

# **Tieferes Tauchen mit traditioneller Pressluft**

Sporttauchen außerhalb der  
Grenzen des von PADI et. al. propagierten sog.  
„Recreational Diving“: Physiologie, Dekompression,  
Praxis.

von Peter Rachow

Danke an C. Prutscher und C. Zink für Hinweise und Korrektur

Letzte Überarbeitung: Montag, 7. Juli 2003

# **1. DAS OBLIGATE VORWORT ..... 5**

# **2 VORÜBERLEGUNGEN ..... 8**

## **2.1 Die Ausrüstung ..... 8**

### 2.1.1 Die Atemregler ..... 8

#### 2.1.1.1 Kolben- oder membrangesteuerte Regler? ..... 9

#### 2.1.1.2 Wieviel Regler braucht man? Das magische Wort „Redundanz“. ..... 10

### 2.1.1.3 Der Luftvorrat ..... 11

### 2.1.2 Instrumentierung und Redundanz ..... 11

### 2.1.3 Auswahl eines geeigneten Tauchanzuges ..... 13

#### 2.1.3.1 Konfiguration des Inflators des Trockentauchanzuges ..... 13

##### 2.1.3.1.1 Tarierjacket und Trockentauchanzug werden an die gleiche erste Stufe angeschlossen (Zweitregler), die Atemluftversorgung des Tauchers ist am Hauptregler. 14

##### 2.1.3.1.2 Tarierjacket und Trockentauchanzug sind an verschiedene erste Stufen angeschlossen ..... 14

#### 2.1.3.2 Tarieren ..... 15

### 2.1.4 Tarierung und Tarierhilfen ..... 17

### 2.1.5 Instrumente für die Dekompression ..... 18

#### 2.5.1.1 Der Tiefenmesser ..... 18

#### 2.5.1.2 Die Taucheruhr ..... 19

#### 2.5.1.3 Die Dekompressionstabelle ..... 20

##### 2.5.1.3.1. Was kann die Dekotabelle? ..... 21

##### 2.5.1.3.2. Der Aufbau der Tabelle: ..... 21

##### 2.5.1.3.4. Wiederholungstauchgänge ..... 23

## **2.2 Personale Voraussetzungen für Tieftaucher ..... 24**

### 2.2.1 Ausbildung ..... 25

### 2.2.2 Training ..... 25

#### 2.2.2.1 Verhalten bei Luftmangel und/oder Ausfall des Atemreglers ..... 27

##### 2.2.2.1.1 Einsatz des Zweitreglers ..... 27

##### 2.2.2.1.2 Wechselatmung ..... 28

### 2.2.3 Erfahrung als Vorbedingung für sicheres Tieftauchen ..... 29

### 2.2.4 Persönliche Physiologie ..... 30

### 2.2.5 Psychologische Aspekte ..... 31

# **3 ETWAS PHYSIK UND PHYSIOLOGIE FÜR TAUCHER..... 33**

<b>3.1 Die Physiologie des Menschen unter Druckluftatmung.....</b>	<b>33</b>
3.1.1 Dekompressionsproblematik.....	35
3.1.1.1 Physiologie der Dekompression .....	35
3.1.1.1.1 Luft und ihre physikalisch-/physiologische Bedeutung .....	35
3.1.1.1.2 Druck und Partialdruck.....	36
3.1.1.1.3 Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten.....	37
3.1.1.1.4 Welche Inertgasmenge kann sich in einer Flüssigkeit oder einem Körpergewebe lösen?.....	37
3.1.1.1.5 Stickstoff als Inertgas.....	38
3.1.1.1.6 Sättigung und Entsättigung in den Körpergeweben .....	39
3.1.1.1.7 Verlauf der Lösungskurven .....	39
3.1.1.1.8 Sättigungsverlauf verschiedener Gewebe .....	40
3.1.1.1.9 Welche Gewebe sind beim Sporttauchen relevant?.....	41
3.1.1.1.10 Die Entsättigung.....	42
3.1.1.1.11 Übersättigung und Sättigungstoleranzen.....	42
3.1.1.1.12 Verzögerte Entsättigung .....	44
3.1.1.1.13 Mikrogasblasen .....	44
3.1.1.1.14 Stickstoffabgabe über die Lunge .....	44
3.1.1.1.15 Dekompression in der Praxis.....	45
3.1.1.1.16 Nullzeittauchgänge sind nicht wirklich sicher: Der ewige Streit "Nullzeit-TG" vs. "Deko-TG" .....	46
3.1.1.1.17 Gestaltung der Austauschphase bei Dekompressionstauchgängen.....	48
3.1.1.1.18 Austauschen unter vermindertem Umgebungsdruck (Bergseetauchen).....	49
3.1.1.1.19 Die Bedeutung der Aufstiegsgeschwindigkeit.....	49
3.1.1.1.21 Tipps für die Tauchsicherheit.....	51
3.1.1.1.22 Dekompressionsunfälle/Dekompressionskrankheit (DCS, decompression sickness) .....	52
3.1.1.1.21 Behandlung der DCS .....	53
3.1.1.1.22 Alternative Behandlungsmöglichkeiten.....	54
3.1.1.1.23 Ausgelassene Dekompression und kurzes Austauschen, Luftmangelsituation	54
3.1.1.1.24 Falsche Annahmen und Aussagen zur Dekompression.....	55
3.1.1.1.25 Kleines Glossar zur Dekompression.....	56
3.1.1.1.26 Häufig gestellte Fragen zur Dekompression.....	56
3.1.2 Sauerstoffvergiftungen .....	65
3.1.2.1 Zentralnervensystem (Paul-Bert-Effekt).....	65
3.1.2.2 Pulmonale Sauerstoffvergiftung (Lorraine-Smith-Effekt) .....	66

## **4. TIEFTAUCHEN IN DER PRAXIS..... 67**

<b>4.1 Planung der Luftmenge .....</b>	<b>67</b>
4.1.1 Das „praxisorientierte“ Verfahren: Die „Drittel-Regel“ .....	67

4.1.2 Das „theorieorientierte“ Verfahren: Die Vorhersage des Luftverbrauchs.....	68
4.1.2.1 Rechenweg mit Beispielrechnung:.....	68
4.1.2.2 Limitierungen.....	69
4.1.2.3 Praxiserwägungen .....	69
<b>4.2 Notfallprozeduren .....</b>	<b>70</b>
4.2.1 Praktische Maßnahmen bei den verschiedenen Störungen eines Tauchgangs.....	70
<b>4.3 Tauchgangskontrolle .....</b>	<b>73</b>
<b>4.4 Umgang mit der Stickstoffnarkose.....</b>	<b>75</b>
<b>4.5 Tieftauchen in Wracks .....</b>	<b>76</b>
<b>5. ANHANG .....</b>	<b>78</b>
5.1 Dekotabelle für Luft bis 81 m Wassertiefe.....	78
<b>6. ÜBUNGEN FÜR DAS GERÄTETAUCHEN UND DAS TIEFTAUCHEN .....</b>	<b>82</b>
6.1 Übungen mit der Maske.....	82
6.2 Reserve (nur bei bei älteren PTG): .....	82
6.3 Aufstiegsübungen/Tarieren.....	82
6.4 Simulation von Luftmangel (OOA, out of air) .....	82
6.5 Vereisung .....	83
6.6 Gerätehandhabung.....	83
6.7 Notaufstieg .....	83
6.8 Tauchtabelle/Dekotauchgänge .....	83
6.9. Übungen ***-Brevet o.ä. Zertifikat.....	83
<b>7. LITERATUR ZUM WEITERLESEN .....</b>	<b>85</b>

# 1. Das obligate Vorwort

Vorher gleich ein sehr wichtiger Hinweis: Diese Arbeit wird sie definitiv nicht in die Lage versetzen, tiefere Tauchgänge in Bereiche, die sie grundsätzlich nicht beherrschen und möglicherweise nie beherrschen werden, durchzuführen. Wenn Sie zu der Gruppe von Freizeittauchern gehören, die den "absoluten Kick" unter Wasser suchen, die "heuer noch den 100er im See machen" wollen oder die sich und anderen irgend etwas beweisen müssen, sind Sie hier **grundsätzlich falsch!** Sie sollten dann doch besser einen Psychiater konsultieren.

Dieser Text ist nichts für Desperados und/oder rekordsüchtige Wirr- oder schlimmstenfalls Dummköpfe auf der Suche nach dem "ultimativen Thrill". "Ultimativ" heißt nämlich übersetzt "letzlich". Und dass Ihr tiefer Tauchgang nicht ihr letzter bleibt, wollen wir alle hoffen. Denken Sie einfach auch an jene Menschen, die Ihre Leiche im Bedarfsfalle bergen müssten, wenn Sie selbst dazu schon lange nicht mehr in der Lage sind, da sich in Ihrer Lunge ca. 1 Liter Wasser befindet und Sie zu diesem Zeitpunkt wegen akuten multiplen Organversagens bereits in der Auflösung Ihrer körperlichen Strukturen befindlich sind.

Diese Ausarbeitung wendet sich nur an Sporttaucher mit einem funktionierenden Verstand, ausgeglichener seelischer Verfassung, mit solider Taucherfahrung (500 bis 600 Tauchgänge mindestens, und das nicht nur auf den Malediven, sollten es schon sein) und der Fähigkeit zur distanzierten und kritischen Analyse der eigenen Motivation und des eigenen Handelns. Wenn Sie über etwas davon nicht verfügen, lassen Sie es sein!

Diese Arbeit ist nicht verfasst worden für Menschen, die meinen, mit einer hohen Tiefe im Logbuch vor anderen herumprahlen zu müssen um ihre Minderwertigkeitsgefühle zu kompensieren. Der Aufsatz soll Ihnen i. W. eine Hilfestellung sein, nicht einmal so weit zu tauchen wie sie es theoretisch in der Mehrzahl der Fälle tun könnten. Denn unter bestimmten Umständen kann das schon zu viel sein. Er soll ihnen dagegen vor Augen führen, dass sicheres Durchführen von tieferen Tauchgängen gebunden ist an die Kompetenz des Tauchers zu bewusstem und vernunftbasiertem Handeln und nicht an den Erwerb von ebenso teuren wie nutzlosen "Techauchzertifikaten".

Diese absolut notwendige Kompetenz entwickelt sich aber nur in langer Übungszeit. Die Fähigkeit zu besitzen, Situationen vor dem Tauchen ebenso wie unter Wasser richtig einzuschätzen und entsprechend zu handeln, impliziert vorangegangenes langes und bewusst durchgeführtes Training. "Bewusstes Training" erlangen Sie aber nicht mit einen wie auch immer gearteten Schnellkursus oder indem Sie sich einfach "tief 'runter stürzen" sondern ausschließlich durch immerwährende und sich langsam im Schwierigkeitsgrad steigende Übung.

Um sicher tiefer tauchen zu können, müssen Sie vor allem eines können: **DENKEN**.

---

Tieferes Tauchen mit Pressluft. Dies ist heute ein ziemliches Tabuthema im Tauchsport! Rechnen Sie damit, dass man sie für verrückt erklären wird, wenn sie das irgendwo ansprechen oder gar sagen, dass Sie sich dafür interessieren.

Tieftauchen mit Pressluft, so wird man ihnen erzählen, sei

- absolut selbstmörderisch,
- außerdem hochgefährlich. Man wird sie bei dieser Gelegenheit auf hunderte Tote verweisen, von denen man allerdings, wenn Sie nachfragen, erklären wird, man wisse zwar nicht genau wo, wie und wann diese Leute gestorben seien, aber es gäbe sie, ganz sicher sogar, man habe schließlich davon gehört.
- völlig sinnlos sei, da es viel bessere Atemgase gäbe. Dies werden sie besonders von Leuten hören, die zwar erst wenige Jahre tauchen, aber schon auf der "Tekk-Schiene" sind. Man wird Ihnen allerdings nicht erzählen, dass Sie dann für einen Tauchgang Kosten in der Höhe des Zehnfachen eines normalen Presslufttauchgangs aufzuwenden haben, abgesehen von den weiteren Ausrüstungsteilen, die Sie benötigen.
- etc...

Unser Rat: Legen Sie diese Aussagen erst einmal beiseite. Bleiben Sie indes kritisch, reflektieren Sie und bilden Sie sich eine eigene Meinung. Wir werden später auf manches Argument zurückkommen. Apropos „Kritik“: Bleiben Sie kritisch, sich, anderen und vor allem diesem Text gegenüber. Was Sie brauchen ist eine eigene, wohlbegründete Meinung zum Thema „Tieftauchen“. Setzen Sie sich damit auseinander. Dazu soll dieser Text anregen.

Was ist also die Realität? Das Tieftauchen mit Pressluft wird seit Jahrzehnten betrieben. Viele Tauchgänge, die Sporttaucher heute unternehmen, führen in Tiefen von 50, 60 oder 70 Metern. Die für das Tieftauchen mit Luft entwickelten Dekompressionsverfahren sind sehr weit entwickelt, in der Praxis erprobt und hinreichend sicher. Viel können Sie selbst dazu tun, um Ihre tiefen Tauchgänge sicher zu gestalten, was das ist, wollen wir später besprechen.

Natürlich, so sagen viele Gegner, dass es doch Unsinn sei, so tief zu tauchen, wobei sie offen lassen, wie tief eigentlich „tief“ ist. Und, wir sagen natürlich auch, dass wir diesen Tauchern nicht absprechen wollen, nur flach zu tauchen. Aber, so muss man einwenden, es gibt viele Stellen an denen es sich unstreitig lohnt, die immer wieder gehandelten Tiefengrenzen, die von den verschiedenen Verbänden und Tauchsportorganisationen so

eifrig propagiert werden, zu überschreiten. Seien es die Wracks an der Côte d'Azur, die schwarzen Korallen im Mittelmeer oder der „Torbogen“ am Elphinstone Reef im südlichen Roten Meer. Alle diese Orte (und noch viel mehr) lohnen es, tiefer zu tauchen, ohne sich gleich die volle Logistik (und die Kosten) des Mischgastauchens aufladen zu müssen. Um dort sicher zu tauchen brauchen Sie jedoch die Kompetenzen, auch tiefere Tauchgänge mit Pressluft sicher durchführen zu können.

**Aber, das Wichtigste ist: Planen Sie alle Ihre Tauchunternehmungen mit klarem Verstand und seien Sie sich absolut im Klaren darüber, dass Ihr beabsichtigtes Unterfangen potenziell risikobehaftet ist! Handeln Sie entsprechend rational und vernünftig. Und zwar unter allen Umständen.**

Wir wollen später noch unterscheiden zwischen dem Tieftauchen in Warm- und in Kaltwasser, weil bei letzterem besonderes hohe Anforderungen an die Ausrüstung und mentale Situation der Tauchenden zu stellen sind. Die damit verbundenen Sachverhalte sollen auch ausführlich besprochen werden.

Abschließend: Vieles in diesem Text wird an der einen oder anderen Stelle wiederholt. Das ist Absicht. Lernen geschieht auch über Wiederholungen. Dinge die wiederholt werden, sind i. d. R. wichtig. 😊

## 2 Vorüberlegungen

Wenn schon Sporttauchen eine technisch ausgerichtete Freizeitbeschäftigung ist, so müssen für das erfolgreiche Tieftauchen mit Pressluft noch mehr Vorbedingungen erfüllt sein, seien sie ausrüstungstechnischer oder persönlicher Art. Ohne eine Optimierung der Technik und des Menschen geht es beim Tieftauchen nicht. Tieftauchen ist Tauchen nahe an einer Grenze entlang. Und, je näher Sie an der Grenze sind, desto besser muss alles funktionieren und harmonieren.

**Was ist die maximale Tiefe mit Pressluft?** Diese Frage kann man so nicht beantworten. Für den einen sind 40 Meter Wassertiefe schon mehr als genug, der andere hat bei 70 Metern keine Probleme. Entscheidend sind die Erfahrungen, die zum Ausbilden einer persönlichen Grenztiefe führen. Aus unserer persönlichen Erfahrung liegt diese maximale Tauchtiefe für Pressluft in Süßwasser bei ca. 60 Metern, in Salzwasser unter sehr guten Bedingungen (Wärme, keine Strömung) bei ca. 75 Metern. Für uns (i. e. die Verfasser dieses Textes) beginnt dann die Zone, wo es wirklich gefährlich wird.

### 2.1 Die Ausrüstung

Dass an die Ausrüstung für das Tieftauchen andere Anforderungen zu stellen sind, als an Flachtauchgänge, die man heute üblicherweise z. B. in Urlaubsgebieten durchführt, erscheint logisch. Jedes Ausrüstungsteil, egal ob Atemregler, Tauchanzug oder Instrumente, muss den gesteigerten Anforderungen Rechnung tragen. Oft ist es so, dass Sie überlegen müssen, was Sie zum Tauchen brauchen und was nicht. Lassen Sie alles Überflüssige zu Hause und vermeiden Sie teuren technischen Schnickschnack, der nur Geld kostet, aber keinen Nutzen bringt.

Gehen wir nun also zuerst in die Details der Ausrüstung...

#### 2.1.1 Die Atemregler

Die Atemregler, die Sie verwenden, müssen an das umgebende Wasser und damit an dessen Temperatur angepasst sein. Da wir davon ausgehen, dass Sie auch Tieftauchgänge in kaltem Wasser durchführen wollen, hier ein paar Gedanken voraus, was die Kaltwassereinsatztauglichkeit von Atemreglern betrifft:

Moderne Atemregler entsprechen der Norm EN 250, ohne diese Zertifizierung sollten sie keinen Atemregler anschaffen. Sie werden wahrscheinlich auch keinen kaufen können, da auf dem Markt nur noch zertifizierte Regler angeboten werden.

Wenn Sie einen älteren Regler gebraucht kaufen, kann es sein, dass dieser kein "CE"-Zeichen und keinen Nachweis der Normentsprechung EN 250 aufweisen kann. Erkundigen Sie sich daher, ob der Regler im Kaltwasser tauglich ist. Am besten stellen Sie eine Anfrage in einem der zahlreichen Diskussionsforen im Internet. Wundern Sie sich aber nicht, wenn Sie von 10 Leuten 12 verschiedene Antworten erhalten. Aber als Übersicht ist dies ein recht brauchbares Verfahren.

Marken und Modelle, die erprobt kaltwassertauglich sind, sind die Regler von Apex (TX 50, TX 100), Poseidon, Scubapro (hier eher die älteren Modelle G 250, D 400, die neuen Regler G500 und Nachfolger sind zu instabil für extremen Kaltwassereinsatz) und die neueren Mares-Regler. Aber, auch wenn Ihr persönlicher Lieblingsregler jetzt nicht hier erscheint, so heißt das nicht, dass er nicht verwendbar wäre.

#### **2.1.1.1 Kolben- oder membrangesteuerte Regler?**

In Diskussionen hört man immer wieder, dass bestimmte Regler bauartbedingt nicht für Tieftauchen in Kaltwasser geeignet sein sollen. Sprechen wir also zuerst über die Bauformen der ersten Druckmindererstufe eines Atemreglers:

Diese Unterscheidung betrifft die Regelung des Mitteldruckes in der ersten Stufe. Bei dieser Regelung wird der umgebende Wasserdruck in den Regler geleitet und stellt eine Stellgröße dar, die ausgewertet wird und den Mitteldruck des Systems anpasst. So wird bei tieferem Tauchen der Mitteldruck angehoben und dadurch in Bezug zum Wasserdruck konstant gehalten, um in allen Tiefen eine auf den Außendruck bezogenen konstanten Luftlieferung zu erreichen.

Das Problem dabei ist, dass Wasser, das u. U. sehr kalt sein kann, in den Regler hineingeleitet werden muss, um den Wasserdruck auszuwerten. Gleichzeitig entstehen bei der Entspannung der Luft aus der Pressluftflasche am Hochdruckventil des Atemreglers durch den sog. *Joule-Thomson-Effekt* sehr niedrige Temperaturen. Diese können dazu führen, dass das Wasser, das in den Regler eingelassen wird und auf den Kolben eine Druckkraft ausübt, im Regler gefriert.

Dabei wird durch das sich ausdehnende Eis die Freigängigkeit des Kolbens behindert, mit dem Ergebnis, dass der Mitteldruck weit über die Grenzen seines ursprünglichen und korrekten Wertes hin ansteigen kann (bis über 40 bar). Die zweite Stufe kann diesem Druck nichts entgegen setzen und öffnet ihr Ventil, das normalerweise durch den Einatemzug gesteuert wird, selbsttätig.

Der Regler bläst nun Luft in großer Menge ab, dadurch kühlt sich die erste Stufe noch weiter ab. Die Vereisung nimmt nochmals zu. Der hier beschriebene Vorgang wird auch als äußere Vereisung bezeichnet. Die Pressluftflasche wird bei diesem Effekt sehr schnell entleert sein, wenn das Ventil am Handrad nicht schnell geschlossen werden kann.

Bei membrangesteuerten Reglern liegt zwischen dem Steuerkolben und dem umgebenden Wasser eine Membrane, die einen direkten Kontakt des Wassers mit dem Kolben verhindert. Dadurch wird weniger Wärme vom Wasser in den kalten Kolben geleitet, was die Gefahr des Einfrierens des Wassers in der Wasserkammer verringert. Dadurch sind sog. *membrangesteuerte* Atemregler bauartbedingt etwas weniger anfällig gegen äußere Vereisung als *kolbengesteuerte*.

Dieser Vorteil wird aber oft durch konstruktive Mängel der membrankontrollierten Regler aufgehoben, was dazu führt, dass man nicht generell sagen kann, man solle als Kaltwassertieftaucher ausschließlich membrangesteuerten Reglern den Vorzug geben.

Vielmehr sind die konkreten Erfahrungswerte mit einem Regler entscheidend, was dazu führen kann, dass man erst einmal einige Regler testen muss, um einen für sich selbst optimal geeigneten Lungenautomaten zu finden. Dazu sollte man natürlich in der Lage sein, mit „Vereisern“ umzugehen. Davon jedoch später mehr.

#### **2.1.1.2 Wieviel Regler braucht man? Das magische Wort „Redundanz“.**

Die Empfehlung hier lautet klar: Sie brauchen 2 unabhängige Regler mit 2 getrennten ersten und je einer daran angeschlossenen zweiten Stufe. Die optimale Konfiguration dieses Systems ist wiederum Sache einer längeren Testphase, u. U. auch zusammen mit Ihrem Tauchpartner. Auch muss in Betracht gezogen werden, welche Flaschenkonfiguration zur Anwendung kommt.

Wenn Sie, wie wir, meistens eine Monoflasche verwenden, so ist klar, dass hier keine großen Alternativen möglich sind. Sie sollten den Zweitregler an einem langen Mitteldruckschlauch montieren, um den Tauchpartner oder sich im Bedarfsfalle optimalen Zugriff zu ermöglichen. Wir empfehlen einen Schlauch von 1,20 m bis 2 m Länge. Letzteren können Sie unter einem Gummiband, das um die Flasche gelegt ist, fixieren. Bei Bedarf kann der Schlauch herausgezogen werden. Der Hauptregler sollte von rechts über die Schulter geführt werden, der Zweitregler sollte von links kommen, um auch dem Tauchpartner einen seitenrichtig angebrachten Regler zur Verfügung zu stellen. Bei manchen Reglern z. B. von Poseidon entfällt diese Forderung, da sie in beiden Richtungen geatmet werden können, weil ihr Auslassventil an der Seite und nicht unten liegt, wie bei den anderen angebotenen Lungenautomaten.

Eine Schlauchführung unter der Achsel für den Hauptregler, wie teilweise von "Tech"-Tauchern gefordert, lehnen wir ab. Zum einen, weil dies den Schlauch am Mund stark nach unten zieht, zweitens weil kein wirklicher Sicherheitsgewinn erkennbar ist. Der Schlauch liegt unter der Achsel zwar enger am Körper, umsichtigen Tauchern ist unserer Erfahrung jedoch noch nie der Schlauch bei der "Über die Schulter"-Führung entrissen worden. Auch bei zahlreichen Wrackpenetrationen konnten wir keine diesbezüglichen Nachteile feststellen.

### **2.1.1.3 Der Luftvorrat**

Mindestvoraussetzung für tiefere Tauchgänge sind unserer Ansicht nach ca. 3000 Liter Atemluft. Wie Sie die transportieren, z. B. in einem 200 bar Doppel-7-Liter-Gerät (2800 Liter), einer Mono-15-l-Flasche (3000 Liter), einer 18- oder 20-Liter-Flasche oder einer „Doppel-10“ ist unerheblich. Der Luftvorrat muss ausreichend sein, den eigenen Tauchgang und den des Partners sicher zu Ende zu bringen. Eine Doppel-10 liegt auf dem Rücken angenehmer (finden wir zumindest). Außerdem hat sie den Vorteil, dass Sie die beiden Flaschen unabhängig tauchen können, also an jede Flasche einen Regler. Dies bedeutet, dass Sie die Regler nachdem die Flasche den halben Restdruck hat wechseln müssen, damit beide Flaschen immer in etwa den gleichen Druck haben und Sie bei Notfällen flexibel und richtig reagieren können.

### **2.1.2 Instrumentierung und Redundanz**

Eine vollständige für das Tieftauchen geeignete Ausrüstung geht über das hinaus, was ein sog. *Recreational-Diver* mit sich führt. Gerade die relevanten Instrumente, die zur

Tauchgangsdurchführung und für die Dekompression essenziell sind, müssen doppelt ('redundant') vorhanden sein. In der Praxis heißt dies, dass sie neben dem wahrscheinlich mitgeführten Tauchcomputer Ersatzinstrumente bei sich haben müssen, die ihnen bei Ausfall des Computers ein sicheres Beenden des Tauchgangs ermöglichen. Und, so zeigt die Erfahrung, Computer fallen häufiger aus, als einem lieb ist.

Eine Liste der möglichen Schäden an diesen teuren Ausrüstungsteilen ist lang: Es gibt Wassereintritte mit anschließendem Totalschaden, Sensordefekte (Tiefen- oder Temperaturmessfühler), Unterbrechungen in der Funkübertragung vom Hochdrucksensor bei luftintegrierten Rechnern, u.v.m.

Diesen Widrigkeiten können Sie durch das Mitführen folgender Instrumente vorbeugen:

- Die 'klassischen' Instrumente (Uhr, Tiefenmesser mit Schleppzeiger oder elektronischer 'Bottomtimer', Dekompressionstabelle)
- Ein zweiter Tauchcomputer
- Eine davon unabhängige Anzeige für den Luftvorrat (Finimeter)

Ob ein zweiter Computer das gleiche oder ein anderes Modell ihres Erstrechners sein sollte, daran scheiden sich die Geister. Andere Modelle haben i. d. R. andere Fehlerquellen. So kann z. B. kompensiert werden, dass die Software identischer Rechner unter identischen Bedingungen 'aussteigt'.

Der Umgang mit Uhr, Tiefenmesser und Dekotabelle muss ständig geübt werden und ist auch ein Teil der Tauchgangsplanung.

Zur genauen Einhaltung der Dekompressionsstufen hat sich ein zusätzlicher Boyle-Mariottescher Tiefenmesser gut bewährt.

Weiterhin brauchen Sie ein separates Finimeter zur Überwachung des Luftvorrates, da ein luftintegrierter Computer bei (Total-)Ausfall auch keine Druckinformationen Ihrer Flasche mehr liefert. Es ist absoluter Unsinn, sich nur auf die Fernanzeige des Computerdruckmessers für den Luftvorrat zu verlassen.

Bei Doppelflaschen mit abtrennbaren Flaschen sind 2 Finimeter keine schlechte Idee, falls Sie die Verbindung zwischen den Flaschen trennen müssen und sich über den Luftvorrat der verbleibenden Flasche informieren wollen.

Für Tauchgänge im tiefen Kaltwasser sind mindestens 2 Lampen erforderlich, um bei Ausfall einer Lampe den Tauchgang sicher zu Ende führen zu können.

### **2.1.3 Auswahl eines geeigneten Tauchanzuges**

Der Tauchanzug muss auf die zu erwartenden Wasserbedingungen ausgerichtet sein und sowohl ein angemessenes Isolationsvermögen als auch eine gute Passform ermöglichen.

Ersteres bedeutet für unsere Bedingungen, dass ein Trockentauchanzug für die in Mitteleuropa zu erwartenden niedrigen Wassertemperaturen unabdinglich ist. Bedenken Sie, dass die starke Auskühlung (etwa im Nass- oder Halbtrockenanzug) negative Auswirkungen auf die Tauchsicherheit hat. Dies liegt daran, dass einerseits die psychische und physische Leistungsfähigkeit stark absinkt, andererseits sich durch kalte Haut- und Muskeln (auch bei noch konstanter Kerntemperatur) andere Dekompressionsregeln für die peripheren Gewebe ergeben, die deutlich längere Dekompressionsstopps nötig machen. Diese dann zusätzlich in ausgekühltem Zustand durchzuführen, ist sicher nicht der Gesundheit und dem Wohlfühlen und damit der Tauchsicherheit zuträglich.

Für welches Material des Anzuges Sie sich entscheiden, ist Ihrem persönlichen Geschmack überlassen. Empfehlenswert ist in jedem Falle, den Anzug vor dem Erwerb mehrmals zur Probe zu tauchen.

Für Tieftauchgänge in warmen Wasser (Temp. > 20 °C) ist ein Halbtrockentauchanzug ausreichend. Sie haben dann aber keine Redundanz was das Tariermittel betrifft. Eine Plastiktüte oder ein Hebesack leisten in diesem Falle gute Dienste. Andererseits muss man feststellen, dass uns bei über 1000 TG noch kein Ausfall des Tariersystems untergekommen ist.

#### **2.1.3.1 Konfiguration des Inflatoren des Trockentauchanzuges**

Der Trockentauchanzug besitzt ein Einlassventil (Inflator) um ihn mit Druckluft aus dem Tauchgerät zu befüllen und für einen Volumenausgleich zu sorgen, denn der Anzug wird ja beim Abtauchen durch den ansteigenden Wasserdruck komprimiert.

Der Inflator wird an den Mitteldruckabgang eines Atemreglers angeschlossen. Bei der Verwendung von 2 getrennten ersten Stufen, ergeben sich also verschiedene Möglichkeiten, die Regler zu konfigurieren:

*2.1.3.1.1 Tarierjacket und Trockentauchanzug werden an die gleiche erste Stufe angeschlossen (Zweitregler), die Atemluftversorgung des Tauchers ist am Hauptregler.*

**Vorteile:** Gleichzeitiges Atmen und Tarieren (egal mit welchem Tariermittel) belastet den Hauptregler nicht übermäßig und senkt in Normalsituationen die Vereisungsgefahr, da beide Luftabnehmer (Taucher und Tariermittel) an unterschiedlichen ersten Stufen angeschlossen sind.

**Nachteile:**

a) Wird der Zweitregler vom Tauchpartner benutzt, erhöht sich die Belastung des Zweitreglers, die Vereisungsgefahr dieses Reglers steigt.

b) Fällt der Zweitregler aus, ist ein Tarieren nur über das Jacket und den Mundeinlass des Tarianschlauches möglich (dies muss vom Taucher geübt und sicher beherrscht werden)

*2.1.3.1.2 Tarierjacket und Trockentauchanzug sind an verschiedene erste Stufen angeschlossen*

**Vorteile:** Bei Ausfall eines Reglers bleibt ein Tarieren möglich, ohne das Luft mit dem Mund eingeblasen werden muss.

**Nachteile:** Der Hauptregler wird höher belastet, wenn mit dem angeschlossenen Tariermittel (Jacket oder Trockentauchanzug) tariert und aus dem Regler geatmet wird.

Fazit: In der Praxis hat sich die zweite Methode bewährt, da sie schlussendlich mehr Sicherheit bietet, besonders wenn ein geübter Taucher sie benutzt, der häufig eine geringere Luftentnahme hat.

### 2.1.3.2 Trieren

Auch wenn der Anzug für sich genommen ein Trieremittel darstellt, kann keinesfalls empfohlen werden auf ein Trierjacket zu verzichten und nur mit einer Tragschale zu tauchen.. Beim Ausfall der Triermöglichkeiten des Anzuges, stünde man ohne ein redundantes Trieresystem da. Dies könnte im Extremfall **lebensgefährlich** werden.

Beim Trockentauchen gibt es grundsätzlich 2 Methoden des Trierens:

- a) Mit Trockentauchanzug und Trierjacket.
- b) Nur mit dem Trockentauchanzug

Diskutieren wir also die Unterschiede:

Methode a) Vorteile dieser Methode

- i) Der Anzug wird nicht so stark aufgeblasen, dadurch wird die Wasserlage des Tauchers stabiler, der Wasserwiderstand sinkt.
- ii) Bei Anzügen mit hohem Isolationswert kommt es nicht so leicht zu einer Hyperthermie (Überwärmung) während des Tauchens.
- iii) Fällt ein Trieremittel aus (z. B. wegen einer Leckage) sinkt der Taucher nicht übermäßig schnell ab und hat mehr Zeit zum Reagieren. Weiterhin wird bei der dann schnell nötig werden Luftzugabe in das verbleibende Trieremittel der Regler nicht so stark belastet, weil das Trieremittel bereits teilweise gefüllt ist. Die Vereisungsgefahr sinkt.

Nachteile:

Beim Aufsteigen muss die Luft aus 2 Trieremitteln abgelassen werden, um den Auftrieb zu kontrollieren

Methode b) Vorteile

- i) Es muss nur 1 Trieremittel kontrolliert werden.

ii) Bei sehr kaltem Gewässer und entsprechendem Anzug (Trilaminat) ist die Isolationswirkung höher, wenn mehr Luft im Anzug ist.

Nachteile

s. o. Vorteile von Methode a)

Fazit: Wir bevorzugen z. B. aus den genannten Gründen Methode a). Besonders Taucher, die viele Jahre nass oder halbtrocken getaucht sind, werden sich bei Methode b) schlechter umgewöhnen können, weil das Gefühl unter Wasser irgendwie 'schwammig' und ungenau ist. Das Bedienen von 2 Tariermitteln kann man sehr schnell erlernen, zumal der Trockentauchanzug mit dem automatisch arbeitenden Auslassventil nicht willentlich kontrolliert werden muss. In der Praxis verfahren wir so, dass wir beim Anheben des Inflatorschlauches des Jackets ebenfalls durch das Ventil am linken Oberarm des Anzuges Luft entweichen lassen.

Zur Bleimenge:

Ob man ein bleiintegriertes Jacket oder einen Bleigurt benutzt, oder beides mischt, hängt vom persönlichen Geschmack und von der Ausrüstung ab. Problem beim bleiintegrierten Jacket ist, dass man wenn jemals gezwungen sein sollte aus irgendeinem Grunde das Jacket abzulegen, einen starken Auftrieb bekommen wird, was bei einem am Körper getragenen Bleigurt nicht so drastisch ausfällt. Andererseits sagen Benutzer bleiintegrierter Jackets, dass der Tragekomfort deutlicher höher sei. Auch hier gilt: Probieren!

**Tipp:** Vor dem Abtauchen sollte die Luft so weit wie möglich aus dem Anzug entfernt werden. Dazu geht man in 2 Schritten vor:

a) An Land vor dem Tauchgang: Man geht, noch bevor das Tauchgerät angelegt wird, in die Hocke und öffnet durch Druck das Auslassventil. Dadurch entweicht ein Großteil der im Anzug eingeschlossene Luft.

b) Im Wasser stellt man sich senkrecht und lässt den Rest der Luft ebenfalls durch das Auslassventil heraus, weil jetzt der Anzug durch den Wasserdruck komprimiert wird. Alternativ kann man auch die Halsmanschette etwas anheben. Durch diese Maßnahmen erleichtert man sich das Abtauchen ungemein.

#### 2.1.4 Tarierung und Tarierhilfen

Tarierjackets gibt es heute in so unendlicher Bauform und Anzahl, dass hier keine Empfehlung ausgesprochen werden kann und soll. Wir bevorzugen Wing-Jackets, wegen der angenehmen Unterwasserlage des Tauchers. Der häufig gestellten Forderung, die Gummizüge um die Blasen bei solchen Jackets wegzulassen, können wir uns nicht anschließen, da hierfür beim normalen Einsatz keine nachvollziehbaren Gründe erkennbar sind.

Auch andere Bauformen von Jackets sind ohne weiteres verwendbar, entscheidend ist die Auftriebskraft, die das Jacket entfalten kann. Hier sind unseres Erachtens mindestens 200 N (entspricht ca. 20 kg) Auftrieb unabdingbar, am besten sind 250 bis 270 N (25 bis 27 kg).

Doppelblasen scheinen uns nicht notwendig, da Sie für den Notfall noch ein zweites Auftriebssystem in Form des Trockentauchanzuges dabei haben. Wenn Sie jedoch einen Nass- oder Halbtrockenanzug verwenden, empfiehlt sich die Mitnahme einer stabilen Plastiktüte, die einen Notauftriebskörper darstellen kann, der Sie in die Lage versetzt, den Tauchgang noch einigermaßen sicher zu Ende zu führen.

Übrigens: Auch der alte Tarierkragen („Klobrille“) leistet gute Dienste, sofern sein Auftriebsvolumen ausreichend groß ist (ca. 16 bis 20 l min.)

Für die Durchführung von Dekompressionstauchgängen ist, wenn nicht an einem Seil oder anderen Bezugssystem dekomprimiert wird, das perfekte Beherrschen der Tarierung im freien Wasser unerlässlich. Sie sollten sich sicher sein, dass Sie in der Lage sind, eine Tiefe auch über mehrere Minuten hinweg nur durch Ablesen des Tiefenmessers einwandfrei einhalten zu können (max. Tiefendifferenz +/- 1 m). Sog. „Reels“ (Seilspindeln) erleichtern das Dekomprimieren zwar, sie sind aber ein zusätzliches Ausrüstungsstück, das für geübte und sichere Taucher entbehrlich ist, die ihre Tiefe gut alleine halten können.

Beim Trockentauchen sollte auch versucht werden, die Bleimenge zu optimieren. Zuviel Blei ist ungünstig, weil man die Tariermittel stärker aufblasen muss, was den Strömungswiderstand und damit die Arbeitsleistung erhöht, die der Taucher unter Wasser erbringen muss.

Zuwenig Blei ist jedoch ebenfalls ungünstig, weil am Ende des Tauchgangs zuviel Auftrieb

entstehen kann, wenn das Gas in der Tauchflasche veratmet ist und die Masse des Gesamtsystems ‚Taucher‘ absinkt. Dadurch wird das Tarieren unsicher, die Dekompression leidet.

Dies alles impliziert das Sammeln von viel Erfahrung mit der eigenen Ausrüstung und keine Schnellschüsse, um mal eben „richtig tief“ zu gehen. Solcherlei Unternehmungen enden manchmal schlimm.

### **2.1.5 Instrumente für die Dekompression**

Wie bereits erläutert, sind Tieftauchgänge immer Dekompressionstauchgänge. Neben dem theoretischen Wissen um die Dekompression ist auch eine richtige Ausstattung mit Instrumenten erforderlich. Uns erscheint es dringend notwendig, davon abzuraten, sich nur auf einen Dekompressionscomputer zu verlassen. Wie ist dies zu begründen?

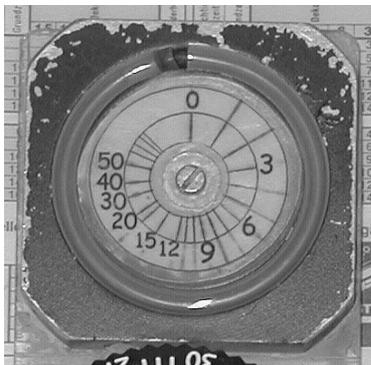
Zuerst muss man sagen, dass, wie vorstehend beschrieben, Tauchcomputer ausfallen können. Dieses Risiko lässt sich durch einen zweiten Computer verringern. Zweitens lässt sich durch die konsequente Anwendung einer Dekompressionstabelle mehrererlei Anstrebenswertes erreichen: Der Taucher erhält ein Gefühl für Tauchprofile, Tauchzeiten und die daraus sich ableitenden Dekompressionsvorschriften. Deshalb kann er Fehlrechnungen des Computers leichter erkennen und erhöht so die Tauchsicherheit. Ein Taucher, der sich stets nur auf den Computer verlässt und dessen Vorgaben kritiklos und unreflektiert übernimmt, kann dies wohl so nicht leisten.

#### **2.5.1.1 Der Tiefenmesser**

Unter den Tiefenmessern gibt es verschiedene Typen. Wichtig ist in jedem Falle, dass das Gerät auf der großen Tiefe genau anzeigt. Andererseits soll er auf den Dekostufen möglichst ohne Trägheit sein, um eine Freiwasserdekompression zu erleichtern. Hängt der Zeiger häufiger, kann man hier keine genaue Tiefe einhalten.

Hier die Haupttypen, die angeboten werden.

Tiefenmessertyp	Vorteile	Nachteile
Boyle-Marriot (Messverfahren: Wasser dringt in ein luftgefülltes Röhrchen (Kapillarrohr) ein und komprimiert dieses abhängig vom Wasserdruck. Die Grenzlinie zwischen Wasser-säule und Luftsäule markiert die aktuelle Tiefe)	Sehr gute Ablesbarkeit in geringen Tiefen (Dekostufen), keine Trägheit	Keine gute Ablesbarkeit in der Tiefe, wegen logarithmischer Skala.
Druckdosentiefenmesser (Messverfahren: Eine ölgefüllte Druckdose oder ein Boudon-Rohr wird durch den Wasserdruck verformt, die Formänderung wird auf einen Zeigermechanismus übertragen)	Gute Ablesbarkeit in der Tiefe	Wegen der Ölfüllung problematische Anzeige bei kaltem Wasser, wegen hoher Viskosität des Öls, dadurch u. U. Hängen der Zeigernadel. Skala linear.
Membrantiefenmesser mit Druckdose (Messverfahren: Eine luftgefüllte Druckdose wird durch den Wasserdruck verformt, die Formänderung wird auf einen Zeigermechanismus übertragen)	Gute Ablesbarkeit in der Tiefe	Etwas ungenau in der Tiefe wegen logarithmischer Skala.



Boyle-Marriot-Tiefenmesser



Dosentiefenmesser (ölgefüllt), Anzeige bis 80m

Beim Kauf eines Tiefenmessers sollte man auf den maximalen Anzeigebereich achten. Geräte, die nur bis 50 m reichen sind unbrauchbar, erwägenswert ist der Kauf von Tiefenmessern mit einer Skala bis 80 m oder mehr.

### 2.5.1.2 Die Taucheruhr

Hier gibt es eine riesige Preisspanne zwischen den Uhren. Von der Scuba-Swatch für 100,-

DM bis zur teuren Rolex um 10000,- DM. Was muss eine Taucheruhr können? Folgende Forderungen sind zu stellen:

- Druckdicht bis 20 bar (ca. 190-200m Wassertiefe)
- Stellring (Minutenring)
- Ausreichend langes Armband (evtl. mit Verlängerung) um auch am Trockentauchanzug getragen werden zu können.

Warum die hohe Druckfestigkeit? Auch wenn Sie nur bis 70 m tief tauchen wollen, sollte die Uhr eine höhere Druckfestigkeit haben. Der Grund liegt darin, dass zu den statischen Belastungen (wie dem Wasserdruck) noch weitere dynamische kommen können. Dies können Schläge oder Drücke sein, die während des Tauchens auf das Gehäuse ausgeübt werden können. Eine 20-bar-geprüfte Uhr kann dem in jedem Falle widerstehen.

### 2.5.1.3 Die Dekompressionstabelle

Auf dem Markt gibt es sehr viele Dekompressionstabellen. Im europäischen Bereich haben sich die Tabellen, die auf dem Verfahren von A. A. Bühlmann basieren, sehr weit verbreitet. Diese wurden von Dr. Max Hahn unter der Bezeichnung Deco 92 oder Deco 2000 auf den Markt gebracht. Sie sind in Zeit- und Tiefenstufen gegliedert, so dass sich für eine Vielzahl von Tauchprofilen eine Dekompressionsanleitung ergibt.

The image shows a complex decompression table with multiple columns and rows. The columns represent different stages of a dive profile, and the rows represent different depths and times. The table is filled with numbers and letters (A, B, C, D, E, F, G) that indicate the required decompression stops and their durations. At the bottom of the table, it is labeled "Austauchtabelle DECO 92" and "0-700 m ü. N.N.".

Dekotabelle Deco 92 von Dr. Max Hahn

### 2.5.1.3.1. Was kann die Dekotabelle?

Mit Dekotabellen ist es möglich, die Nullzeiten und eventuell erforderlich werdende Dekompressionsstopps für Tauchgänge zu ermitteln (nicht berechnen, denn berechnet sind sie schon). Dabei ist es wichtig zu wissen, dass die Tabelle für annähernd rechteckige Tauchprofile konzipiert wurde.

Das Abtauchen geschieht mit einer normalen Geschwindigkeit, die Abtauchzeit wird zur Grundzeit addiert. D .h. die Zeitmessung beginnt beim Abtauchen. Die Auftauchgeschwindigkeit ist 10 m/min.

Sog. 'Multilevel'-Tauchgänge kann sie, im Gegensatz zu einem Tauchcomputer, nicht abbilden. In Grenzen ist sie jedoch verwendbar, wenn als Rahmendaten für den Tauchgang die maximale Tiefe und die Tauchzeit bis zum Aufsuchen der ersten Dekostufe (Austauchen) benutzt werden. Es werden sich aber hier deutlich längere Dekompressionszeiten ergeben.

Weiterhin können die Dekompressionszeiten für einen Wiederholungstauchgang innerhalb 24 h ermittelt werden, der nach einer bestimmten Oberflächenpause (OFP) stattfindet.

### 2.5.1.3.2. Der Aufbau der Tabelle:

Jede Austauchtabelle ist in Tiefen- und Zeitstufen untergliedert, so auch die **Deco 92** . Sie besteht aus einzelnen Untertabellen, die für alle Tiefen zwischen 9 und 63 Metern in 3 Meter-Schritten ablesbar sind. Außerdem kann man die sog. *Nullzeit* (also die Zeit, bis zu der keine expliziten Dekompressionsphasen notwendig sind) für die Tiefe und die Zeiten für die Austauchstufen ablesen.

Beispiel: Die Untertabelle für **39 Meter** Tauchtiefe:

Tauchtiefe (m)	Grundzeit (min)	Nullzeiten				Wiederholung
39	6	12	9	6	3	
	6				1	C
	10				4	D
	14			1	4	E
	18			3	7	F
	21	1	4	10		F
	24	3	6	12		G
	26	4	6	15		G
	28	4	8	17		G

### 2.5.1.3.3. Wie benutzt man die Tabelle zum Dekotauchen?

a) Bei der Planung des Tauchgangs wird die maximale Tiefe festgelegt, in die der Tauchgang führen soll. Liegt die maximale Tiefe zwischen 2 Tabellenwerten, wird der nächst größere Wert angenommen.

**Beispiel:** Der Tauchgang führt in eine max. Tiefe von 47 Meter, hier wird die Dekompressionsplanung für 48 Meter abgelesen. Selbiges gilt für die Grundzeit. Gerundet wird also stets nur nach oben.

b) Für die Grundzeit (Spalte 2) gilt: **Die Grundzeit (GZ) ist die Zeit, die seit Beginn des Abtauchens verstrichen ist** . Das Abtauchen gehört also zur GZ dazu. Die Grundzeit endet beim Auftauchen, also dem Verlassen der maximalen Tiefe.

c) Das Auftauchen wird mit einer Geschwindigkeit von **max. 10m/min** durchgeführt, es wird mit relativ konstanter Geschwindigkeit zur ersten Dekostufe durchgetaucht.

**Wird mit geringerer Geschwindigkeit als 10m/min. aufgetaucht, gilt als Grundzeit die Zeitspanne, die bis zur Ankunft auf dem tiefsten Dekompressionsstopp verstrichen ist.**

#### **Erfassung weiterer Rahmenbedingungen:**

Wird der Tauchgang in sehr kaltem Wasser durchgeführt, wird eine Tiefenstufe weiter abgelesen, z. B. 42 statt 39 reale Meter.

Wird während der Grundzeit sehr starke körperliche Arbeit geleistet, z. B. beim Schwimmen gegen Strömung, wird die Grundzeit um den Faktor 1,5 verlängert.

**Beispiel:** Ein Tauchgang führt **28 Minuten** in eine Tiefe von max. **39 Meter** . Nach Ablauf dieser Zeit wird zur ersten Dekompressionsstufe durchgetaucht ( $v_{\max.} = 10 \text{ m/min}$ ). Die Taucher verweilen 4 Minuten auf 9 Metern, dann 8 Minuten auf 6 Metern und schließlich noch 17 Minuten auf 3 Metern. (siehe oben farblich hervorgehobene Zeile)

Die Gesamtaufstiegszeit berechnet sich also zu:

- 3 Minuten Weg von 39 Meter auf 9 Meter (30 Meter Tiefendifferenz,  $v_{\max.} = 10 \text{ m/min}$ .)
- 4 Minuten auf 9 Meter
- 8 Minuten auf 6 Meter
- 17 Minuten auf 3 Meter.

Gesamtaufstiegszeit = 32 Minuten. Dies muss bei der Tauchgangsplanung berücksichtigt werden. In der Regel wird der Aufstieg spätestens bei einer Restluftmenge von 1000 Litern

einzuleiten sein.

#### 2.5.1.3.4. Wiederholungstauchgänge

Zwischen 2 Tauchgängen sollte eine Oberflächenpause (OFP) von mindestens einer Stunde liegen, auch wenn die Tabelle Oberflächenpausen von 15 Minuten als minimalen Wert annimmt. Dabei sollte auch bedacht werden, dass die höchste Anzahl von sog. *Mikrogasblasen* im Körper ca. 40 bis 60 min. nach dem Ende des Tauchgangs nachweisbar ist (sog. 'Blasenspitze'). Die Oberflächenpause sollte also deutlich länger als diese Zeitspanne sein.

Beim Wiederholungstauchgang wird die Grundzeit dieses zweiten TG mit einem Zeitzuschlag versehen. Dieser hängt ab von der Länge der Oberflächenpause (Je länger, desto geringer der Zeitzuschlag) und der Wiederholungsgruppe (letzte Spalte in der Dekostufentabelle).

Wenn die Zeitdauer der Oberflächenpause bekannt ist und die Wiederholungsgruppe gemerkt wurde, wird folgender Teil der Deco 92 verwendet.

Beispiel: Unser Tauchgang ist immer noch **28 Minuten** in eine Tiefe von max. **39 Meter** .

Die Wiederholungsgruppe ist somit **G** . Der zweite TG soll auf **max. 30 Meter führen** . Nach einer OFP von 2 h führt dies zu einem Grundzeitzuschlag von **10 Minuten** . Dieser ist dann bei der zweiten Dekompression als "theoretisch verlängerte Grundzeit" wirksam.

Beachtenswert ist auch, dass kürzere Oberflächenpausen einen höheren Grundzeitzuschlag ergeben. Bei 2 Std. OFP hätte man die Wahl, entweder 10 oder 17 Minuten (links bzw. rechts der Strichmarkierung) zuzugeben. Wer sehr vorsichtig ist, gibt 17 Minuten Zeitzuschlag, andere geben 10 Minuten. Man sieht daran höchstens, wie volatil Dekompressionsvorschriften u. U. sein können. Auf die „Tauchlehrernormanweisungen“ verzichte ich hier bewusst, da sie mir auch nicht bekannt sind. ☺

**Tabelle für Oberflächenpausen und Wiederholungs-TG**

		Oberflächenpause (h.min.)						
		.15	.30	1.00	2.00	3.00	4.00	6.00
Wiederholungsgruppe	G							36 h
	T							30 h
	E							24 h
	D							18 h
	C							12 h
B							6 h	

Tiefe des Wiederholungstauchgangs (m)	9	153	158	149	134	103	70
	12	80	79	75	56	28	19
	15	61	50	47	32	13	10
	18	39	37	34	22	11	8
	21	31	29	27	17	9	7
	24	26	24	23	14	8	6
	27	23	21	19	12	8	5
	30	20	18	17	10	7	5
	33	18	16	15	9	6	4
	36	16	15	13	7	5	4
	39	14	13	12	6	5	3
	42	13	12	11	5	5	3
	45	12	11	10	5	4	3
	48	11	10	9	4	4	3
	51	11	9	8	3	3	2
	54	10	8	7	3	3	2
	57	9	7	6	2	2	2
60	8	7	6	2	2	2	
63	7	6	5	2	2	2	

Zeitzuschlag zur Grundzeit (min.)

**Beispiel:** 2. TG auf 30 Meter, Grundzeit dort real 18 min. + Zeitzuschlag 10 min. = 28 min. Abgelesen werden die Dekompressionswerte für 30 Meter und wiederum 28 Minuten. Die Grundzeit 28 Minuten ist jedoch nicht eingetragen, also wird der nächst höhere Wert angenommen (30 min.).

Es wäre theoretisch möglich, jetzt einen weiteren Wiederholungs-TG nach der gleichen Methode zu berechnen, jedoch muss eindeutig konstatiert werden, dass dieses Vorgehen nicht mehr sicher ist. Die Stickstoffentsättigung bei den verschiedenen Personen eines Kollektivs unterliegt einer sehr großen Streuung, da die persönliche Disposition des Einzelnen eine signifikante Rolle spielt.

Daher gilt: 2 TG innerhalb 24 h sind ausreichend. Mehr ist nicht anzupfehlen, da insbesondere die Sättigung/Entsättigung der langsamen Gewebe nicht mehr hinreichend sicher kalkulierbar ist. Das Auftreten von Dekompressionskrankheit (Typ I, mit Muskel- und Gelenksymptomen) wird deshalb wahrscheinlicher.

## 2.2 Personale Voraussetzungen für Tieftaucher

Vielfach liest man zum Thema Tieftauchen und die dafür zu erhebenden Voraussetzungen, dass die Technik massiv in den Vordergrund gestellt wird, aber die persönlichen Voraussetzungen der Tauchenden selbst mehr oder weniger stark ignoriert werden. Wir wollen das hier ändern, angedenk der Tatsache, dass der Mensch schließlich im Mittelpunkt seiner Unternehmungen steht und durch die Gestaltung derselben, also für Erfolg und

Misserfolg, den Hauptteil der Verantwortung für sein Handeln trägt. Bedenken Sie, dass Sie alleine verantwortlich für sich und Ihre Mittaucher sind und dass diese Verantwortlichkeit unter Umständen auch implizieren kann, einen Tauchgang nicht auf die vorgesehene Maximaltiefe zu führen.

### **2.2.1 Ausbildung**

Welche Tauchausbildung sie durchlaufen haben, spielt im Grunde keine Rolle wenn sie tief tauchen wollen. Sparen Sie sich das ganze „PADI vs. CMAS“-Gezanke. Alle Tauchausbildungen sind heute mehr oder weniger unzureichend und Sie müssen verstehen, dass das, was Sie dort gelernt haben, nicht mehr als eine gewisse Grundlage dessen darstellt, was Sie für die komplexe Tauchtechnik "Tieftauchen" wissen und können müssen.

Es ist also an Ihnen, sich konsequent weiter zu bilden, etwa durch das Studium von Literatur oder das Besuchen von Seminaren, insbesondere zu tauchmedizinischen Fragestellungen.

Zudem sollten sie neben dem Wissen um Tauchmedizin (Physiologie, Dekompression, Einwirkungen von Druck und Temperatur auf Mensch und Material) auch informiert sein über die weiteren Implikationen Ihres Handels: Notfallverfahren, Rettungsmaßnahmen etc., für den Fall dass doch mal etwas schief geht.

Einige grundsätzlich naturwissenschaftliche Kenntnisse der Physik, der Physiologie (besonders der Atemgase) sind dabei sicher nicht fehl am Platze, ist doch Tauchen eine technische Sportart. Literaturempfehlungen finden Sie am Ende diese Textes.

### **2.2.2 Training**

Intensives und permanentes Training ist unseres Erachtens das A und O des erfolgreichen und sicheren Tieftauchens. Wenn Sie nicht geübt sind in Ihren Unternehmungen, kann Sie das ins Grab führen. Daher ist die Forderung zu erheben, dass Taucher, welche die von den Verbänden empfohlenen Tiefengrenzen überschreiten, unbedingt einen entsprechenden Trainingsstand und eine sehr große Taucherfahrung aufweisen müssen.

Wie lässt sich dieser Trainingsstand erreichen?

Unserer Meinung nach nur durch fortwährende Tauchgänge in den entsprechenden Umgebungen. Wenn Sie tief tauchen wollen, müssen Sie tief tauchen, so banal das klingt. Und dies häufig. Das setzt voraus, dass Sie ein entsprechendes Gewässer in regelmäßigen Abständen aufsuchen und dort trainieren können.

Weiterhin sollte dieses Gewässer nicht die besten Bedingungen zum Tauchen aufweisen. Anders gesprochen: Wenn Sie nur im Meer bei 25 °C Wassertemperatur und Sichtweiten um 30 Meter tief tauchen können, sollten Sie beim ersten Sprung in den Bodensee sehr, sehr vorsichtig sein. Dort herrschen andere Bedingungen, und ihr Training wird zum Teil entwertet.

Wenn Sie dagegen bisher nur im Bodensee getaucht sind, sollten Sie auch im Meer vorsichtig sein. Tiefe und Strömung vertragen sich nicht besonders, weil Sie einerseits wesentlich mehr Luft verbrauchen werden, wenn Sie plötzlich unter Wasser arbeiten müssen, andererseits beim Dekomprimieren unter oder nach Anstrengung andere Regeln und Haltezeiten gelten. Dadurch kann Ihr Luftvorrat schneller aufgebraucht sein, als Sie sich das vorstellen. Ihre Tauchgangsplanung wird dann schnell Makulatur.

Beim Trainieren werden Sie feststellen, dass sich ihre Tauchtiefen langsam steigern. Lassen Sie sich **unbedingt** Zeit. Um ein guter Tieftaucher zu werden, dauert es einige Jahre und einige hundert Tauchgänge, die Sie vorher absolviert haben müssen. Wenn Sie sich gleich nach 100 oder 150 etwas tieferen Tauchgängen auf 60 oder 70 m Wassertiefe begeben, kann das Ihr letzter Tauchversuch in diese Tiefenbereiche werden.

Beim regelmäßigen Training werden Sie auch lernen, dass nicht jeder Tag gleich ist und Sie sich in unterschiedlichen psychischen und physischen Verfassungen wieder finden. Akzeptieren Sie das und lernen Sie, ein Unterfangen auch einmal abzubrechen, zu vertagen oder gänzlich aufzugeben, wenn eine Vorbedingung nicht erfüllt ist oder Sie ein ungutes Gefühl bei dem Vorhaben haben.

Denken Sie stets daran, dass beim Tieftauchen alles optimal funktionieren muss, Mensch und Material. Sie dürfen sich keine Fehler erlauben.

Praktizieren Sie während des Trainings mit dem Tauchpartner auch ungewöhnliche oder sogar Notfallszenarien:

- Luftmangel und Reglerausfall

- Orientierungsverlust
- Lampenausfall
- etc.

Wichtig ist auch, stets mit einigen wenigen Partnern die tiefen Tauchgänge zu unternehmen und nicht mit Zufallsbekanntschaften. Üben Sie immer wieder das Zusammenspiel von Personen und Technik und optimieren Sie es. Tauchen Sie nie mit einem neuen, unbekanntem Tauchpartner tiefer als z. B. 40 Meter.

### **2.2.2.1 Verhalten bei Luftmangel und/oder Ausfall des Atemreglers**

Mit einem ausfallenden Regler und nachfolgendem Luftmangel müssen sie umgehen können, unter allen Umständen. Sie brauchen Handlungsstrategien, denn Sie müssen sich klar sein: Der direkte Weg zur Oberfläche ist Ihnen versperrt, wenn Sie mal tiefer als 30m getaucht sind. Und auch darüber kann ein sofortiges Auftauchen schwere gesundheitliche Folgen haben:

**Leitsatz: Probleme, die unter Wasser entstehen, müssen unter Wasser gelöst werden.**

Hauptproblem dabei ist immer wieder die Luftversorgung: Egal ob Vereisung, Blockierung oder etwas anderes. Ein ausfallender Regler muss unter allen Umständen sicher beherrscht werden. Diesen Problemkreis können Sie mit dem Einsatz des eigenen Zweitreglers, dem des Partners oder der Wechselatmung beherrschen.

#### *2.2.2.1.1 Einsatz des Zweitreglers*

Befestigen oder verstauen Sie Ihren Zweitregler während des Tauchgangs stets so, dass Sie (oder der Partner) ihn in kürzester Zeit erreichen können. Zweitregler gehören nicht in eine Jackettasche sondern in einer der auf dem Markt befindlichen Befestigungen an das Jacket.

Probieren Sie den Zweitregler in jedem Falle unmittelbar vor dem Abtauchen und testen Sie ob er Luft gibt. Bei dem Regler, an den Ihr Druckmesser (Finimeter) angeschlossen ist, beobachten Sie dieses. Geht der Zeiger stark zurück, wenn Sie Luft entnehmen, ist entweder Ihr Flaschenventil nicht voll geöffnet oder der Luftweg ist aus einem anderen Grunde

behindert, z. B. durch ein verstopftes Keramikfilter in der Flasche oder ein defektes Sinterfilter in der ersten Stufe des Reglers. Können Sie den Fehler nicht beheben so brechen Sie den Tauchgang ab. Spätestens unterhalb von 30 m Wassertiefe werden Sie erhebliche Probleme mit der Luftversorgung haben.

Verwenden Sie für den Zweitregler überdies einen langen Schlauch, der unter einem Gummiband, das um die Flasche herum liegt, gesichert ist. Damit haben Sie (oder Ihr Tauchpartner) im Bedarfsfalle eine optimale Handhabung des Reglers. Trainieren Sie den Reglerwechsel regelmäßig mit Ihrem Tauchpartner.

Von der bei der Methode „DIR“ („doing it right“) verwendeten Konfiguration, bei der der Taucher seinen Hauptregler an einem langen Schlauch hat und diesen im Bedarfsfalle dem Tauchpartner gibt, halten wir gar nichts. Einerseits weil es uns unerfindlich erscheint, wie man sich einen Atemreglerschlauch erst einmal unter der Achsel hindurch und dann um den Hals winden kann. Zweitens erscheint uns die Argumentation, dass der in Luftnot sich befindliche Tauchpartner instinktiv nach dem Hauptregler greifen wird und ihn uns aus dem Mund ziehen könnte, zwar nachvollziehbar aber völlig inakzeptabel. Trainieren Sie mit Ihrem Partner regelmäßig die Luftnotsituation, so dass sich Automatismen einspielen können, und er/sie instinktiv an die richtige Stelle greifen und den Zweitregler erlangen wird. Panik kann durch Training vermieden werden.

#### *2.2.2.1.2 Wechselatmung*

Wenn Sie der modernen Tauchausbildung, besonders der aus den USA, folgen, ist Wechselatmung überflüssig. Denn, so wird gesagt, habe jeder heute einen Zweitregler dabei. Wir sagen dagegen: Trainieren Sie die Wechselatmung regelmäßig, auch wenn Sie sie wahrscheinlich nie brauchen werden.

Üben Sie diese Technik zuerst auf dem Grund kniend (wie damals in der Tauchausbildung), dann schwebend im freien Wasser, dann unter allen möglichen Lagen, Aufstiegen im freien Wasser, besonders mit Tarierübungen auf Dekostufen, etc.. Wenn Sie das regelmäßig durchführen, lernen Sie zweierlei:

- a) Sich auch in ungewohnten Situationen unter Wasser zu behaupten
- b) Tarieren unter widrigen Umständen.

#### 2.2.2.1.2 Ab- und Anlegen des Tauchgerätes unter Wasser

Hilfreich in vielen Fällen (besonders beim Solotauchen) ist die Fähigkeit, das eigene Tauchgerät auch unter Wasser an- und abzulegen, etwas, was Sie unserer Meinung nach irgendwann dringend brauchen werden.

Hierbei hat es sich beim Ausziehen des Gerätes bewährt, einen Schultergurt zu öffnen und das Gerät um die Schulter herum zu drehen, an deren Seite der Schlauch des Trockentauchanzuges geführt wird. Oder, besser: Sie koppeln den Schlauch vor dem Manöver ab.

Das Wiederanlegen machen Sie am besten so:

- Das Jacket des Gerätes soweit befüllen, bis das Jacket nur noch einen geringen Abtrieb hat und fast neutral tariert ist.
- Das Gerät wird dann mit den Ventilen zu Ihnen zeigend vor den Bauch gehalten, die Arme stecken Sie durch die Schultergurte (Der gerade zum Ablegen geöffnete Gurt, sollte wieder geschlossen sein). Die Hände greifen die unten liegende Seite der Flasche.
- Der Mitteldruckschlauch des Reglers kommt am Halsausschnitt des Jackets vorbei oder liegt auf der Rückentrage auf und ist nicht behindert. Gerade hier tun sich unerfahrene Leute schwer, der Schlauch verwickelt sich, wenn Sie ihn unter dem Arm durchstecken. Der Schlauch liegt also vor Ihnen und zeigt direkt nach unten.
- Dann ziehen Sie die Flasche mit einer Kreisbewegung über den Kopf, so dass das Gerät auf Ihrem Rücken aufsetzt.

Üben Sie das häufig, es macht Sie sicherer.

#### **2.2.3 Erfahrung als Vorbedingung für sicheres Tieftauchen**

Wie Sie in vorigem Abschnitt gesehen haben, ist Erfahrung durch nichts zu ersetzen, nur durch noch mehr Erfahrung. Versuchen Sie, so viele tiefe Tauchgänge wie möglich durchzuführen, wenn es sich ergibt. Nicht jeder Tauchplatz ist tiefengeeignet. Wenn Sie jedoch einen Tauchplatz finden, der diese Bedingungen erfüllt und alle anderen Faktoren stimmen, ist es Zeit, mal etwas weiter unten zu schauen, was sich dort noch abspielen könnte.

Mit der Zeit werden Sie lernen, wie Ihr Körper und Ihre Psyche auf die geänderten Bedingungen reagieren. Sie erhalten Handlungssicherheit, weil die Situationen Ihnen vertrauter werden. Diese Vertrautheit ist unabdingbar für sicheres Tieftauchen. Menschen können sich körperlich und geistig an die unterschiedlichsten Bedingungen anpassen. Sie lernen immer dazu. Und als Tieftaucher wird man lernen, dass die Tauchtiefe keineswegs zur Bedrohung werden muss und dass man sie beherrschen kann, vorausgesetzt, dass man seine eigenen Grenzen einhält. Und diese Grenzen zu erfahren, dafür ist Erfahrung nötig.

Steigern Sie ihre Tiefe langsam über mehrere Monate oder Jahre.

#### **2.2.4 Persönliche Physiologie**

Viele Taucher sind heute nur als unsportlich zu betrachten. Da werden riesige Bäuche vor sich herumgetragen, direkt vor dem Tauchen noch eine halbe Schachtel Zigaretten weg gequalmt und die letzte unternommene sportliche Übung war das Stemmen von 5 halben Bier nach dem letzten Tauchgang oder am Vorabend.

Lassen Sie diese selbstzerstörenden Verhaltensweisen, wenn Sie tief tauchen wollen.

Als Tieftaucher müssen Sie nicht unbedingt den Körperbau eines Athleten haben. Aber die Kugelform ist auch nicht empfehlenswert. Denken Sie daran, dass Dekompressionsprobleme bei fettleibigen Menschen eher zu erwarten sind als bei normal- oder nur leicht übergewichtigen.

Auch sollten Sie in der Lage sein, eine gewisse Strecke (1000 m) zu laufen oder eine gewisse Geschwindigkeit mit voller Ausrüstung zu schwimmen, denn man weiß ja nie, wohin Sie beim Austauchen getrieben werden. Wenn Sie dabei 30 kg zuviel am Körper haben, limitiert das Ihre Leistungsfähigkeit drastisch.

Rauchen und Tauchen passen nicht zusammen. Die Zigarette vor dem Tauchen ist noch giftiger und gefährlicher als die danach:

- Im Zigarettenrauch ist Kohlenmonoxid enthalten. Dieses blockiert das Hämoglobin der roten Blutkörperchen, der Sauerstofftransport von der Lunge zu den Zellen wird deutlich ineffektiver.

- Durch den Rauch werden in den Bronchien kleinste Entzündungen verursacht, so dass die fein verästelten Bronchiolen im Laufe des Tauchgangs zuschwellen können. Wenn sich hinter der Schwellung eine Luftansammlung befindet, die Sie nicht abatmen können, weil der Luftweg blockiert ist, kann es im Extremfall bei der Dekompression zu einem Lungenriss mit einer arteriellen Gasembolie kommen. Dieser Vorgang wird auch als „airtrapping“ bezeichnet und geht in der Regel nicht gut aus.

Ach ja, Rauchen erzeugt Lungenkrebs und Gefäßverschlüsse, bis hin zum Herzinfarkt oder Schlaganfall. Solche Beschwerden sind dann ein Grund, Ihnen die nächste Tauchtauglichkeitsbescheinigung zu versagen. Dann werden Sie allerdings sowieso andere Sorgen haben.

- Weiterhin sollten Sie als Tieftaucher sicher sein, dass Sie innerhalb der Bandbreite der gängigen Dekompressionsmodelle liegen. Wenn Sie häufiger nach flacheren Tauchgängen und regelgerechter Dekompression Symptome der Dekompressionskrankheit (DCS, decompression sickness) an sich beobachten, sollten Sie das Tieftauchen nicht betreiben.

### **2.2.5 Psychologische Aspekte**

Wenn Sie das Tieftauchen betreiben wollten, sollten Sie gewisse psychische Grundvoraussetzungen haben, denn Tauchen, so ist bekannt, spielt sich größtenteils im Kopf ab. Vor allen anderen Eigenschaften wäre Angstfreiheit der Persönlichkeit zu nennen. Eine angstbesetzte Persönlichkeit und der Aufenthalt in potenziell risikoreicher Umgebung passen nicht zusammen. Ausgeglichenheit, Selbstsicherheit (allerdings nicht Selbstüberschätzung) und eine differenzierte Einschätzungsfähigkeit von unterschiedlichsten Situationen erachten wir als unabdingbar.

A apropos ‚Ausgeglichenheit‘: Sie sollten in jedem Falle eine ausgeglichene Taucherpersönlichkeit sein. Was das ist, ist schwer genau zu umreißen. Aber wer es nicht ist, fällt dagegen sehr leicht zu sagen: Z. B. der 20-jährige Neutaucher, der gerade mal 50 Tauchgänge und ein Kärtchen einer amerikanischen Tauchkette hat und gerne mit Taucherklamotten und Baseballkappe von „IQ“ herumläuft, z. B. Der gehört sicher nicht dazu.

Nervosität, Tendenz zur Hektik und Fahrigkeit sollte auch nicht Ihren hervorstechenden Eigenschaften gehören. Und klaustrophobische Neigungen und Tieftauchen schließen sich

völlig aus, da Sie in einer Umgebung tauchen, die Ihnen unter Umständen sehr eng und abgeschottet erscheinen kann.

Mit anderen Worten Sie müssen sich wohl fühlen unter Wasser und dürfen keine Angst vor dem haben, was ihnen dort passieren kann.

### 3 Etwas Physik und Physiologie für Taucher

In diesem Kapitel wollen wir auf die Rahmen- und Vorbedingungen des tiefen Tauchens mit Pressluft eingehen. Zuvorderst ist hier die physiologische Komponente zu nennen, weil sich der unter hohem Umgebungsdruck stehende menschliche Körper anders verhält als der unter Normaldruck (also unter normobaren Bedingungen) stehende Körper.

Ein wichtiger Leitsatz lautet: Jeder Tauchgang führt zu einer Kompression und damit auch zu einer Dekompression. Anders gesagt: Jeder Tauchgang ist ein Dekompressionstauchgang. Dabei ist es zuerst einmal unerheblich, ob bis 20, 40 oder 60 Meter Wassertiefe getaucht wird. Die physikalischen Vorgänge sind die gleichen, nur die Auswirkungen ändern sich.

#### 3.1 Die Physiologie des Menschen unter Druckluftatmung

Beim Tauchen nehmen Sie zwei verschiedene Arten von Gasen auf: Sauerstoff, der biochemisch wirksam ist und der Energieversorgung des Körpers dient, und den „Beigasen“, die keine biochemische Wirkung haben. Diese Gase (allen voran der Stickstoff), werden als Inertgase bezeichnet.

Das oder die beim Tauchen aufgenommenen Inertgase (allen voran der bereits erwähnte Stickstoff) haben, wie der Begriff ‚inert‘ sagt, keine biochemische Wirkung im Körper. Sie nehmen nicht am Stoffwechsel teil und entfalten trotzdem einige nicht unerhebliche Wirkungen wenn sie unter hohem Umgebungsdruck geatmet werden.

Diese Wirkungen sind

- Inertgasnarkose (N<sub>2</sub>-Intoxikation, Tiefenrausch)
- Dekompressionsproblematik

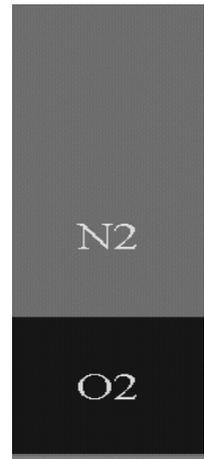
Weiterhin erhält der Sauerstoff andere Wirkungen, wenn er unter hohem Druck geatmet wird. Aus dem lebensnotwendigen Gas wird ein Gift, das folgende Auswirkungen zeitigen kann:

- Störungen des Zentralnervensystems (ZNS-Effekte, Paul-Bert-Effekt, Sauerstoffkrämpfe)

- Störungen der Lungenfunktion (pulmonale Sauerstoffintoxikation, Lorraine-Smith-Effekt)

Die inerten und nicht-inerten Gase verteilen sich in der Luft wie folgt:

- 78% Stickstoff (N<sub>2</sub>)
- 21% Sauerstoff (O<sub>2</sub>)
- 0,03% Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)
- ca. 0,97% Edelgasen (Ar, Kr, He, Ne...)



### 3.1.1 Stickstoffnarkose

Durch Einwirkung des unter hohem Umgebungsdruckes mit der Atemluft aufgenommenen Inertgases Stickstoff kann es unter bestimmten Bedingungen zu narkoseartigen Phänomenen kommen (sog. "Tiefenrausch"). Dieses Risiko steigt bei Tauchtiefen ab 30 bis 40 m an. Der Stickstoff blockiert dabei die Übertragung von elektrischen Impulsen an den Nervenenden zwischen einzelnen Nervenzellen (Synapsen).

Dabei lagert sich der Stickstoff an den lipoiden Membranen des Nervenzellen an und verändert die hochkomplexen Übertragungsmuster der Nervenimpulse, was letztlich zu einer Veränderung der Handlungsweisen des betroffenen Individuums führt.

Die Stickstoffnarkose zeigt sich u. a. in einem veränderten Erleben der Umgebung, insbesondere Zeitspannen können nicht mehr richtig eingeschätzt werden. Auch wurde von euphorisierenden Empfindungen berichtet, ebenso von Angstattacken. Weiterhin wird die eigene Einschätzung für die Leistungsfähigkeit eingeschränkt. Selbstüberschätzung kann hier die Folge sein.

Die individuelle Empfänglichkeit (Disposition) des Individuums spielt hier wohl eine signifikante Rolle.

Dispositionserhöhende Faktoren sind:

- Müdigkeit
- vorangegangener Alkoholkonsum
- Stress/psychische Probleme
- Körperliche Anstrengung vor und während des Tauchgangs

Dispositionsmindernde Faktoren sind:

- Training (i. e. Gewöhnung an einen hohen Stickstoffpartialdruck,  $ppN_2$ )
- Ausgeruhtheit
- Angstfreiheit

Letzteres erhält besondere Bedeutung, da mittlerweile erwiesen ist, dass sich der menschliche Körper an eine Zuführung von Stickstoff unter hohem Partialdruck gewöhnen kann und dieser dann toleriert wird, d. h. die Narkose setzt später ein.

Auch scheinen unserer Beobachtung nach die Abstiegs geschwindigkeit beim Abtauchen eine Rolle zu spielen. Steigt der Inertgaspartialdruck in kurzer Zeit schnell an, weil sehr schnell abgetaucht wird, spürt der Taucher die Narkosephänomene intensiver. Daher der Rat, sich beim Abtauchen Zeit zu lassen.

Es ist wohl überflüssig zu erwähnen, dass beim geringsten Anzeichen einer Inertgasnarkose, das ein Taucher verspürt, nicht noch weiter abgetaucht werden soll.

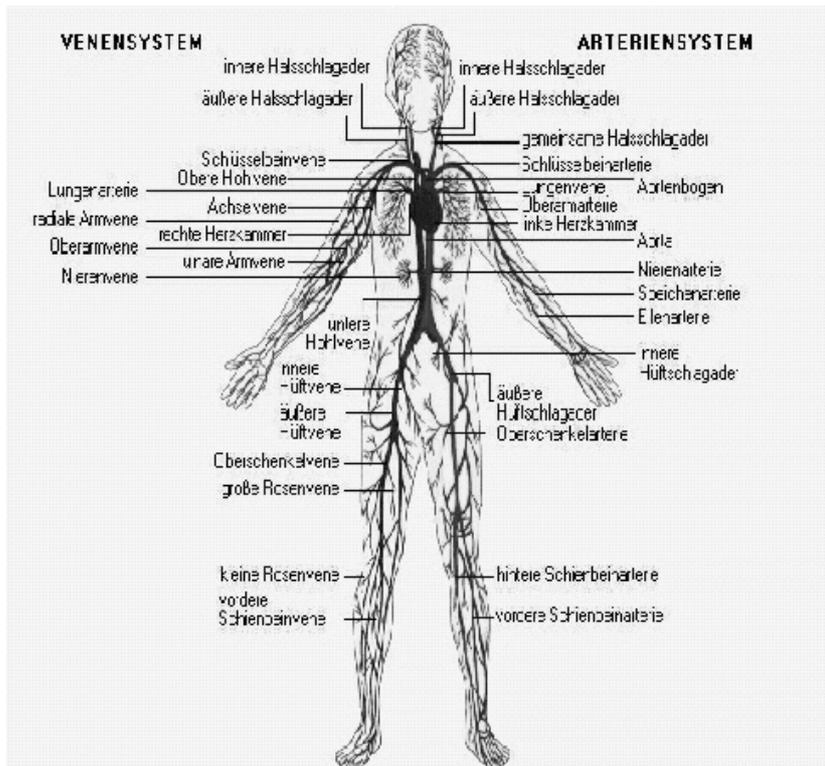
### **3.1.1 Dekompressionsproblematik**

Da das Wissen um die Dekompression beim Tieftauchen eines der wichtigsten Kapitel ist, soll hier diesem Themenbereich mehr Raum gewidmet werden.

#### **3.1.1.1 Physiologie der Dekompression**

##### *3.1.1.1.1 Luft und ihre physikalisch-/physiologische Bedeutung*

Taucher atmen ihr Atemgas unter einem erhöhten Umgebungsdruck. Dabei werden die Bestandteile des Atemgases, also jene Gase, aus denen sich z. B. Luft zusammensetzt, über den arteriellen Blutkreislauf zu den einzelnen Geweben transportiert. Darunter befinden sich auch die vorher genannten Inertgase.



### 3.1.1.1.2 Druck und Partialdruck

Die eingeatmeten Gase stehen dabei entsprechend ihrer prozentualen Verteilung im Gesamtgemisch ‚Luft‘ unter einem bestimmten Teildruck, dem sog. ‚Partialdruck‘. Er sagt aus, welchen Druck das Teilgas unter den gegebenen atmosphärischen Bedingungen auf andere Körper ausübt.

**Beispiel:** befindet sich ein Taucher auf einer Wassertiefe von **40 m**, so atmet er Luft unter einem Druck von ca. **5 bar**. Der Stickstoff mit seinem Anteil von 78% ( $78/100 = 0,78$ ) an der Luft steht daher auf 40 m Wassertiefe unter einem Partialdruck von

$$0,78 * 5 \text{ bar} = 3,9 \text{ bar.}$$

Der Partialdruck eines Gases lässt sich also errechnen zu

$$pp(X) = fig(X) * p.amb$$

pp(X) = Partialdruck (Teildruck) des Gases

fig(X) = Anteil am Gesamtgas

p.amb = Umgebungsdruck

Die Wirkung eines bestimmten Gases auf den menschlichen Körper ist vom Partialdruck abhängig, wenn auch die physiologische Wirkung vom zusätzlich Vorhandensein anderer

Gase (und damit deren Partialdrücken) abhängen kann.

#### 3.1.1.1.3 Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten

Nach dem Gesetz von Henry lösen sich Gase, die über oder an Flüssigkeiten stehen, zum Teil in diesen. Diese Löslichkeit hängt dabei ab

- a) vom Partialdruck des Gases
- b) Von der Aufnahmefähigkeit der Flüssigkeit für das Gas (Löslichkeit)

Beim Tauchen lösen sich also alle Atemgase in den Flüssigkeiten der Gewebe des Körpers, besondere Bedeutung haben jedoch die **Inertgase**

#### 3.1.1.1.4 Welche Inertgasmenge kann sich in einer Flüssigkeit oder einem Körpergewebe lösen?

Auf diese Frage ist keine eindeutige mengenbezogene Antwort möglich, es gibt jedoch eine Anzahl Faktoren, die in diese Betrachtung eingehen.

Die gelöste Menge von Inertgas in einem Gewebe hängt hauptsächlich ab von

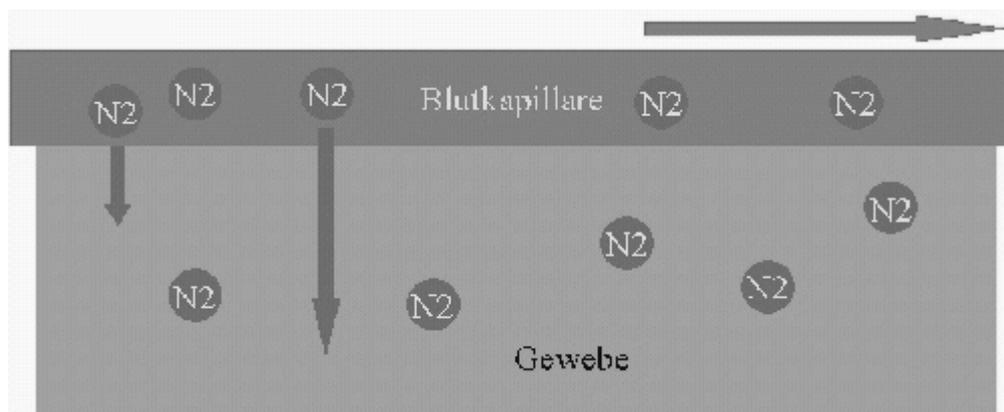
- dem Partialdruck des Gases, und damit vom Umgebungsdruck, also der **Tauchtiefe**: Je höher dieser Wert ist, desto mehr Inertgas löst sich.
- von der Zeit: Je länger das Gas unter erhöhtem Druck geatmet wird, desto mehr Inertgas löst sich (**Tauchzeit**). Der maximale Wert der zu lösenden Gasmenge ist hier begrenzt durch die Tatsache, dass ein solches Gewebe irgendwann gesättigt ist, und bei gegebener Tiefe kein weiteres Inertgas mehr aufnehmen kann.
- von der **Temperatur**: Je niedriger die Temperatur ist, desto mehr Inertgas löst sich (Problem: Tauchen in kaltem Wasser)
- Vom **Durchblutungsstatus** des Gewebes: Gut durchblutete Gewebe nehmen schneller und mehr Inertgas auf, als wenig durchblutete.
- Von der Löslichkeit des Gases: Fetthaltige Gewebe nehmen mehr Inertgas auf als wässrige.

Bühlmann nennt in [1] folgende Volumina (in ml), die sich in l Substanz lösen :

Gas	Wasser	Plasma	Vollblut	Olivenöl
O <sub>2</sub>	23,548	21,120	22,354	110,535
CO <sub>2</sub>	547,743	506,292	481,816	870,000
N <sub>2</sub>	12,110	11,687	12,830	66,124
Argon (Ar)	27,634	26,000	25,660	146,065
Neon (Ne)	9,474	9,200	9,178	19,640
Helium (He)	8,409	8,450	8,685	15,692
H <sub>2</sub>	16,190	15,130	14,760	47,767

### 3.1.1.1.5 Stickstoff als Inertgas

Der Stickstoff wird, wie andere Inertgase auch, von den Lungen aufgenommen und mit dem Blutstrom zu den einzelnen Körpergeweben (in der Fachsprache als *Kompartimente* bezeichnet) transportiert, wo er entsprechend dem *Gesetz von Henry* in die Gewebeflüssigkeit eingelagert wird.



Dieser Vorgang der Sättigung ist physikalisch betrachtet eine Diffusion: Ein Stoff strömt vom Ort hoher Konzentration zum Ort niedriger Konzentration und sucht somit ein Gefälle der Stoffkonzentration (Gradient) auszugleichen.

### 3.1.1.1.6 Sättigung und Entsättigung in den Körpergeweben

Der menschliche Körper besteht aus einer Vielzahl unterschiedlicher Gewebe. Diese lösen Stickstoff und andere Gase unterschiedlich schnell, was einerseits mit deren Fettgehalt (Nervengewebe mehr als Muskeln) und andererseits dem Durchblutungsstatus (Nerven mehr als Knochen und Knorpel) zu tun hat. Diese Gewebe bestehen zu einem großen Teil aus Flüssigkeit, insofern lässt sich das Gesetz von Henry auch auf diese Gewebe anwenden.

Wie alle Flüssigkeiten auch, haben diese Gewebe völlig unterschiedliche Sättigungszeiten für ein Gas. Die Gewebe, die den Stickstoff am schnellsten lösen, sind z. B. das Blut und die Nerven, mittlere Gewebe z. B. die Haut und die Muskeln, langsame Gewebe sind z. B. Knochen und Knorpel. Für jedes Gewebe hat man eine bestimmte "Sättigungshalbwertszeit" ermittelt, je kürzer diese ist, desto schneller ist eine Gewebe mit dem Inertgas gesättigt.

Außerdem hängt die Löslichkeit von der Dichte des Gases ab. Leichte Gase (z. B. Helium) lösen sich schneller als massereichere Gase (z. B. Stickstoff).

Die sog. **Halbwertszeit** ist dabei die Zeit, bis zu der ein Gewebe die Hälfte des theoretischen Endwertes der Sättigung (also abhängig vom Umgebungsdruck und damit der Tauchtiefe) erreicht hat.

Dabei haben die schnellsten Gewebe ein recht hohe **Toleranz** bei der später noch zu behandelnden Entsättigung als die langsamen, d. h. sie können eine höhere bzw. schnellere Druckentlastung beim Austauschen tolerieren als langsame Gewebe.

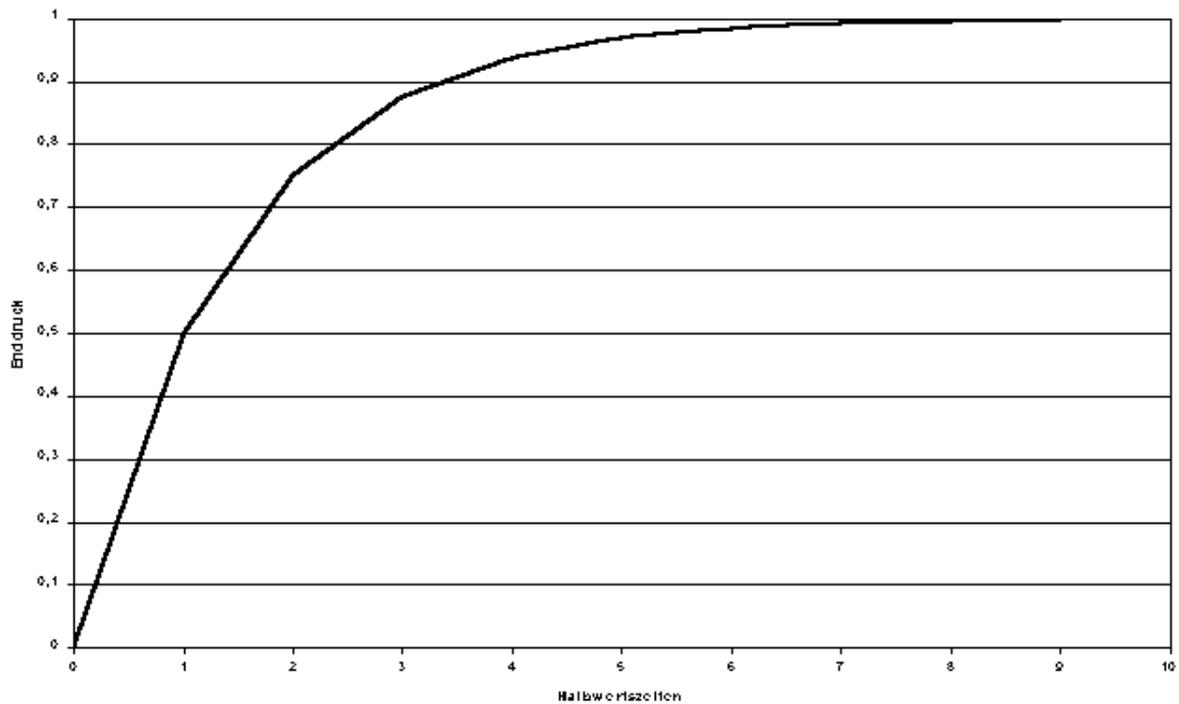
### 3.1.1.1.7 Verlauf der Lösungskurven

Wie alle mit Halbwertszeiten verknüpften Vorgänge sind auch diese Kurven exponentiell, d. h. sie streben einem rechnerischen Endwert entgegen. Beim Aufsättigen entspricht dieser Endwert der theoretisch möglichen maximalen Sättigung. In der Praxis bedeutet dies, dass ein Gewebe nach einer bestimmten Zeit unter einem bestimmten Druck keinen weiteren Stickstoff mehr aufnehmen kann, es ist gesättigt.

Beim Entsättigen (also der Gasabgabe) entspricht der Partialdruck nach  $n > 10$  Halbwertszeiten des Inertgases dem des Atemgasgemisches.

Eine typische Sättigungskurve hat den unten gezeigten Verlauf. Man erkennt, dass nach ca.

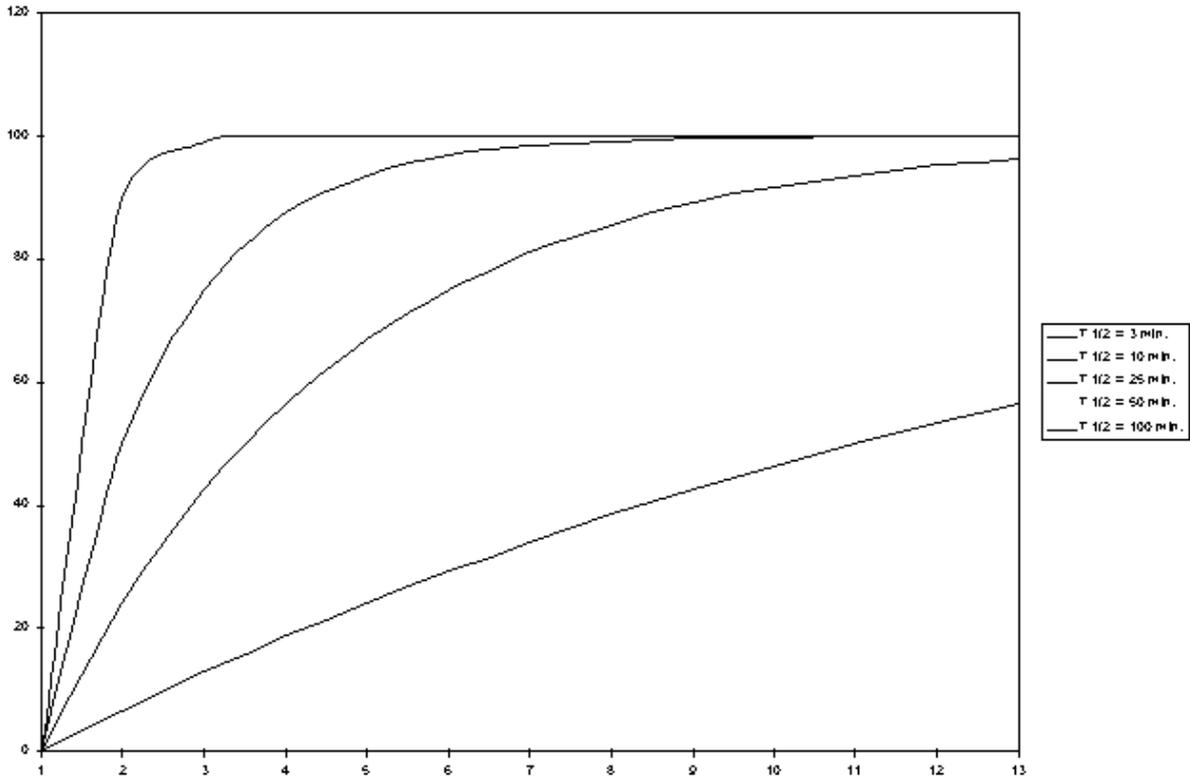
8 - 9 Halbwertszeiten das Gewebe (bei gegebenem Umgebungsdruck) kein weiteres Inertgas aufnehmen kann. Der Sättigungszustand ist erreicht.



Sättigungskurve eines Gewebes mit Inertgas über die Zeit

### 3.1.1.1.8 Sättigungsverlauf verschiedener Gewebe

Während der Aufsättigungsphase haben verschiedene Gewebe ganz unterschiedliche Lösungszustände für das Inertgas weil sie unterschiedliche Sättigungshalbwertszeiten besitzen.



Die ganz linke Kurve entspricht einem schnellen Gewebe (z. B. dem Blut), es erreicht die Sättigung schneller als alle anderen sog. Gewebe (Kompartimente). Die ganz rechte Kurve entspricht dem langsamsten Gewebe dieser Schar.

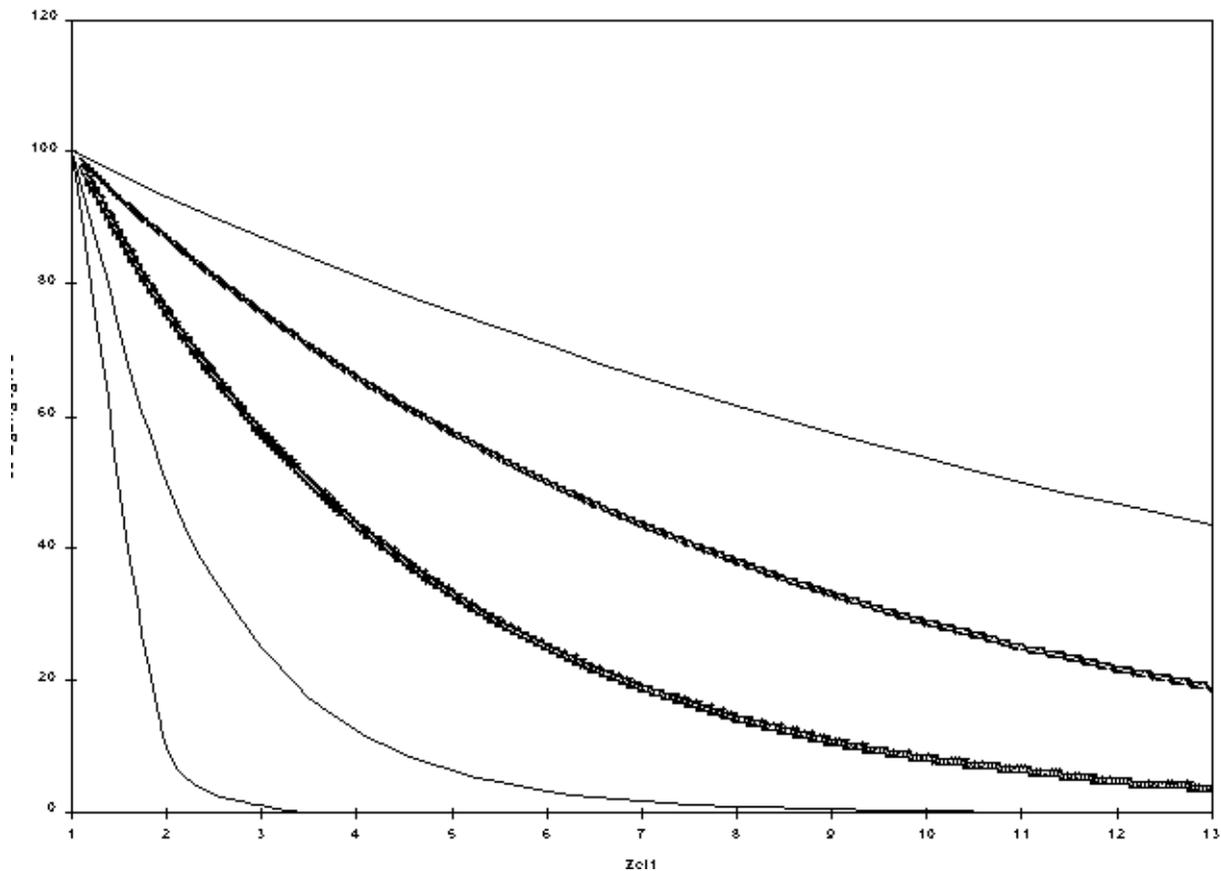
### 3.1.1.9 Welche Gewebe sind beim Sporttauchen relevant?

Die unterschiedlichen Körpergewebe verhalten sich beim Abtauchen (Aufsättigung mit Inertgas) und beim Auftauchen (Abgabe des Inertgases) unterschiedlich:

Schnelle Gewebe mit kurzen Halbwertszeiten (z. B. Gehirn, Rückenmark, Nerven, Blut)	Langsame Gewebe mit mittleren Halbwertszeiten (Muskeln, Haut) und langen Halbwertszeiten (Knochen, Knorpel)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sie sättigen Inertgas schneller auf.</li> <li>• Sie geben Stickstoff schnell wieder ab</li> <li>• Sind besonders für kurze tiefe Tauchgänge relevant</li> <li>• Haben beim Entsättigen, also der Inertgasabgabe beim Auftauchen, höhere Toleranzen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Langsame Stickstoffaufnahme und -abgabe</li> <li>• Besonders relevant bei langen flachen Tauchgängen und häufigen Wiederholungs-Tauchgängen in kurzer Zeit (sog. „Non-limit-Tauchen“)</li> <li>• Niedrige Toleranz gegenüber zu schneller Druckentlastung beim Auftauchen</li> </ul>

### 3.1.1.1.10 Die Entsättigung

Bei Druckentlastung (**Dekompressionsphase**, also dem Auftauchen) geben die Gewebe den gelösten Stickstoff wieder ab, weil der Umgebungsdruck sinkt. Dies ist der umgekehrte Vorgang des Abtauchens (*Kompressionsphase*) oder der Tauchphase (Isopressionsphase, iso = gleich).



Der Stickstoff oder ein anderes Inertgas tritt dabei aus der Gewebsflüssigkeit aus und strebt mit dem Blutstrom der Lunge zu, wo es abgegeben wird. Wir sprechen hier von **Inertgaselimination**, also der Entfernung des Inertgases aus dem Körper.

### 3.1.1.1.11 Übersättigung und Sättigungstoleranzen

Beim Auftauchen kann der Stickstoff den Körper nicht unbegrenzt schnell verlassen. Es entsteht eine Übersättigung der Gewebe mit Inertgas, was aber noch keine Dekompressionskrankheit, sondern lediglich sog. *Mikrogasblasen*, die keine krankmachende (pathogene) Wirkung entfalten, hervorbringen. Mikrogasblasen sind gewissermaßen die

Verkörperung (**Manifestation**) des aus den Geweben austretenden Inertgases, das der Lunge entgegen strebt um aus dem Körper entfernt zu werden.

Wird jedoch die Druckabnahme zu schnell durchgeführt, tritt zuviel Gas in einer bestimmten Zeit aus den Geweben aus und es bilden sich mehr oder weniger große Blasen, weil die große, momentan frei gewordene Stickstoffmenge nicht vom Ort des Entstehens abtransportiert werden kann. Gut durchblutete, sog. "schnelle", Gewebe haben daher eine geringere Tendenz zur Bildung von Stickstoffblasen, weil hier das Inertgas schnell abtransportiert werden kann.

Bilden sich jedoch große Gasblasen (**manifeste Blasen**), kommt es zu örtlichen Gewebeerreissungen, was man z. B. an den Hautrötungen bei einer leichten Dekompressionskrankheit und den Schmerzen in den Gelenken, den sog. "bends" beobachten kann. Diese weniger gravierenden Symptome der sog. **Dekompressionskrankheit** (sog. **Typ I**) treten auf, wenn bestimmte Gewebe (Muskeln, Haut) mehr Gas abgeben müssen, als sie symptomlos tolerieren können.

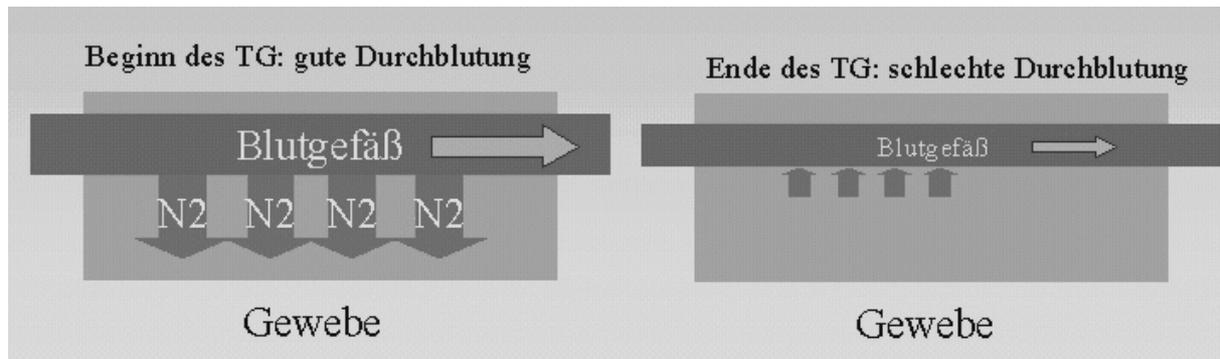
Schwerere Symptome der Dekompressionskrankheit entstehen, wenn Gasblasen aus dem venösen System in der Lunge wegen ihrer großen Zahl und der damit einher gehenden Herabsetzung der Lungenfunktion und des Gasaustausches nicht abgeatmet werden können und in das arterielle System übertreten. Dort können sie wie ein Thrombus (Pfropfen) die Blutzufuhr zu lebenswichtigen Organen blockieren, so dass es hier nicht selten zu Nervenlähmungen, motorischen oder sensorischen Ausfällen oder im Extremfall zum Tod kommt (sog. **Typ II** der **Dekompressionskrankheit**)

Alle Gewebe haben dabei, wie bereits geschildert, bestimmte Toleranzen gegen eine zu hohe Stickstoffaufladung (Gasspannung) und können einen bestimmten Gasüberdruck aushalten, ohne dass sich eine relevante Zahl und Größe von Gasblasen ausbildet. Dieser Gasüberdruck entsteht alleine deshalb, weil der Außendruck infolge Auftauchens kleiner wird, der Innendruck des gelösten Gases im Gewebe aber nicht zeitnah synchron folgen kann.

Schnelle Gewebe sind dabei toleranter gegen Übersättigung als langsame. Die Auftauchgeschwindigkeit muss daher so bemessen sein, dass die Übersättigungstoleranzen **aller Gewebe** eingehalten werden und nicht zuviel Gas auf einmal die Gewebe verlässt, so dass sich keine Blasen bilden können.

### 3.1.1.1.12 Verzögerte Entsättigung

Die Entsättigung verläuft theoretisch umgekehrt wie die Aufsättigung, aber unterschiedliche Durchblutungscharakteristika der Gewebe können die Entsättigung verlangsamen: Kalte Haut und schlechte Durchblutung am Ende des TG verursachen z. B. „Transportprobleme“.



Daher lässt sich auch die Forderung ableiten, beim Kaltwassertauchen einen Trockentauchanzug zu verwenden.

### 3.1.1.1.13 Mikrogasblasen

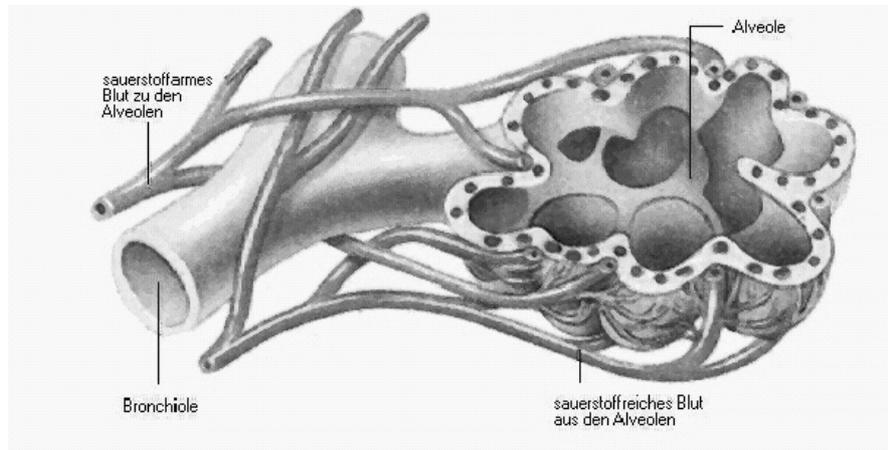
Bei jedem Tauchgang entstehen beim Auftauchen infolge der Verminderung des Umgebungsdruck durch Austritt von Inertgas aus den Geweben sog. **Mikrogasblasen**. Ihre Größe liegt im Bereich einiger Millionstel m und sie sind gesundheitlich weitgehend unbedenklich.

Diese Blasen haben jedoch einen negativen Einfluss auf die Inertgaselimination in der Lunge, d. h. die Abgabe von Stickstoff (Helium) durch die Lunge sinkt. Sie setzen also die Wirksamkeit der Lunge herab. Ihre negative Wirkung auf die Inertgaselimination entsteht deshalb, weil sie die feinsten Blutgefäß in der Lunge zum Teil verstopfen können und daher den Gasaustausch in den Lungenbläschen (Alveolen) behindern.

### 3.1.1.1.14 Stickstoffabgabe über die Lunge

Der aus den Geweben stammende Stickstoff bzw. ein anderes Inertgas wird im venösen Blut gelöst und zur Lunge transportiert, wo er weitgehend abgeatmet werden kann, wenn die in einer bestimmten Zeit transportierte Gasmenge unterhalb eines kritischen Schwellenwertes bleibt. Diesen Schwellenwert zu ermitteln und immer unterhalb der kritischen (Blasen-

)Grenze zu bleiben, ist die Aufgabe der entwickelten Dekompressionsverfahren wie Deko-Tabellen und Tauchcomputer.



Physiologische Eigenheiten können die Stickstoffabgabe verlangsamen:

- Offenes *foramen ovale* (PFO, Loch in der Herzscheidewand, erlaubt den Übertritt venösen, blasenhaltigen Blutes in den arteriellen Kreislauf)
- Rauchen (führt wegen Vasokonstriktion (Gefäßverengung) zu einer Minderdurchblutung der Kapillaren)
- Fettleibigkeit (Fettzellen lösen besonders viel Inertgas, daher steigt die Menge des gelösten Gases, das später wieder abgegeben werden muss)
- Dehydrierung (Austrocknung, z. B. bei Durchfall oder zu wenig Flüssigkeitsaufnahme, Seekrankheit, führt zu einer verminderten Fließfähigkeit des Blutes)
- Körperliche Anstrengung während des TG (Vermehrte N<sub>2</sub>-Aufnahme da AMV erhöht, CO<sub>2</sub>-Überhang => größere Blasen durch 2 Inertgase )
- Vorhergegangene Dekompressionsunfälle (DCS).
- Stress (höheres AMV, also zusätzliche Aufsättigung).
- Kurze Oberflächenpausen, daher hohe Konzentration von Mikrogasblasen.
- Schnelle Aufstiege ( $v_{max} > 7-10$  m/min.).

### 3.1.1.1.15 Dekompression in der Praxis

Wie geschildert, haben die Regeln der Dekompression Bedeutung für das Tauchen mit allen Gasen außer reinem O<sub>2</sub>, weil hier keine Inertgase vorhanden sind. Im Wesentlichen kommt es darauf, an die Austauschphase entsprechend den physikalischen Gegebenheiten zu gestalten.

### *3.1.1.1.16 Nullzeittauchgänge sind nicht wirklich sicher: Der ewige Streit "Nullzeit-TG" vs. "Deko-TG"*

Eine **wiederholt** zu hörende, der von moderner Tauchausbildung immer wieder vertretene, Aussage, die man Tieftauchern immer entgegenhält, ist, nur Nullzeittauchgänge seien sicher. Tieftauchgänge wegen der damit immer einher gehenden Dekompressionspflicht jedoch nicht.

Das ist Unsinn und dient u. E. nur der vordergründigen Befriedigung des Sicherheitsbedürfnisses schlecht ausgebildeter und unzureichend informierter Taucher.

Laut allgemein gültiger Definition liegt ein Nullzeittauchgang dann vor, wenn beim AUSTAUCHEN keine Dekompressionspausen eingehalten werden müssen. Physikalisch bedeutet dies, dass der "Aufladungszustand" aller Gewebe des Körpers mit Inertgas (Stickstoff/Helium) zu einem bestimmten Zeitpunkt ausreichend so niedrig ist, dass eine Druckverminderung des Körpers auf 1 bar (Luftdruck an der Wasseroberfläche) symptomlos toleriert würde.

Dabei werden wohlweislich bestimmte Einzelheiten verschwiegen:

Beim Tauchen kommt es bereits beim Abtauchen und erst recht beim Tauchen in, wenn auch, geringen Tiefen zu einer Inertgasaufladung der Gewebe. Dadurch wird jeder Tauchgang sofort zu einem Dekompressionstauchgang, wenn auch das sofortige AUSTAUCHEN noch möglich wäre, weil die Gewebe ja eine bestimmte Toleranz gegen Gasblasenbildung aufweisen.

So ist es möglich, dauernd entlang dieser "Nullzeitgrenze" entlang zu tauchen. Das Verfahren funktioniert so: Ist der Taucher eine bestimmte **Zeit** auf einer bestimmten **Tiefe**. Nähert sich die Inertgasaufladung der Gewebe langsam dem Wert, der ein sofortiges AUSTAUCHEN verhindern würde (der Tauchgang also zum Deko-TG würde), so dass in Kürze explizite Stopps unterhalb der Wasseroberfläche nötig wären, so taucht man einfach einige Meter höher und verlangsamt dadurch die weitere Aufladung. Diese Spiel kann man theoretisch treiben, bis die Luft in der Flasche leer ist oder man die Wasseroberfläche erreicht hat, wenn auch zwischen 0 und 10 m Wassertiefe die Zunahme der Aufladung nicht mehr problematisch wird. Taucht man nach diesem Verfahren, so ist man vordergründig nie eine explizite Dekompressionspflicht eingegangen.

Problem dabei ist, dass mindestens ein Körpergewebe so aufgesättigt ist, dass es kurz vor einer Dekompressionsproblematik steht. Exzessives Nullzeittauchen heißt eigentlich nur, sich an diese kritische Schwelle "heranzutasten", was moderne Dekompressioncomputer ja theoretisch möglich machen. In der Praxis aber eben auch Probleme hervorbringen können, da das Dekompressionsverhalten verschiedener Menschen höchst unterschiedlich sein kann. Das was für Person A noch tolerabel ist, kann für Person B schon zur Behandlung in der Rekompersionskammer führen.

Allerdings heißt "**keine Dekompressionspflicht**" nicht "**keine Dekompression**". Die Dekompressionsphase läuft hier nur ohne Planung des Tauchers ab, der sich zwar sicher wähnt, aber trotzdem mit mindestens einem voll aufgesättigtem Gewebe aus dem Wasser kommt, und dabei noch ein gutes Gewissen hat. Der Trick liegt in der Aufstiegs geschwindigkeit, die so bemessen wird, dass eben doch scheinbar "sofort" ausgetaucht werden kann.

Bei einem regelgerecht durchgeführten Dekompressionstauchgang hat man am Ende der Dekompressionsphase den selben Zustand wie nach einem Nullzeit-TG, der an die Grenze der Dekompressionspflicht führte: Mindestens ein vollgesättigtes Gewebe, dass unter den gegebenen äußeren Druckbedingungen noch gerade keine Dekompressionskrankheit erzeugt.

Folgende, häufig geübte, Praxis einen Tauchcomputer zu verwenden, ist also **besonders bedenklich**, da sie eine hohe Anzahl an Mikrogasblasen hervorbringt:

### **Tauchen an der Nullzeitgrenze**

- Nach einer bestimmten Tauchzeit auf einer bestimmten Tauchtiefe, werden u. U. Dekompressionsstopps notwendig.
- Viele Taucher tauchen dann kurz vor diesem Zeitpunkt in geringere Tiefen auf.
- Dies wird immer wiederholt, wenn die Nullzeitgrenze erreicht wird, was vom Computer ja mitgeteilt wird, so dass theoretisch keine Dekompressionspflicht entsteht. **Risiko:** Bestimmte Gewebe (u. a. das Führungsgewebe) sind nahe an der Toleranzgrenze für die max. zul. Gasspannung
- Physikalisch kein Unterschied zum Dekompressionstauchen, außer dass explizite Stopps vermieden werden (Ergebnis: Mindestens ein Gewebe ist soweit gesättigt, dass gerade noch keine großen Gasblasen entstehen)

Wir sehen also, dass dieses Argument „Die Nullzeit ist sicher“ völlig falsch ist und daher von dieser Seite keine ernsthafte Argumentation gegen tiefere Tauchgänge sein kann.

#### *3.1.1.1.17 Gestaltung der Austauschphase bei Dekompressionstauchgängen*

Werden Dekompressionstauchgänge durchgeführt, bedeutet dies zuerst einmal, dass dem Taucher der direkte Weg zur Oberfläche für einige Zeit versperrt ist.

Dies macht Tauchern vielfach Angst, weil sie nicht, besonders wenn sich z. B. während des Tauchgangs Probleme ergeben, sofort auftauchen könnten. Das ist zuerst einmal ein psychologisches Problem. Von daher sollte unerfahrenen oder unsicheren Tauchern natürlich von Dekompressionstauchgängen abgeraten werden, solange dieser psychische und/oder Erfahrungsstatus sich nicht geändert haben.

Dekompressionstauchgänge lassen sich anhand von Dekompressionstabellen oder mittels Dekompressionscomputern (Tauchcomputer) durchführen. Sie setzen regelmäßig eine gewissenhafte Tauchgangsplanung voraus, weil der mitgeführte Atemgasvorrat jetzt genau kalkuliert werden muss damit er für die Tauch- und für die Dekompressionsphase ausreichend ist. Insofern unterscheiden sich geplante Deko-TG drastisch von "Nullzeit-Fun-Dives".

Wird ein Dekompressions-TG durchgeführt, so ist ab einer bestimmten, vorher geplanten, Tauchzeit der Aufstieg einzuleiten. Ob man vertikal, an einer Steilwand, im Freiwasser oder an Geländestrukturen entlang aufsteigt, ist irrelevant, ganz abgesehen davon dass die Techniken des Trierens beherrscht werden müssen.

Die Aufstiegsgeschwindigkeit zur ersten Dekompressionstufe sollte nicht mehr als 8-10 m/min betragen. Ist man auf der ersten Stufe angekommen, so wird dort die in der Tabelle oder dem Computer ausgewiesene Zeitspanne verweilt und dann zur nächsten Stufe aufgestiegen.

Die Dekompressions-Tiefen sollten so genau als möglich eingehalten werden. Steigt man zu hoch auf, so wird zuviel Inertgas pro Zeit freigesetzt oder es bilden sich Mikrogasblasen in zu großer Zahl, bleibt man zu tief, wird nicht schnell genug entsättigt.

Eine gewisse Toleranzgrenze ist jedoch auch hier gegeben, man geht davon aus, dass bei einer mittleren Dekompressionspflicht, 2 bis 3 Minuten Unterschreitung der Dekompressionstiefe toleriert werden. Man kann also auch während einer Dekophase kurz

Austauchen, um sich z. B. an der Oberfläche zu orientieren.

#### *3.1.1.1.18 Austauchen unter vermindertem Umgebungsdruck (Bergseetauchen)*

Viele Tieftauchgänge finden auch in Bergseen statt, somit ist Tieftauchen in Bergseen häufig Dekompressionstauchen. Der niedrige Luftdruck in der Höhe erfordert jedoch die Beachtung anderer Dekompressionsregeln.

Die Dekompressionsregeln der gängigen Tabellen und Computermodelle sind so beschaffen, dass beim Verlassen des Wassers der umgebende Luftdruck mit ca. 1 bar angenommen wird. Da nach Verlassen des Wassers die Dekompression (Entsättigung) der Gewebe noch nicht beendet ist, müssen alle Gewebe bei diesem Umgebungsdruck bereits das Inertgas so weit abgebaut haben, dass keine manifesten großen Gasblasen mehr auftreten können.

Würde man den Luftdruck beim Verlassen des Wassers vermindern, könnte es jetzt wegen des größer gewordenen Druckgefälles zwischen Inertgaspartialdruck in den Geweben und Umgebungsdruck doch noch zu einer Dekompressionskrankheit kommen.

Beim Tauchen in hoch gelegen Gebirgsseen ist der Umgebungsdruck jedoch regelmäßig niedriger, so dass die Gewebe vor Verlassen des Wassers weiter entsättigen müssen, als sie das tun müssten, wenn der Umgebungsdruck Normalwerte hätte.

Bergseetauchtabellen und höhenangepasste Computermodelle rechnen daher regelmäßig mit verlängerten Dekompressionszeiten verglichen mit den Tabellen für Meereshöhe. I. d. R. wird man davon ausgehen können, dass ab einer Höhe über NN von >700 m eine Bergseetabelle zu verwenden ist.

#### *3.1.1.1.19 Die Bedeutung der Aufstiegsgeschwindigkeit*

Je höher diese ist, desto risikoreicher die Dekompression (Mikroblasen, u. U. manifeste Blasen). Abhängig vom Tiefenbereich (Druckentlastung pro Tiefenmeter)

Als max. Aufstiegsgeschwindigkeiten sind anzusetzen:

- im Tiefenbereich unterhalb 20m: v max. = 10-18 m/min
- im Tiefenbereich oberhalb 20m: v max. = 8-10 m/min

Geplante Dekompressionsstopps setzen die Aufstiegsgeschwindigkeit also künstlich herab. Auch bei „Nullzeit“-TG muss der Taucher auf eine geringe Aufstiegsgeschwindigkeit achten und sollte einen Dekompressionstopp von 4-5 min. auf 3-5 m Wassertiefe einhalten.

### 3.1.1.1.20 Dekompression mit sauerstoff-angereicherter Luft (Nitrox) oder Reinsauerstoff

Wenn während der Dekompression der Stickstoffgehalt der Atemluft verringert wird, ergibt sich ein Vorteil gegenüber Luft. Wegen des jetzt höheren Stickstoffgefälles innerhalb und außerhalb der Lungenbläschen diffundiert der abgegebene Stickstoff schneller aus dem Körper hinaus. Der Druckgradient steigt, damit steigt auch die Diffusionsrate.

Das kann zuerst einmal ein Vorteil sein. Um jedoch diese Dekompressionsmethode anwenden zu können, ist es nötig, auch den entsprechenden Gasvorrat mit sich zu führen. Sie handeln sich eine weitere (u. U. schwere) Tauchflasche ein, zusätzlich natürlich einen Atemregler und müssen dieses Paket irgendwie an sich befestigen. Sie könnten es sich mit einem Haken irgendwo an Ihrem Jacket befestigen oder neben Ihre Hauptflasche auf den Rücken schnallen.

Von den Befürwortern des Nitrox-Tauchens und der Dekompression mit nitrosen Gasen wird gelegentlich ins Felde geführt, dass die „Dekompressionsqualität“ mit Nitrox oder Reinsauerstoff höher sei. Dazu ist zu sagen, dass eine wie auch immer zu definierende „Dekompressionsqualität“ primär sicher nichts mit der Zusammensetzung des Atemgases zu tun hat, sondern sich an anderen Größen ausrichten muss.

Die Qualität der Dekompressionsphase entscheidet sich alleine am Austauschprofil, also am Quotienten der Druckentlastung ( $dp/dt$ ) in Relation zur vorher erfolgten Aufsättigung der Gewebe mit dem jeweiligen Inertgas, welcher natürlich abhängig vom Atemgasgemisch ist.

Die Austauschprofile sind stets anhand der theoretisch hergeleiteten und empirisch abgesicherten Dekompressionsalgorithmen (Tabellen, Computerimplementationen) durchzuführen.

Entscheidend für die Qualität einer Dekompression ist daher ein **möglichst konservatives**

**Austauchprofil.** Ob dieses mit Nitrox oder Luft getaucht wird, ist dann nur noch von sekundärer Relevanz.

Ein praktisches Beispiel: Wenn ein Taucher eine Dekompression im Bereich ab einschließlich 6 m Wassertiefe mit Reinsauerstoff durchführt, so wird ihm das natürlich unbestritten eine schnellere Inertgaselimination aus dem Körper heraus ermöglichen. Muss er dann jedoch, aufgrund 20 kg mehr Masse an seinem Körper einen beschwerlicheren Weg zu seinem Auto zurücklegen, dabei Anstiege bewältigen und obendrein mehr schwere Ausrüstung in sein Auto heben, so kann er davon ausgehen, dass er einen Gutteil seiner höheren „Dekompressionsqualität“ wieder kompensiert hat, weil eben körperliche Anstrengungen nach dem Tauchen konsequent zu vermeiden sind.

Auch die in „Tech-Taucher“kreisen geführte Diskussion ob man ein Gemisch aus 80% O<sub>2</sub> und 20 % Stickstoff oder besser 100% O<sub>2</sub> für die Dekompression verwenden soll, erscheint vor diesem Hintergrund eher akademisch.

### 3.1.1.1.21 Tipps für die Tauchsicherheit

- Jo-Jo Tauchgänge vermeiden. Ein regelgerecht durchgeführter Tieftauchgang hat die Profilform eines Trapezes. Die größte Tiefe wird zuerst aufgesucht:



- Wiederholungstauchgänge planen mit möglichst großer Oberflächenpause zwischen dem 1. TG und dem 2. TG. Die Mikrogasblasenbildung erreicht ihr Maximum ca. 1 - 2h Ende des letzten TG, wer dann gleich wieder ins Wasser springt, nimmt die

nächsten Blasenkeime gleich mit. Auch sind Zeitzuschläge zur Dekompression zu beachten (zumindest beim Tauchen mit Tabellen, der Computer rechnet das mit ein)

- Auch mal einen Tauchgang am Tag ausfallen lassen oder einen Tag nicht tauchen (langsame Gewebe entsättigen lassen).
- Ausreichenden Atemluftvorrat einplanen (d. h. 70-80 bar bei Beginn der Dekompression, je nach Flaschengröße und kalkulierter Dekodauer)
- Körperliche Belastungen und hohe Temperaturen (Sauna) nach dem TG vermeiden (keine vermeidbaren Kondensationskerne für Gasblasen erzeugen)
- Vor dem Fliegen 12 h nicht tauchen.
- Auf genug Flüssigkeitsaufnahme achten. Blut mit geringer Fließfähigkeit kann austretendes Inertgas nicht so effektiv zur Lunge transportieren.

#### 3.1.1.1.22 Dekompressionsunfälle/Dekompressionskrankheit (DCS, decompression sickness)

Durch zu schnelle Druckentlastung beim Auftauchen entstehen Stickstoffblasen, d. h. das Inertgas bleibt nicht in Lösung sondern wird so massiv freigesetzt, dass große Gasblasen entstehen. Diese Gasblasen führen einerseits zu lokalen Gewebeschädigungen (Ischämien, Läsionen, Gewebszerreißen), andererseits gelangen sie in den venösen Blutkreislauf und werden zur Lunge transportiert. Dort können sie in das arterielle System übertreten (in der Lunge, sog. "rechts-links-Shunt") Außerdem werden diese Gasblasen vom körpereigenen Abwehrsystem als Fremdkörper erkannt und angegriffen, so dass es zu den Körper weiter belastenden Stressreaktionen kommt.

Wegen der großen Zahl der Blasen können diese dann, wenn in der Lunge angekommen, nicht vollständig über die Lungenbläschen an die Außenluft abgegeben werden. Dies führt einerseits zur Entstehung kleinster Lungenembolien und weiter dazu, dass diese Blasen weiter in den arteriellen Blutkreislauf eintreten, entweder direkt über die Lunge oder über ein Loch in der Herzscheidewand (patentes foramen ovale, PFO, das bei ca. 30% der Menschen vorhanden ist). Weiterhin besteht die bei massivem Einströmen von Gasblasen in die Lunge die Gefahr eines auf die Lunge begrenzten Bluthochdruckes, der zum Herzversagen und Kreislaufkollaps führen kann.

Unterschieden werden im Bezug auf die Dekompressionskrankheit folgende Typen, deren Ursache differenziert werden muss:

- **DCS Typ I** mit Haut-, Muskel- und Gelenksymptome („Bends“), Juckreiz der Haut  
Hier werden Gasblasen vorwiegend in den mittleren und langsamen Geweben freigesetzt. Die Nervensymptomatik ist vielfach ausgeblendet, wenn es auch im Nachhinein wegen des großen Volumens an Gasblasen zu neurologischen Störungen kommen kann.
- **DCS Typ II** mit Nervenlähmungen, Trübung des Bewusstseins, Bewusstlosigkeit, motorische und sensorische Störungen (Taubheit, Blindheit) . Dieser Phänotyp ist **akut lebensbedrohlich**, weil schwere neurologische Ausfälle drohen und zusätzlich wegen der großen im Kreislauf sich befindlichen Gasvolumina ein Kreislauf- und/oder Lungenversagen droht. Ursache ist die Gasblasenbildung im Nervengewebe bzw. Blutgefäßverschlüsse zum Zentralnervensystem oder Gehirn.
- **DCS Typ III** Langzeitschäden wie Skelettveränderungen, Nervenschädigungen („Läsionen“), die hauptsächlich bei langjährigen Berufstauchern beobachtet wurden.

#### 3.1.1.1.21 Behandlung der DCS

- Atmung von O<sub>2</sub>, möglichst hoher O<sub>2</sub>-Anteil, am besten 100%.
- ruhige, flache Lagerung bei anprechbarem Unfallopfer, sonst stabile Seitenlage
- Flüssigkeitszufuhr
- Rettungskette mit Behandlung in Rekompersionskammer

Die Behandlung der Dekompressionskrankheit zielt darauf ab, die freien manifesten Gasblasen im Körper zu eliminieren. Die kann durch verschiedene Methoden erreicht werden.

Zuerst ist der Druckgradient, also das Inertgasgefälle zu erhöhen. Da es sich bei der Inertgaselimination ebenso wie bei der Aufsättigung um einen Diffusionsprozess handelt, ist dafür zu sorgen, dass das Inertgas den Körper möglichst schnell verlassen kann. Dazu wird die Gabe von Reinsauerstoff empfohlen. Aufgrund der Tatsache, dass der Körper durch diese Maßnahme keinen weiteren Stickstoff aufnehmen kann, ist das Druckgefälle (Gradient) vom Körper zur Umgebung maximiert, d. h. der Stickstoff wird mit maximal möglicher Transportrate abgegeben.

Weiterhin sind die im Körper sich befindlichen Gasblasen zu verkleinern. Dies wird durch eine Rekompensation in einer Druckkammer erzielt, z. B. auf einen Umgebungsdruck, der einer Wassertiefe von 50m entspricht (6 bar). Von diesem Druck wird langsam, über mehrere Stunden entlastet, zum Schluss unter Atmung von 100% O<sub>2</sub>. Dieser hohe Druck ist deshalb

notwendig, weil sich die Gasblasen im Körper nicht in Kugelform manifestieren sondern in länglicher Form sich an die Gefäßwände anlagern. Um diese Blasen so zu verkleinern, dass sie das Gefäß wieder freigeben, ist ein hoher Umgebungsdruck notwendig, weil sich die wegen der Adhäsionskräfte weiter an die Wände des Blutgefäßes anlagern und zuerst in der Länge schrumpfen und dann erst im Durchmesser.

Um die Fließfähigkeit des Blutes zu verbessern ist dem ansprechbaren Patienten ausreichend Flüssigkeit zuzuführen, allerdings wegen der dehydrierenden (wasserentziehenden) Wirkung kein Alkohol, Kaffee oder Tee.

Keinen Beleg gibt es für den Nutzen der Gabe von Aspirin zum Zwecke der Verbesserung der Fließfähigkeit des Blutes.

#### *3.1.1.1.22 Alternative Behandlungsmöglichkeiten*

##### **a) Nasse Re-/Dekompression mit Druckluft**

Vorgehen: Patient atmet aus SCUBA Luft auf 10 bis 15m WT. Diese ist abzulehnen weil

- sich der Patient in unstabilem, nicht tauchtauglichen Allgemeinzustand befindet
- Gefahr der Auskühlung durch langen Wasseraufenthalt und
- Gefahr der Bewusstlosigkeit oder Erbrechen unter Wasser besteht.

##### **b) Nasse Re-/Dekompression mit Sauerstoff (max. 9m WT)**

Dieses Verfahren wird in Australien teilweise recht erfolgreich praktiziert, was gut funktioniert, da hier die Auskühlung der Patienten keine Gefahrenquelle darstellt. Der Patient atmet mit Vollgesichtsmaske einige Stunden im warmen Wasser reines O<sub>2</sub> in einer Wassertiefe von 6 bis 9 m.

#### *3.1.1.1.23 Ausgelassene Dekompression und kurzes Austauchen, Luftmangelsituation*

Im Falle, das absehbar ist, dass der Luftvorrat nicht für die ganze Dekompressionsphase ausreicht, ist wie folgt vorzugehen:

In jedem Falle sollte man die tieferen Dekostopps so korrekt als möglich durchführen (also z. B. auf 12, 9 und evtl. 6 m) um die schnellen Gewebe wie Nerven und Zentralnervensystem zu entsättigen und dann die flacheren Stopps auslassen bzw. auf dieser Tiefe die Flasche vollständig leer atmen. Dies beugt irreversiblen neurologischen Schäden vor, impliziert jedoch Schädigungen der Haut, Muskeln, Knorpel. Da letztere jedoch weit weniger gravierend sind, ist diese Empfehlung dringend angezeigt.

Besteht die Möglichkeit, ein volles Tauchgerät innerhalb weniger Minuten zu erreichen, so kann eine Toleranzzeit von 2 bis 3 Minuten gerechnet werden, in der der Taucher gefahrlos und ohne Symptome einer DCS in das Wasser zurückkehren kann. Sodann ist die gesamte Dekompressionsphase beginnend mit der tiefsten Deko-Stufe erneut zu durchlaufen. Dieses Vorgehen wird als "**nachgeholte Dekompression**" bezeichnet, im Unterschied zur "nassen Rekompensation".

Ist die Zeitspanne außerhalb des Wassers zu lang und es zeigen sich nach Verlassen des Wassers erste Symptome der DCS, darf nicht wieder abgetaucht werden. Stattdessen ist die Gabe von reinem O<sub>2</sub> und eine ruhige Lagerung angezeigt.

#### *3.1.1.1.24 Falsche Annahmen und Aussagen zur Dekompression*

Folgende Aussagen, die man immer wieder in Tauchsportkreisen hört, sind letztlich unbewiesen:

- Es fehlt bis heute u. a. ein eindeutiger wissenschaftlicher Beleg für die Richtigkeit der These „Tiefster Tauchgang zuerst“. Mit den Gewebemodellen der Dekompression (z. B. dem Bühlmann-Modell) lässt sich dies nicht erklären. Ein Ansatz bieten die Blasenmodelle (wie VPM, variable permeable membrane, RGBM, reduced gradient bubble model) sind Ansätze vorhanden.
- Bei einem Nullzeit-TG seien Dekompressionsschäden unmöglich. Auch hier ist das Gegenteil bewiesen, z. B. dass auch nach Nullzeittauchgängen oder Non-Limit-Tauchen DCS des Typ I nachgewiesen werden konnte
- ....

### 3.1.1.1.25 Kleines Glossar zur Dekompression

Atemgas	<p>Als Atemgas verwenden wir meistens Luft. Da jedoch die hier geschilderten Gesetze für alle Gemische, die beim Tauchen zum Atmen verwendet werden, anwendbar sind, sprechen wir allgemein von <i>Atemgas</i>, und meinen dabei Luft, Nitrox, Trimix, Heliox etc.</p> <p>Gesetz von Henry</p> <p>Der englische Arzt William Henry fand Ende des 18. Jh. heraus, dass sich eine Flüssigkeit mit einem Gas, das über ihr liegt, sättigt. Das Gas wird zum Teil in die Flüssigkeit eingelagert (physikalisch gelöst), und zwar solange, bis diese Flüssigkeit kein weiteres Gas mehr aufnehmen kann, also gesättigt ist.</p>
Kompartiment	<p>Wissenschaftliche Bezeichnung für <i>Modellgewebe</i>. Ein Kompartiment entspricht einem gedachten Körpergewebe für Dekompressionsmodelle.</p>
Mikrogasblasen	<p>Kleinste Gasblasen, die beim Dekomprimieren entstehen und die wegen ihrer geringen Größe keine physiologischen Probleme hervorrufen, wenn die Anzahl unterhalb eines bestimmten Grenzwertes bleibt. Wird die Anzahl der Mikrogasblasen jedoch zu hoch, so stören sie die Stickstoffabgabe in der Lunge, weil es in der Lunge zu kleinsten Embolien kommt, was zu einer Herabsetzung des Gasaustausches führt. Damit wird die Entsättigung des Körper in Bezug auf das Inertgas verzögert.</p>
Offenes Foramen Ovale (patentes foramen ovale)	<p>Dieses Loch in der Herzscheidewand dient dazu, den ungeborenen Körper im Mutterleib optimal mit Sauerstoff zu versorgen. Es wächst i. d. R. in den ersten Lebensmonaten zu. Bei ca. 1/3 der Menschen gelingt der Verschluss allerdings nicht vollständig.</p>

### 3.1.1.1.26 Häufig gestellte Fragen zur Dekompression

**F: Was bedeutet "Dekompression" und warum ist sie für den Taucher von Bedeutung?**

**A:** Bei jedem Tauchgang mit Tauchgerät (ausgenommen solche, die mit 1-bar-Druckanzug durchgeführt werden) atmet der Taucher das Atemgas unter erhöhtem Druck. In jedem Atemgas (egal ob Luft, Nitrox, Trimix) befinden sich Anteile von sog. Inertgasen (z. B. Stickstoff oder Helium). Diese Gase sind normalerweise stoffwechselphysiologisch nicht wirksam, werden jedoch beim Atmen von der Lunge an das Blut abgegeben und lösen sich

anschließend durch den erhöhten Umgebungsdruck beim Tauchen in den Körpergeweben, die mit dem Blut versorgt werden. Diese Absteigsphase nennt man **Kompressionsphase** (Abtauchen, Umgebungsdruck steigt) hier beginnt die Lösung der inerten Gase im Körper. Daran schließt sich während des Tauchganges die **Isopressionsphase** (Grundzeit, Umgebungsdruck bleibt [mehr oder weniger] konstant) an.

Beim Auftauchen sinkt der Umgebungsdruck wieder ab und die vorher durch den Druck in den Geweben des Körpers gelösten Gase werden freigesetzt und an das Blut abgegeben, das sie wieder zur Lunge transportiert. Dies ist dann die eigentliche **Dekompressionsphase**.

Abhängig von Menge und Maximaldruck der vorher gelösten Gase müssen bei Überschreiten bestimmter körperlicher Toleranzgrenzen bestimmte Austauschstufen eingehalten werden, um den jetzt wegen des abnehmenden Umgebungsdruckes aus den Körpergeweben frei werdenden Inertgasen die Gelegenheit zu geben, den Körper langsam zu verlassen. Geschieht dies nicht, bilden sich Blasen aus freigesetztem Gas, die schwere gesundheitliche Störungen hervorrufen können.

Ziel der Aufstiegsverlangsamung ist also, die pro Zeiteinheit freigesetzte Inertgasmenge zu begrenzen, um einen geordneten Abtransport des Inertgases zu ermöglichen. Ist der Aufstieg dagegen zu schnell, bilden sich im venösen Blut (dem "verbrauchten", also zur Lunge hin strömenden sauerstoffarmen Blut) Gasblasen, die in der Lunge nicht abgegeben werden können und in das arterielle System des Kreislaufs übertreten.

Dort können sie Schädigungen verursachen, die von Gewebebeschädigungen (rote Flecken auf der Haut, Gelenkschmerzen) bis zu Lähmungserscheinungen und Ausfall der Sinneswahrnehmungen reichen können.

#### **F: Findet Dekompression bei jedem Tauchgang statt?**

**A:** Ja. Die vorher beschriebenen Vorgänge finden bei allen Tauchgängen statt, bei denen nicht reiner Sauerstoff geatmet wird. Der menschliche Körper hat allerdings eine gewisse Toleranz gegen einen Überdruck der Inertgase in seinen Geweben, so dass explizite Dekompressionspausen beim Auftauchen (Druckentlastung) nur dann nötig werden, wenn bestimmte Grenzwerte für Tauchtiefe und Tauchzeit überschritten wurden. Die Zeit, bis zu der auf einer bestimmten Tiefe verweilt werden kann, ohne Dekompressionspausen einzuhalten, heißt "Nullzeit".

Allerdings kann auch nach Tauchgängen innerhalb der sog "Nullzeit" bei bestimmten ungünstig disponierten Menschen eine Schädigung durch unzureichende Dekompression beobachtet werden. Auch muss stets die maximal zulässige Aufstiegsgeschwindigkeit (i. d. R. 10m/min. oder weniger) eingehalten werden. da diese in die Berechnung der Dekompression nach einen Nullzeittauchgang einberechnet wird.

### **F: Sind Nullzeittauchgänge sicherer als Dekompressionstauchgänge?**

**A:** Nein. Der Begriff "Nullzeit"-Tauchgang sagt lediglich aus, dass während des Austauchens keine Stopps eingehalten werden müssen, weil die Gewebesättigung mit Inertgas unterhalb einer bestimmten kritischen Schwelle geblieben ist und das Inertgas auf dem Weg zur Oberfläche wieder in ausreichendem Maße abgegeben werden kann.

Wenn die max. Aufstiegsgeschwindigkeit, die der Berechnung der Nullzeit zu Grunde liegt, nicht überschritten wurde, wird es in der überwiegenden Mehrzahl der Nullzeittauchgänge keine Dekompressionsprobleme geben, da das aufgesättigte Inertgas von Druck und Menge unterschwellig genug ist, zeitlich ohne Aufstiegsverlangsamung entsättigt zu werden..

Die Sättigung der Gewebe kann sich jedoch sehr dicht an der kritischen Grenze befinden, ab deren Überschreiten Dekompressionsstopps notwendig werden. Ob es zum Auftreten von Symptomen der Dekompressionskrankheit kommt, entscheidet sich nun zusätzlich an einer Vielzahl weiterer Faktoren. Siehe dazu die Frage nach den Risikofaktoren. Daher: Besonders Tauchgänge, die an die Grenze der Nullzeit führen, sollten kritisch betrachtet werden.

Physiologisch sind grenzwertige Nullzeittauchgänge und regelgerecht beendete Dekompressionstauchgänge gleichwertig. Mindestens ein Körpergewebe (das sog. "**Leitgewebe**") ist noch so weit mit Inertgas beladen, dass die kritische Grenze, ab derer im Blut manifeste Gasblasen auftreten würden, rechnerisch gerade nicht erreicht wird.

### **F: Risikofaktoren: Wer ist besonders anfällig für die Dekompressionskrankheit?**

**A:** Neben einigen unbekanntem Faktoren sind dies:

- Übergewicht
- Rauchen
- Vorher erlittener Dekompressionsvorfall.

Weiterhin sind Risikofaktoren: Flüssigkeitsmangel, starke Auskühlung und hohe körperliche Arbeit unter Wasser.

**F: Was bedeutet "inertes Gas"**

**A:** Inerte Gase sind Gase, die keine (bio-)chemische Wirksamkeit entfalten, d.h. an Reaktionen (z. B. Stoffwechsel) nicht beteiligt sind. Sie können trotzdem im Körper Wirkungen entfalten, wie z. B. die Stickstoffnarkose ("Tiefenrausch"). Diese hat aber keine chem. sondern physikalische Ursachen, da die Reizweiterleitung in den Synapsen der Nerven durch Stickstoff unter hohem Druck gestört wird.

**F: Was ist besser für das Dekompressionstauchen geeignet: Eine Dekotabelle oder ein Dekocomputer?**

**A:** Die Bedienung eines Dekocomputers erfordert im Extremfalle keine Kenntnisse der Dekompressionsverfahren. Man kann sich auf das Ablesen der gefundenen Daten beschränken. Problematisch wird es, wenn mit dem Computer Dekotauchgänge durchgeführt werden, und das Gerät ausfällt. Eine sichere Dekompression ist dann definitiv nicht mehr möglich, wenn keine Ersatzinstrumente mitgeführt und benutzt werden..

Die für die Anwendung der Dekompressionstabelle verwendeten Geräte (Taucheruhr, Tiefenmesser) sind technisch einfacher und haben eine geringere Ausfallwahrscheinlichkeit. Nachteil der Tabelle ist, dass nur Tauchgänge mit einer einfachen Profilstruktur geplant werden können (Sog. "Rechteck"- oder "Trapez"-TG, deren Profil wie die entsprechenden geometrischen Flächen aussehen).

Die Anwendung der Tabelle (insbesondere, wenn Wiederholungstauchgänge durchgeführt werden sollen) erfordert jedoch Sachkenntnis und Übung.

Empfehlenswert ist es, Deko-TG mit einer Dekotabelle zu planen und einen Computer als Sicherheitsreserve beim Tauchgang mitzuführen.

**F: Warum sind die Dekompressionsphasen beim Computer kürzer, wenn ich für den gleichen Tauchgang den Dekocomputer mit der Tabelle vergleiche?**

**A:** Der Computer berechnet die Inertgasaufsättigung ausgehend vom realen Profil des Tauchganges. Hier wird quasi ein 1:1 Abbild der Tiefen-/Zeitlinie erstellt und die Dekompression danach berechnet. Die Tabelle geht von einem vereinfachten Profil aus, indem sie die gesamte Grundzeit auf der maximalen Tiefe rechnet. Dadurch wird die Dekompression deutlich länger, weil theoretisch mehr Inertgas aufgesättigt wird.

**F: Kann ich auch mit einer Nullzeitentabelle Deko-TG planen?**

**A:** Nein. Dafür sind diese Tabellen (z. B. PADI RDP) nicht gedacht und auch nicht geeignet. Das gleiche gilt für Nullzeitencomputer. Wer dekompressionspflichtige TG planen und durchführen will, braucht die entsprechenden richtigen Werkzeuge.

**F: Was ist eine Dekompressionskrankheit?**

**A:** Sie ist die Folge einer unzureichenden Dekompression und damit meist von großen manifesten Gasblasen im Blut, die zu Gewebeerstörungen, lokalen Embolien, Blutgefäßverschlüssen etc. führen können. Aber auch bereits eine hohe Belastung mit Mikrogasblasen kann Symptome hervorrufen, z. B. eine extreme Müdigkeit.

**F: Wie äußern sich Symptome einer unzureichenden Dekompression?**

- A:** Durch Anzeichen der Dekompressionskrankheit (DCS) mit verschiedenen Ausprägungen
- DCS Typ I mit Haut-, Muskel- und Gelenksymptome („Bends“), Juckreiz der Haut, Schwellungen
  - DCS Typ II mit Nervenlähmungen, Bewusstlosigkeit, motorische und sensorische Störungen (Taubheit, Blindheit)

**F: Ich habe gehört, dass der Körper für die Dekompression in verschiedene "Gewebe" eingeteilt wird. Was hat es damit auf sich?**

**A:** Es handelt sich um ein Hilfskonstrukt, um Dekompressionsverfahren mathematisch berechnen zu können. Die inerten Gase lösen sich in unterschiedlichen Geweben des Körpers unterschiedlich schnell. Diese Zeiten nennt man "Halbwertszeiten". Genauso geben diese Gewebe die Gase unterschiedlich schnell wieder ab. Die Toleranz dieser verschiedenen Modellgewebe (wie auch der realen Gewebe) gegen eine "Überladung" mit Inertgas ist unterschiedlich hoch.

Aus diesen Gründen hat man den Körper in Teilgewebe untergliedert, auf deren Daten die Rechnungen für Dekompression beruhen. Diese Modellgewebe nennt man in der Fachsprache "Kompartimente". Sie stellen reale Gewebe vereinfacht dar. Meistens rechnen Tauchcomputer mit 8 bis 16 dieser Gewebe, was den Körper und seine Funktion ausreichend genau abbildet.

Schnelle Gewebe sind z. B.: Blut, Nerven, Rückenmark, Gehirn  
Mittelschnelle Gewebe sind z. B.: Muskeln, Haut  
Langsame Gewebe sind z. B.: Knochen und Knorpel

**F : Was kann man tun, wenn man beim Dekomprimieren zu wenig Luft hat, um alle Dekompressionsstopps durchführen zu können?**

**A:** Es gibt mehrere Handlungsalternativen:

1. Dekompressionsphase verkürzen: Hier sollte darauf geachtet werden, dass die tiefen Stopps (i. d. R. 15 m, 12m und 9m) in etwa mit der vorgeschriebenen Zeitplanung durchgeführt werden, denn hier werden Gehirn, Zentralnervensystem und Rückenmark entsättigt. Idealerweise haben die hier betroffenen Gewebe die höchste Toleranz gegen einen Inertgasüberdruck. Unzureichende Dekompression hier hat meistens Lähmungen und sensorische Störungen zur Folge. Die flacheren Stopps (6m und 3m) können verkürzt werden, was u. U. zu Symptomen wie Hautrötungen, Gelenk- und Muskelschmerzen führen kann, die aber i. d. R. nicht zu lebensbedrohlichen und/oder irreversiblen Schäden führen.

2. Dekompression kurz unterbrechen und neue Luft besorgen. Die Toleranzzeit liegt hier bei ca. 3 Minuten, innerhalb derer wieder abgetaucht werden muss. Wenn Symptome der DCS auftreten, kann das Verfahren nicht mehr angewendet werden. Die Dekompression wird vom ersten Stopp wiederholt und, wenn möglich, die Zeiten auf den Stufen verdoppelt. Dieses Verfahren heißt "**nachgeholte Dekompression**".

3. Sauerstoffatmung zu 100% nach dem Tauchgang an der Oberfläche: Weil kein Stickstoff mehr zugeführt wird, kann der aus den Geweben austretende Stickstoff schneller eliminiert werden. Außerdem sättigt sich das Blut mit Sauerstoff, so dass die Vitalfunktionen des Körpers stabilisiert werden. Die Weiterbehandlung in einer Druckkammer und die Atmung von Sauerstoff unter erhöhtem Druck sind angezeigt.

**F: Ich hörte die beiden Begriffe "nasse Rekompensation" und "nachgeholte Dekompression". Meinen sie das Gleiche?**

**A:** Nein. Die **nachgeholte Dekompression** kann angewendet werden, wenn man nur kurz an der Oberfläche verweilt hat, z. B. um sich neue Luft zu beschaffen o. ä. Bei ihr sind noch keine Symptome der DCS aufgetreten. Es wird nur die Dekompressionsphase wiederholt, allerdings mit Verdopplung der Zeiten auf den einzelnen Stufen.

Die **nasse Rekompensation** wurde früher angewandt, wenn ein Taucher bereits Symptome zeigte. Es wurde auf eine große Tiefe abgetaucht und dann der Tauchgang mit großen Zeitverlängerungen zu Ende geführt, einschließlich einer langen Dekompressionsphase. Sie kann heute nicht mehr empfohlen werden, da z. B. der verunfallte Taucher instabil bezüglich seiner Vitalfunktionen werden könnte oder durch die massive Auskühlung zusätzlich Schaden nehmen könnte.

### **F: Was sind Mikroblasen?**

**A:** Auch beim regelgerechten Austausch entstehen kleinste Gasblasen im Blut und anderen Geweben. Diese erreichen jedoch nicht die Größenordnung, um in großem Umfang schädlich zu wirken. Ihr Radius bleibt im Bereich einiger Mikrometer (Millionstel Meter). Sie führen jedoch dazu, dass der Gasaustausch in der Lunge behindert wird, das/die Inertgas(e) also nicht so effektiv abgegeben werden können.

Mikrogasblasen, wenn sie nicht von manifesten Gasblasen begleitet werden, sind ein Indiz für eine ausreichende Dekompression. Neuere Dekompressionsverfahren wie das VPM- oder RGBM-Modell versuchen bereits, die Mikrogasblasenbildung auf rechnerischem Wege zu minimieren, weil man davon ausgeht, dass es sich um eine Vorstufe manifester Blasen handelt.

### **F: Was sind Dekompressionsmodelle?**

**A:** Dekompressionsmodelle versuchen, die Abläufe der Gasauf- und -entsättigung im Körper mathematisch nachzubilden, um sie berechenbar zu machen.

Es gibt die sog. "Klassischen Modelle", zu denen z. B. die Arbeiten von Haldane zu Ende des 19. Jh. zählen und die Ableitungen von A. A. Bühlmann aus den 70er und 80er Jahren des 20. Jh.. Diese Modelle werden auch als "Kompartiment"-Modelle bezeichnet, da sie auf der Unterteilung des Körpers in Teilgewebe beruhen (sog. Kompartimente). Sie definieren für diese Kompartimente Halbwertszeiten für die Sättigung und Entsättigung des Gewebes unter Druck und stellen Werte für den Inertgasüberdruck auf, den jedes Gewebe symptomlos tolerieren kann.

Neue Modelle (VPM=variable permeability model, RGBM=reduced gradient bubble model) widmen sich mehr den physikalischen Vorgängen bei der Gasblasenbildung während der Dekompression. Aber auch hier wird der Körper in Modellgewebe unterteilt, jedoch steht die Blasenmechanik im Vordergrund.

Diese Modelle sind nur mathematische Annäherungen mit einer begrenzten Genauigkeit. Sie sind in sich geschlossen, decken jedoch nur einen Teil der in der Realität wirkenden Faktoren ab. So ist es z. B. nicht möglich, eine größere Anzahl Tauchgänge innerhalb einer kurzen Zeitspanne (z. B. 5 TG innerhalb 24h) zuverlässig zu berechnen, auch wenn Anbieter moderner Tauchcomputer genau dies vorgeben. Die Ursache liegt in der sehr komplexen Entsättigungsmechanik, die durch eine Vielzahl körperspezifischer Faktoren bestimmt wird, die nicht in die Rechenmodelle eingehen können, da sie von Individuum und seiner momentanen bzw. generellen Disposition bestimmt werden.

**F: Wie kann ich die Dekompressionsphase verkürzen?**

**A:** Nicht ohne technischen Aufwand. Es gibt verschiedene Möglichkeiten:

1. Als Tauchgas eines verwenden, das einen geringeren Inertgas- dafür aber einen hohen Sauerstoffanteil hat (z. B. Nitrox).
2. Während der Dekompressionsphase ein Atemgas mit hohem Sauerstoffanteil verwenden, z. B. Nitrox mit 80% O<sub>2</sub> oder reinen Sauerstoff.

**F: Lohnt sich der Aufwand für eine Nitrox- oder Sauerstoffdekompression?**

**A:** Nein, es sei denn man hat sehr lange tiefe Tauchgänge hinter sich, die Dekompressionszeiten > 45 Minuten erfordern. Für TG in Bereiche von 50 bis 70 Metern max. Wassertiefe und Grundzeiten im Bereich bis max. 15 min. sind die Dekompressionszeiten mit Pressluft im praktikablen Bereich (ausreichender Luftvorrat und keine Probleme mit Auskühlung vorausgesetzt).

**F: Worin liegen die Unterschiede der Tabellen Deco92 und Deco2000?**

Die Unterschiede in den Dekompressionszeiten sind gering, jedoch hat die Deco2000 deutlich kürzere Flugverbotszeiten.

**F: Warum muss ich beim Tauchen in Bergseen länger dekompprimieren?**

**A:** Der Umgebungsluftdruck in der Höhe ist geringer als auf Meereshöhe. Nach dem Verlassen des Wassers wirkt nur noch dieser geringere Luftdruck auf den Taucher. Dadurch kann es (wie in einem Verkehrsflugzeug auch) zu dem Problem kommen, dass der Umgebungsdruck zu gering ist, das Inertgas in den Geweben zu halten. Die Folge wäre eine Dekompressionskrankheit. Daher muss der Taucher bereits im Wasser soweit entsättigt

werden, dass das Inertgas in seinen Geweben auch unter dem geringeren Umgebungsdruck in diesen Geweben gehalten werden kann und keine Gasblasen auftreten.

**F: Früher hat man beim Bergseetauchen einfach die normale Dekotabelle verwendet und einen Tiefenzuschlag gegeben. Ist das sinnvoll?**

**A:** Nein. Dieses Verfahren führt zwar auch zu längeren Dekompressionszeiten, es ist aber nicht exakt, weil die verschiedenen Kompartimente des Körpers und deren Sättigung mit Inertgas nicht exakt abgebildet werden. Es liegt beim Tauchen in der Höhe schließlich keine höhere Inertgasaufladung vor, was einem Tiefenzuschlag entsprechen würde, sondern ein vermehrtes Bestreben des Inertgases, die Gewebe schnell zu verlassen. Dies ist mathematisch nur exakt abzubilden, wenn man Berechnungen verwendet, die den geringeren Umgebungsdruck beim Verlassen des Wasser (also am Ende der im Wasser stattfindenden Dekompression) mit einberechnen.

**F: Im Urlaub mache ich manchmal 5 Tauchgänge am Tag. Nun hat mir jemand erklärt, dass das ungesund sei. Stimmt das?**

**A:** Ja. Bei dieser Art des Tauchens sättigen sich besonders die Knochen, Knorpel und damit die Gelenke mit Stickstoff auf. Da diese Gewebe das Inertgas nur sehr langsam abgeben, steigt die Aufladung mit Stickstoff permanent an. Manchmal kommt es dann (meistens am 2. oder 3. Tag) zu Symptomen der Dekompressionskrankheit.

**F: Kann mein Computer das nicht berechnen?**

**A:** Nein. Nicht exakt. Der Computer berechnet eine Entsättigung anhand theoretischer Modelle. Diese Modelle sind relativ genau, solange nur wenige Tauchgänge pro 24 h Periode unternommen werden (2 TG/Tag). Ab einer bestimmten Anzahl von Wiederholungstauchgängen innerhalb einer bestimmten Zeitspanne wird die Entsättigung zunehmend durch die Inertgasabgabe selbst gestört. Andere Dinge wie Austrocknung des Körpers tun ein übriges. Die Entsättigung kann nicht mehr exakt kalkuliert werden, weil der Computer nicht alle Rahmenbedingungen kennen kann.

### 3.1.2 Sauerstoffvergiftungen

Sauerstoff wird unter hohem Druck toxisch (giftig), d. h. er entfaltet negative Wirkungen. Diese stellen sich in 2 Formen dar:

1. Vergiftung im Zentralnervensystem (ZNS, CNS<sup>1</sup>), Paul-Bert-Effekt
2. Vergiftung der Lungen (pulmonale Symptomatik), Lorraine-Smith-Effekt

#### 3.1.2.1 Zentralnervensystem (Paul-Bert-Effekt)

Ab einem bestimmten Partialdruck des Sauerstoffs steigt die Wahrscheinlichkeit einer Vergiftung des Zentralnervensystem mit der Folge eines Sauerstoffkrampfes massiv an. Dieser grenzwertige Partialdruck liegt nach herrschender Lehrmeinung bei ca. 2 bar. Ein Partialdruck von 1.6 bar wird im Wasser i. d. R. ohne Probleme toleriert. Bei Luftatmung liegt dieser kritische Partialdruck bei einer Tauchtiefe von ca. 66m vor ( $21\% * 7,6 \text{ bar} = 1.6 \text{ bar}$ ).

Die Symptome der Krämpfe sind dergestalt, dass sich die Muskulatur, insbesondere des Gesichts, krampfartig zusammenzieht. Die Gefahr des Paul-Bert-Effektes beim Tauchen liegt dann darin, dass der Taucher den Atemregler nicht mehr im Mund behalten kann und ertrinkt.

Weitere Anzeichen, auf die man achten sollte und die Vorboten sein können für einen unmittelbar bevorstehenden Sauerstoffkrampf:

- Tunnelblick
- Ohrenklingeln, Pfeifen
- Muskelzuckungen

Für den Partialdruck, bei dem die Krämpfe einsetzen, ist auch das aktuelle Maß der körperlichen Anstrengung maßgebend. Ohne körperliche Belastung und außerhalb des Wassers werden bis zu 3 bar Sauerstoffpartialdruck toleriert, bei körperlicher Aktivität sinkt dieser schnell Wert ab.

Für das Tieftauchen mit Pressluft heißt das vorstehend Ausgeführte: Um das Risiko einer

---

<sup>1</sup> central nervous system

akuten Sauerstoffintoxikation einzugrenzen, sollte ein Sauerstoffpartialdruck von 1,8 bar (entspricht 75 m Wassertiefe) nicht überschritten werden.

### 3.1.2.2 Pulmonale Sauerstoffvergiftung (Lorraine-Smith-Effekt)

Wird Sauerstoff längere Zeit unter einem erhöhten Partialdruck geatmet, können sich Veränderungen des Lungengewebes ergeben. Der erhöhte Sauerstoffanteil verändert durch die Bildung von Radikalen (aggressive Moleküle) die Zelloberfläche der Alveolen, so dass sich der Gasaustausch über die Lunge verschlechtert. Das Lungengewebe entzündet sich, es kommt zu Wassereinlagerungen (Ödeme) und in letzter Konsequenz zum Lungenversagen und zum Tode.

Die Schwere des Lorraine-Smith-Effektes hängt von der Dauer der Einwirkung und vom Partialdruck ab. Man denkt sich diese Parameter in einer Gleichung vereint, die resultierende Größe wird als OTU (oxygene tolerance unit). Der Begriff "OTU" in Verbindung mit dem Begriff "tolerance" ist eigentlich irreführend, da es sich hier um eine Aufsummierung gedachter "Toxizitäts"-Einheiten handelt, die pro Minute und Sauerstoffpartialdruck (ppO<sub>2</sub>) wirksam werden. Also wäre "intoxication" für das "t" deutlich besser geeignet.

Die Formel für die OTU-Berechnung lautet:

$$\text{OTU} = ((\text{ppO}_2 - 0.5) * 2)^{0.83}$$

Damit kein negatives Argument unter der Wurzel entsteht, muss der ppO<sub>2</sub> größer als 0.5 bar sein, darunter gibt es keine OTU-Werte. Die Werte aller TG-Minuten werden nun addiert und ergeben dann den O<sub>2</sub>-Index-Wert für den TG.

Ab einer Anzahl von 1000 OTU/Tag rechnet man mit negativen Auswirkungen auf die Lungenfunktion. Für den Presslufttaucher heißt dies, dass er mit seinem begrenzten Atemgasvorrat nicht in die Gefahr einer Lungenschädigung kommen wird.

## 4. Tieftauchen in der Praxis

Tieftauchgänge mit Luft unterscheiden sich von den üblichen im Bereich des Freizeittauchens durchgeführten Tauchgängen in einigen wesentlichen Punkten. Wegen der notwendig werdenden Dekompressionspausen ist sofortiges Auftauchen ab einem bestimmten Punkt nicht mehr möglich. Daraus ergibt sich:

- a) Der mitgeführte Gasvorrat muss für die Tauch- die Dekompressionsphase und für die Rückkehr zum Ausstieg ausreichend sein.
- b) unter Wasser auftretende Probleme lassen sich nicht durch Auftauchen lösen, sondern müssen vor Ort gehandhabt werden.

### 4.1 Planung der Luftmenge

Um unter allen Umständen mit der mitgeführten Luftmenge den Tauchgang sicher zu ende führen zu können, haben sich 2 Verfahren etabliert:

#### 4.1.1 Das „praxisorientierte“ Verfahren: Die „Drittel-Regel“

Diese Regel sagt grob folgendes aus: 1/3 des Luftvorrates für den Hinweg, eines für den Rückweg incl. Dekompression und eines für die Sicherheit.

Jetzt werden manche sofort argumentieren: Die Dekompressionsphase sei aber mit Rückweg länger als der Hinweg. Das ist richtig. Erfahrungsgemäß wird aber für die Dekompression wegen der geringen Tiefen, in denen sie stattfindet, nur eine, wenn man mit der Grundzeit vergleicht, geringe Gasmenge benötigt. Außerdem kehren erfahrene Taucher schon um, bevor das erste Drittel an Luftvorrat verbraucht ist. Diese Regel ist also tauglich für den täglichen Einsatz, man kann sie jedoch auch an die jeweiligen Erfordernisse anpassen.

Weiterhin werden Sie in jedem Falle den Umkehrpunkt anpassen müssen, wenn Sie z. B. merken, dass Sie auf dem Hinweg eine Strömung haben, die sie trägt, gegen die Sie aber auf dem Rückweg arbeiten müssen.

#### 4.1.2 Das „theorieorientierte“ Verfahren: Die Vorhersage des Luftverbrauchs

Dieses Verfahren geht von der Tatsache aus, dass man innerhalb gewisser Genauigkeitsgrenzen messen kann, welches Atemvolumen („Luftverbrauch“) ein Taucher hat. Diese in einer Minute bei normobaren (d. h. an der Oberfläche) wirkenden Bedingungen veratmete Luftmenge wird als *Atemminutenvolumen* bezeichnet. Unter doppeltem Umgebungsdruck ist diese Menge theoretisch doppelt so hoch, wenn nicht andere Einflüsse (Anstrengung, psychischer Stress, Kälte) hinzu kommen, unter dreifachem Umgebungsdruck dreimal etc.

##### 4.1.2 1 Rechenweg mit Beispielrechnung:

Grundannahmen:

- a) Ein Taucher veratmet an der Oberfläche in einer Minute 15 Liter Luft.
- b) Seine Tauchflasche hat ein Volumen von 15 Liter und einen Fülldruck von 200 bar.
- c) Der Tauchgang folgt einem einfachen Profil:
  - Abstieg auf 40 m innerhalb 4 min.
  - Grundzeit auf 40 m: 15 min.
  - Aufstieg zur ersten Dekompressionsstufe also nach 19 min.

Tauchphase	Ausgangsgrößen	Luftmenge	Kommentar
Abstieg (Kompressionsphase)	Mittlere Tiefe 20m, Umgebungsdruck: $20 \times 0.1 \text{ bar/m} = 2 \text{ bar} + 1 \text{ bar}$ Luftdruck = <b>3 bar</b> Zeit: <b>4 min.</b>	Luftmenge: $15 \text{ [l/min} \times \text{bar]} \times 4 \text{ [min]} \times 3$ [bar] = <b>180 l</b>	Wir denken uns den Abstieg als gerade Linie, bilden den Durchschnittswert der Tiefe und nehmen vereinfacht an, der Taucher habe 4 Minuten hier zugebracht.
Grundzeit (Isopressionsphase)	Tiefe 40m: Umgebungsdruck: $40 \times 0.1 \text{ bar/m} = 4 \text{ bar} + 1 \text{ bar}$ Luftdruck = <b>5 bar</b> Zeit: <b>15 min.</b>	Luftmenge: $15 \text{ [l/min} \times \text{bar]} \times 15 \text{ [min]} \times 5$ [bar] = <b>1125 l</b>	
Dekompressionsphase 1 (Aufsteigen zur ersten Deko-Stufe auf 9 m)	Mittlere Tiefe: $40\text{m} - 9\text{m} = 31\text{m}$ $31\text{m} / 2 = \text{ca. } \mathbf{9+16\text{m}}$ <b>(~3,5bar)</b> Zeit ca. <b>3 min</b>	Luftmenge: $15 \text{ [l/min} \times \text{bar]} \times 3 \text{ [min]} \times 3,5$ [bar] = <b>157,5 l</b>	Aufstieg zur ersten Dekompressionsstufe nach 19 min. Grundzeit. Wir mitteln wiederum die Tiefe arithmetisch.
Eigentliche Dekophase	9 m-Stopp: <b>1,9 bar, 2 min</b> 6 m-Stopp: <b>1,6 bar, 5 min</b> 3 m-Stopp: <b>1,3 bar, 11 min.</b>	<b>57 l</b> <b>120 l</b> <b>214,5 l</b>	Dekompression: <i>2 min. auf 9 m</i> <i>5 min. auf 6 m</i> <i>11 min. auf 3 m</i>
	<b>Gesamte Luftmenge</b>	<b>ca. 1854 l</b>	

Hinzu kommt theoretisch natürlich noch die Tarierluftmenge, die wir aber vernachlässigen können.

Von der zur Verfügung stehenden Luftmenge bleiben als noch ca. 1200 Liter übrig, genug Sicherheit für eventuelle Dispositionen, die aufgrund unerwarteter Umstände zu treffen sind.

Dabei ist auch das Tauchgewässer mit einzubeziehen: Wenn man im Bodensee taucht, wo es nur gelegentliche und leichte Strömungen gibt, sich die zu erwartende körperliche Arbeit also besser vorhersehen lässt, kann man natürlich knapper an die Grenze des Gasvorrates gehen als im Meer, wo einem immer starke Strömungen unerwartet ereilen können.

#### **4.1.2.2 Limitierungen**

Nachteil dieser Luftverbrauchsvorhersage ist leider die Tatsache, dass sich unerwartete Ereignisse ungünstig auswirken können. Wenn Sie z. B. den Partner mit Luft versorgen müssen, etwa, weil er/sie einen vereisten Hauptregler und einen nicht funktionierenden Zweitregler hat, haben Sie beide ein Problem. Dadurch geht nämlich diese schöne Rechnung „den Bach runter“, wie man landläufig sagt. Bei entsprechender Kalkulation können Sie sich jedoch teilweise wieder auf die sichere Seite ziehen. Wenn Sie stets so tauchen, dass noch ein akzeptabler Restdruck bei Tauchgangsende in ihren Flaschen bleibt, können Sie sicher sein, dass es hier auch gereicht hätte, wenn ein Partner Luftmangel gehabt hätte.

Fazit: Planen Sie den Luftvorrat stets großzügig für beide Taucher mit, auch wenn Ihnen dieser Fall zurecht (durch die vorher erwähnte Redundanz der Ausrüstung) erst einmal unwahrscheinlich erscheint.

Aber, so zeigt die Erfahrung, auch mit knappem Luftvorrat kann man eine Dekompressionsphase noch zu Ende bringen.

#### **4.1.2.3 Praxiserwägungen**

Beide vorgestellten Methoden haben vor- und Nachteile. Die Drittel-Regel ist sehr einfach in der Handhabung und orientiert sie sich eher an praktischen Erwägungen. Wir bevorzugen dies, besonders da man als erfahrener Taucher abschätzen kann, wie weit man mit wie viel Luft unter welchen Bedingungen kommen kann.

Unerfahrenere Taucher sollten zuerst jedoch immer eine Überschlagsrechnung mit der rechnerischen Luftverbrauchsvorhersage machen, um sich an die Rahmendaten zu gewöhnen und Planungssicherheit für die Praxis zu erhalten. Der einfache Rechenweg lässt sich auch mit einer Tabellenkalkulation durchführen, z. B. mit dem Programm Excel ®.

Weiterhin ist natürlich eine fortwährende Luftkontrolle während des Tauchens obligatorisch, ca. alle 4 bis 5 min. sollte man das Finimeter schon ablesen. Dies hat auch den Vorteil, dass man das Zurückgehen des Luftvorrates kontinuierlich beobachten kann, und Fehlfunktionen des Anzeigemanometers erkennt. Manche Zeiger haben sich schon festgehängt und dem Taucher 120 bar vorgespiegelt, obwohl die Flasche kurz vor der völligen Entleerung stand.

## 4.2 Notfallprozeduren

Über viele unerwartete Ereignisse, denen Sie sich im Laufe eines Tauchgangs gegenübersehen können haben wir bereits berichtet:

- a) Ausfall von Atemreglern, Luftversorgung, etc.
- b) Instrumentenausfall
- c) Wassereinbruch in einen Trockentauchanzug

Weitere unschöne Szenarien sind:

- c) Akute körperliche Schäden (Übelkeit, Bewusstlosigkeit, Herzinfarkt)
- d) Orientierungsverlust

### 4.2.1 Praktische Maßnahmen bei den verschiedenen Störungen eines Tauchgangs

Situation	Maßnahme	Training
Atemregler fällt aus, Luftmangel, etc.	<p>Wenn sie mit Partner tauchen: Zweitregler des Partners nehmen, austauschen unter Einhaltung der Dekompressionsregeln, evtl. flache Dekostufen auslassen.</p> <p>Wenn Sie alleine tauchen: Zweitregler nehmen, austauschen. Wenn keine Luft kommt, Flaschendruck</p>	<p>Mit Partner: Regelmäßig Atmung aus dem Zweitregler + Wechselatmung üben. Tauchen in Partnernähe üben.</p> <p>Solotaucher: Üben, sich die Ventile selbst zuzudrehen, s. u.</p>

	<p>prüfen. Wenn noch Luft in der Flasche ist, Jacket ausziehen, Regler abschrauben, aus der Flasche atmen durch steuern des Luftflusses mit dem Handrad (Zugegeben, das Ganze erfordert Übung. Besonders die Zeit zum Abbauen des Reglers ist lang!</p>	<p>Tauchgerät unter Wasser ab- und anlegen., s. u.</p>
Instrumentenausfall	<p><b>Computer fällt aus:</b>          Sie sollten vorher den Stelling der Taucheruhr auf die richtige Startminute ihres Tauchgangs eingestellt haben. Lesen Sie jetzt die Tauchzeit und die max. Tauchtiefe ab, und führen Sie eine Dekompression mit Tabelle durch.</p> <p><b>Kompass fällt aus:</b>          Wenn möglich an Tageslicht , an der Topographie oder an gemerkten Charakteristika der Unterwasserlandschaft orientieren. Ggf. vertikaler Aufstieg und Orientierung an der Oberfläche (Dekompressionspausen beachten!)</p> <p><b>Tiefenmesser fällt aus:</b>          Auf Zweitgerät oder Computer zurückgreifen, Dekompression an einer Boje mit Leine und Markierungen durchführen. <b>Achtung:</b> Entfernungen zur Oberfläche lassen sich auch bei klarem Wasser schlecht schätzen!</p>	<p>Beherrschen der Dekompressionsermittlung mit Tabelle, Beispiele durchrechnen.</p> <p>Beherrschen der ‚natürlichen‘ Navigation. Merken Sie sich das Gelände, das Sie auf dem Hinweg betaucht haben, und sehen Sie sich die markanten Punkte auch in der umgekehrten Richtung des späteren Rückweges an. Sie werden staunen, wie unterschiedlich dasselbe Gelände aus zwei Richtungen aussieht.</p> <p>Tauchgangsboje mit ausreichend langem Seil vorbereiten, Markierungen durch Knoten alle 3 Meter setzen. Handhabung üben.</p> <p>Tipp: das Seil auf einem kleinen Wickel aufrollen und nicht lose in der Hülle der Boje verstauen.</p>
Körperliche Probleme	<p><b>Übelkeit unter Wasser</b> ist einigermaßen beherrschbar. Wenn Sie sich übergeben müssen, bleibt der Regler im Mund. Wenn Sie vorher Ihre Nahrung einigermaßen zerkaut haben und die Verdauung fortgeschritten ist, passt der Brei durch die Ausatemmembran des Reglers. Der Regler bleibt im</p>	<p>Diese Übung kann man nicht trainieren, es sei denn sie essen vor dem Tauchen 2 oder 3 große Döner Kebap oder bestellen sich ein Doppelmanü bei einer amerikanischen Fast-Food-Kette.</p>

	<p>Mund. Durch den Brechreiz saugen Sie schnell und heftig Luft ein, wenn dann kein Regler im Mund ist, fangen die Probleme erst an.</p> <p><b>Bewusstlosigkeit:</b> Wenn Ihr Partner bewusstlos wird oder nicht mehr ansprechbar ist, müssen Sie ihn (notfalls unter Missachtung der Dekompressionsregeln) zur Oberfläche bringen. Im Wasser hat er wenig Überlebenschancen.</p> <p>Achten Sie darauf, dass der Regler im Mund bleibt, auch wenn die Person nicht atmet. Es könnte sein, dass der Atemreflex wieder einsetzt, wenn dann keine Luft zur Verfügung steht, ertrinkt die Person.</p> <p>Beim Aufsteigen sorgen Sie dafür, dass die in den Lungen enthaltene Luft sich nach außen entspannen kann, aber reißen Sie Kopf des Opfers nicht gewaltsam in eine überstreckte Lage.</p> <p>Denken Sie daran: Unter Wasser stirbt das Opfer in jedem Falle, wenn Sie es nach oben bringen hat es eine höhere Überlebenschance.</p>	<p>Trainieren Sie das Bergen eines „bewusstlosen“ Tauchers aus der Tiefe regelmäßig.</p> <p>Üben Sie insbesondere die Aufstiegs geschwindigkeit konstant zu halten und auf den letzten Metern wegen der sich in geringen Tiefen rasch ausdehnenden Luft (Boyle-Mariott-Gesetz!) in Anzug und Tarierjacket nicht zur Oberfläche „durchzuschießen“.</p>
Orientierungsverlust	<p>Wenn der Kompass ausfällt oder Sie nicht mehr wissen, wie der Rückweg ist, versuchen Sie sich an Geländestrukturen zu erinnern. Hilfreich ist dabei, diese auf dem Hinweg auch einmal unter anderem Blickwinkel betrachtet zu haben.</p> <p>Dekomprimieren Sie notfalls im Freiwasser und orientieren Sie sich an der Oberfläche</p>	<p>Üben Sie die Orientierung unter Wasser anhand aller möglicher Verfahren:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• natürliche Navigation am Gelände</li> <li>• Kompass</li> <li>• Sonnenstand (wenn vorhanden)</li> </ul>
Wassereinbruch in einen Trockentauchanzug	Zuallererst: Wenn Sie an Ihrem Trockentauchanzug ein Ringsystem für	Nur durch vorsichtigen Umgang mit dem Anzug und richtige Konfiguration von

	<p>Trockentauchhandschuhe montiert haben, schneiden Sie unter <b>keinen Umständen</b> die Dichtmanschetten am Arm ab. Wenn einer der Handschuhe oder Ringverschlüsse undicht wird, läuft Ihnen in kürzester Zeit der gesamte Anzug voll.</p> <p>Lassen Sie die Arm-manschetten am Anzug und stellen sie den Druckausgleich zwischen Handschuh und Anzug mit kleinen Schläuchen oder Strohhalm her, die sie auf durch die Manschetten führen.</p> <p>Weitere Schwachstellen sind der Reißverschluss, von dem wir aber noch nicht erfahren haben, dass er während eines Tauchganges defekt wurde, wenn man den Anzug nicht übermäßig aufbläst.</p> <p>Nebenbei: Ein Trockentauchanzug ist ein Isolier- und kein Tariermittel.</p>	<p>Zubehör prophylaktisch zu handhaben (siehe links)</p>
--	---	--

### 4.3 Tauchgangskontrolle

Damit es gar nicht erst zu vermeidbaren Problemen kommt, ist eine sinnvolle *Tauchgangskontrolle* während des Tauchens unabdingbar. Tauchgangskontrolle heißt in diesem Zusammenhang, alle Rahmengengebenheiten während des Tauchens zu überwachen und gegebenenfalls gegenzusteuern.

In der Praxis heißt dies, dass sich geplante Tieftauchgänge auch darin von „Easy-Dives“ unterscheiden, dass der Taucher hier mehr mit dem Verstand und seiner Kritikfähigkeit dabei sein muss, als bei 28 °C in 15 Metern Wassertiefe auf den Malediven. Nutzen Sie als Ihren Verstand: Orientieren Sie sich laufend, was Ihre momentane Situation beim Tauchen betrifft. Einige wichtige Punkte sind:

- Kontrollieren Sie regelmäßig den Luftverbrauch bei sich, schauen Sie, ob Ihr Partner dies auch tut.
- Hören Sie auf Ihre Atmung und auf die des Partners, ob alles in ruhigen Bahnen verläuft.

- Überzeugen Sie sich, dass er normal reagiert und sein Verhalten ebenfalls Ihren Anforderungen entspricht.
- Machen Sie langsam. Sie sind in 50 Metern wassertiefe und nicht bei einem Schwimmwettkampf
- Erkennen Sie Unruhe bei sich und beim Partner und steuern sie dagegen, evtl. durch vermindern der körperlichen Aktivität oder durch Auftauchen in geringere Tiefen.
- Kontrollieren Sie die körperliche Anstrengung, die Sie gerade unternehmen. Tieftauchen und starke körperliche Arbeit passen nicht zusammen. Vermeiden Sie ein *Essoufflement* (siehe Erklärung später) und einen CO<sub>2</sub>-Überhang durch erhöhte Atemarbeit und Anstrengung.
- Halten Sie sich nahe beim Partner, aber verlassen Sie sich nicht darauf, dass er Ihnen immer helfen können wird.

Einige Erläuterungen dazu:

**Essoufflement:** Eine Hauptgefahr beim Tieftauchen ist unserer Ansicht nach die nicht zu unterschätzende Einschränkung der körperlichen Leistungsfähigkeit unter Druckluftumgebungen. Die Hauptgefahr verbirgt sich hinter dem französischen Begriff „Essoufflement“ (dtsch.: „Außer Atem kommen“).

Physiologisch betrachtet geschieht hier folgendes: Der Taucher strengt sich körperlich an und hat dadurch einen erhöhten Luftverbrauch, seine Atmung geht deshalb schneller. Zwei Folgen erwachsen daraus: Durch die Steigerung der Atmungsfrequenz und die erhöhte Luftmenge, die pro Zeiteinheit eingeatmet werden muss, wird die eingeatmete Luft von einer glatten (laminaren) Strömung in den Luftwegen zu einer verwirbelten (turbulenten) Strömung gezwungen. Die Luft strömt nicht mehr entlang der Luftwege, sondern teilweise auch dagegen. Turbulente Strömungen brauchen aber mehr Energie. Dadurch steigt die Arbeit, die der Taucher zum Atmen braucht an, was den gesamten Energiebetrag, den sein Körper aktuell braucht, zusätzlich in die Höhe treibt. Dadurch geht die Atmung noch schneller, wohin das führt ist klar. Der Taucher atmet immer schneller und bekommt doch immer weniger Luft.

Weiterhin bildet sich ein Kohlendioxidüberhang (Hyperkapnie) weil der Gasaustausch in den Lungen behindert ist. Es droht zusätzliche Gefahr durch Tiefenrausch, da ein angehobener CO<sub>2</sub>-Pegel das Entstehen der Stickstoffnarkose fördert.

Gegenstrategie gegen das Essoufflement ist einzig und alleine, aufzutauchen in geringere Tiefen und die körperliche Anstrengung soweit als möglich zu reduzieren.

**Partnertauchen vs. Solotauchen:** Ein Leitsatz zum Tauchen kann heißen: Tauche mit Partner, aber so, als ob Du alleine tauchst. Anders gesagt: Dein Partner soll sich auf Dich verlassen können, erwarte das aber nicht unbedingt vom Partner.

Fazit: Erwerben Sie die Fähigkeit zum Solotauchen und tauchen Sie regelmäßig solo, auch wenn Sie dort keine extrem tiefen Tauchgänge machen sollten. Lernen Sie Ihre Ausrüstung zu beherrschen, insbesondere was die alternative Luftversorgung betrifft. Gerade als Solotaucher brauchen Sie mehr Kompetenzen, da kein Partner da ist, und Sie alles selbst erledigen müssen.

Tipps: Üben Sie den Umgang mit alternativer Luftversorgung (Zweitregler, Zusatzflasche). Entwickeln Sie Strategien Ihre Flaschenventile ohne fremde Hilfe zu bedienen. Lernen Sie also, entweder durch Lockern der Gerätebänderung an die Ventile am Kopf zu kommen oder trainieren Sie das schnelle Ausziehen des Jackets unter Wasser und die manuelle Bedienung der Ventile.

**Orientierungsverlust:** Kein Grund zur Panik! Da sie nicht in einer Höhle tauchen oder in einem Wrack finden Sie immer zur Wasseroberfläche zurück. Allerdings sollten sie den Tauchplatz schon von vornherein so auswählen, dass Sie beim Austauchen nicht in Gefahr geraten: Halten Sie sich fern von Schifffahrtslinien, Sperrwerken, Netzen oder anderen Dingen, die gefährlich werden könnten.

Es erscheint logisch, dass dort, wo kein Tageslicht mehr erkennbar ist (tiefere Höhlen, Wracks, unter Eis) andere Techniken notwendig sind, z. B. Führungsleinen.

#### **4.4 Umgang mit der Stickstoffnarkose**

Die Stickstoffnarkose stellt beim Tieftauchen mit Pressluft zweifellos die Limitierung des Tauchvorhabens dar. Nach gängiger Lehrmeinung setzt sie spätestens ab einer Wassertiefe von 40 m ein und verstärkt ihre Intensität bei weiterem Abtauchen.

An die Stickstoffnarkose kann man sich gewöhnen, was durch regelmäßiges Training des Tieftauchens erreicht werden kann. So ist es unserer Erfahrung nach möglich, sich an Stickstoffpartialdrucke von 7 bis 8 bar heranzuführen und hier trotzdem noch befriedigend handlungsfähig zu bleiben. Damit wir es richtig formulieren: Die Stickstoffnarkose ist beherrschbar, wenn auch nicht in unbegrenzter Form. Wir persönlich halten für geübte Tieftaucher einen Stickstoffpartialdruck von 5 bis 6 bar für durchaus tolerabel. Darüber kann

es schwierig werden, Dinge zu erledigen, die über das Standardrepertoire hinausgehen.

Entscheidend ist das rechtzeitige Erkennen der ersten Symptome:

- Stark verlangsamtes Denken (z. B. kommen einem die verstrichenen Tauchminuten deutlich länger vor oder ein Denkprozess muss mehrmals durchgeführt werden, bis er erfolgreich ist)
- Störungen der Wahrnehmung (Unaufmerksamkeit, Gleichgültigkeit)
- Desorientierung („wo bin ich, wo muss ich hin?“)
- Visuelle Störungen (Doppelbilder, Schlieren)

Nimmt man bei sich oder dem Partner eines dieser Symptome wahr, so ist zügig in Tiefen von 30 bis 40 Meter aufzusteigen, wo die Symptome schnell verschwinden werden.

Vorbeugung:

- Nur ausgeruht und ausgeschlafen einen Tieftauchgang antreten.
- Keine Alkoholexzesse, kein Alkohol 12 h vor dem Tauchen.
- Langsam Abtauchen, Schnellabstürze vergrößern die Gefahr der N<sub>2</sub>-Narkose.
- Sich an optischen Dingen orientieren, Blau oder Grünwasserabstiege ohne optische Bezugspunkte vergrößern die Gefahr der N<sub>2</sub>-Narkose.
- Sich während des Tauchens mit Denkaufgaben (Luftverbrauch, Dekompression) beschäftigen.

#### **4.5 Tieftauchen in Wracks**

Wenn wir eingangs erwähnt haben, dass das Tieftauchen oft deshalb durchgeführt wird, weil man in ein tiefer liegendes Wrack eindringen will, so sollen hier noch einige Ausführungen zu diesem Thema folgen.

Wracktauchen ist anspruchsvoll. Die hat mehrere Gründe. In einem Wrack ist es i. d. R. eng, dunkel und rostig. Überall besteht die Gefahr, Sediment aufzuwirbeln und sich die Sicht zu verschlechtern. Dadurch ergibt sich ein besonderer Flossenstil: Die Füße werden hochgenommen und nicht nach unten hängend, wie im freien Wasser.

Wenn man nicht gerade einen riesigen Laderaum betaucht, ist es wichtig, sich mit seiner

Ausrüstung auch durch enge Durchgänge zwängen zu können, nötigenfalls unter Ablegen des Tauchgerätes und vor-sich-Herschieben desselben. Die Konfiguration sollte so sein, dass nichts übersteht, Instrumente wie Finimeter, Lampen oder Konsolen sollten nahe am Körper gehalten werden. Alle Bewegungen müssen langsamer und konzentrierter durchgeführt werden.

Beim Durchtauchen von Durchgängen darf keine übermäßige Kraft aufgewendet werden, wenn man merkt, dass man festhängt. Einige Zentimeter zurück und das hängende Ausrüstungsstück vorsichtig frei machen. Rohe Kräfte schaden nur.

Vorsicht ist in sehr alten Wracks geboten. Nach einigen Jahrzehnten fällt jedes gesunkene Schiff irgendwann in sich zusammen. Eine große Luftmenge an der Decke, kann eine große Kraft darstellen, so dass die Decke zusammenbrechen kann.

Die Dekompression beim Wracktauchen findet in der Regel an einer Ankerleine statt, mit der das Tauchboot vertäut ist oder es werden Hilfsleinen ins Wasser gelassen, an denen sich die dekomprimierenden Taucher einhängen können. Das macht die Dekompression leichter, besonders wenn starke Strömung herrscht. die Ankerleine bietet hier zusätzliche Sicherheit.



## Tiefe: 39 m

GZ	12m	9m	6m	3m
6	0	0	0	1
9	0	0	0	2
12	0	0	1	3
15	0	0	2	6
18	0	1	3	9
21	0	1	4	13
24	0	2	6	16
27	0	3	9	18
30	1	3	11	20

## Tiefe: 42 m

GZ	12m	9m	6m	3m
4	0	0	0	1
7	0	0	0	2
10	0	0	1	3
13	0	1	1	5
16	0	1	3	10
19	0	2	4	13
22	1	2	6	16
25	1	3	9	18

## Tiefe: 45 m

GZ	12m	9m	6m	3m
6	0	0	0	2
8	0	0	1	2
10	0	0	2	4
12	0	1	1	6
14	0	1	3	9
16	0	2	4	11
18	1	1	5	14
20	1	3	6	16
22	1	3	9	18
24	2	3	11	19

## Tiefe: 48 m

GZ	12m	9m	6m	3m
5	0	0	0	2
7	0	0	1	2
9	0	1	1	4
11	0	1	2	6
13	0	1	4	9
15	1	1	4	12
17	1	2	5	15
19	1	4	7	17

## Tiefe: 51 m

GZ	15m	12m	9m	6m	3m
6	0	0	0	1	2
8	0	0	1	1	4
10	0	0	1	2	7
12	0	1	1	3	10
14	0	1	2	4	13
16	0	1	3	6	15
18	0	2	4	8	17
20	1	2	3	11	19

## Tiefe: 54 m

GZ	15m	12m	9m	6m	3m
6	0	0	0	1	3
8	0	0	1	1	5
10	0	1	1	3	8
12	0	1	1	4	12
14	0	1	3	5	14
16	1	1	3	8	17

## Tiefe: 57 m

GZ	15m	12m	9m	6m	3m
6	0	0	1	1	4
8	0	0	1	3	6
10	0	1	1	4	10
12	1	1	1	5	13
14	1	1	3	7	16
16	1	2	4	10	18
18	1	3	5	11	21

Tiefe: 60 m

GZ	18m	15m	12m	9m	6m	3m
6	0	0	0	1	1	5
8	0	0	1	1	3	8
10	0	0	1	2	4	12
12	0	1	1	3	5	15
14	0	1	2	3	9	18
16	1	1	2	4	12	19
18	1	1	3	6	12	25

Tiefe: 63 m

GZ	18m	15m	12m	9m	6m	3m
6	0	0	0	1	2	5
8	0	0	1	1	4	10
10	0	1	1	2	4	14
12	0	1	1	4	7	16
14	1	1	2	3	11	19
16	1	1	3	5	12	23
18	1	2	3	8	13	27

Tiefe: 66 m

GZ	15m	12m	9m	6m	3m
5	0	0	1	2	4
6	0	1	1	2	7
7	1	1	1	4	9
8	1	1	2	4	11
9	1	1	2	4	13
10	1	1	3	5	15

Tiefe: 69 m

GZ	18m	15m	12m	9m	6m	3m
5	0	0	1	1	2	6
6	0	0	1	1	3	9
7	0	1	1	2	4	11
8	0	1	1	2	4	13
9	1	1	1	3	5	15
10	1	1	1	3	8	16

Tiefe: 72 m

GZ	18m	15m	12m	9m	6m	3m
5	0	0	1	1	3	7
6	0	0	1	1	4	10
7	0	1	1	1	4	13
8	0	1	1	3	4	14
9	1	1	1	3	7	16
10	1	1	1	4	9	18

Tiefe: 75 m

GZ	18m	15m	12m	9m	6m	3m
5	0	0	1	1	4	9
6	0	1	1	1	4	12
7	0	1	1	2	5	13
8	1	1	1	3	7	15
9	1	1	1	4	9	17
10	1	1	2	4	10	19

Tiefe: 78 m

GZ	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m
5	0	0	1	1	1	4	11
6	0	0	1	1	2	4	13
7	0	0	1	1	3	6	15
8	0	1	1	1	4	8	17
9	0	1	1	2	4	10	18
10	1	1	1	2	5	11	20

Tiefe: 81 m

GZ	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m
5	0	0	1	1	1	4	12
6	0	0	1	1	3	5	14
7	0	1	1	1	3	8	16
8	0	1	1	2	4	9	18
9	1	1	1	2	4	12	19
10	1	1	1	3	5	12	23

## 6. Übungen für das Gerätetauchen und das Tieftauchen

(von Christian Zink und Peter Rachow)

Nachfolgend haben wir einige Übungen aufgelistet, die von Tauchern (besonders Tieftauchern) regelmäßig durchgeführt werden sollten, um einen guten Trainingzustand zu erhalten. Sie sind bewusst ohne Aufwand gehalten (d. h. es müssen keine Geräte unter Wasser montiert werden wie z. B. Übungsparcours).

### 6.1 Übungen mit der Maske

- 1 Maske ausblasen
  - 2 Maske abnehmen und aufsetzen.
  - 3 Maske mit dem Partner tauschen
  - 4 Den Tauchpartner ohne Maske über eine Entfernung von 3-5 m anschwimmen und Maske ausblasen.
  - 5 Neben dem Tauchpartner eine bestimmte Zeit (5 min.) ohne Maske tauchen (Die Verbindung zum Partner wird dabei durch Handkontakt hergestellt)
- 

### 6.2 Reserve (nur bei älteren PTG):

Tauchpartner gibt Zeichen „Zieh mir die Reserve“. Anschwimmen, Reserve ziehen und bestätigen.

---

### 6.3 Aufstiegsübungen/Tarieren

- 1 Senkrechter Aufstieg aus mehreren Metern Tiefe (> 15 Meter), dabei Aufstiegsgeschwindigkeit < 10 m /min.
  - 2 wie 3.1 , jedoch mit simulierten Dekostopps (1' 9 m, 2' 6 m und 3 '3 m). Feintarierung nur mit Lunge, max. Tiefenabweichung +/- 0,5 Meter
- 

### 6.4 Simulation von Luftmangel (OOA, out of air)

- 1 Anschwimmen des Partners, Zeichen „Habe keine luft mehr“ geben, atmen aus dem Zweitregler des Partners
- 2 Aufstieg während der Atmung aus dem Zweitregler des Partners zur Oberfläche
- 3 Wechselatmung jeweils mit Octopus und aus einem Lungenautomaten.

4 Aufstieg unter Wechselatmung, beginnend aus 5, dann 10, 20 und schließlich 30 Meter Wassertiefe.

5 Schwimmen einer kleinen Strecke (50 Meter) unter Wechselatmung.

---

### **6.5 Vereisung**

1 Simulation des Aufstiegs nach einem Vereisen eines Lungenautomaten: Zum „vereisten“ Tauchpartner hinschwimmen, Zweitautomat dem Tauchpartner geben. Flaschenventil des vereisten Automaten zu drehen. Gemeinsamer Aufstieg.

2 Atmen aus einem „vereisten“ Lungenautomat. (Luftdusche drücken oder einen separaten Automaten so präparieren daß er immer abbläst.)

---

### **6.6 Gerätehandhabung**

1 Tauchgerät (einschließlich Jacket) mit dem Tauchpartner am Grund sitzend tauschen.

2 Tauchgerät (einschließlich Jacket) mit dem Tauchpartner während des Tauchgangs tauschen.

---

### **6.7 Notaufstieg**

1 Auftauchen aus Tiefen von 3, 5 und 10m ohne einzuatmen. Dabei ständig Luft ablassen um eine Überdehnung der Lunge zu verhindern.

2 Bleigurt abwerfen, aufsteigen, Dekostopps so weit wie möglich einhalten. Bleigurt antauchen, anlegen, auftauchen.

---

### **6.8 Tauchtabelle/Dekotauchgänge**

1 Übungen mit der Tabelle: Tauchgang X m, Y min: Welche Dekostopps sind erforderlich?

2 Wiederholungstauchgang mit Tabelle berechnen.

3 Dekotauchgang durchführen.

---

### **6.9. Übungen \*\*\*-Brevet o.ä. Zertifikat**

- 50 m Streckentauchen.
- 1 min. Zeitttauchen.
- Bergen und Retten eines verunfallten TP aus 20-30m.
- 1000m Schwimmen in voller Ausrüstung, danach Abtauchen auf 10m und Ablegen des Ausrüstung, Auftauchen, innerhalb einer Minute Antauchen des Gerätes auf

10m, Anlegen und Weitertauchen.

- Berechnung und Durchführung von Deko-TG.
- freier Aufstieg (ohne Jacket und Regler) aus großer Tiefe.
- Aufstieg aus 40m unter Wechselatmung.

## **7. Literatur zum Weiterlesen**

[1] Bühlmann, A. A., Tauchmedizin: Barotrauma, Gasembolie, Dekompression..., Berlin-Heidelberg, 1990

[2] Ehm, O. F. Tauchen noch sicherer, Cham, 1993

[3] Göbel H., Scheyer W., Hahn M., Tauchsport-Seminare: Dekompression, Stuttgart, 1996

[4] Aspacher, Bernd, Enzyklopädie des Technischen Tauchens