

Gesundheitliche Risiken durch Überdruckexposition (Tauchen/Arbeit in Druckluft/HBO)

Dietmar Tirpitz

Vorbemerkungen

Der Aufenthalt im Überdruck ist grundsätzlich geeignet, die Gesundheit des Menschen zu gefährden. Die Beanspruchung durch Überdruck ist der gemeinsame Nenner für die gesundheitlichen Risiken mit akuten Krankheitsbildern und Spätfolgen beim Tauchen und Arbeiten in Druckluft. Im gewerblichen Bereich werden alle Erkrankungen als Berufskrankheit unter der Ziffer 2201 der Berufskrankheitenverordnung (BKVO) erfasst und gegebenenfalls entschädigt. Gegen die Beanspruchung gibt es weder technischen noch persönlichen Arbeitsschutz. Körperschäden können letztlich nur durch sorgfältige Vorsorgeuntersuchung im Sinne der Individualprävention verhindert werden. Der Gesetzgeber hat dem Rechnung getragen: Überdruck war den Gefahrstoffen gleichgestellt, spezielle arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen nach berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen – hier Grundsatz 31 Arbeit in Druckluft/Taucherarbeiten – durften nur von Ärzten mit einer Ermächtigung für Arbeit in Druckluft durch den staatlichen Gewerbearzt für Druckluft (G31/1) und für Taucherarbeiten durch den Landesverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (G31/2) durchgeführt werden.

Mit Inkrafttreten der Verordnung zur Rechtsvereinfachung und Stärkung der arbeitsmedizinischen Vorsorge am 23. Dezember 2008 sind insofern Änderungen in diesem Vorgehen eingetreten, als in Artikel 1 dieser Verordnung (ArbMedVV) für die Durchführung berufsgenossenschaftlicher Grundsatzuntersuchungen allein die arbeitsmedizinische Fachkunde in Form einer Gebietsbezeichnung „Arbeitsmedizin“ oder der Zusatzbezeichnung „Betriebsmedizin“ erforderlich ist (§ 7 Abs. 1 ArbMed-VV)¹. Eine spezielle Ermächtigung für Ärzte nach dem Grundsatz 31 ist nicht mehr erforderlich. Die Liste der ermächtigten Ärzte wurde zum Jahresbeginn 2009 aus dem Internet entfernt. Der Wegfall dieser Ermächtigung für den Grundsatz 31 gilt allerdings nur für den berufsgenossenschaftlichen Teil. Für die Druckluftverordnung, als staatlicher Rechtsvorschrift, gilt weiterhin für Ärzte, die nach dieser Verordnung tätig werden nach § 13 DruckLV² neben der arbeitsmedizinischen Fachkunde der Nachweis von Fachkenntnissen bezüglich der Arbeiten in Druckluft und die Ermächtigung durch die zuständige Behörde (Bez.Reg). Diese Ermächtigung gilt für alle Tätigkeiten im Bereich Druckluft.

Decompression-Sickness-Klassifikation (DCS):

Das auch heute noch weltweit übliche klassische System zur Klassifikation der Dekompressionserkrankungen unterteilt in DCS Typ I, DCS Typ II und der arteriellen Gasembolie (AGE):

DCS Typ I:

- Beteiligung der Haut
- Beteiligung des Bewegungsapparates

DCS Typ II:

- Beteiligung des zentralen Nervensystems
- Beteiligung des Innenohres
- Beteiligung der Lunge oder des Herz-Kreislauf-Systems
- Beteiligung anderer Organsysteme
- Symptome vom Typ I, sofern Beginn bereits unter erhöhtem Druck

Arterielle Gasembolie (AGE):

Fulminantes Syndrom mit frühem Beginn einer progredienten neurologischen Symptomatik

Wenn auch eine Änderung im Ermächtigungsverfahren durch die ArbMedVV erfolgt ist, so hat der Gesetzgeber aber der Tätigkeit im Überdruck (Arbeit in Druckluft und Taucherarbeiten) in der Individualprävention einen unverändert hohen Stellenwert beigemessen durch die Einstufung dieser zu den im Anhang Teil 3 aufgeführten „Tätigkeiten mit physikalischen Einwirkungen“ unter **Pflichtuntersuchungen**.

Definition

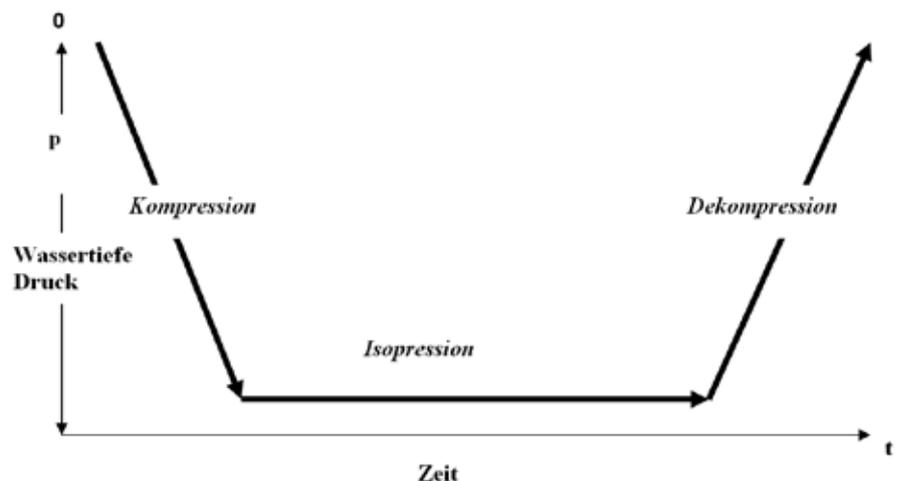
Die versicherten Tätigkeiten sind definiert als
a) Tätigkeiten unter einem Umgebungsüberdruck von mehr als 0,1 bar und

b) Tätigkeiten unter Wasser, bei denen der oder die Beschäftigte über ein Tauchgerät mit Atemgas versorgt wird.

Beiden gemein ist die Wirkung von Druck, besser von Druckdifferenzen, auf die Gase im menschlichen Körper, die den Regeln der Gasgesetze unterliegen. Diese Belastung (stress) führt dann zu entsprechenden Beanspruchungen (strain) mit individuellen Reaktionen. Die Belastung (stress) ist regelhaft in drei Phasen definiert (Abbildung 1):

- A) Kompression;
- B) Isopression;
- C) Dekompression

Abbildung 1: „Tauchgang“ schematisch



Zur Person



Dr. med. Dietmar Tirpitz

Geboren am 22.05.1941 in Berlin.

1968 – 1970 Wehrdienst und Ausbildung zum Taucherarzt in der Schiffssicherungslehrguppe Neustadt/Ostsee und SchiffMedInst Kiel-Kronshagen. 1971 chirurgische Weiterbildung in Duisburg mit Aufbau und Leitung des Zentrums für Hyperbare Medizin am St. Joseph-Hospital Laar. 1985 Ernennung zum Chefarzt der Chir. Abt. 1 (Unfall- und Allgemeinchirurgie). Das Zentrum für Hyperbare Medizin wurde integraler Bestandteil der Chirurg. Abt. 1. Schwerpunkte in der Anwendung der Hyperbaren Oxygenation waren die Behandlung von Dekompressionsschäden bei Druckluftarbeitern und Tauchern. Seit 1973 Behandlung von fast 500 akuten CO-Vergiftungen – schwerpunktmäßig durch Gichtgas am Hochofen.

Da die Abt. Chir. 1 zum VA-Verfahren der BG zugelassen war, standen die chirurgischen Indikationen im Sinn der kompromittierten Weichteile durch Trauma und Infektion (z. B. Gasbrand) im Vordergrund der Behandlungen, hier wurde die Klinik zum überregionalen Schwerpunkt.

Weiterbildung in der Arbeitsmedizin (Ermächtigung zu Untersuchungen nach G26 und G31 bestand seit 1982) und 1998 Erlangung der Zusatzbezeichnung Betriebsmedizin. Seit dieser Zeit Betreuung von Druckluftbaustellen und Tauchereinsätzen. Gutachter für die BK-Gruppen 2001 bis 2010 und 2201 sowie in traumatischen Fragestellungen.

Diese Belastungen sind bei Arbeiten in Druckluft und Taucherarbeiten identisch. Lediglich die Schwerpunktverteilung und die Beanspruchungen (strain) sind unterschiedlich. Auch wenn Belastung und Beanspruchung physikalisch gleich sind, ist es doch von ganz entscheidender Bedeutung, ob die Beanspruchung mit pathologischen Folgen in einer Atmosphäre mit erhöhtem Umgebungsdruck oder im Zustand der Submersion in Wasser stattfindet. Dieser flüssige Aggregatzustand des umgebenden Mediums ist der wesentliche Unterschied gegenüber der Exposition in atmosphärischer Luft unter erhöhtem Druck. Die vertikale Immersion und Submersion des menschlichen Körpers führt durch die unterschiedlichen Druckverhältnisse (zwischen Kopf und Füßen ca. 0,2 bar) im Wasser zur Flüssigkeitsverschiebung in den rechten Thorax mit Rechtsherzbelastung und reflektorischer Diurese, dem „Taucherpinkeln“. Die Herz-Kreislauf-Beanspruchung ist hier offensichtlich und lässt das obligate Belastungs-EKG bei der Eignungsuntersuchung nach dem Grundsatz 31 als unverzichtbar erscheinen.

Diese Belastung gibt es bei Arbeit in Druckluft nicht! Die Erhöhung des Umgebungsdrucks ist in allen Bereichen des Arbeitsbereiches gleich, die Beanspruchung dementsprechend ebenfalls (Abbildung 2). Ein Ausmelken der unteren Gliedmaßen bei Drucksteigerung findet nicht statt, das „Taucherpinkeln“ ist auf den Taucher beschränkt, wie es schon die alten Römer wussten (Taucher - lat: urinator)³

A) Kompression - Barotrauma

Die Beanspruchung und die Belastung in der Drucksteigerung ist die Druckveränderung mit einer Volumenveränderung der luftgefüllten Hohlorgane. Die Drucksteigerung je 10 m Wassertiefe beträgt 1 bar.

Bei 10 m kommt es zu einer Zunahme des Gesamtdrucks von 1 bar auf 2 bar, somit zu einer Druckverdopplung. Nach dem Gesetz von *Boyle-Mariotte* wird dabei das Gasvolumen halbiert.

Gesetz von Boyle-Mariotte

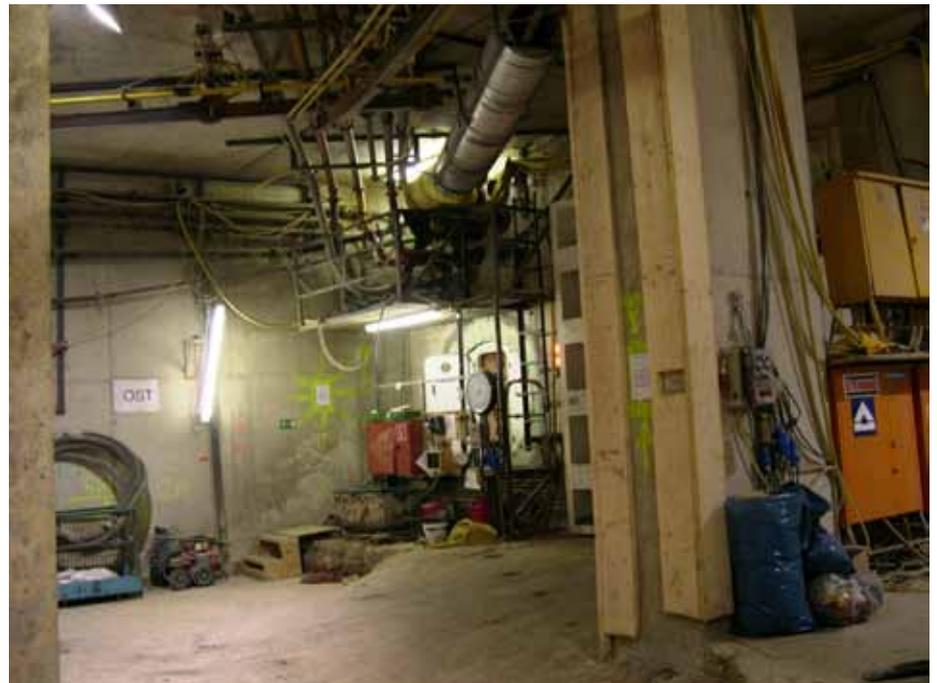
$$P \times V = \text{const.}$$

Das Produkt aus Gasdruck (p) und Gasvolumen (V) ist immer konstant.

Die Antwort auf die Belastung der Druckdifferenz findet sich im Versuch des Körpers, den Druckausgleich herzustellen. Die Funktion dieser Anpassung ist nicht linear, sondern verläuft exponentiell und führt dazu, dass die größten Druck-/Volumendifferenzen oberflächennah in der Kompressionsphase zwischen 0 und 10 m auftreten (Abbildung 3). Ist das nicht möglich, versucht der Körper, die luftgefüllten Hohlräume durch Schleimhautschwellungen, Exsudation in den Hohlraum zu verkleinern oder an Schwachstellen die Hohlraumabdeckung durch Implosion oder Explosion zu öffnen und den Druckausgleich herzustellen. Diese Körperschäden werden als *Barotrauma* bezeichnet. In der Kompressionsphase mit steigendem

Abbildung 2:

Druckluftbaustelle mit Personenschleuse im Hintergrund (ARGE Stadtbahn Köln Los Nord 2008)



Umgebungsdruck herrscht im Körperhohlraum ein relativer Unterdruck – die Schädigung wird dann als *Unterdruckbarotrauma* bezeichnet. Bei abnehmendem Umgebungsdruck wird die Druckdifferenzschädigung durch den relativen Überdruck im Hohlraum als *Überdruckbarotrauma* bezeichnet. Das Barotrauma ist dabei abhängig von der Geschwindigkeit der Druckänderung. Barotraumatosa sind allein durch ein Gas mechanisch bedingte krankhafte Veränderungen und unabhängig von der Gasqualität. Der Gaschemismus spielt lediglich bei längerer Exposition eine Rolle, wenn durch unterschiedliche Gasresorptionszeiten Gasvolumina (Blasen) verändert werden können (Sauerstoff O₂ wird schneller als Stickstoff N₂ resorbiert).

Das Barotrauma ist der häufigste Folgeschaden der Beanspruchung *Druckdifferenz* auf luftgefüllte Hohlorgane. Beispielsweise sind Schädigungen der Paukenhöhle und ihrer Nachbarorgane wie Labyrinth und Cochlea schon bei Druckdifferenzen ab 0,12 bar möglich. Diese Druckdifferenz ist schon größer als die Veränderung des Kabinendrucks eines Linienflugzeugs aus der Reishöhe bis zur Landung⁴.

Therapeutische Konsequenzen bestehen regelmäßig in der Versorgung des mechanisch geschädigten Hohlorgans im jeweiligen Fachgebiet (meist HNO-Klinik). Eine Rekompansionsbehandlung ist in der Regel auszuschließen und stellt eine Kontraindikation dar. Lediglich bei Innenohrstörungen (akute hypoxische Cochlea-Funktionsstörung) ist die hyperbare Oxygenationsbehandlung Bestandteil des therapeutischen Vorgehens.

B) Isopression – Intoxikationen

Beim Verweilen auf Tauchtiefe/Arbeitsdruck (Isopression) nach Erhöhung des Umgebungsdrucks (Gesamtdruck) werden in linearer Funktion die Teildrücke im Gasgemisch verändert. Bei unveränderter prozentualer Zusammensetzung des Atemgasgemisches kommt es zum Anstieg der absoluten Gas-Teildrücke. Diese Teildruckerhöhungen können zu toxischen Erscheinungen führen.

Die Intoxikationen unterliegen dabei einem Dosis-Zeit-Wirkungsmechanismus – Intoxikationseintritt und Intoxikationstiefe sind von der Dosis (Tauchtiefe/Partialdruck) und der Einwirkungszeit abhängig und bei den Einzelgasen sowie individuell unterschiedlich. Unter entsprechendem Umgebungsdruck und zunehmender zeitlicher Belastung kommt es zur Sättigung, eine zusätzliche Gasaufnahme ist dann nicht mehr möglich.

Gesetz nach Dalton

$$p_{\text{gesamt}} = p_1 + p_2 + p_3 + p_n$$

In einem Gasgemisch ist der Gas-Gesamtdruck die Summe der Gas-Teildrücke

I Gasvolumen

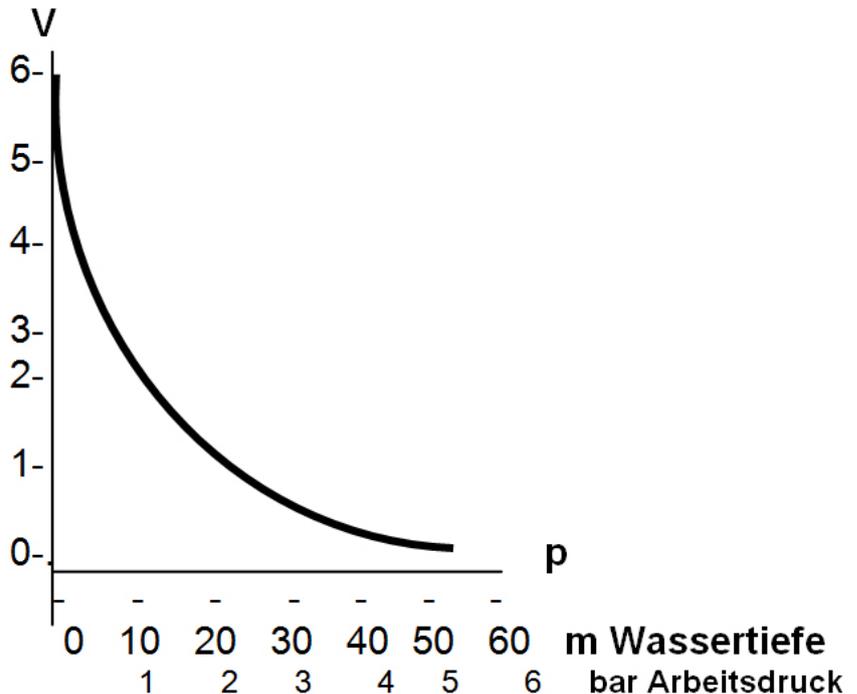


Abbildung 3: Druck-/Volumenkurve nach Boyle/Mariotte

1. Stickstoff (N₂)

Die Toxizität des Stickstoffs unter erhöhtem Umgebungsdruck führt zwar nicht direkt zu Körperschäden oder letalem Ausgang, kann aber mittelbar durch seine narkotische Wirkung (Tiefenrausch, Inertgasnarkose) Handlungen mit Körperschädigung oder letalem Ausgang induzieren. Bei einer ausgeprägten intra- und interindividuellen Empfindlichkeit gibt es sichere toxische Grenzbereiche nicht. Im Rahmen der Erfahrungswerte haben sich Faustregeln herausgebildet:

- ab 30 m Wassertiefe *kann* ein Tiefenrausch eintreten,
- ab 60 m Wassertiefe wird er *meist* eintreten,
- ab 90 m Wassertiefe wird er *immer* eintreten.

Eine weitere sicher nicht ernst erscheinende, aber doch im Ergebnis zutreffende Faustregel ist das „Law Martini“, das Martini-Gesetz, das besagt, dass die berauschende Wirkung des Stickstoffs pro 10 m Wassertiefe 1 Glas trockenem Martini mit Olive entspricht. Die Olive soll dabei die potenzierende Wirkung des Kohlendioxid-Teildrucks (pCO₂) auf die N₂-Intoxikation darstellen.

Diese Intoxikation „Tiefenrausch“ war ursprünglich in der Taucherei beschrieben, da allein hier die erforderlichen Arbeitsdrücke erreicht wurden. Hier kann das umgebende Medium bei Intoxikationen dann Ursache von tödlichen Verläufen sein (Ertrinken). In den letzten Jahren gewinnt der narkotische Einfluss des Stickstoffs auch im Druckluftbau zunehmend

an Bedeutung. Der höchstzulässige Arbeitsdruck liegt nach der aktuellen Druckluftverordnung bei 3,6 bar⁵. Hier ist die Arbeitssicherheit gefährdet.

Therapeutische Konsequenzen sind im Verlassen der toxischen Tiefe zu sehen.

Die Minderung des Umgebungsdrucks und damit des N₂-Teildrucks führt zum sofortigen Verschwinden der Symptome ohne weitere Folgeschäden. Überlegungen wie in der Taucherei (Ersatz des narkotischen Inertgases Stickstoff durch Helium) werden auch im Druckluftbau geführt (Technical Diving).

2. Technical Diving

Die Prävention der Stickstoffintoxikation besteht in der Veränderung des Atemgasgemisches. Bei Taucheinsätzen in Tiefen von 40 – 50 m und entsprechend längerem Aufenthalt in der Tiefe muss die Zusammensetzung des Atemgasgemisches wegen der bekannten Stickstoff-Toxizität geändert werden. Der Stickstoff wird dabei durch ein Gas mit geringerer zentral-nervöser Toxizität ersetzt. Dieses Tauchen mit veränderten Atemgasgemischen wird als „Technical Diving“ bezeichnet. Hier sind Helium/Sauerstoffgemische das Gas der Wahl, oberflächennah ist der Sauerstoff das Atemgas der Wahl.

3. Sauerstoff

Dieses Gas hat praktisch Eingang in den Druckluftbau gefunden, als nach der Druck-

Luftverordnung die Druckminderung des Umgebungsdrucks (das Ausschleusen der Druckluftarbeiter) ab einer Arbeitstiefe von 0,7 bar Arbeitsdruck regelhaft unter Sauerstoffatmung zu erfolgen hat. Diese Maßnahme hat nachweislich seit 1997 zur signifikanten Senkung von Stickstoffkrankungen geführt.

Mit zunehmendem Umgebungsdruck können durch die Teildruckerhöhung toxische Grenzbereiche überschritten werden – z. B. Stickstoffvergiftung (Tiefenrausch, Inertgas-Narkose), Sauerstoffvergiftung (Sauerstoff-Krampf). Die toxische Wirkung als solche ist bekannt, feste Grenzen aber nicht immer festzulegen. Gegenüber der Sauerstoffteildruckerhöhung besteht beim Menschen eine hohe inter- und intraindividuelle Empfindlichkeit. Gesichert ist nur, dass es bei Tauchtiefen flacher als 5 m eine akute Sauerstoffvergiftung nicht gibt. Sauerstoffintoxikationen beim Ausschleusen im Druckluftbau sind bis heute in Deutschland nicht beschrieben.

C) Dekompression –

Dekompressionsschädigung (DCS)

Während in der Isopression die Aufsättigung der Gewebe durch die Atemgase, vorzugsweise des Stickstoffs, die Beanspruchung darstellt, ist dies beim Aufstieg zur Wasseroberfläche (Dekompression, Druckminderung als Belastung) die Entsättigung der Gewebe.

Neben den schädigenden mechanischen Veränderungen (Barotrauma) und den veränderten toxischen Eigenschaften (Intoxikationen), die vorzugsweise in den Phasen des Abtauchens und des Verweilens auf der Tiefe in Abhängigkeit von der Verweildauer (Dosis/Zeit-Wirkungsmechanismus) auftreten, führt die Erhöhung des Umgebungsdrucks mit Erhöhung der Gas-Teildrücke in Abhängigkeit vom Löslichkeitskoeffizienten des Gases und der Flüssigkeit (Gewebe) sowie der Temperatur zu einer zunehmenden Gas-Sättigung in Gewebe und Körperflüssigkeiten. Entsprechend der Massenverteilung im Atemgas ist auch hierbei der Stickstoff dominierend.

Gesetz nach Henry (am Beispiel Sauerstoff)

$$O_2 \text{ (ml)} = K \cdot pO_2 \text{ (bar)}$$

Ein Gas geht entsprechend seinem Löslichkeitskoeffizienten (K) und der Temperatur in einer Flüssigkeit unter zunehmendem Umgebungsdruck in Lösung

Nach dem Gesetz von Henry geht ein Gas unter Druckerhöhung in Flüssigkeit in Lösung. Hierbei wird ein Gas, das schnell in Lösung geht, aber auch schnell verlässt, als „schnelles Gas“ bezeichnet (z. B. Sauerstoff, Helium). Ein „langsameres Gas“ geht langsam in einem Gewebe in Bindung, verlässt es aber auch lang-

sam (Stickstoff). Ein Gewebe, das schnell ein Gas bindet, wird als „schnelles Gewebe“ bezeichnet (Blut, Muskulatur), ein Gewebe mit langsamer Gasaufnahme und langsamer Gasabgabe als „langsameres Gewebe“ (Fett, Bänder, Knochen). Die Bindung eines „langsamen Gases“ wie Stickstoff an ein „langsameres Gewebe“ wie Fett oder fettähnliche Gewebe ist die Austauschprozedur mit den größten Problemen in Akut- und Spätphase. Die Kenntnis und Beeinflussung ist für eine komplikationsarme Entsättigung (Dekompression) unerlässlich. Da die Auf- und Entsättigung in unterschiedlichen Geweben unterschiedlich schnell erfolgt, werden die Sättigungsvorgänge an definierten Gewebekompartimenten berechnet und daraus die Austauschprozedur abgeleitet. Da der Stickstoff mit 78 Vol. % das Atemgas dominiert, sind die Sättigungsergebnisse dieses langsamen Gases in den langsamen Geweben die Grundlage der üblichen Entsättigungszeiten.

Weiterhin ist eine vollständige Entsättigung mit Partialdruckgleichgewicht zwischen Körper und Umgebung nie erreichbar, eine labile Restsättigung ist nach Erreichen der Oberfläche für ca. 6 Stunden anzunehmen und kann unter entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen toleriert werden. Wegen der in diesem Zeitraum nachweisbaren Gasblasen - in der Regel Mikrobubbles, die ab einer Größe von 40 µm einzeln nachweisbar sind, bei größeren

Inertgas im Gewebe

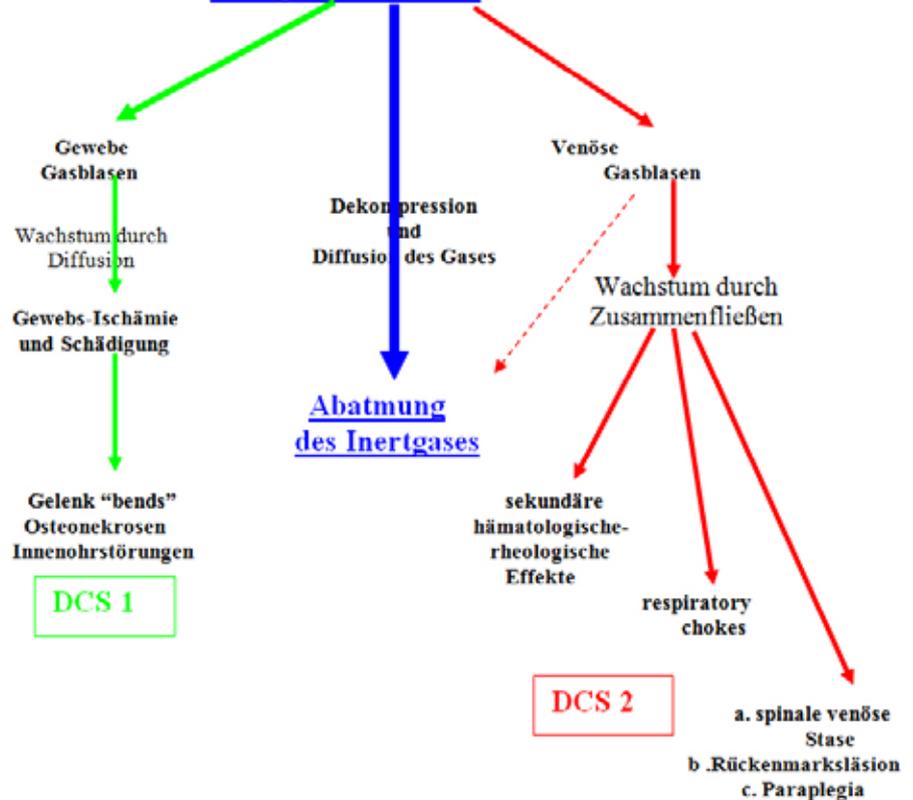


Abbildung 4: Inertgas – Abbau bei Dekompression nach Bennett/Elliott

Gasmengen bereits ab 20 µm – sind die immer wieder vorgeschlagenen Übungen zur besseren Gaseliminierung und „Prävention“ von Blasesymptomen wie gymnastische Übungen, heiße Duschen etc. zu vermeiden, da durch Zusammenschütteln stummer Mikrobubbles leicht Makrobubbles mit klinischer Symptomatik im Sinne von Dekompressionserscheinungen vom Typ DCS 1 oder DCS 2 entstehen können.

Diese klinischen Krankheitsbilder sind bei Tauchern und Druckluftarbeitern das klassische „Dekompressionstrauma“. Die klinischen Symptome hängen von der Lokalisation der Blasen-Freisetzung ab (Abbildung 4).

Das Freiwerden von Gasblasen im Gewebe führt zu zunehmender Schmerzsymptomatik nach Erreichen des Oberflächendrucks. Diese Schmerzsymptomatik ist resistent gegen übliche Analgetika. Lediglich mit nichtsteroidalen Antirheumatika (NSA) können die Schmerzen beeinflusst werden. Beschwerdefreie Intervalle bis zu 36 Stunden sind selten.

Therapeutische Konsequenzen

Die schnelle Rekompressionsbehandlung ist immer die Methode der Wahl. Die Diagnose eines Dekompressionstraumas durch Blasenfreisetzung ist nicht immer klar. Bei dem geringsten Verdacht auf eine DCS hat die Rekompressionsbehandlung nach den vorge-

schlagenen Prozeduren⁶ durch den Druckluftarzt zu erfolgen. Die prompte Beschwerdefreiheit nach Rekompensation ist dabei als Beweis für eine Stickstoffschädigung durch Dekompensation anzusehen.

Auch hier hat der Gesetzgeber in der Druckluftverordnung für den Druckluftbau die Bereitstellung einer Dekompensationskammer (Krankenschleuse) ab einem Arbeitsdruck von 0,7 bar zwingend vorgeschrieben.

D) Gasvolumenveränderungen beim Aufstieg - Atemgasembolie (AGE)

Dieses schwere Dekompensions-Trauma des Gerätetauchers wird hier nur der Vollständigkeit wegen erwähnt. Im Druckluftbau ist eine solcher Pathomechanismus nicht möglich, da eine rasante Druckveränderung mit entsprechender Druckdifferenz in der Lunge wie beim Notaufstieg des Tauchers i.d.R. nicht nachvollzogen werden kann.

Die Atemgasembolie (AGE) ist die schwerste Komplikation beim Taucher in der Dekompensionsphase. Sie wird durch Veränderungen des Atemgasvolumens im Respirationstrakt ausgelöst und ist vom Volumenumfang und dem Abfall des Umgebungsdrucks in der Zeiteinheit entsprechend dem Gesetz von Boyle und Mariotte abhängig. Dieses Schadensereignis ist im Gegensatz zur DCS (Freiwerden physikalisch gelöster Gase -N₂) ein Barotrauma der Lunge und wird auch heute noch gelegentlich wegen der Druckabnahme in der Umgebung als **Lungenüberdruckbarotrauma** bezeichnet. Sie ist also primär eine mechanische Schädigung des luftgefüllten Hohlorgans Lunge. Dadurch werden Atemgasblasen in den alveolären Kapillarbereich eingeschwemmt mit entsprechend disseminierten Atemgasembolien im arteriellen Versorgungsbereich, vorzugsweise im cerebralen Versorgungsgebiet.

Therapeutische Maßnahmen dürfen hierbei selbstverständlich nicht auf die Rekompensationsbehandlung beschränkt sein. Das Schadensereignis einer AGE ist immer ein intensivpflichtiges Krankheitsbild.

E) Spätfolgen nach Überdruckexposition - Aseptische Knochennekrosen

Neben Schäden am Zentralnervensystem, am Innenohr und am N. stato-akusticus und möglicherweise im Gerinnungssystem ist die Manifestation von Schäden durch Überdruckexposition am Skelettsystem lange bekannt. Aseptische Knochennekrosen der Röhrenknochen beim Erwachsenen im Erwerbsalter sind selten und in der Regel ohne großen Krankheitswert. Sie werden in den Lehrbüchern der Orthopädie und Radiologie als *Leave-me-alone-lesions* beschrieben und bedürfen im Schaftbereich keiner therapeutischen Konsequenzen. Die Einstellung ändert sich natürlich mit zunehmender Nähe des ossären Pro-

zesses zum Gelenk. Die Häufung dieser doch schmerzhaften arthrotischen Veränderungen wurde seit der Jahrhundertwende mit zunehmender Tätigkeit im Caisson- und Tunnelbau im Zusammenhang mit Überdruckexposition beschrieben. Diese Knochenveränderungen wurden mit Beginn systematischer ärztlicher Versorgung bei Druckluft- und Tunnelarbeitern und Tauchern mit auffälliger Häufung festgestellt (*Bornstein, von Schötter, Grützmaier, Wünsche, Alnor, Rozahegy*). Derweil im gewerblichen Bereich die Fälle erfasst werden, gibt es Angaben über die Inzidenz der Osteonekrose beim Freizeittaucher nicht.

Taucher mit akuten Dekompensationserkrankungen (z. B. Bends) wiesen immerhin zu 10% sichere Läsionen am Skelettsystem auf, bei leerer Anamnese fanden sich nur bei 2% Veränderungen. Rozahedgy fand in ca. 50% der Fälle von Druckluftarbeitern mit Knochennekrosen eine leere Anamnese. Alle Daten zeigen einen sicheren Zusammenhang zwischen der Inzidenz von Knochennekrosen und der Belastungsdauer, wobei der einmal erreichten Tauchtiefe und nicht so sehr der Lebenstauchbelastung die hervorragende Bedeutung für das Osteonekrose-Risiko im Dosis-Wirkungs-Prinzip zukommt:

Bis heute hält sich die Auffassung, dass sich die Bends und auch die Osteonekrosen beim Taucher im Bereich der großen Gelenke der oberen Extremitäten, vorzugsweise der Schultergelenke der Arbeitsseite, bei Druckluftarbeitern im Bereich der unteren Extremitäten, vorzugsweise der Kniegelenke der Arbeitsseite, manifestieren. Alnor hatte in einem Kollektiv von 131 Tauchern vorzugsweise Schulter- und

Kniegelenke, nicht jedoch Hüftgelenkveränderungen beschrieben. Bühlmann konnte bereits nachweisen, dass im Prinzip alle Gelenke befallen werden können, unabhängig von trockener oder nasser Überdruckexposition. Bevorzugt sind die Kniegelenke. Das British Decompression Sickness Registry hatte nach Auswertung von 6.500 Tauchern und Druckluftarbeitern bei 4,2% Knochennekrosen nachgewiesen, von denen bei einem Viertel die Lokalisation juxta-artikulär war. Bei 3,1% aller Fälle wurden dysbare Veränderungen im Kopf, Hals und Schaft nachgewiesen. Die Veränderungen wurden nach *radiological parameters of aseptic bone necrosis* klassifiziert (Abbildung 5). Gelenkeinbrüche mit entsprechenden funktionellen Ausfällen fanden sich lediglich bei 0,15%. Diese Größenordnung ist unseren deutschen Zahlen der DGUV (des ehem. Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften) vergleichbar (bis 2003).

In Kenntnis des exponierten Personenkreises und der Inzidenz von Erkrankungen durch Überdruck in den letzten zehn Jahren müssen Spätfolgen, Erwerbsminderung und Suchverfahren im Rahmen spezieller arbeitsmedizinischer Vorsorgeuntersuchungen relativiert werden; nicht alle Osteonekrosen bei im Überdruck arbeitenden Personen erfüllen die haftungsbegründende Kausalität (auch wenn sie haftungsausfüllend imponieren). Screenings mit bildgebenden Verfahren bei begründetem klinischen Verdacht sind indiziert und bedürfen keiner Diskussion. Die erste ergänzende Untersuchung ist immer die klinische, die postprimär durch Nativ-Röntgenaufnahmen gestützt werden sollte. Ist der klinische Befund auf ein Gelenk fixiert, das Röntgenbild leer, sollte nach

Abbildung 5: Radiologische Klassifikation der dysbaren Knochennekrosen (British decompression sickness panel)

A) Juxta-artikulär	B) Head, Neck and Shaft Lesions
A) 2. Spherical segmental opacities	B) 1. Dense area
A) 3. Linear opacities	B) 2. Irregular calcified areas
A) 4. Structural failures - translucent subcortical band - Collapse of articular cortex - Sequestration of cortex	B) 3. Transradiant areas
A) 5. Osteoarthritis	

erneuter einmaliger Röntgenkontrolle drei Monate später das MRT durchgeführt werden. Bei klinischem Verdacht und disseminierten Beschwerden im muskulo-skeletalen Bereich sollte die Skelettszintigrafie als reines Screening erfolgen, die weitere Differenzierung mit MRT sollte aus Gründen therapeutischer Konsequenzen erfolgen (Ausdehnung des Herdes zur Spongiosa-Auffüllung). Die angeführten bildgebenden Verfahren zum Screening ohne klinische Anhaltspunkte halte ich aus Gründen der unnötigen Strahlenbelastung und erheblicher Kosten nicht für vertretbar. Auch die Suche bei stärker exponierten Tauchern, die regelmäßig über 30 m Tiefe gearbeitet haben, wie vom Schifffahrtmedizinischen Institut der Marine (SchiffMedInstM) in Kronshagen bei Kiel vorgeschlagen, halte ich nicht für vertretbar, da therapeutische Konsequenzen nicht in Frage kommen. Die Suche nach dysbaren Prozessen im Skelettsystem nach Dekompressionserkrankungen halte ich für berechtigt.

Bei Druckluftarbeitern und exponiertem Personal in Druckkammern zu therapeutischen Zwecken sollte zurzeit bei Erreichen des 50. Lebensjahres eine intensive Nachuntersuchung unter Ausschöpfung aller diagnostischen Möglichkeiten erfolgen. Nach der Druckluftverordnung (DLVO) ist die Exposition bei diesem Personenkreis mit dem Erreichen der 50-Jahresgrenze nur noch mit Ausnahme genehmigung möglich, die Knochennekrosen können aber noch nach Expositionsende auftreten. Eine obligate Untersuchung vor Ablauf von jeweils <12 Monaten nach dem Grundsatz 31 entfällt damit. Die Aufbewahrungspflicht für Gesundheitsunterlagen beträgt nach § 10 DLVO zehn Jahre. Es besteht somit ein nicht dokumentierter Zeitraum von fünf Jahren, sodass mit Erreichen des 65. Lebensjahres vorher nicht dokumentierte Veränderungen zu Schwierigkeiten in der Entschädigungsfrage führen können (Nachweispflicht des Versicherten). Diese Versorgungslücke muss sicherlich vom Gesetzgeber geschlossen werden.

- 1 Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008 Teil I Nr. 62 vom 23. Dezember 2008
- 2 Verordnung über Arbeiten in Druckluft (Druckluftverordnung) zuletzt geändert durch Art. 6 V v. 18.12.2009
- 3 Langenscheidts Wörterbuch Latein-Deutsch/Deutsch-Latein
- 4 Der Kabinendruck eines Linienflugzeuges in Reisehöhe ist entsprechend einer Höhe von 2500 m eingestellt (0,75 bar). Beim Landeanflug wird damit eine Druckdifferenz von 0,25 bar erreicht.
- 5 3,6 bar Arbeitsdruck entspricht 36 m Wassertiefe.
- 6 BGI 690 Behandlung von Erkrankungen durch Arbeiten in Druckluft und Taucherarbeiten.

Literatur

1. ALNOR PC (1963) Die chronischen Skelettveränderungen bei Tauchern. In: Brun's Beiträge zur klinischen Medizin, Bd. 207, Heft 4, Urban&Schwarzenberg V
2. BÜHLMANN AA (1995) Dekompressionskrankheit. In: Bühlmann AA Tauchmedizin 4. Aufl. Springer-Verl. Berlin-Heidelberg: 33-37
3. EDMONDS C, LOWRY CH, PENNEFATHER J (1992) Diving and subaquatic medicine. Butterworth-Heinemann Ltd. Oxford : 448-474
4. EVANS A, KING JD, MCCALLUM RI, WALDER DN, GOLDING FC, TROWBRIDGE WP, DAVIDSON JK, GRIFFITHS PD (1981) Aseptic bone necrosis in commercial divers. A report from the decompression sickness central registry and radiology panel. Lancet 2 (8243): 384-388
5. FAESECKE KP (1993) Wie sicher sind „sichere“ Dekompressionsverfahren? In: Tauchmedizin 5. Ecomed Verl. : 8-10
6. FAESECKE KP (1997) Arbeit in Überdruck. Diss. Univ. Hamburg.
7. GRÜTZMACHER KT (1941) Veränderung am Schultergelenk als Folge von Drucklufterkrankung. Röntgenpraxis 13: 216-218
8. HORVATH F, ROSZAHEGYI I (1973) Bedeutung der Tomographie für die chronische Caisson-Osteoarthropathie. Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin 11/9/5: 610-618
9. KINDWALL EP, NELLEN JR, SPEGELHOFF DR (1982) Aseptic necrosis in compress air tunnel workers using occupational safety and health administration USA decompression schedules. J.occup.med. 24 (10): 741-745
10. KLINGMANN CH, TETZLAFF K (Hrsg.) (2007) Moderne Tauchmedizin. Gentner-Verl. Stuttgart
11. LEHMANN, TIRPITZ D (2008) DCS-Krankheit oder Unfall? In: Ludolph-Lehmann-Schürmann. Kursbuch der ärztlichen Begutachtung. Ecomed Verl. : IV-1.0
12. MCCALLUM RI, HARRISON AB (1995) Dysbaric osteonecrosis: aseptic necrosis of bone. In: Bennett, Elliott .The Physiology and Medicine of Diving. WB Saunders Comp. Ltd: 561-585
13. TETZLAFF K, KLINGMANN CH, MUTH C-M, PIEPHO T, WELSLAU W (Hrsg.) (2009) Checkup der Tauchtauglichkeit. Gentner-Verl. Stuttgart
14. POSER H, GABRIEL-JÜRGENS P (1977) Knochen- und Gelenkveränderungen durch Druckluft bei Tauchern und Caissonarbeitern. Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin 12/6/2: 156-160
15. PRESSEL (1998) Berufskrankheit 2201. In: Konietzko-Duouis Handbuch der Arbeitsmedizin. Ecomed-Verl. : IV -8.8.1: 19-24
16. ROSZAHEGYI I (1989) Begutachtung der Dekompressionsätiologie von Gesundheitsschäden. In: Lorenzoni-Seemann Tauchmedizin 4. Schlütersche Verlagsbuchhandlung: 1-6
17. ROSZAHEGYI I, DEÁK P, DÉVAI J (1955) Echte spontane Abbildung des Gelenkspaltes bei Caissonarbeitern. Acta medica VIII.2: 404-411
18. TIRPITZ D (1990) Arthroskopische und feingewebliche Befunde nach Dekompressionskrankheit Typ I am Knie. In: Ehm-Gerstenbrand-Lorenzoni Tauchmedizin 5 . Ecomed Verlagsges.: 27-34
19. TIRPITZ D: Dysbare Osteonekrosen – typische Spätfolgen am Skelettsystem beim Taucher. ErgoMed 1998; 1, 22: 3-9
20. TIRPITZ D (2007) Berufskrankheit Nr. 2201: Erkrankungen durch Arbeit in Druckluft. In: Ludolph-Lehmann-Schürmann. Kursbuch der ärztlichen Begutachtung. Ecomed Verl.: III-1.14.14.2201
21. VAN LAAK U (1991) Die aseptische Knochennekrose beim Druckluftarbeiter und Taucher. Caisson Nr. 4, 6.Jg: 144-151
22. WÜNSCHE O, SCHEELE G (1974) Aktuelle Diagnostik: Röntgenuntersuchungen der Knochen und Gelenke bei Druckluftarbeitern. Zentr.BI.Arbeitsmed 24/11: 325-331
23. SCHULTZE J, NAUER T, SCHULTZE S (1969) Magnetresonanztomographie in der arbeitsmedizinischen Begutachtung dysbarer Osteonekrosen. Arbeitsmed Sozialmed.Umweltmed 31: 449-456