entwickler, Hersteller, Normungen, Prüfungen etc. ist.

Wird eine Tauchausrüstung einem Taucher durch einen Verein, Tauchschiule, Tauchbasis, Rettungsorganisation, Arbeitgeber etc. zu Verfügung gestellt, muss diese allen an die durchzuführenden Tauchgänge gestellten Anforderungen und Vorschriften entsprechen und diese Vorschriften sind bei dem Tauchablauf einzuhalten. Hier sollen als Beispiel genannt werden:

- Regeln der Tauchbasis
- Ausbildungsstandards der Ausbildungsverbände, Mindestforderungen an Buddy-Teams
- Satzungen von Vereinen
- DGUV Regel 105-002 Tauchen mit Leichttauchgeräten in Hilfeleistungsunternehmen
- DGUV Vorschrift 40 - Taucherarbeiten (bisher BGV C23)
- DGUV Information 201-034 Handlungsanleitung Tauchereinsätze in kontaminiertem Wasser
- vfdb-Richtlinie 0803 - Tauchen in der Feuerwehr

Die Haftung trägt immer der Eigentümer der Ausrüstung und es ist nur wenig bekannt, dass z.B. der Vorstand in einem Verein komplett haftet. Ein Haftungsausschluss ist rechtlich nicht mehr möglich.

8. Pflege und Schonung der Tauchausrüstung

Immer wieder erhalten wir Anfragen zur richtigen Pflege, Schonung bzw. der richtigen Lagerung der Tauchausrüstung. Hier ein paar allgemeine Hinweise:

- Herstellerangaben / Bedienungsanleitungen lesen und beachten
- Sonneneinstrahlung so gering wie möglich

halten / UV Versprödung

- Kristallisation von Salz verhindern, kein unnötiges Spülen vor Ort in häufig keimbelastetem Spülwasser
- Frostschäden verhindern
- Kleine Schäden rechtzeitig entdecken und reparieren - Regelmäßige Kontrolle!

Beispiel, ich im Tauchurlaub am Meer: In meinen Unterlagen habe ich Bilder mit Seriennummern von meiner Ausrüstung und eine komplette Aufstellung. Schon mehrfach hat mir diese Aufstellung bei Eigentumsfragen bzw. „fälschlicherweise“ von anderen Tauchern mitgenommenen Equipment geholfen.

Die Ausrüstung ist für den Gebrauch im Salzwasser hergestellt. Solange das Wasser nicht verdunsten kann, kristallisiert auch kein Salz aus (und würde zum „Sand im Getriebe“). Ich spüle die Tauchausrüstung vor Ort nicht, der unnötige Zeitaufwand ist es mir im Urlaub nicht wert (Süßwasserverbrauch). Nach jedem Tauchgang packe ich Jacket und Regler in eine „dichte“ Tasche, so dass die Sonne das Equipment nicht erreicht. Somit ist es vor der UV-Strahlung und der Verdunstung des Wassers geschützt ist. Ich transportiere Jacket und Regler ungespült nass bzw. feucht nach Hause und spüle es dort mit klarem, warmen Wasser gründlich. Kamera, Blitz, Uhr, Tauchcomputer spüle ich wenn möglich nach jedem Tauchgang.

Richtige Reinigung und Lagerung:

- Jacket mit warmen Wasser füllen und gut schütteln, über jeden Schnellablass das Wasser ablassen, auch über den Inflator, EIN- u. AUSLASS- Knopf!
- Atemregler, Anschluss der 1.Stufe mit dem Daumen verschließen und komplett in warmes Wasser tauchen, keine Luftdusche drücken!
- Neopren und Trockentauchanzüge laut Hersteller reinigen und nicht in der Sonne trocknen
- Lagerung der trockenen (!) Ausrüstung in einem trockenen und kühlen Raum
- keine Elektromotoren (z.B. von der Heizung) im Lagerraum
- Reißverschlüsse mit z.B. Labello® leicht bestreichen – KEIN SILIKON !
- ABC-Ausrüstung, spülen und Pilzbefall durch Trocknung verhindern
- Flossen mit Fußsteilschonern lagern um lästige Verformungen zu verhindern
- Über die Verwendung von Desinfektionsmitteln soll jeder selber entscheiden (Züchtung von resistenten Keimen)

9. Schlussbetrachtung

Wir hoffen mit diesem Beitrag das Verständnis für die Sicherheit der Tauchausrüstung als Grundlage für erfolgreiche Tauchgänge gestärkt zu haben. Für Anmerkungen, Ergänzungen, Diskussionen, Wünsche kontaktieren Sie uns bitte.

Ralf Krause

