

Parameter Atemschutz

	Seite
1. Bestandteile Atemluft nach DIN EN 12021 "Atemgeräte - Druckgase für Atemschutzgeräte" und deren Messung	2
• Ermittlung der Messwerte Atemluft	
• Prüfabstände Atemluft	
• Erläuterung der Messwerte	
• Vereisungsgefahr im Pressluftatmer als Folge eines zu hohen Wasseranteils in der Druckluftflasche und mögliche Folgen	
○ Physikalische Grundlagen	
○ Auswirkungen eines zu hohen Wassergehaltes in einer Druckluftflasche	
○ Vereisungsfähigkeit von Atemluft und Auswirkung von Vereisungen im Pressluftatmer	
○ Verhalten benutzter Lungenautomaten bei großer Kälte	
○ Verhalten des Lungenautomat eines Pressluftatmers bei Eindringen von Wasser	
• Hinweise zum Füllen von Druckluftflaschen	
2. Physikalische Parameter der Atemluft	10
• Fülldruck	
• Atemminutenvolumen	
• Atemluftvorrat	
• Atemluftverbrauch und mögliche Einsatzdauer	
3. Schlussfolgerungen	17
• Schlussfolgerungen zur Verhütung von Störungen der Versorgung mit Atemluft	
• Verhaltensweisen bei Störungen der Atemluftversorgung	
Quellen- und Bildnachweis	20

1. Bestandteile Atemluft nach DIN 12021 Atemgeräte - Druckgase für Atemschutzgeräte und deren Messung

1.1 Ermittlung der Messwerte Atemluft

Der Atemschutzgerätewart füllt Atemluft mit Hilfe eines Kompressors in Druckluftflaschen von Pressluftatmern. Dafür schraubt oder steckt der Atemschutzgerätewart die Druckluftflaschen an eine Fülleiste, der Kompressor saugt die Umgebungsluft an und drückt sie bis zu einem Flaschendruck von 200 bar oder 300 bar in die Druckluftflaschen.

Die Anforderungen an diese Druckluft für die Atemschutzgeräte Pressluftatmer und Druckluft-Schlauchgeräte legt die DIN EN 12021 Atemgeräte - Druckgase für Atemschutzgeräte fest. Diese Norm schreibt u.a. die zulässigen Werte für die Konzentrationen folgender Bestandteile von Atemluft vor:

- Sauerstoff O₂ (Druckluftflasche, Kompressor): 21 ± 1 Vol.-% ,
- Schmierstoff (Tröpfchen oder Nebel in Druckluftflasche, Kompressor): max. 0,5 mg/m³
- Kohlendioxid CO₂ (Druckluftflasche, Kompressor): max. 500 ml/m³
- Kohlenmonoxid CO (Druckluftflasche, Kompressor): max. 5 ml/m³
- Wasser H₂O: siehe Tabelle 1

Tabelle 1: Wassergehalt der Atemluft (DIN EN 12021)

Nenndruck [bar]	Wassergehalt der Atemluft in der Druckluftflasche [mg/ m ³]	vom Kompressor abgegebenen Luft im entspannten Zustand [mg/ m ³]
40 – 200	< 50	< 25
300	< 35	

Darüber hinaus muss nach DIN EN 12021 die Atemluft geruchs- und geschmacksfrei sein. Die Geruchs- und Geschmacksfreiheit wird als Sinneswahrnehmung registriert. Die Werte für Schmierstoff, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Wasser werden mit Messgeräten gemessen, die auf dem Prinzip der Prüfröhrchenmessung beruhen oder elektronisch/digital funktionieren.

Bild 1 (rechts):

Reinheitsmessung der Atemluft im Hochdruckbereich mit Prüfröhrchen für Kohlendioxid CO₂, Kohlenmonoxid CO und Wasser H₂O sowie mit Öl-Impactor für Schmierstoffe (Beispiel: Aerotest[®] Simultan HP, Dräger Safety)



Bild 2 (links):

Reinheitsmessung der Atemluft im Hochdruckbereich mit elektronischem Messgerät mit freier, bedarfsgerechter Einstellung und individuellem Messprofil für die jeweilige Messung am Kompressor oder der Atemluftflasche. Grenzwertüberschreitungen führen zu Alarmierung. Eingebaute Datenlogger mit SD-Karten-Funktion gewährleisten Rechtssicherheit (Beispiel: B-Detection Plus[®], Bauer Kompressoren GmbH)



1.2 Prüfabstände Atemluft

Der Befüller von Atemluftflaschen ist für die Einhaltung der Normwerte Atemluft verantwortlich. Allerdings sind die Kontrollabstände der Atemluft weder gesetzlich noch in Vorschriften und in der Norm DIN EN 12021 festgelegt. Es ist nicht geregelt, wann exakt die Kompressoren von Druckluft/Atemluft, die Füllleisten der Atemluftfüllanlagen und die Inhalte von Druckluftflaschen mit Atemluftprüfgeräten zu prüfen sind. Selbst die Hersteller der Atemschutzgeräte legen in den Informationsbroschüren (Gebrauchsanleitung) höchstens eine nicht eindeutige und auslegungsfähige Formulierung fest, z. B. "regelmäßige Prüfung der Luft in den Atemluftflaschen".

Welche Kontrollabstände für Atemluft sind also einzuhalten? Verantwortlich für diese Terminisierung ist entsprechend der Gesetzeslage der Unternehmer, bei öffentlichen Einrichtungen wie öffentliche Berufs- und Freiwilligen Feuerwehren der Bürgermeister. Diese Personen sind dafür verantwortlich, dass für den Einsatz von Atemschutzgeräten eine Betriebsanweisung nach § 3 Abs. 2 „PSA-Benutzungsverordnung“ (PSA-BV) mit allen für den sicheren Einsatz erforderlichen Angaben erstellt ist und deren Einhaltung überwacht wird. Die Kontrollabstände sind als Bestandteil in diese Betriebsanweisung aufzunehmen.

Um den Zeitpunkt richtig festzulegen, lässt sich das Arbeitsmittel "Gefährdungsbeurteilung" benutzen. Die DGUV Regel 112-190 Benutzung von Atemschutzgeräten führt dazu in ihrem Abschnitt 3.1.1 Gefährdungsbeurteilung aus, dass die durch den Unternehmer bzw. seinen Beauftragten nach § 3 Beurteilung der Arbeitsbedingungen, Dokumentation, Auskunftspflichten durchzuführen ist. Eine Durchführungsanleitung lässt sich dem Atemschutzlexikon von „Gefährdungsbeurteilung“ unter Abschnitt <http://www.atemschutzlexikon.de/?id=2173> entnehmen. „Gefährdungsbeurteilung“ ist demnach eine Kurzbezeichnung für die Ermittlung von Gefährdungen und Belastungen von Arbeitnehmern am Arbeitsplatz, deren Beurteilung und die Ableitung entsprechender Maßnahmen.

Für die Festlegung von Prüfabständen der Atemluftqualität sollte man folgende Faktoren bei der Gefährdungsermittlung berücksichtigen:

- Filterverschmutzung, Korrosionen und Bildung von Kondenswasser im Luftleitungssystem
- zu viel Wasser in der Einatemluft kann zu innerer Vereisung im Atemschutzgerät führen und damit zur spontanen, plötzlichen Gefährdung des Atemschutzgeräteträgers
- Abweichungen von den übrigen Parametern der DIN EN 12021 kann den Atemschutzgeräteträger vergiften oder z.B. bei Sauerstoffmangel ersticken

Als ausreichender Abstand zwischen den Prüfungen der Luftqualität empfiehlt sich die in der DIN EN 12021 vorgegebenen Prüfwerte regelmäßig zu prüfen und nachzuweisen (Vorschlag zum Nachweisen: mittels Prüfprotokoll siehe Anlage), wenigstens aber

- vierteljährlich die komprimierte Atemluft am Kompressorausgang und an der Füllleiste
- mindestens bei jeder 5. Füllung der Atemluftflasche.
- nach technischen Überprüfungen und Reparaturen von Kompressor, Druckleitungen und Füllleiste
- nach Erstbefüllung neuer Atemluftflaschen
- nach Erstbefüllung von Atemluftflaschen nach deren Sachverständigenprüfung.

Diese Abstände haben sich praktisch bewährt. Vorteilhaft ist eine Dauerkontrolle durch stationäre Messgeräte. Die Prüfwerte sind zu dokumentieren.

Hinweise

Druckluftflaschen dürfen bei Verwendung in Pressluftatmern nicht völlig entleert (drucklos) werden. Völlig entleerte (drucklose) Druckluftflaschen müssen getrocknet werden. Diese Maßnahme ist erforderlich, da nicht auszuschließen ist, dass diese Druckluftflaschen einen unzulässig hohen Wassergehalt enthalten. Die Trocknung kann mittels einer Flaschentrockeneinrichtung oder durch mindestens 2maliges Füllen (bis zum zulässigen Fülldruck) mit trockener Kompressorluft mit anschließendem langsamen Abströmen geschehen; hierbei darf keine Vereisung am Ventil auftreten.

Hinweis zur Vermeidung von Fehlmessungen

Zur Vermeidung von Fehlmessungen sollte der Atemschutzgerätewart nach dem Start des Kompressors die Luft etwa ein bis zwei Minuten durch teilweises Öffnen des Füllhahnes abströmen lassen. Füllschlauch dazu unbedingt entfernen oder gut sichern, da er sonst durch das freie Abströmen der hoch komprimierten Luft die Wirkung einer umher schlagenden Eisenstange hat.

1.3 Erläuterung der Messwerte

Messwert Atemluft: Schmierstoff (Tröpfchen oder Nebel)

Liegt der Restölgehalt in der Atemluft über dem Grenzwert, verspürt der Atemschutzgeräteträger einen öligen, abgestandenen Geschmack. Es kann zu Reizung der Atemwege, Husten und Atembeschwerden sowie zu Übelkeit und Erbrechen kommen. Beim Einatmen öliger Aerosole können sich vor allem die unter 10 µm kleinen dauerhaft in der Lunge ablagern und das Gewebe schädigen.

Messwert Atemluft: Kohlendioxid CO₂

In sehr geringer Konzentration ist Kohlendioxid ein natürlicher Bestandteil der Luft. In höheren Konzentrationen führt es zur Lähmung des Atemzentrums bis hin zum Atemstillstand. Ab einer Konzentration von etwa fünf Volumenprozent der eingeatmeten Luft treten beschleunigter Herzschlag, Blutdruckanstieg, Atemnot und Bewusstlosigkeit auf. Konzentrationen ab 8 Prozent führen innerhalb von 30 bis 60 Minuten zum Tod.

Messwert Atemluft: Kohlenmonoxid (CO).

Besonders gefährlich ist das geruch- und geschmacklose Kohlenmonoxid (CO). Dieses farb- und geruchlose Gas hemmt den Sauerstofftransport im Blut und führt so zu Sauerstoffmangel. Als Folge können Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit, Ohrensausen, Bewusstlosigkeit und Beeinträchtigung der Herzfähigkeit auftreten. Selbst das Einatmen von geringen Dosen unter 0,01 Volumenprozent in der Atemluft führt zu chronischen Erkrankungen an Herz und Nerven, schon Dosen ab 0,1 Prozent wirken nach längerem Einatmen tödlich

Messwert Atemluft: Wasser H₂O

Nach DIN EN 12021 darf auch beim höchsten für die Druckluftflasche zulässigen Fülldruck kein Wasser in flüssiger Form in der Druckluftflasche vorliegen. Aus diesem Grund muss der Wassergehalt der Luft in der Flasche den Werten der Tabelle 1 entsprechen:

Eine Überschreitung der geforderten Wasserwerte kann zu Funktionsstörungen der Pressluftatmer führen, z.B. zu Vereisung im Druckminderer und anderen druckführenden Teilen, vor allem bei starker Abatmung. Bei Druckluftflasche aus Stahl kann es zu Korrosion der Innenwand kommen.

Hinweis zur Vereisungsgefahr im Pressluftatmer

Bei der Expansion der Atemluft während des Ausströmens aus der Druckluftflasche entsteht adiabatische bedingt Kälte. Wenn die Atemluft zu hohe Wasseranteile besitzt, kann diese Kälte z. B. im Druckminderer, Warneinrichtung und Manometer des Pressluftatmers zu Vereisung führen. Das würde spontan die Atemluftversorgung unterbrechen und den Atemschutzgeräteträger akut gefährden.

Ein zu geringer Anteil von Wasser kann zur Austrocknung der Schleimhäute des Atemschutzgeräteträgers führen. Die Schnelligkeit des Austrocknen ist abhängig von den Bedingungen beim Atmen, z. B. von den Faktoren Luftfeuchte, körperliche Belastung, Körpertemperatur, Atemfrequenz und Atemzugtiefe. Arbeitsmediziner haben ermittelt, dass bei einer Luftfeuchte von unter 15 mg/ m³ akute Gesundheitsgefährdung besteht. Schlimmstenfalls kann sogar eine Lungenentzündung entstehen.

1.4 Vereisungsgefahr im Pressluftatmer als Folge eines zu hohen Wasseranteils in der Druckluftflasche und mögliche Folgen

• Physikalische Grundlagen

Der Druckminderer des Pressluftatmers reduziert die Atemluft im Pressluftatmer je nach Hersteller vom jeweiligen Flaschendruck auf den einen Mitteldruck von 5 bis 10 bar. Dafür strömt die Atemluft im Druckminderer durch mehrere enge Kanäle und überwindet verschiedene Membran- und Federkräfte. Dieser Vorgang entspannt die Atemluft. Physikalisch bedingt kühlt die Atemluft dabei ab. Es entsteht die sogenannte Expansionskälte. Je schneller die Entspannung erfolgt, desto schneller sinkt die Temperatur der Atemluft. Besonders ab etwa 40 l/min Abatmung durch den Atemschutzgeräteträger erzwingen im Pressluftatmer eine relativ schnelle Entspannung und eine hohe Strömungsgeschwindigkeit der Atemluft. Sie kühlt also schnell ab und erreicht entsprechend Bild 3 innerhalb weniger Minuten Temperaturen unter 0° C. Bild 3 lässt die dadurch entstehende Abkühlung erkennen, die bei hohen Belastungen der Atemschutzgeräteträger und damit hohem Atemluftverbrauch auftritt.

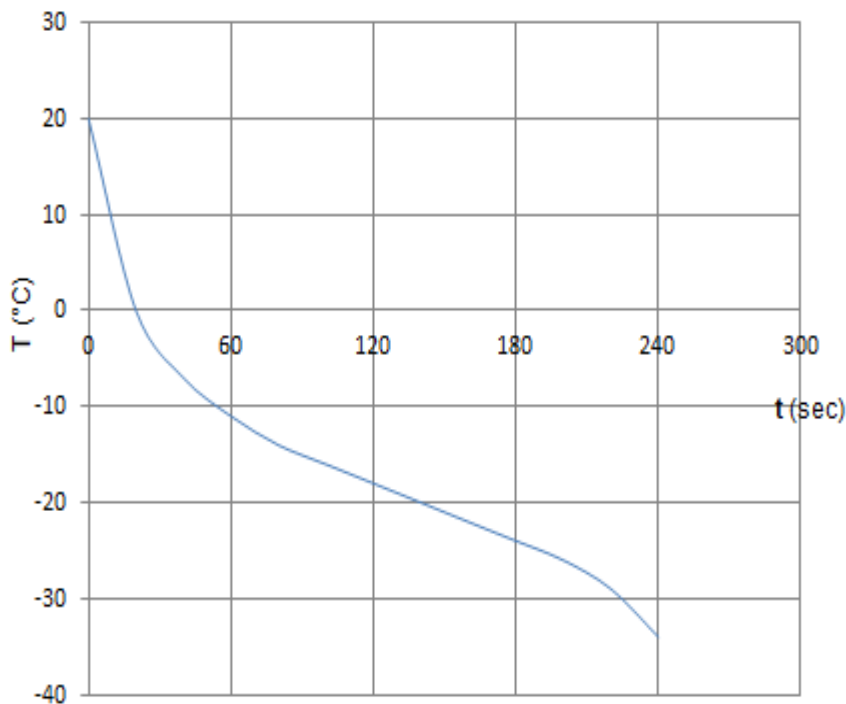


Bild 3: Abkühlung von Atemluft während der Entspannung von 200 bar auf 1 bar (Imitation einer Abatmung mit etwa 100 l/min Strömungsgeschwindigkeit, Druckluftflasche aus Stahl, 4 l / 200 bar)

• Auswirkungen eines zu hohen Wassergehaltes in einer Druckluftflasche

Aus der Darstellung der Sättigungslinien (Isobare) des Wasserdampfgehaltes im Bild 4 lässt sich erkennen, dass der Gehalt an Wasserdampf in der Luft bei konstantem Druck vor allem von der Temperatur abhängt.

zu erkennen ist weiterhin, dass sinkende Temperaturen der Atemluft den Gehalt an Wasserdampf (im Diagramm das „Wasserdampfgebiet“) verringern. Je tiefer die Temperatur zurückgeht, desto weniger Wasserdampf befindet sich in der Luft. Eine vollständige Trockenheit der Luft lässt sich aber nicht erreichen. Selbst bei – 20 °C ist in der Druckluftflasche noch Wasserdampf nachweisbar

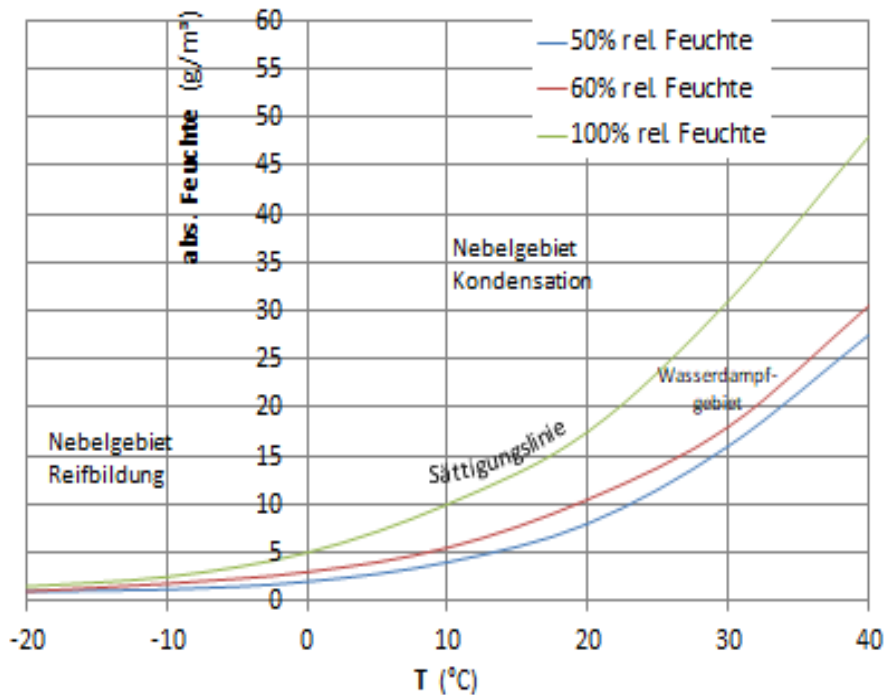


Bild 4:
Diagramm
Wasserdampfgehalt
in der Luft

Der kondensierte Wasserdampf setzt sich bei Temperaturen über 0 °C als Wasser und bei Temperaturen unter 0 °C als Reif und Eis ab, z. B. in am Boden stehender Druckluftflaschen

In diesen Flaschen verbleibt also bei niedrigen Temperaturen, wie sie bei starkem Abatmen in der Druckluftflasche entstehen, Eis und Atemluft mit Anteilen von Wasserdampf. Diese Atemluft gelangt durch die Luftströmung beim Einatmen in den Bereich des Flaschenventils. Wie Untersuchungen des Autors belegen, setzen sich die Wasserteilchen dann gleichsam raureifähnlich am Sinterfilter des Flaschenventils ab (Bild 6) oder strömen durch die Luftkanäle des Pressluftatmers bis in den Lungenautomat.



Bild 5 (links):
unbenutztes Sinterfilter für Druckluftflaschen
(Dräger Safety)

Bild 6 (rechts):
Reifbildung am Sinterfilter eines Ventils einer
6 l / 300 bar Druckluftflasche (Druckluftflasche
aus Stahl, Imitation einer Abatmung mit etwa
100 l/min)



Entsprechend Bild 4 kühlt sich die Atemluft also relativ schnell ab auf Temperaturen mit Werten unter dem Gefrierpunkt von Wasser. Dadurch gefriert und kristallisiert das in der Druckluftflasche abgesetzte Wasser zu Eis. Als Eis ist es in der Zeit bis zum Schmelzen, z. B. beim Temperatenausgleich nach Einsatzende, mit den standardisierten Prüfröhrchenmessverfahren vom Atemschutzgerätewart nicht messbar. Deshalb kann es nach Einsatzende beim Wiederbefüllen übersehen werden und in der Druckluftflasche verbleiben. Begünstigt durch den hohen Flaschendruck reißt die in das Flaschenventil und anschließend in den Druckminderer strömende Atemluft den Wasserdampf und einen Teil bereits kondensiert oder im Übergangsbereich zum Kondensat befindlichen ehemaligen Wasserdampf mit. Je mehr Wasserdampf diese Luft enthält, desto mehr Kondensat befindet sich im Strom der Atemluft, desto mehr Eisteilchen können sich bei Abkühlung in gleicher Zeit bilden und absetzen und so die Strömung der Atemluft behindern oder sogar verhindern. Deshalb lässt sich zusammenfassend feststellen:

- Zu Beginn der Beatmung des Pressluftatmers, ist die Temperatur der Atemluft in den Druckluftflaschen noch relativ hoch und besitzt noch relativ viel Wasserdampf in der Atemluft.
- Im Verlaufe der Beatmung kühlt sich die Atemluft als Folge ihrer Expansion ab. Wasserdampf kondensiert dadurch zu Wasser, bei Temperaturen unter den Gefrierpunkt zu Reif. Das Wasser gefriert. Je tiefer die Temperaturen sinken, desto weniger Wasserdampf verbleibt in der Atemluft, desto mehr Wasser bzw. Eis und Reif bilden sich.
- Dieses Eis verbleibt nach Beendigung des Abatmens durch den Atemschutzgeräteträger in der Druckluftflasche. Erst wenn das Eis zu Wasser getaut ist, kann es der Atemschutzgerätewart nachweisen. Prüft er den Wassergehalt nicht, addiert sich der verbleibende Wassergehalt mit dem aus der Folgefüllung der Druckluftflasche. Der Wassergehalt wächst mit jeder Füllung um die Menge des Wasseranteils in der nachgefüllten Menge Atemluft. Er „schaukelt“ sich gleichsam auf.
- Übersteigt der Wasseranteil in der Druckluftflasche nicht die in der DIN EN 12021 normativ festgelegten Werte (siehe Tabelle 1) verbleibt die gesamte Wassermenge entsprechend Bild 4 in der Atemluft als Wasserdampf und es bilden sich keine Gefahren für den Träger des Pressluftatmers.
- Übersteigt der Wasseranteil in der Druckluftflasche den Normwert, bleiben entsprechend Bild 4 die Wasserteile oberhalb der Sättigungslinien flüssig. Bei Temperaturen unter 0°C gefrieren sie zu Eis oder Raureif. Diesen Prozess beschleunigen u.a. Kristallisationspunkte, wie kältere Wandflächen der Druckluftflasche, z. B. Sinterfilter und enge Durchströmungsöffnungen. Hier können sich also Eisteilchen bilden, absetzen und den Widerstand für die Strömung der Atemluft erhöhen (siehe Bild 6). Genügend Eisbildung am Sinterfilter des Flaschenventils und in den kleinen Kanäle, Ventile sowie Düse des Druckminderers kann die Atemluftzufuhr zum Träger des Pressluftatmer herabsetzen oder unter besonders extremen Situationen sogar verhindern.

Die Atemluftzufuhr zum Atemschutzgeräteträger kann durch die sogenannte „innere Vereisung“ (Eisbildung im inneren des Pressluftatmers in folge Reifbildung durch die Wirkung adiabatischer Kälte) höheren Atemwiderstand erhalten oder sogar blockieren. Dieser Vorgang ist schwer nachweisbar, da jeder anschließende Temperatenausgleich am Pressluftatmer den Reif bzw. das Eis schmelzen lässt. Unkontrolliert durchgeführt, verhindert die Erwärmung das Erkennen der Eisteilchen. Eine durch innere Vereisung entstehende Blockade lässt sich selten nachweisen. Zum Ermitteln des Umfangs der Auswirkungen zu hoher Wassergehalte in Druckluftflaschen, der daraus entstehenden Gefährdung für die Träger von Pressluftatmern und dem Nachweis einer möglichen Blockade durch innere Vereisung führte der Autor einige Untersuchungen durch.

Hinweis:

Aus Bild 7 ergibt sich, dass trotz konstantem Atemluftvorrat bei niedrigen Temperaturen entsprechend Bild 7 niedrige Drücke in den Druckluftflaschen herrschen. Für den Atemschutzgeräteträger gilt das Gerät als nicht mehr einsatzbereit, wenn der Nenndruck unter 10 % fällt. Nach Bild 7 tritt das bereits bei einem Temperaturrückgang auf + 10 °C ein, obwohl der Atemluftvorrat unverändert blieb. Zur Vermeidung solcher Probleme sollte die Lagertemperatur etwa +15 °C betragen. Bei kalten Witterungslagen sollten die Pressluftatmer mitnahmesicher in heizbaren Räumen der Gerätehäuser und im Einsatz im Mannschaftsraum der Fahrzeuge lagern.

• **Vereisungsfähigkeit von Atemluft und Auswirkung von Vereisungen im Pressluftatmer**

In einer Versuchsserie ermittelte der Autor, dass die Sinterfilter der Flaschenventile vereisen, sobald die Atemluft in den Druckluftflaschen über den Vorgaben der DIN EN 12021 Druckluft für Atemschutzgeräte (siehe Bild 6) liegen. Die Vereisung lässt den Atemwiderstand des Pressluftatmer spürbar ansteigen. Diese Tests wurden mit Pressluftatmern aller Hersteller durchgeführt. Zusammengefasst ergaben sie, dass bei starker Abatmung Atemwiderstände spürbar ansteigen, nach spätestens 20 Minuten unter Zimmertemperatur (+ 20 °C) aber diese Pressluftatmer wieder ungehindert Atemluft liefern (Tabelle 2). Empirisch lässt sich das Ansteigen der Atemwiderstände aus der Vereisung der Sinterfilter ableiten (Bild 6). Beim Tauen des Eises am Sinterfilter verringert sich der Atemwiderstand. Eine plötzliche Blockade der Atemluftversorgung wurde nicht beobachtet. Ein direkter Zusammenhang zwischen der Höhe des Atemwiderstandes und dem Wassergehalt der Atemluft in der Druckluftflasche ist nachweisbar.

Tabelle 2:
Abhängigkeit des Wassergehalts in der Atemluft in Druckluftflaschen 6 l/300 bar und Erhöhen des Atemwiderstandes R_A bei ca. 100 l/min Veratmung (intermittierende Abatmung, Ventil Druckluftflasche voll geöffnet, Stahlflaschen – *Protokollausschnitt*)

Wasseranteil der Atemluft [mg/m ³]	Atemwiderstand R_A erhöht nach [min]	Auftauzeit [min], Raumtemperatur + 20° C	Bemerkungen
130	-	30	Erhöhung R_A nicht eindeutig nachweisbar
150	13	35	Erhöhung R_A geringfügig
200	11	45	Erhöhung R_A nachweisbar
300	10	70	Erhöhung R_A eindeutig nachweisbar
400	10	85	- „ -

• **Verhalten benutzer Lungenautomaten bei großer Kälte**

Kondensationsprozesse im Lungenautomat, aus dem Innern des Atemanschlusses durch das Einatemventil der Vollmaske einsickernder Speichel, Sekret und Schweiß sowie kondensierte Feuchtigkeit der Ausatemluft setzen während der Benutzung von Pressluftatmern Feuchtigkeit in deren Lungenautomaten ab. Bei Temperaturen ab etwa 0°C können diese Flüssigkeiten gefrieren. Dadurch können z. B. Membran in Lungenautomaten versteifen oder Regelmechanismen in Lungenautomaten vereisen. Beobachtet wurden diese Erscheinungen u.a. bei einem Brand in einem Reifenlager in einer Kreisstadt in Ostsachsen im Winter 1997 bei – 25°C Lufttemperatur. Die Lungenautomaten benutzer und mehrfach hintereinander getragener Pressluftatmer versagten ihren Dienst. Sie lagen nach dem Einsatz etwa 30 Minuten im Freien. In dieser Zeit wechselten die Einsatzkräfte die Druckluftfla-

schen, führten die Sicht-, Dicht- und Funktionskontrolle durch und erholten sich. Die Wiederinbetriebnahme dieser Pressluftatmer gelang nicht bei allen Geräten. Diese ließen sich erst in der Atemschutzwerkstatt wieder einsatzbereit herrichten. Ähnliche Ergebnisse erbrachten empirische Versuche mit stark beatmeten Lungenautomaten, nach dem die 30 min bei – 30 ° C lagerten.

- **Verhalten des Lungenautomat eines Pressluftatmers bei Eindringen von Wasser**

Die Auswertung des Anfangs erwähnten Abbruchs der Atemluftversorgung während einer Gewöhnungsübung für auszubildende Träger von CSA an einer Ausbildungseinrichtung im Freistaat Sachsen ergab, dass der Lungenautomat des Pressluftatmers versagt hatte. Als Ursache wurde zweifelsfrei eine zu hohe Wassermenge in der Atemluft erkannt. Das Wasser kam aus Druckluftflaschen, die unmittelbar vorher eine private Atemschutzwerkstatt angeliefert hatte. Dahin hatte der Eigentümer seine Druckluftflaschen zur turnusmäßigen Sachverständigenprüfung nach Druckbehälterverordnung gegeben. Die Flaschen kamen vertragsgemäß auf 50 bar angefüllt und zertifiziert zurück. Die Unfallanalyse ergab weiterhin:

- In einigen der geprüften Druckluftflaschen befanden sich bis zu etwa 200 ml Wasser.
- Ein Mitarbeiter der Firma hatte diese Druckluftflaschen nach der Druckbehälterprüfung ordnungsgemäß geleert, getrocknet und mit Luft gespült.
- Ursache war ein defektes Prüfgerät der Firma, ein elektronisches Hygrometer. Es verzerrte das Messergebnis erheblich. Die Firma hatte deshalb das Wasser in den Druckluftflaschen nach dem Anfüllen nicht erkannt.

1.4 Hinweise zum Füllen von Druckluftflaschen

Der zulässige Fülldruck ist zu beachten. Es dürfen nur Druckluftflaschen gefüllt werden, die

- der DIN 3171-1:2000 (Stahlflaschen) oder DIN 3171-2:2000 (Verbundmaterialflaschen) entsprechen und mit einem Flaschenventilseitenstutzen nach EN 144:2:1998 versehen sind
- mit dem Prüfdatum und dem Prüfzeichen des Sachverständigen (z.B. TÜV) sowie der Angabe der Prüffrist versehen sind und eine gültige Gefahrgutkennzeichnung besitzen, siehe http://www.ateschutzschutzlexon.de/fileadmin/merkblatt/Merkblatt_Kennzeichnung_Druckluftflaschen.pdf
- die auf der Flasche angegebene Prüffrist nicht überschritten haben
- keine Mängel aufweisen, die zu einer Gefährdung führen können, z.B. defektes Ventil
- im Anschlussgewinde keine sichtbare Feuchtigkeit aufweisen.

Bei der Befüllung von Flaschen aus Kohlenstofffaser-Verbundwerkstoffen mit Kunststoffliner können sich aufgrund hoher Füllgeschwindigkeiten und vorgewärmter Atemluft Temperaturen im kritischen Bereich einstellen. Zur Vermeidung dieses Zustandes wird für diesen Flaschentyp eine Begrenzung der Füllgeschwindigkeit auf 27 bar/Min empfohlen. Die jeweiligen Füllprozesse sind dahingehend anzupassen

Stahlflaschen können mit einer Füllrate von bis zu 300 bar/min gefüllt werden. Diese Füllrate entspricht einem Volumenstrom von 2048 l/min (bei einer 6,8 l/300 bar-Druckluftflasche). Die dabei entstehende Erwärmung liegt bei einer Temperatur unterhalb von 60°C gemessen an der Oberfläche des Druckbehälters. Allerdings entsteht bei Abkühlung der Flasche auf Raumtemperatur ein Druckabfall. Die Abkühlung auf 20°C kann der bei hoher Füllgeschwindigkeit bis zu einer dauern. Ein Nachfüllen auf Betriebsdruck (einmaliges Nachdrücken) ist notwendig und zulässig.

2 Physikalische Parameter der Atemluft

Fülldruck

Der Fülldruck ist der in einem Druckbehälter, z. B. einer Druckluftflasche, vorherrschende Gasdruck (Flaschendruck). Er soll in einem Druckbehälter eines Atemschutzgerätes nach Abschluss des Füllvorganges und bei + 15° C Gastemperatur je nach Flaschentyp als Nenndruck 200 bzw. 300 bar betragen. Er kann vom Atemschutzgeräteträger an einem Manometer oder an einer digitalen Anzeige abgelesen werden.

Wenn die Gastemperatur im Druckbehälter steigt, erhöht sich der Fülldruck. Das Volumen bleibt konstant. Dafür gilt folgende isochoren Gleichung:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$p_2 = \frac{P_1 \cdot T_2}{T_1}$$

P_2 = aktueller Druck [bar]

P_1 = Fülldruck [bar]

T_2 = aktuelle Gastemperatur [K]

T_1 = Nenntemperatur [K]

Beispiel 1

Beim Abschluss des Füllvorganges einer Atemluftflasche 6,0 l Stahl, 300 bar, wird eine Flaschentemperatur (und damit auch die Temperatur der Atemluft in der Druckluftflasche) von + 45° C gemessen.

ges.: aktueller Druck in der Druckluftflasche P_2

geg.:

$$P_1 = 300 \text{ bar}$$

$$T_2 = 318 \text{ K (+ 45° C)}$$

$$T_1 = 288 \text{ K (+ 15° C)}$$

ges.: P_2

Lösung:

$$p_2 = \frac{P_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{300 \cdot 318}{288} \frac{\text{bar K}}{\text{K}} = 331 \text{ bar}$$

Der aktuelle Flaschendruck P_2 beträgt beim Abschluss des Füllvorganges etwa 331 bar.

Beispiel 2

Welcher Flaschendruck stellt sich ein, wenn die Druckluftflasche längere Zeit bei - 20° C gelagert wurde?

ges.: aktueller Druck in der Druckluftflasche P_2

geg.:

$$P_1 = 300 \text{ bar}$$

$$T_2 = 253 \text{ K (- 20° C)}$$

$$T_1 = 288 \text{ K (+ 15° C)}$$

ges.: P_2

Lösung:

$$p_2 = \frac{P_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{300 \cdot 253}{288} \frac{\text{bar K}}{\text{K}} = 263,5 \text{ bar}$$

Der aktuelle Flaschendruck P_2 beträgt etwa 264 bar und liegt damit unter der Toleranzgrenze für die Einsatzbereitschaft eines Pressluftatmer. Der Einsatzleiter sollte dieses Gerät höchstens noch zur Menschenrettung einsetzen und den Atemschutztrupp streng unter Kontrolle halten. Der Zusammenhang von Fülldruck und Temperatur steht in linearer Abhängigkeit. Das lässt sich in folgendem Bild 7 darstellen:

Zusammenhang Fülldruck – Temperatur Druckluftflasche

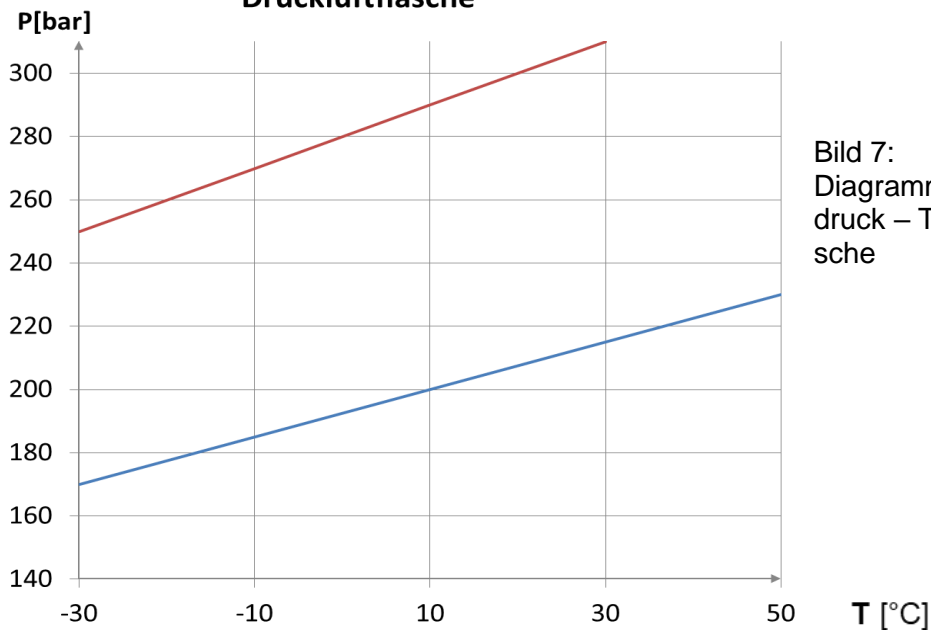


Bild 7:
Diagramm Zusammenhang Füll-
druck – Temperatur Druckluftfla-
sche

Atemminutenvolumen

Die Atemphysiologie lehrt uns, dass die Lunge eines erwachsenen Menschen pro Atemzug mit ein Volumen (Atemzugvolumen V_{Zug}) von etwa 0,50 l bis 0,70 l Atemluft gefüllt wird. Der Mensch atmet durchschnittlich pro Minute (f_{Min})

- bei geringer Belastung, z. B. Lesen im Sitzen, etwa 15 mal pro Minute
- bei hoher Belastung, z. B. Durchführen eines Löschangriffs unter kompletter PSA, Wohnungsbrand Erdgeschoss, mit Menschenrettung etwa 40 mal pro Minute
- bei extremer Belastung, z. B. Tragen eines gasdichten Chemikalienschutzanzuges, bis zu 60 mal pro Minute.

Die Atemfrequenz (f_{Min}) erhöht sich also proportional zur Belastung. Das kommt daher, weil der Körper bei steigender Belastung mehr Energie zur Bewältigung der Belastung benötigt. Für die dafür erforderliche Umwandlung von chemischer Energie der Nahrung in Bewegungsenergie benötigt der Mensch Sauerstoff aus der Atemluft – je höher der Energiebedarf desto mehr. Die Atemfrequenz f_{Min} steigt also, wenn der Körper mehr Sauerstoff benötigt. Gesteuert wird dieser Prozess der Angleichung der Atemfrequenz an den jeweils aktuellen Bedarf des Menschen durch sein Atemzentrum im Gehirn.

Aus dem Produkt von Atemzugvolumen und Atemfrequenz ergibt sich das Atemminutenvolumen AMV (V_{Min}) als das Luftvolumen, das pro Zeiteinheit ein- und ausgeatmet wird. Es lässt sich folgendermaßen berechnen:

$$V_{\text{Min}} = V_{\text{Zug}} \cdot f_{\text{Min}}$$

Beispiel 1:

Person beim Lesen im Sitzen

$$\text{geg.: } V_{\text{Zug}} = 0,6 \text{ l} \\ f_{\text{Min}} = 15 \text{ Min}^{-1}$$

$$\text{Lösng.: } V_{\text{Min}} = V_{\text{Zug}} \times f_{\text{Min}} = 0,6 \text{ l} \times 15 \text{ Min}^{-1} = 9,0 \text{ l Min}^{-1}$$

Bei geringer Belastung wie ruhiges Sitzen verbraucht der Mensch durchschnittlich 9,0 l Luft

Beispiel 2:

Atemschutzgeräteträger beim Durchführen eines Löschangriffs unter kompletter PSA, Wohnungsbrand Erdgeschoss, mit Menschenrettung

$$\text{geg.: } V_{\text{Zug}} = 0,5 \text{ l} \\ f_{\text{Min}} = 40 \text{ Min}^{-1}$$

$$\text{Lösng.: } V_{\text{Min}} = V_{\text{Zug}} \times f_{\text{Min}} = 0,5 \text{ l} \times 40 \text{ Min}^{-1} = 20 \text{ l Min}^{-1}$$

Das bedeutet, dass der Atemschutzgeräteträger im Einsatz unter o.g. Bedingungen pro Minute etwa 20 l Atemluft verbraucht.

Der Mensch verbraucht in Ruhe etwa 9,0 l Luft pro Minute. Damit ergibt sich für ihn

- pro Stunde ein Verbrauch von
 $V_{\text{Min } 60 \text{ Min}} = V_{\text{Min } 1 \text{ Min}} \times 60 \text{ Min} = 9,0 \text{ l Min}^{-1} \times 60 \text{ Min} = 540 \text{ l}$
- pro Tag ein Verbrauch von
 $V_{\text{Min } 24 \text{ Std}} = V_{\text{Min } 1 \text{ Min}} \times 60 \text{ Min} \times 24 = 9,0 \text{ l Min}^{-1} \times 60 \text{ Min} \times 24 = 12.960 \text{ l}$

Der Mensch in Ruhe verbraucht pro Tag also etwa 13.000 l bzw. 13 m³ Luft. Bei einer Dichte der Luft von etwa 1,2041 kg/m³ (bei + 20° C) atmen er also etwa 15,5 kg Luft täglich ein und aus.

Atemluftvorrat (V_1)

Der Atemluftvorrat in Druckluftflaschen von Behältergeräten, die sich für den Einsatz bei den Feuerwehren eignen, sollte nach vfdb-Richtlinie „vfdb 0810, Richtlinie zur Auswahl von PSA, Anhang 02 Atemschutzgeräte“ mindestens 1.600 Liter betragen. Die tatsächlich in einer Druckluftflasche umluftunabhängiger Atemschutzgeräte vorhandene Luftmenge nennt man Atemluftvorrat (V_1). Der lässt sich berechnen.

Ideales Gas:

Ausgangspunkt für die Berechnung des Atemluftvorrates mit der Annahme als ideales Gas ist das allgemeine Gasgesetz von Boyle und Mariotte:

- Wird eine feste Menge (konstante Teilchenzahl NN) eines idealen Gases auf einer konstanten Temperatur T gehalten, während sich der Druck oder das Volumen der Gasmenge ändern, so spricht man von einer **isothermen** Zustandsänderung der Gasmenge.
- Bei derartigen isothermen Zustandsänderungen ist das Volumen V der Gasmenge umgekehrt proportional zum Druck p

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

p_1 : Ausgangsdruck (Luftdruck $p_B = 1,0 \text{ bar}$)

V_1 : Ausgangsvolumen bzw. Atemluftvorrat

p_2 : Eindruck (Flaschendruck)

V_2 : Endvolumen (Flaschenvolumen)

Die Umstellung der Formel nach dem Atemluftvorrat V_1 ergibt:

$$V_1 = \frac{p_2 \cdot V_2}{p_1}$$

reales Gas:

Um den tatsächlich in der Druckluftflasche vorhandenen Atemluftvorrat bestimmen zu können, muss man aber die vorhandenen Luftwiderstände, Reibungswiderstände, Wandeffekte der Gas-moleküle u.ä. physikalische Faktoren berücksichtigen. Um alle die zu ermitteln, hat man den dimensionslosen Kompressibilitäts- oder einfacher Kompressionsfaktor ζ , empirisch ermittelt. Er beträgt entsprechend Bild 8 und Tabelle 2 z.B. für Luft mit 200 bar = 1,0 und für Luft mit 300 bar = 1,08

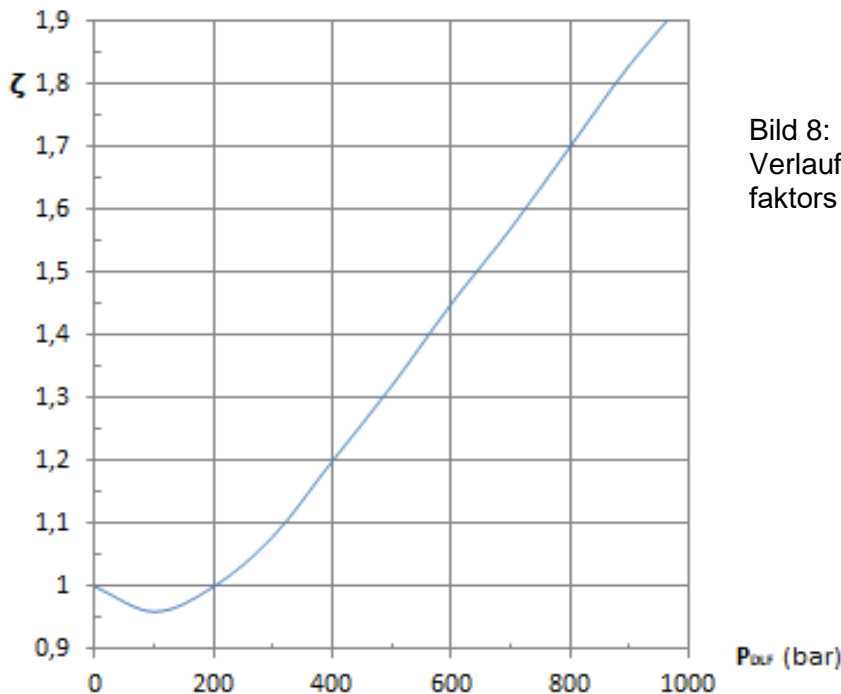


Bild 8:
Verlauf des Kompressoins-
faktors ζ für Luft

Tabelle 2: Verlauf des Kompressionsfaktors ζ für Luft					
absoluter Druck in bar	Kompressionsfaktor bei einer Lufttemperatur (ζ) [° C] von:				
	0	50	100	150	200
20	0,9895	0,9984	1,0027	1,0051	1,0064
30	0,9851	0,9981	1,0045	1,0078	1,0097
40	0,9812	0,9982	1,0065	1,0108	1,0132
50	0,9779	0,9986	1,0087	1,0139	1,0168
60	0,9751	0,9993	1,0112	1,0172	1,0205
70	0,9730	1,0004	1,0139	1,0206	1,0243
80	0,9714	1,0018	1,0169	1,0242	1,0282
90	0,9704	1,0036	1,0201	1,0279	1,0322
100	0,9699	1,0057	1,0235	1,0319	1,0364
200		1,000			
300		1,080			

Setzt man den Kompressionsfaktor nun zu Eindruck (Flaschendruck) und Endvolumen (Flaschenvolumen) ins Verhältnis folgt aus dem idealen Gasgesetz das für reales Gas mit dem sich die reale Menge an Atemluft in der Druckluftflasche zum jeweiligen Flaschendruck bestimmen lässt:

$$V_1 = \frac{p_2 \cdot V_2}{p_1 \cdot \zeta}$$

- p_1 : Ausgangsdruck (Luftdruck $p_B = 1,0$ bar)
- V_1 : Ausgangsvolumen bzw. Atemluftvorrat
- p_2 : Eindruck (Flaschendruck)
- V_2 : Endvolumen (Flaschenvolumen)
- ζ : Kompressionsfaktor (ksi)

Beispiel 1:

Pressluftatmer 300 bar mit einer 6,0 l-Druckgasflasche
ges.: Größe des Atemluftvorrates

geg.:

$$p_1 = p_B = 1,0 \text{ bar}$$

$$p_2 = p_{DLF} = 300 \text{ bar}$$

$$V_2 = V_{DLF} = 6,0 \text{ l}$$

$$\zeta = 1,08$$

ges.:

$$V_1 =$$

Lösg.:

$$V_1 = \frac{p_2 \cdot V_2}{p_1 \cdot \zeta} = \frac{300 \cdot 6,0}{1,0 \cdot 1,08} \frac{\text{bar l}}{\text{bar}} = 1.666,67 \text{ l}$$

Beispiel 2:

Pressluftatmer 300 bar mit zwei 6,8 l-Druckgasflasche CFK
ges.: Größe des Atemluftvorrates

geg.:

$$p_1 = p_B = 1,0 \text{ bar}$$

$$p_2 = p_{DLF} = 300 \text{ bar}$$

$$V_2 = V_{DLF} = 2 \cdot 6,8 \text{ l}$$

$$\zeta = 1,08$$

ges.:

$$V_1 =$$

Lösg.:

$$V_1 = \frac{p_2 \cdot V_2}{p_1 \cdot \zeta} = \frac{300 \cdot 2 \cdot 6,8}{1,0 \cdot 1,08} \frac{\text{bar l}}{\text{bar}} = 3.777,78 \text{ l}$$

Atemluftverbrauch (Q) und mögliche Einsatzdauer (t)

Der Atemluftverbrauch (Q) ist die vom Atemschutzgeräteträger unter umluftunabhängigem Atemschutzgerät tatsächlich verbrauchte Atemluft. Der Atemluftverbrauch lässt sich näherungsweise bestimmen und hinreichend genau berechnen

Näherungsweise Bestimmen Atemluftverbrauch Q [l/min]:

Umfangreiche Versuche haben ergeben, dass der Atemschutzgeräteträger eines Pressluftatmers (PA) etwa verbraucht bei:

- leichter Arbeit, z. B. ungehindertes Gehen unter PA Q ~ 30 l/min
- mittlerer Arbeit, z. B. Durchführung von Brandbekämpfung mit kompletter PSA Q ~ 40 l/min
- schwere Arbeit, z. B. Leiter oder Treppe unter PA steigen, Tragen eines CSA Q ~ 50 bis 60 l/min

Berechnung Atemluftverbrauch Q [l/min]:

$$Q = \frac{V_1 \cdot \Delta p}{p_1 \cdot t \cdot \zeta}$$

- Q: Atemluftverbrauch in Liter/min
 V_1 : Ausgangsvolumen bzw. Atemluftvorrat in Liter
 ζ : Kompressionsfaktor (ksi)
 p_1 : Anfangsdruck, z. B. Luftdruck p_B in bar
 Δp : Druckdifferenz in bar
 p_2 : Druck in der Druckluftflasche zu Einsatzbeginn, z. B. Füll-
 druck in bar
 p_{Ende} : Druck in der Druckluftflasche am Einsatzende in bar
 t: Einsatzzeit in min

$$\Delta p = p_2 - p_{\text{End}}$$

Beispiel:

Ein Atemschutzgeräteträger geht im Atemschutztrupp zur Brandbekämpfung vor. Er trägt einen Pressluftatmer mit einer 6,0 l Stahlflasche 300 bar. Wann muss der Trupp spätestens den Rückmarsch antreten?

geg.:

$$Q = 40 \text{ lmin}^{-1}$$

$$V_1 = 1.666 \text{ l}$$

$$p_1 = p_B = 1,0 \text{ bar}$$

$$p_2 = p_{\text{DLF}} = 300 \text{ bar}$$

$$\zeta = 1,08$$

ges.:

t

Lösg.:

1. einsatztaktischer Grundsatz: spätester Rückzug bei Ansprechen Warneinrichtung, also bei 55 ± 5 bar Flaschendruck $\rightarrow \Delta p = p_2 - p_{\text{End}} = 300 \text{ bar} - 55 \text{ bar} = 245 \text{ bar}$

2. Umstellen Formel

$$Q = \frac{V_1 \cdot \Delta p}{p_1 \cdot t \cdot \zeta} \rightarrow t = \frac{V_1 \cdot \Delta p}{p_1 \cdot Q \cdot \zeta}$$

$$t = \frac{V_1 \cdot \Delta p}{p_1 \cdot Q \cdot \zeta} = \frac{6,0 \cdot 245}{1,0 \cdot 40 \cdot 1,08} \frac{\text{l bar min}}{\text{bar l}} = \mathbf{34,0 \text{ min}}$$

Für einen Vorgehen unter Pressluftatmer bis zum Ansprechen der Warneinrichtung hat der Atemschutztrupp höchsten etwa 34 min bis zum Beginn Rückzug.

Schlussfolgerung 1:

Nach etwa 30 min Einsatzzeit sollte die Atemschutzüberwachung dem Einsatzleiter über den unmittelbaren Beginn des Rückzuges des Atemschutztrupps informieren.

Näherungsweise Bestimmen Einsatzzeit

Für die Führungssituation im Atemschutzeinsatz reicht meist eine näherungsweise Bestimmung der Einsatzzeit. Dafür lässt sich folgende Faustformel anwenden:

$$t \sim \frac{\Delta p}{Q}$$

Beispiel:

Ein Atemschutzgeräteträger geht im Atemschutztrupp zur Brandbekämpfung vor. Er trägt einen Pressluftatmer mit einer 6,0 l Stahlflasche 300 bar. Wann muss der Trupp spätestens den Rückmarsch antreten?

geg.:

$$Q = 40 \text{ lmin}^{-1}$$

$$V_1 = 1.666 \text{ l}$$

$$p_1 = p_B = 1,0 \text{ bar}$$

$$p_2 = p_{DLF} = 300 \text{ bar}$$

$$\zeta = 1,08$$

ges.:

t

Lösg.:

einsatztaktischer Grundsatz: spätester Rückzug bei Ansprechen Warneinrichtung, also bei 55 ± 5 bar Flaschendruck $\rightarrow \Delta p = p_2 - p_{\text{End}} = 300 \text{ bar} - 55 \text{ bar} = 245 \text{ bar}$

$$t \sim \frac{V_1 \cdot \Delta p}{Q} \sim \frac{6,0 \cdot 245}{40} \sim \mathbf{35 \text{ min}}$$

Der Atemschutztrupp muss spätestens nach etwa 35 min den Rückzug antreten.

3 Schlussfolgerungen

Schlussfolgerungen zur Verhütung von Störungen der Atemluftversorgung

Wenn auch der eindeutige Nachweis der schlagartigen Blockade der Atemluftversorgung aus Pressluftatmern infolge innerer Vereisung zum Glück nicht gelang, erhöhte sich doch der Atemwiderstand durch eine auch visuell nachvollziehbare Vereisung des Sinterfilters. Deshalb und zur Vermeidung von Unfällen durch zu hohe Anteile von Wasser in Druckluftflaschen sollten folgende Hinweise beachtet werden:

- regelmäßiges Üben des Umgangs mit Druckluftflaschen mit allen Atemschutzgeräteträgern,
- Empfehlung: mindestens in die regelmäßigen 2 Stunden Unterweisung für die Atemschutzgeräteträger pro Halbjahr einbeziehen,
- beim Üben des Anlegens der Pressluftatmer auf volle Öffnung der Flaschenventile achten
- möglichst die Handräder von Flaschenventilen an Pressluftatmern mit einem Schutz gegen unbeabsichtigtes Schließen nachrüsten – Vorsicht: die Lösung sollte die Handhabung des Gerätes nicht behindern und vom Hersteller Atemschutzgerät kommen, ansonsten Tauglichkeit des Schutzes per Gefahrenbeurteilung nachweisen
- strikte Einhaltung der Atemluftqualität
- regelmäßige Prüfungen der Atemluftqualität des Kompressors (siehe Betriebsanleitung Kompressor) und in Druckluftflaschen (siehe Betriebsanleitung Pressluftatmer), beachte Abschnitt 1, Unterpunkt „Prüfabstände Atemluft“
- unbenutzte Druckluftflaschen im Lager bei konstanter Temperatur (Empfehlung: + 15 °C), Trockenheit, staubsicher und vor Sonnenlicht geschützt lagern,
- Druckluftflaschen auf Fahrzeugen möglichst so lagern, dass sie wenig Temperaturschwankungen ausgesetzt sind und ihre Lage zueinander und zur Fahrzeugbordwand nicht verändern können
- benutzte Atemschutzgeräte bis zur Abgabe in die Atemschutzwerkstatt möglichst klimageschützt, wenigsten aber geschützt vor Temperaturen unter dem Gefrierpunkt zwischenlagern, insbesondere, wenn sie der Atemschutzgeräteträger weiterbenutzen will
- in Atemschutzwerkstätten nur Druckgefäße und Druckleitungen betreiben, die Entwässerungsmöglichkeiten für Kondenswasser besitzen, diese auf Ablaufbedarf regelmäßig prüfen und bei Bedarf entwässern, z. B. sollten nur Pufferflaschen mit Ablassventil zum Einsatz kommen

Empfehlung:

Wassergehalt von Pufferflaschen wenigstens alle 10 Lastwechsel prüfen, alle 20 Lastwechsel Druck entlasten bis etwa. 5 bar Restdruck, danach Wasserablassventile öffnen

- in Atemschutzwerkstätten, Bereich Ansagen Umgebungsluft für Atemluftkompressor, regelmäßig die Wirksamkeit von Ansaugfilter und Wasserabscheidern prüfen, erforderlichenfalls Filter unverzüglich wechseln
- Flaschenventile vor Eindringen von Feuchtigkeit schützen
- nur Druckluftflaschen auf Pressluftatmer schrauben, die im Anschlussgewinde keine Feuchtigkeit aufweisen
- Flaschenventile unmittelbar nach Benutzung schließen
- in Ventile von Druckluftflaschen unmittelbar nach Ausbau aus dem Pressluftatmer oder Füllen Verschlussstopfen einschrauben
- völlige Entleerung von Druckluftflaschen vermeiden

Merke:

völlig entleerte Druckluftflaschen hat der Atemschutzgerätewart zu trocknen und mindestens zweimal zu spülen

- möglichst ausschließen: Füllen von im Wasserbad stehenden Druckluftflaschen, wenigstens aber sorgfältig Wassereintrag am Ventil verhindern
- Druckluftflaschen, die schnell entspannt wurden, vor Wiederbefüllung mehrmals mit Druckluft spülen (Empfehlung: mindestens 2 mal), Beispiel: Druckluftflaschen für pneumatische Ausrüstungen zur technischen Hilfeleistung

Empfehlungen:

- *Druckluftflaschen, die zum Füllen von Hebekissen, Dichtkissen u.ä. Geräten der Technischen Hilfe im Einsatz waren, möglichst nicht mehr zum Abatmen auf Pressluftatmern freigeben,*
- *Kennzeichnung der Druckluftflaschen mit „Atemluft“ bzw. „TH“*

- bewährt hat sich Ablassen und neu Füllen der Atemluft unbenutzter Druckluftflaschen spätestens 1 Jahr nach Füllung
- Luft in Druckluftflaschen nach der Druckbehältersachverständigenprüfung in eigener Verantwortung nachprüfen.

Verhaltensweisen bei Störungen der Atemluftversorgung

Die sogenannte „äußere Vereisung“, Vereisungen an der Außenseite von Druckluftflaschen aus Stahl, Flaschenventilen, Druckminderer und anderen hochdruckführenden Bauteilen des Pressluftatmers, wirkt sich nicht auf die Arbeitsfähigkeit der Geräte aus. Anders die „innere Vereisung“. Das Blockieren von Lungenautomaten bei hohem Wassereintrag und das unbeabsichtigte Zudrehen der Flaschenventile können zu den eingangs geschilderten Unfällen und Beinahe-Unfällen führen. Verschlechterung oder gar Blockade der Atemluftversorgung kündigt sich für den Atemschutzgeräteträger durch einen rasch zunehmenden Atemwiderstand an. Dieser Zustand verlangt den sofortigen, beschleunigten Rückmarsch des Atemschutztrupps aus dem Gefahrenbereich. Es besteht Lebensgefahr!

Auf eine derartige Situation lässt sich der Atemschutzgeräteträger aber präventiv einstellen. Zum Beherrschen der in derartigen Situationen vorhandenen Stressoren und zum Aufrechterhaltung der Handlungsfähigkeit lassen sich Elemente vorbeugend trainieren, z. B. im Rahmen von Belastungsübungen. Tab. 3 enthält dafür in der Ausbildung bewährte Lernziele.

Tabelle 3: Lernziele für die Sicherung der Handlungsfähigkeit der Einsatzkräfte bei psychologisch erschwerten Bedingungen im Atemschutzeinsatz

Lernziel	Übungsinhalt	Schwerpunkte, Hinweise
<p>Sicheres Verhalten bei hohen psychischen Belastungen beherrschen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Verhaltensstrategien zur Bekämpfung der Panik der Einsatzkräfte in Notsituationen • Training des Verhaltens bei außergewöhnlichen Zuständen wie Ausfall eines PA, Versagen der Atemluftversorgung bei Trägern von Pressluftatmern, Festklemmen, Unfall eines Truppmannes • Training von Suchtechniken in großen, unbekanntem Räumen, z. B. durch die Anwendung von Leinensystemen 	<ul style="list-style-type: none"> • defekte PA im Gefahrenbereich erfordern schnellen Rückzug, oder, wo es nicht möglich, Gerätewechsel bzw. Nutzung <i>eines</i> PA durch den Trupp ⇒ Notfalltraining unter Sichtbehinderung in der Orientierungsstrecke der Atemschutzübungsanlage, z. B. Umstecken am Kupplungsstück der Mitteldruckleitung (Voraussetzung: Beherrschen der Handhabung des PA), • Suchen einer Person in der Orientierungsstrecke unter Geräuschbelastung und Sichtbehinderung, mit Sicherung der vitalen Funktionen (möglichst realitätsnah, z. B. mit realistischer Wunddarstellung) • Rettung des Truppmannes durch Führen und Schleifen (z. B. Rettungstuch, Schleifkorbtrage, Tragetuch)

Quellennachweis:

- Bauer, Handbuch Atemschutz, Sammelwerk Ecomed
- Gabler, Wolfgang: "Atemschutzgeräteträger", Verlag Technik Berlin,
- Gabler, Wolfgang: „Breakneck developments in breathing apparatus“, Fire International, Nr 151
- Gabler, Wolfgang: „Fertig ausgearbeitete Schulungsbausteine für die laufende Ausbildung in der Freiwilligen Feuerwehr“, WEKA-Verlag Kissingen
- Protokoll Sitzung des Ref. 8 der vfdb (Persönliche Schutzausrüstung) vom 03./04.11.1998
- Pooth, Wolfgang: „Risikofaktoren im Unternehmen“, Sicherheit und Management Nr 1/16
- Santhem, M.S.: „Norwegian study into BA stress“, Fire International Nr 151

Bildnachweis:

Bild 1 Beispiel für Atemluftmessgerät: Aerotest® Simultan HP, Dräger Safety

Bild 2 Beispiel für elektronisches Atemluftmessgerät B-Detection Plus®, Bauer Kompressoren GmbH

Bild 3: Abkühlung von Atemluft während der Entspannung von 200 bar auf 1 bar, W. Gabler

Bild 4: Diagramm Wasserdampfgehalt in der Luft, Bauer, Handbuch Atemschutz, Sammelwerk Ecomed

Bild 5: unbenutztes Sinterfilter für Druckluftflaschen (Dräger Safety)

Bild 6: Reifbildung am Sinterfilter eines Ventils einer 6 l / 300 bar Druckluftflasche, W. Gabler

Bild 7: Diagramm Zusammenhang Fülldruck – Temperatur Druckluftflasche, W. Gabler

Bild 8: Verlauf des Kompressoinsfaktors ζ für Luft, Bauer, Handbuch Atemschutz, Sammelwerk Ecomed

Mit freundlicher Genehmigung von Herstellern und Verlag